



TRABALLO FIN DE GRAO
GRAO EN ENXEÑARÍA INFORMÁTICA
MENCIÓN EN TECNOLOGÍAS DA INFORMACIÓN

PESCI: Plataforma de Entrega de Servicios Cloud para Investigación

Estudiante: Amaro Castro Faci
Dirección: Antonio Daniel López Rivas
Jose Carlos Dafonte Váquez

A Coruña, 16 de novembro de 2020.

A quienes me apoyan aunque la distancia nos separe.

Agradecimientos

Quiero agradecer a A. Daniel López Rivas por darme la oportunidad de realizar este trabajo y guiarme durante el proceso, y a los trabajadores de VMware por darme soporte de forma desinteresada.

A las personas que me apoyaron durante el último año y sobre todo en los momentos más difíciles.

Gracias.

Resumen

El Cloud Computing es un modelo que permite acceder a un conjunto de recursos como por ejemplo redes, almacenamiento y cómputo, los cuales pueden ser aprovisionados bajo demanda de forma automatizada y dinámica, reduciendo el coste del servicio para el usuario y el esfuerzo en cuanto a la administración de los recursos. El Centro de Investigación en Tecnoloxías da Información e as Comunicacións (CITIC) de la Universidade da Coruña cuenta con una infraestructura ideada para ofrecer un servicio de Cloud Computing a la comunidad universitaria. Este servicio consiste en que los usuarios aprovisionan un conjunto de recursos, del tamaño que requieran para la realización de tareas que no serían posibles en dispositivos convencionales. Actualmente ese servicio está activo pero de forma limitada y no abierta a todos los usuarios del CITIC, debido a que no existe una plataforma que permita gestionar los perfiles de usuario ni su autenticación, ni un portal de acceso para aprovisionar recursos y gestionarlos de forma automatizada. Las tareas de aprovisionamiento y gestión de usuarios se realizan bajo petición previa al administrador del sistema, que las ejecuta de forma manual, lo cual produce gran coste en tiempo y recursos, y aumenta los riesgos del servicio.

Este proyecto consiste en desplegar un servicio Cloud en el CITIC, usando como base la infraestructura y herramientas ya existentes. El servicio debe proveer un sistema de autenticación para que cada usuario pueda acceder con sus credenciales de la UDC a una plataforma, la cual le permita aprovisionar y gestionar recursos de forma automatizada y dinámica. Además, también debe automatizar la gestión de todos los componentes de la infraestructura, incluyendo perfiles de usuarios, la cantidad de recursos disponibles para los usuarios y el despliegue de aplicaciones por parte de los usuarios, con el fin de liberar a los administradores de las tareas redundantes y repetitivas. De esta forma, se persigue obtener el máximo rendimiento de la infraestructura disponible en el CITIC.

Palabras clave:

- Cloud Computing
- CITIC
- Virtualización
- SDDC
- Aprovisionamiento

Índice general

1	Introducción	1
1.1	Motivación	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Organización	3
2	Estado de los recursos	5
2.1	Infraestructura	5
2.1.1	Cómputo	5
2.1.2	Almacenamiento	5
2.1.3	Red y red de almacenamiento	6
2.2	Software	6
3	Planificación	9
3.1	Tareas y costes del proyecto	9
4	Estado de la tecnología	13
4.1	Servicio Cloud	13
4.1.1	VMware Cloud Foundation	14
4.1.2	Componentes de VMware Cloud Foundation	15
4.1.3	Conceptos	18
4.1.4	Costes de implementación	22
5	Metodología	25
5.1	Requisitos	25
5.1.1	Cómputo	25
5.1.2	Almacenamiento	26
5.1.3	Red	26
5.2	Prueba de concepto	27

5.2.1	Preparación	27
5.2.2	Diseño y configuración del Management Domain	30
5.2.3	Operaciones de la Arquitectura	37
5.2.4	Servicio Cloud	43
6	Conclusiones y trabajos futuros	69
6.1	Conclusiones	69
6.2	Trabajos futuros	70
Diseños		73
Notas		79
Lista de acrónimos		81
Glosario		83
Bibliografía		85

Índice de figuras

2.1 Componentes de VMware vSphere[1]	7
2.2 Componentes físicos y software que forman la infraestructura actual del CITIC.	8
3.1 Estadísticas sobre la planificación del proyecto.	11
3.2 Diagrama de Grantt sobre la planificación del proyecto.	12
4.1 Estructura de VMare Cloud Foundation.	15
4.2 Elementos de un SDDC gestionado con VMware Cloud Foundation.	15
4.3 Partes de un SDDC y componentes de VCF que las implementan.	16
4.4 Configuración <i>All-Flash</i> y configuración <i>Hybrid</i> en vSAN.	17
4.5 Componentes de VMware NSX-T y capas en las que se dividen.	17
4.6 Esquema del modelo de arquitectura estándar.	19
4.7 Esquema del modelo de arquitectura consolidado.	20
4.8 Ejemplo de un SDDC con dos Regions y una AZ en cada uno.	21
5.1 Herramienta VMware Lab Constructor v4.0.1b	28
5.2 Finalización del despliegue inicial de VMware Cloud Foundation.	29
5.3 Servicios desplegados y entorno embebido generado por VLC dentro del host físico.	29
5.4 Dominio de la instancia de VMware vCenter Server.	30
5.5 Contenido de vSphere Distributed Switch <i>sddc-vds01</i>	32
5.6 Ejemplo de como se almacena un archivo con VMware vSAN y FTT igual a uno	33
5.7 Política de almacenamiento vSAN con FTT igual a dos.	34
5.8 Ejemplo de cómo la comunicación entre dos VMs a través de un Segment es realizada transportando el tráfico a través de diferentes redes físicas.	35
5.9 Segments a los que se conecta cada host del entorno y cómo estos acceden a la red física a través de las VMs de NSX-T Edge.	36
5.10 Topología virtual de las redes virtuales construidas en VMware NSX-T.	36

5.11	Unidades organizativas configuradas en el AD junto a los usuarios pertenecientes a la unidad CITIC.	38
5.12	Sincronización de usuarios desde Workspace One Access seleccionando Unidades Organizativas.	39
5.13	Usuarios sincronizados en Workspace One Access.	39
5.14	Política de autenticación por defecto establecida en WSA.	40
5.15	Plataforma de autenticación de Workspace One Access.	40
5.16	Uso y componentes de VMware vRealize Automation.	41
5.17	Componentes con los que se comunica vROps.	42
5.18	Resource pool (izquierda) y carpeta (derecha) creadas para alojar las VMs desplegadas desde vRA.	44
5.19	Segment utilizado para el despliegue de VMs con vRA (arriba) y la configuración del servidor DHCP definida en VMware NSX-T (abajo)	44
5.20	Instalación y preparación de la VM con Windows Server 2016 para la creación de una plantilla	45
5.21	Instalación CentOS y comandos ejecutados para la creación de una plantilla.	46
5.22	Plantillas de CentOS 8 y Windows Server 2016 creadas a partir de sus respectivas VMs.	46
5.23	Plantillas de CentOS 8 y Windows Server 2016 disponibles en vRA.	47
5.24	Subred habilitada en vRA que se corresponde con el Segment <i>Mgmt-Region01A-VXLAN</i> configurado en VMware NSX-T.	47
5.25	Cloud Zone (izquierda) y resource pool (derecha) configurados para utilizar los recursos de cómputo y colocar las VMs desplegadas.	48
5.26	Perfil de almacenamiento configurado donde se indica el datastore utilizado para aprovisionar recursos de almacenamiento.	49
5.27	Perfiles donde se preestablecen la cantidad de recursos que puede tomar una VM.	49
5.28	Tarjeta de cobro para valorar los recursos consumidos por los usuarios.	50
5.29	Proyectos creados por el administrador del SDDC para dar acceso a los usuarios a vRA.	51
5.30	Usuarios del proyecto Server-Desktop (izquierda) y usuarios del proyecto Web-DB (derecha).	51
5.31	Diseño WD-Server para el proyecto Server-Desktop.	52
5.32	Publicación en el catálogo de una nueva versión del diseño.	53
5.33	Diseño Wordpress-MySQL-Embedded para el proyecto Web-WD.	53
5.34	Inicio de sesión del usuario <i>User Three</i> (izquierda) y catálogo de diseños disponibles en el proyecto Server-Desktop (derecha).	54

ÍNDICE DE FIGURAS

5.35 Formulario para configurar el nuevo despliegue iniciado por el usuario <i>User Three</i>	55
5.36 Tarjeta del despliegue iniciado por el usuario <i>User Three</i> (arriba) y la monitorización de todas las tareas llevadas a cabo por vRA durante el despliegue (abajo).	55
5.37 Panel de control de la VM CentOS creada por <i>User Three</i> (izquierda) y panel de control de la VM Windows creada por <i>User Three</i> (derecha).	56
5.38 Acciones que <i>User Three</i> puede ejecutar sobre las VMs creadas.	56
5.39 Conexión de <i>User Three</i> mediante RDP a la VM con Windows Server 2016 (arriba) y mediante SSH a la VM con CentOS (abajo).	57
5.40 Diseños disponibles para <i>User Two</i> (izquierda). Formulario de configuración de un nuevo despliegue del diseño Wordpress-MySQL-Embedded (derecha). .	58
5.41 Despliegues user2-wordpress-blog iniciado por <i>User Two</i>	58
5.42 Fragmento de la ejecución de cloud-init donde se instala el paquete php-json y se descargan los archivos para la instalación de Wordpress.	59
5.43 Panel de control del despliegue iniciado por <i>User Two</i> una vez finalizado.	59
5.44 Página de instalación de Wordpress cuando <i>User Three</i> accede por primera vez (izquierda). Primer artículo escrito por <i>User Two</i> en su nuevo sitio web.	60
5.45 Panel de control del despliegue User2-Wordpress-Blog con la vista de monitorización de la VM Web-DB-CentOS-test-303.	60
5.46 Estadística del coste diario de los recursos consumidos en el despliegue User3-Work por parte del usuario <i>User Three</i>	61
5.47 Estadística del coste detallado de los recursos consumidos en el despliegue User3-Work por parte del usuario <i>User Three</i>	62
5.48 Estadística del coste diario de los recursos consumidos en el despliegue User2-Wordpress-Blog por parte del usuario <i>User Two</i>	63
5.49 Estadística del coste detallado de los recursos consumidos en el despliegue User2-Wordpress-Blog por parte del usuario <i>User Two</i>	63
5.50 Información sobre el coste de los proyectos Server-Desktop y Web-DB ofrecida por vROps.	64
5.51 Información sobre el coste del despliegue User3-Work del usuario <i>User Three</i> ofrecida por vROps.	64
5.52 Información sobre el coste del despliegue User2-Wordpress-Blog del usuario <i>User Two</i> ofrecida por vROps.	64
5.53 Gráfico de coste del proyecto Web-DB y del despliegue User2-Wordpress-Blog del usuario <i>User Two</i> ofrecido por vROps.	65

5.54 Gráfico de coste del proyecto Server-Desktop y del despliegue User3-Work del usuario <i>User Three</i> ofrecido por vROps.	66
5.55 Alertas ocurridas en la infraestructura con información sobre su gravedad.	67
5.56 Estadísticas sobre la cantidad de recursos utilizados en cada host del entorno a lo largo del tiempo.	67

Capítulo 1

Introducción

SEGÚN *National Institute of Standards and Technology* (NIST), «Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources»[2]. Las principales características de este modelo son:

- *Autoservicio bajo demanda*: El usuario puede aprovisionar recursos según sus necesidades y de forma automática sin requerir ninguna interacción humana con el proveedor del servicio.
- *Acceso por red*: El servicio está disponible para los usuarios a través de la red de comunicación de forma remota.
- *Almacén de recursos*: Los recursos son accesibles por múltiples usuarios simultáneamente, y todos ellos acceden a la misma instancia del software que gestiona el servicio, siendo este un servicio *multi-tenant*.
- *Elasticidad*: Los recursos se pueden aprovisionar o liberar de forma elástica, es decir, se pueden escalar de forma rápida según las necesidades del usuario.
- *Servicio medido*: El servicio Cloud es capaz de obtener y abstraer información acerca del consumo de recursos para monitorizarlos, controlarlos e informar al usuario y al proveedor.

El Centro de Investigación en Tecnoloxías da Información e as Comunicacións (CITIC) de la Universidade da Coruña, cuenta con una infraestructura construida para ofrecer un servicio Cloud al personal que trabaja en sus instalaciones, y así darles acceso a hardware que no está disponible en dispositivos convencionales. Actualmente, esta infraestructura tiene instalado un software de virtualización de la empresa VMware, pero que no cuenta con los elementos suficientes para ser accedido por todos los usuarios. Este servicio de virtualización permite aprovisionar recursos de un conjunto de servidores, en forma de máquinas virtuales, con unas

especificaciones establecidas por el usuario, para realizar tareas que requieren gran capacidad de cómputo, de almacenamiento o de red.

El sistema cuenta con una plataforma de autenticación, pero los usuarios a los que está destinado el servicio no tienen acceso. Esto se debe a que no existe una herramienta que permita gestionar perfiles de usuario ya existentes, sino que, el único modo de habilitar el acceso consiste en que el administrador cree un perfil de forma manual dentro del servicio para cada usuario. También carece de una plataforma donde cada usuario solo tenga acceso a sus recursos, en la vista actual tienen visibilidad y acceso a los recursos de otros usuarios dependiendo de los permisos que se hayan asignado al perfil. Además, el proceso de aprovisionamiento de recursos mediante la creación de máquinas virtuales es complejo por tener una interfaz poco intuitiva y difícil de manejar para un usuario que no es administrador del sistema, a parte de que el proceso debe realizarse manualmente. Esto implica que la monitorización, control y medición de los recursos que aprovisiona cada usuario sean también tareas complejas. La falta de automatización y simplicidad en el sistema provoca que el administrador tenga que gestionar todo el entorno de forma manual, tanto los perfiles de usuarios como los recursos y su configuración, lo cual genera un gran coste y aumenta los riesgos de la infraestructura.

Como se puede observar, el servicio no cumple con las características que definen un servicio de Cloud Computing, especialmente en lo que se refiere al aprovisionamiento bajo demanda, a la elasticidad y a la monitorización y control de los recursos. Por ello, en este proyecto se desplegará un conjunto de servicios, que juntos permitan habilitar un servicio al que los usuarios puedan acceder autenticándose con sus credenciales de la UDC, aprovisionar recursos de red, almacenamiento y cómputo, y que permita monitorizar los recursos que cada usuario posee. Además, para facilitar las tareas de administración, el servicio debe automatizar las operaciones de aprovisionamiento y permitir al administrador limitar la cantidad de recursos que un usuario puede aprovisionar para evitar que estos sean infrautilizados. Con estas mejoras se busca construir un servicio que sea útil, dinámico, sencillo de administrar, que optimice el uso de los recursos y que aumente su eficiencia, gracias a la automatización de tareas y al aprovechamiento de elementos que ya se encuentran disponibles.

1.1 Motivación

La motivación para realizar este proyecto es proponer un servicio Cloud que solucione las carencias del servicio actual del CITIC para proporcionar recursos de forma sencilla y ágil a aquellos usuarios que necesiten equipos de grandes prestaciones. La solución propuesta también servirá para mejorar la gestión interna del servicio reduciendo así sus costes e incidencias a largo plazo. En definitiva, hacer que la infraestructura sea eficiente, útil y capaz de dar servicio a todos sus usuarios.

1.2 Objetivos

El objetivo general de este proyecto es crear un servicio piloto, con el que presentar las funcionalidades y características de una plataforma que permita sacar el máximo rendimiento de la infraestructura del CITIC, y de los recursos administrativos que se encuentran disponibles, tanto en el CITIC como en la UDC. Este servicio debe ser útil, ágil y accesible. Los objetivos concretos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Centralizar y mejorar la gestión de usuarios integrando el sistema de autenticación de la UDC y así facilitar el acceso.
- Desplegar un portal de acceso para los usuarios que simplifique la gestión y aprovisionamiento de sus recursos.
- Limitar y controlar la cantidad de recursos que un usuario puede aprovisionar y así evitar tener recursos ociosos.
- Automatizar las tareas de administración y configuración de la infraestructura.
- Documentar las soluciones desplegadas en el sistema para facilitar la transmisión de conocimiento a largo plazo.

1.3 Organización

La documentación de este proyecto se divide en cinco capítulos. El primero es [2.Estado de los recursos](#) donde se describe el hardware y el software que forman la infraestructura situada en el CITIC y las carencias que hacen necesario implementar una nueva solución. En el capítulo [3.Planificación](#) se describen las tareas y los costes de la realización de este proyecto. Posteriormente, en el capítulo [4.Estado de la tecnología](#) se describe la situación actual de la tecnología que se quiere implementar, las soluciones encontradas en el mercado que se podrían implementar sobre la infraestructura del CITIC, la descripción y componentes de la solución elegida y los costes de implementarla. Una vez expuestas las bases del proyecto, en el capítulo [5.Metodología](#) se exponen los requisitos físicos y servicios que la infraestructura debe proveer antes de realizar la implementación. Dentro del mismo capítulo en el apartado [5.2.Prueba de concepto](#), se exponen la instalación y funcionalidades de los componentes de la solución propuesta dentro de un entorno de pruebas, y finalmente, en el apartado [5.2.4.Servicio Cloud](#) se describen los casos de uso del servicio construido y cómo sería el flujo de trabajo de los usuarios y el administrador de la infraestructura.

1.3. Organización

Capítulo 2

Estado de los recursos

Con el fin de contextualizar los recursos utilizados para el desarrollo del proyecto, en este capítulo se expone la situación actual de la infraestructura situada en el CITIC. Esto incluye el software que está en funcionamiento, los recursos físicos de los que se compone, y el estado actual de las herramientas que rodean a dichos recursos.

2.1 Infraestructura

La infraestructura física donde se encuentra el servicio de virtualización, se encuentra en el edificio del CITIC de la UDC, dentro de un rack alojado en su Centro de Proceso de Datos (CPD)[3].

2.1.1 Cómputo

Está formada por 5 hosts Lenovo NeXtScale nx360 M5, cada uno con dos procesadores Intel Xeon E5-2650, 128 GB de memoria RAM y una tarjeta gráfica Tesla M60, y 3 hosts Dell EMC PowerEdge R740 cada uno con dos procesadores Xeon Gold 6146, 384 GB de memoria RAM y una tarjeta gráfica Tesla P40. Todos ellos aportan gran rendimiento de cómputo y flexibilidad en cuanto a que permiten escalar la infraestructura.

2.1.2 Almacenamiento

El sistema de almacenamiento está colocado físicamente en la misma ubicación que los hosts pero en su abstracción lógica este es independiente y está separado de cada host. Está conformado por 13 discos duros SSD de 3.84 TB de capacidad, obteniendo así una cantidad total de casi 50 TB, pero su capacidad útil es de 34 TB ya que se utiliza la configuración de almacenamiento RAID 5 para aportar mayor integridad de los datos, mayor tolerancia a fallos y mayor ancho de banda. Los discos duros están colocados en una misma cabina formando un *pool* de almacenamiento que se divide en cinco LUNs (Logical Storage Unit) de 2 TB cada

una, representadas en el software de virtualización como cinco datastores, y que emplean el sistema de archivos VMFS propio de la compañía VMware, el cual optimiza el almacenamiento de máquinas virtuales.

La configuración y gestión de este sistema se tiene que realizar al nivel de la capa física, por lo tanto si se quiere realizar un despliegue en el sistema de virtualización que requiera una configuración de almacenamiento diferente a la existente, como por ejemplo un sistema RAID con diferentes características, sería necesario modificar la configuración del sistema físico, siendo muy costoso en tiempo y riesgos. Por lo tanto, este sistema de almacenamiento no permite ajustar de forma precisa, rápida y bajo demanda la configuración de almacenamiento que un usuario requiera para sus aplicaciones.

2.1.3 Red y red de almacenamiento

El sistema de almacenamiento forma una Storage Area Network (SAN), para ello se utilizan conexiones de tipo 10 Gbit entre los hosts y la cabina donde se encuentran los discos duros. Para soportar este tipo de conexiones, la cabina incorpora dos controladores con conectores de tipo SFP+. Además, también incorpora otros dos puertos de 1 Gbit para llevar a cabo la administración de los discos. En esta estructura se utilizan los protocolos de red Ethernet y iSCSI. Para mantener la disponibilidad del acceso al sistema de almacenamiento y de las conexiones entre hosts, cada host se conecta a dos switches *trunk* estableciendo rutas redundantes.

En caso de que fuera necesario modificar la estructura de la red para adaptarse a los requisitos de un determinado despliegue, habría que hacerlo directamente sobre la red física. Esto puede generar problemas en la conectividad del entorno a parte de tener un gran coste de tiempo.

2.2 Software

Actualmente, el software desplegado sobre la infraestructura está formado por los productos de la compañía VMware, uno de los principales proveedores de software de virtualización. Todos los componentes instalados se engloban dentro del producto **VMware vSphere**, en su versión 6.7, el cual contiene lo necesario para virtualizar parte de la infraestructura junto con las herramientas para entregar el servicio y gestionar la infraestructura virtual. A continuación se describen los principales componentes que tiene VMware vSphere y que están instalados en la infraestructura.

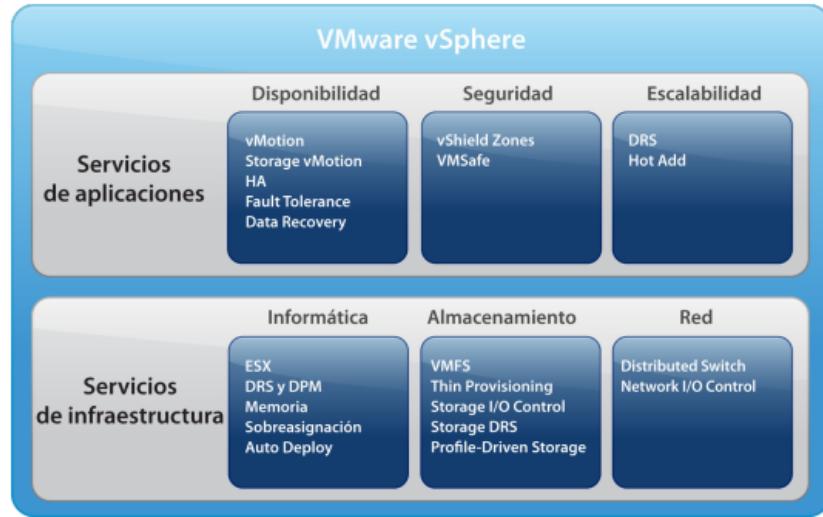


Figura 2.1: Componentes de VMware vSphere[1]

En cada host está instalado el hipervisor ESXi de tipo baremetal, el cual se encarga de habilitar la virtualización de los recursos. Instalada en los hosts se encuentra una VM que alberga el servicio VMware vCenter Server, el cual actúa como centro de administración de todas las máquinas virtuales (VMs) y hosts que forman la infraestructura. Además, esta instancia de VMware vCenter Server contiene una instancia embebida de Platform Services Controller (PSC), punto que centraliza la autenticación en las APIs de VMware vCenter Server, actúa como servidor de licencias y contiene el servicio de autenticación de usuarios llamado vCenter Single Sign-On, este último se utiliza para gestionar la autenticación de los usuarios registrados en VMware vCenter Server. El acceso e interfaz de VMware vCenter Server la proporciona el componente vSphere Web Client, una página web donde el usuario puede autenticarse y gestionar las VMs y hosts que forman el entorno y el resto de servicios de VMware vSphere. Para administrar las conexiones de red de las VMs desplegadas en el entorno, se utiliza el componente vSphere Distributed Switch (vDS), un switch virtual donde se establecen puertos para que las VMs tengan acceso a la red y a través de los cuales se configuran las propiedades del tráfico. Finalmente, se utilizan varios servicios de gran importancia para mantener la disponibilidad de las VMs desplegadas en la infraestructura:

- vMotion: encargado de migrar VMs de un host a otro de forma transparente y sin detener su ejecución ni el servicio.
- vSphere High Availability (vSphere HA): encargado de recuperar el servicio de una VM que ha sufrido un fallo. Para ello, la VM es reiniciada en otro host del entorno.
- vSphere Distributed Resource Scheduler (vSphere DRS): encargado de balancear la carga de trabajo entre los hosts disponibles en el entorno, migrando las VMs cuando sea

necesario para maximizar el rendimiento de la infraestructura.

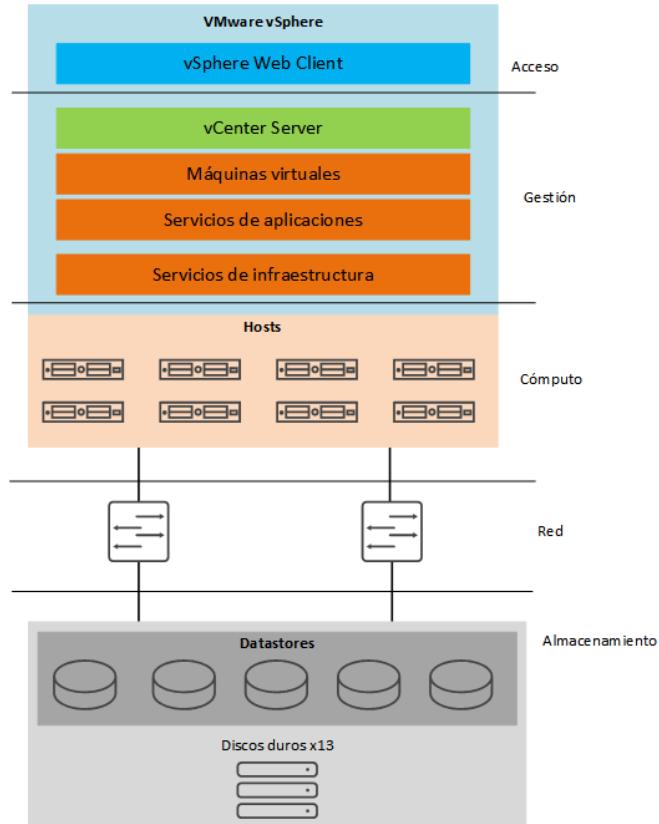


Figura 2.2: Componentes físicos y software que forman la infraestructura actual del CITIC.

Capítulo 3

Planificación

En este capítulo se propone una planificación del proyecto con el fin de organizar su estructura y exponer los costes temporales y económicos aproximados necesarios para su realización.

3.1 Tareas y costes del proyecto

Tarea 1. Analizar qué componentes hardware y software componen la infraestructura y cuales son sus funciones. En cuanto al hardware se comprueban las especificaciones concretas de los recursos de cómputo, almacenamiento y red, y cómo están estructurados el sistema de almacenamiento y la red. Respecto al software se comprueba qué productos y servicios hay instalados y cuales son sus funciones dentro del entorno.

Tarea 2. Analizar y seleccionar una herramienta de las disponibles en el mercado que se adapte a los objetivos del servicio que se quiere construir y a las características de la infraestructura. En este proceso se tiene en cuenta la compatibilidad con el software ya existente, el coste de mantenimiento y la eficiencia de las herramientas disponibles.

Tarea 3. Tarea que agrupa las tareas dedicadas al proceso de configuración de la infraestructura e instalación y configuración de la herramienta seleccionada. Estas son las tareas 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.

Tareas 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10. Antes de realizar la instalación de la nueva herramienta es necesario comprobar los requisitos software y hardware (tareas 4 y 5). También se deben establecer los parámetros de configuración iniciales que se van a aplicar a la nueva plataforma (tarea 6). Construcción de un entorno de pruebas con una infraestructura y así evitar problemas en el entorno real del CITIC (tareas 7 y 8). Una vez el entorno está preparado se efectúa el despliegue de la herramienta (tarea 9), posteriormente se configura y se comprueba el funcionamiento del nuevo servicio (tarea 10).

Tarea 11. Esta tarea marca el final del despliegue y configuración del nuevo servicio en la in-

fraestructura.

Tarea 12. Diseñar una integración de la nueva plataforma con el sistema de autenticación de la UDC para que los usuarios finales del servicio puedan autenticarse sin necesitar nuevas credenciales. Se debe utilizar un directorio de usuarios que simule el directorio de la UDC y así evitar problemas en el entorno de producción.

Tarea 13. Implementación y despliegue de la solución que permita integrar el directorio de usuarios del entorno de pruebas con la herramienta desplegada para la autenticación de usuarios con sus propias credenciales.

Tarea 14. Diseño de un sistema de facturación/valoración del consumo de recursos por parte de los usuarios con la intención de limitar la cantidad de recursos que un usuario puede aprovisionar, y así tener recursos disponibles para todos los usuarios y aumentar la eficiencia de la infraestructura.

Tarea 15. Implementación y despliegue del sistema de facturación/valoración.

Tarea 16, 17 y 18. Recopilación de la información necesaria para la realización de cada tarea. La información de apoyo se debe obtener de documentaciones, artículos, vídeos o libros de fuentes fiables como empresas desarrolladoras de los productos utilizados o expertos especializados. El objetivo de la recopilación de información es obtener conocimiento sobre las herramientas con las que se está trabajando para luego tener una base que facilite la realización de las tareas descritas. Esto se realiza desde el comienzo del proyecto hasta su finalización para tener claros los conceptos que se desarrollan y para conocer los detalles del trabajo que se realiza.

Tarea 19, 20 y 21. Redacción de la memoria del proyecto. Se escribe un documento con todos los detalles de todas las tareas realizadas durante el proyecto, incluyendo los cambios realizados en la infraestructura, las configuraciones establecidas y como se lleva a cabo cada proceso del proyecto. Su objetivo es transmitir el conocimiento adquirido durante su realización y proponer una solución para habilitar un servicio Cloud en la infraestructura del CITIC. La escritura de este documento se realiza a la vez que cada tarea para detallar los pasos realizados en cada caso, por lo que su duración es igual a la duración total de todo el proyecto.

La duración total del proyecto se estima en 403 días. teniendo en cuenta que el estudiante trabaja durante 4 horas diarias. El coste mostrado en la figura 3.1 se refiere al coste correspondiente al estudiante si trabaja por 25 €/hora.

CAPÍTULO 3. PLANIFICACIÓN

	Comienzo	Fin
Actual	mar 04/02/20	mié 11/11/20
Previsto	mar 04/02/20	mar 14/04/20
Real	NOD	NOD
Variación	0d	302d

	Duración	Trabajo	Costo
Actual	402,75d	496h	12.400,00 €
Previsto	100,75d	201,25h	5.031,25 €
Real	0d	0h	0,00 €
Restante	402,75d	496h	12.400,00 €

Figura 3.1: Estadísticas sobre la planificación del proyecto.

3.1. Tareas y costes del proyecto

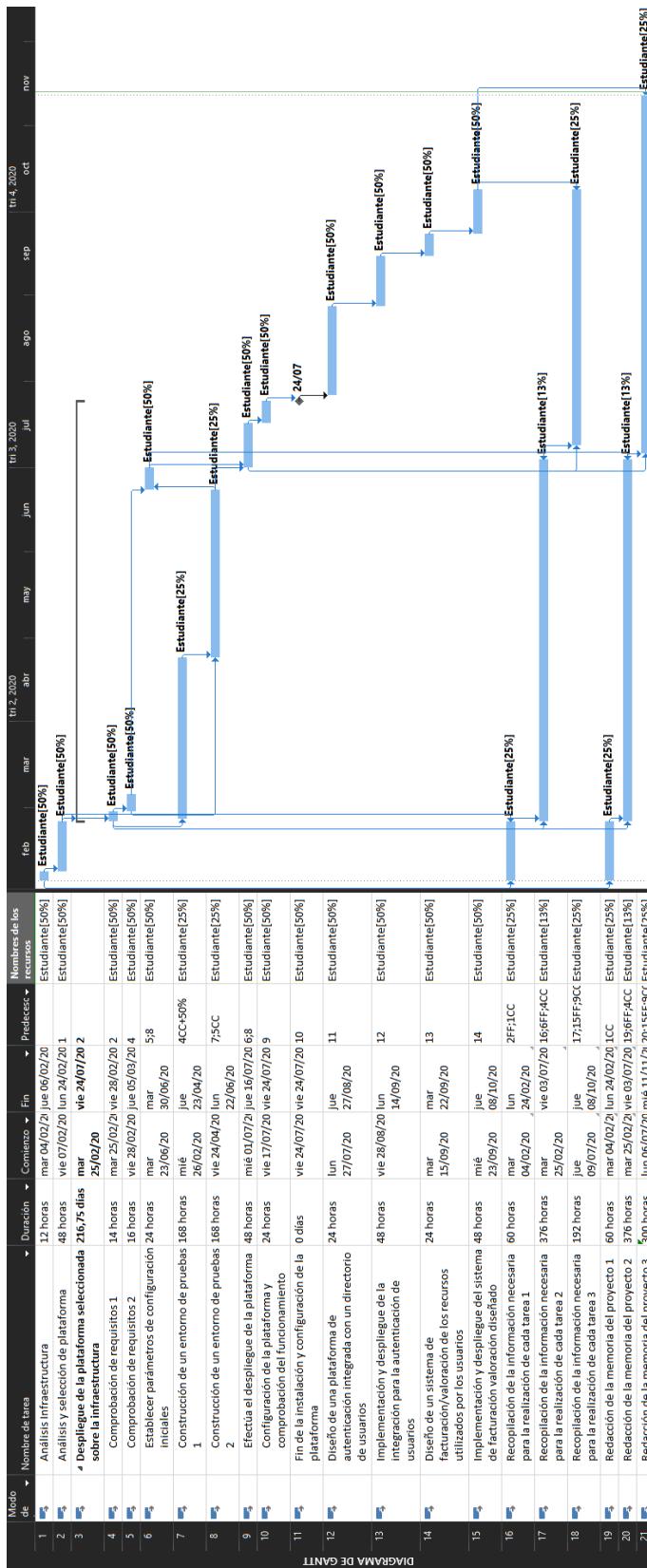


Figura 3.2: Diagrama de Gantt sobre la planificación del proyecto.

Capítulo 4

Estado de la tecnología

CON el desarrollo de las tecnologías web y la comercialización por parte de grandes empresas de su infraestructura, los servicios *Infrastructure as a Service* (IaaS) han ganado una popularidad considerable, con ello también se han desarrollado herramientas software dedicadas a la gestión de infraestructura para la implementación de sistemas Cloud Computing. Algunas de estas son VMware Cloud Foundation (creado en 2011), OpenStack (creado en 2010) o Apache CloudStack (creado en 2012). Estos productos proveen software que permite construir una infraestructura virtualizada sobre un conjunto de recursos físicos, con el objetivo de separar la administración de la capa física de la capa virtual para simplificar y automatizar la gestión y escalabilidad de los recursos. Proponen un modelo que persigue reducir costes de gestión de la infraestructura y aumentar la disponibilidad del servicio, es decir, aumentar la eficiencia de la infraestructura física. A lo largo de este capítulo se expone la solución Cloud propuesta para ser implementada en la infraestructura del CITIC indicando las razones de su elección y sus principales características.

4.1 Servicio Cloud

Como ya se ha visto, en el mercado existen varias alternativas que se pueden utilizar para cumplir los objetivos del proyecto. Finalmente, se ha escogido el producto **VMware Cloud Foundation** (VCF) ya que al pertenecer al mismo proveedor que el software de virtualización empleado en la infraestructura del CITIC, todos sus componentes se integran perfectamente con los componentes de VMware ya instalados en la infraestructura, por lo tanto, su mantenimiento es más sencillo y su funcionamiento más eficiente. También es posible integrar soluciones de otras compañías pero, al estar fuera del ecosistema de VMware podrían producirse problemas de compatibilidad entre versiones a largo plazo con los productos existentes en la infraestructura del CITIC. Utilizando los productos de un mismo proveedor se asegura el soporte del software instalado y la obtención del máximo rendimiento de cada componente.

4.1.1 VMware Cloud Foundation

Esta solución de VMware virtualiza todas las capas de la infraestructura combinando cuatro de sus productos. Utiliza **VMware vSphere** para virtualizar y gestionar el cómputo, **VMware vSAN** para virtualizar y gestionar el almacenamiento, **VMware NSX-T** para la virtualización y gestión de la red, y **VMware vRealize Suite** para gestionar las operaciones de la infraestructura virtual como el aprovisionamiento de recursos. Todos estos servicios juntos convierten el CPD en un Software Defined Datacenter (SDDC), un entorno donde existe una infraestructura física abstraída en una capa virtual separando así la gestión de ambas [4]. Esto permite modificar la infraestructura virtual según se requiera sin necesidad de modificar la configuración de la infraestructura física, favoreciendo la automatización y dinamismo de tareas y la elasticidad de los recursos. Gracias a esto, con VCF es posible habilitar el aprovisionamiento de recursos por parte de los usuarios para ofrecer así un servicio Cloud de tipo IaaS. Con esta solución se obtienen las siguientes características:

- Servicios software con integración nativa: ofrece un conjunto de servicios software para el almacenamiento, red, seguridad y gestión del servicio Cloud. Estos servicios se integran de forma nativa con la infraestructura minimizando las tareas de configuración y administración.
- Escalabilidad y elasticidad de los recursos: la capacidad de la infraestructura se puede modificar de forma sencilla gracias a la automatización del ciclo de vida de todos los elementos y al desacople entre las dos capas (la física y la virtual).
- Supervisión de los recursos: monitoriza los recursos con reconocimiento de aplicaciones y solución de problemas, permitiendo conocer todos los eventos que tienen lugar en la infraestructura. También permite establecer políticas de seguridad en cuanto al acceso a los recursos y a la red.
- Aprovisionamiento automatizado: permite la obtención de recursos de forma automática incluyendo servicios de red, almacenamiento y cómputo. Los componentes de la infraestructura virtualizada se encargan de la reserva de los recursos y de todas las operaciones necesarias para llevarla a cabo.
- Ciclo de vida automatizado: automatiza las operaciones de gestión previas, iniciales y posteriores de la plataforma para simplificar y coordinar su gestión. En estas tareas incluye el despliegue de la plataforma y su implementación, la escalabilidad de los recursos físicos y la instalación de actualizaciones para cada componente software.

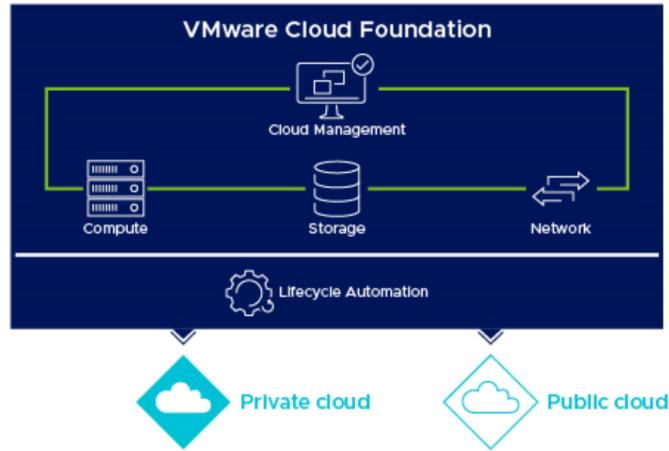


Figura 4.1: Estructura de VMare Cloud Foundation.

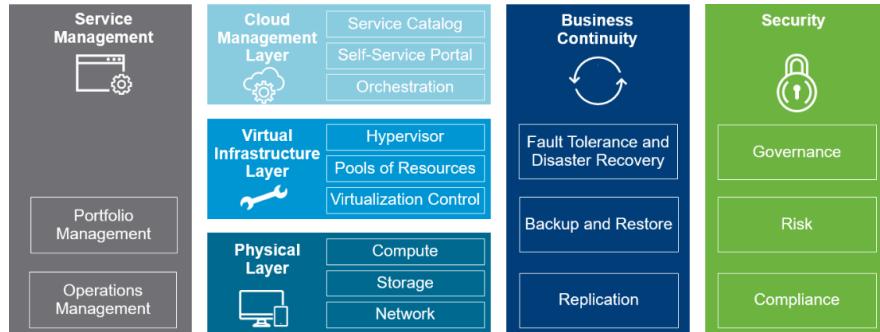


Figura 4.2: Elementos de un SDDC gestionado con VMware Cloud Foundation.

4.1.2 Componentes de VMware Cloud Foundation

Ya se ha visto que VCF está formado por cuatro productos principales. En este apartado se describirán las características de esos cuatro componentes más el servicio que los coordina¹. Se utilizará la versión 4.0 de VMware Cloud Foundation lo cual implica que se implementarán las versiones 4.0 de SDDC Manager, 7.0.0 de VMware vSphere, 7.0.0 de VMware vSAN, 3.0 de VMware NSX-T y 8.2 de VMware vRealize Suite [5].

¹Las características del componente VMware vSphere son las mismas que las descritas en el punto 2.2

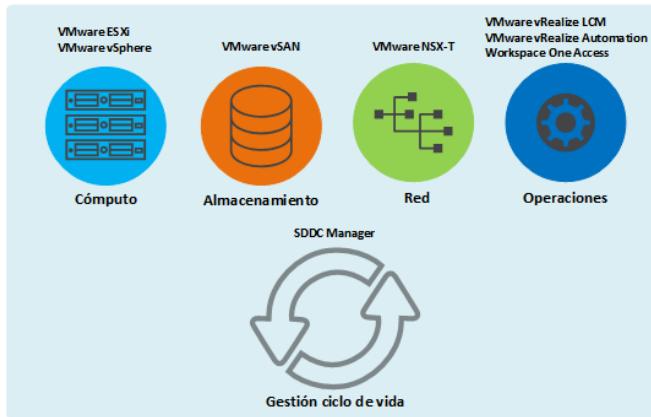


Figura 4.3: Partes de un SDDC y componentes de VCF que las implementan.

SDDC Manager

SDDC Manager se encarga de gestionar el ciclo de vida de todos los componentes de VCF, esto incluye el despliegue de cada uno, su configuración y la obtención e instalación de actualizaciones. Centraliza la gestión de las licencias y certificados de cada componente y administra el aprovisionamiento de nuevos recursos físicos para el SDDC.

VMware vSAN

VMware vSAN virtualiza el almacenamiento del SDDC. Permite gestionar de forma centralizada el sistema de almacenamiento, sin necesidad de tener que modificar la configuración física. El sistema de almacenamiento se abstrae para formar único datastore sobre el que se establecen políticas de uso y disponibilidad. El acceso por parte de cada host al datastore se realiza mediante el protocolo IP, a través de una subred dedicada al servicio. El datastore está formado por discos de almacenamiento que se organizan en grupos que se asignan a un host. Los grupos pueden tener configuración *Hybrid*, que combina discos HDD y SSD, o configuración *All-Flash* que solo utiliza SSD y por lo tanto tiene mayor rendimiento. Dentro de cada grupo existe un disco de caché y al menos un disco de capacidad donde se almacenan los datos persistentes[6].

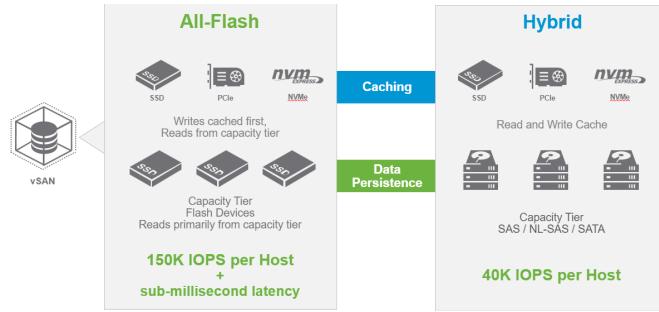


Figura 4.4: Configuración *All-Flash* y configuración *Hybrid* en vSAN.

VMware NSX-T

VMware NSX-T virtualiza la red del SDDC. Abstactra los componentes físicos de la red para generar una red virtual desacoplada de la infraestructura física, esta se configura sin modificar la red física y para ello aporta servicios de red virtualizados y la posibilidad de crear y extender subredes sobre la infraestructura. Internamente tiene tres componentes, NSX-T Manager, NSX-T Controller y NSX-T Edge. El primero, es el punto de acceso a la configuración de VMware NSX-T y el que almacena y transmite la configuración establecida, el segundo controla las redes y se encarga de informar sobre el estado y la configuración de las redes virtuales. El último componente, NSX-T Edge, proporciona servicios de red y enruteamiento a las redes virtuales. Los hosts integrados en VMware NSX-T se encargan de controlar el tráfico y monitorizar la infraestructura virtual creada por VMware NSX-T.

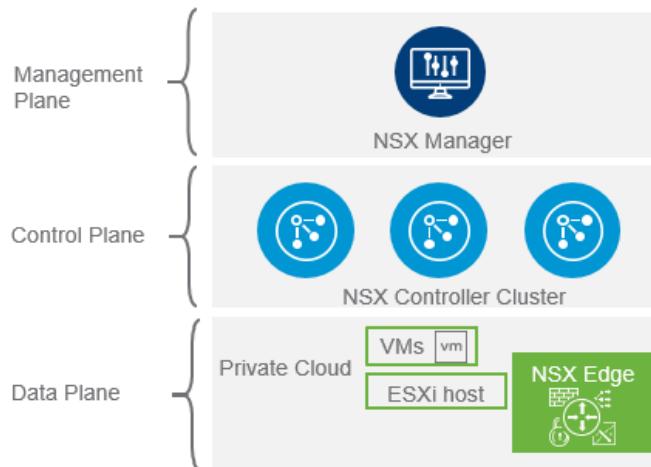


Figura 4.5: Componentes de VMware NSX-T y capas en las que se dividen.

VMware vRealize Suite

VMware vRealize Suite agrupa un conjunto de productos que si bien no son obligatorios para desplegar VCF, aportan funcionalidades extra que completan la formación del SDDC. Los productos que se utilizarán en este proyecto son **vRealize Operations Manager** dedicado a la monitorización de la infraestructura con detección de alarmas, aplicación de correcciones y medición de costes, **Workspace One Access** dedicado a gestionar los usuarios y ser el punto de acceso centralizado de las aplicaciones de VMware vRealize Suite y, finalmente, **vRealize Automation** el cual permite a los usuarios del SDDC diseñar y aprovisionar un conjunto de recursos de la infraestructura según sus necesidades y de forma automatizada, mientras el administrador puede limitar la cantidad de recursos que se consumen.

4.1.3 Conceptos

En este apartado se describen algunos conceptos que se deben tener claros para entender la estructura y arquitectura de los componentes de VCF.

Workload Domain

Un Workload Domain (WD) representa un bloque de recursos dentro del SDDC, formado por recursos físicos y virtuales y gestionados por los componentes de VCF. En cada WD se despliegan instancias de los componentes de VCF para controlar el acceso y uso de los recursos, estableciendo, además, una capa de seguridad sobre el WD. Esto permite que los recursos de cada WD se gestionen de forma separada. La función de un WD consiste en separar flujos de trabajo para determinar qué recursos se dedican a la realización de determinadas tareas.

Management Domain

El Management Domain es el primer WD que se crea dentro del SDDC cuando se despliega VCF. Su finalidad es alojar todos los componentes de VCF que gestionan el propio Management Domain y al resto de WDs por lo tanto todas las tareas de administración de la infraestructura están centralizadas dentro de este WD. Inicialmente, se despliegan las siguientes VMs de cada componente:

- Una VM de SDDC Manager.
- Una VM de VMware vCenter Server.
- Tres VMs de VMware NSX-T Manager.
- Dos VMs de VMware NSX-T Edge.

Virtual Infrastructure Domain (VI)

Este tipo de WD se crea manualmente y bajo demanda desde el Management Domain, para habilitar un entorno cuyos recursos puedan ser usados por los usuarios mediante el despliegue de aplicaciones. Su objetivo es separar las tareas y recursos dedicados a la administración del SDDC de las tareas y recursos utilizados por los usuarios del servicio. Con la creación de un WD se generan las siguientes VMs:

- Una VM de VMware vCenter Server que se sitúa en el Management Domain.
- Tres VMs de VMware NSX-T Manager situadas en el Management Domain.
- Dos VMs de VMware NSX-T Edge.

Modelo de arquitectura estándar

Este modelo está pensado para entornos de tamaño medio/grande, con un mínimo de siete hosts. Está formado por un Management Domain y al menos un VI Domain. Esto implica que la ejecución de tareas dentro de un WD está limitada por los recursos que lo forman. Esto permite asignar roles a los recursos según las operaciones que se van a ejecutar sobre ellos, establecer un nivel de seguridad en cada WD y dedicar un conjunto de recursos a la ejecución de cierto tipo de operaciones. Así, el entorno es más eficiente, ya que se proporciona una forma de adecuar la configuración de los recursos de acuerdo con el uso que se va a hacer del servicio o servicios desplegados, minimizando además los cambios sobre la infraestructura física.

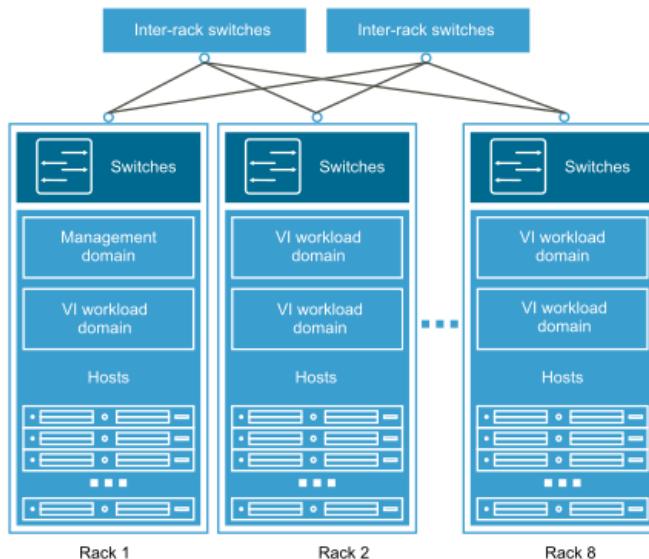


Figura 4.6: Esquema del modelo de arquitectura estándar.

Modelo de arquitectura consolidado

Este modelo está orientado a entornos de tamaño pequeño, con menos de siete hosts. Está formado por un único WD que cumple las funciones de un Management Domain y de un VI Domain, es decir, en él se colocan las instancias de los componentes dedicados a la gestión del SDDC² junto con las aplicaciones desplegadas para la realización de otro tipo de tareas. Así, a diferencia del modelo estándar, todas las operaciones se ejecutan dentro de un mismo entorno y sobre los mismos recursos. Internamente, las VMs se pueden colocar dentro de grupos, llamados resource pools, en el que se puede establecer un límite de uso de recursos. Este modelo no aporta tantos beneficios como el modelo estándar, ya que todas las operaciones se realizan sobre los mismos recursos, y los niveles de control y seguridad son menores.

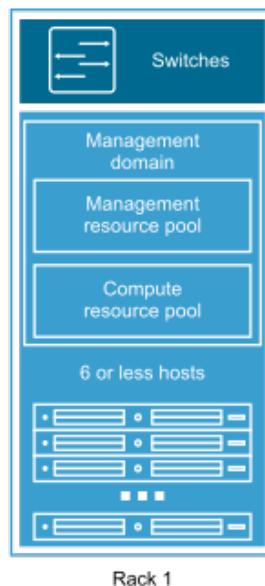


Figura 4.7: Esquema del modelo de arquitectura consolidado.

Distribución de los recursos del SDDC

Los recursos de un SDDC pueden estar distribuidos en diferentes localizaciones físicas para proporcionar mayor disponibilidad y recuperación ante fallos. A continuación se enumeran las formas de agrupar los recursos según su ubicación.

- Availability Zone (AZ): se llama AZ a un conjunto de recursos físicos que forman una infraestructura independiente, es decir, cada una tiene su propia fuente de energía, su sistema de refrigeración, su sistema de seguridad y su red, no compartidos con otra

²Se despliega la misma cantidad de instancias de cada componente que en el Management Domain.

AZ, para evitar la propagación de fallos hacia otras AZs. Cuando existen varias AZs, se pueden usar de forma que cuando ocurre un fallo en una de ellas la carga de trabajo se distribuye a una segunda AZ minimizando el tiempo de caída del servicio. Dentro de una AZ se alojan uno o más WDs.

- Region: se llama Region a un conjunto de AZs situadas en una misma ubicación, es decir, las AZs de una Region están situadas próximas entre sí. Estas AZs deben tener al menos una latencia de 5 ms[7] entre ellas. Dentro de un SDDC pueden existir varias Regions pero estas se sitúan en ubicaciones más distantes, la latencia debe ser de al menos 150 ms[7]. Esta estructura permite ofrecer los servicios de un SDDC en diferentes ubicaciones a la vez que se aumenta su disponibilidad y recuperación ante fallos.
- Cluster: un cluster de VMware vSphere es una agrupación de hosts. A las VMs desplegadas sobre ellos se les aplica una configuración de disponibilidad con los servicios vMotion, vSphere HA y vSphere DRS del componente VMware vSphere, permitiendo determinar como se restablecen las instancias cuando ocurre un fallo dentro del cluster. Un cluster se sitúa dentro de un WD, por lo tanto, sus recursos estarán limitados por el alcance del WD.

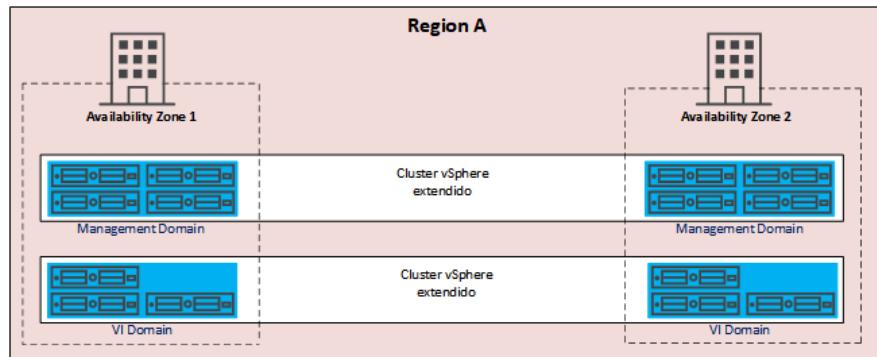


Figura 4.8: Ejemplo de un SDDC con dos Regions y una AZ en cada uno.

En la figura anterior se describe el esquema de un SDDC compuesto de una Region. Dentro de esta, existen dos AZ, AZ1 y AZ2. Cada una de las AZs contiene dos WD, un Management Domain desde donde se administra el SDDC, y un VI Domain donde se realizan las operaciones del SDDC. Como se mencionaba anteriormente, las VMs situadas en una AZ pueden migrar de una ubicación a otra en caso de fallo de los recursos físicos. Para ello, el WD donde se encuentran esas instancias debe estar extendido en las dos AZs. En la imagen, el Management Domain está formado por ocho hosts, repartidos en las AZs, los cuales están agrupados dentro del mismo cluster de VMware vSphere, por lo tanto, los componentes cuyas instancias estén situadas en este cluster se podrán migrar entre los 8 hosts. Estas migraciones se reali-

zan en función de la configuración de disponibilidad establecida en los componentes VMware vSphere y VMware vSAN. Así, cuando los hosts de AZ1 sufren una caída, la AZ2 seguiría activa y las instancias situadas en AZ1 migrarían a AZ2 para continuar la disponibilidad del servicio, todo esto de forma automatizada, dinámica y transparente para el usuario. Lo mismo sucedería con el VI Domain³.

4.1.4 Costes de implementación

Los principales costes a la hora de implementar VMware Cloud Foundation en la infraestructura de producción del CITIC son aquellos relacionados con la adquisición de licencias y soporte de los productos. Cada componente de VMware Cloud Foundation requiere su propia licencia[8]. El precio de cada licencia dependerá del número de CPUs físicas sobre las que se va usar esta plataforma. Como en la infraestructura hay un total de ocho hosts con dos CPUs cada uno, el precio por cada componente es el siguiente:

- **SDDC Manager:** 18.000€⁴ por CPU y 6.500€ anuales de soporte por cada CPU. El precio total de la licencia es de 288.000€ y 104.000€ anuales de soporte por 16 CPUs.
- **VMware vSphere:** 4.000€⁵ por CPU. El precio total de la licencia es de 64.000€ por 16 CPUs y el precio anual por las tareas de soporte es de 16.000€.
- **VMware vCenter:** 6.000€⁶ por una licencia que permite usar VMware vCenter sobre todos los hosts del entorno. El precio anual por las tareas de soporte es de 1.500€.
- **VMware vSAN:** 4.000€⁷ por CPU. El precio total de la licencia es de 64.000€ por 16 CPUs y el precio anual por las tareas de soporte es de 16.000€.
- **VMware NSX-T:** 5.300€⁸ por CPU. El precio total de la licencia es de 84.400€ por 16 CPUs y el precio anual por las tareas de soporte es de 21.100€.
- **VMware vRealize Suite 2019:** 1.500€ por CPU. El precio total de la licencia es de 24.000€ por 16 CPUs y el precio anual por las tareas de soporte es de 6.000€.

El precio total de todas las licencias necesarias para el entorno, teniendo en cuenta que hay 16 CPUs, sería igual a 530.400€, y el precio total por las tareas de soporte sería igual a 164.600€ anuales. En caso de que ya estén instalados algunos de los componentes entonces solo se

³Se puede encontrar una descripción más detallada de esta estructura en el siguiente enlace <https://docs.vmware.com/en/VMware-Validated-Design/6.0/introducing-vmware-validated-design/GUID-661B1CE3-1F74-4E00-80F3-0F5EA39528CD.html>

⁴Para la edición Advanced de VMware Cloud Foundation.

⁵Para la edición Standard de VMware vSphere.

⁶Para la edición Standard de VMware vCenter

⁷Para la edición Advanced de VMware vSAN.

⁸Para la edición Advanced de NSX.

requieren licencias para aquellos componentes que aún no están en el entorno. En el caso del entorno inicial, los componentes que ya están instalados son VMware vSphere, VMware vCenter Server. Esto hace que el coste real para implementar VMware Cloud Foundation en el entorno sea igual a 460.400€, ya que solo son necesarias licencias para los componentes SDDC Manager, VMware vSAN, VMware NSX-T y VMware vRealize Suite 2019. El coste total de la instalación y mantenimiento de la plataforma VMware Cloud Foundation sobre la infraestructura del CITIC es el siguiente:

- **Licencias:** 460.400€ en total.
- **Soporte:** 164.600€ anuales.

Capítulo 5

Metodología

En este capítulo se describirá el desarrollo del proyecto y las funcionalidades más destacadas de la solución implementada. Para ello se describirán los requisitos para implementar VCF en un entorno real, el proceso de despliegue del producto sobre un entorno de pruebas y finalmente, se demostrará el uso que los usuarios pueden hacer de la solución.

5.1 Requisitos

En este apartado se describen los requisitos que debe cumplir la infraestructura física para que los componentes de VMware Cloud Foundation funcionen de forma adecuada y que la configuración y mantenimiento de los componentes físicos sea sencilla a la hora de expandir el entorno¹.

5.1.1 Cómputo

Hosts ESXi

Para realizar el despliegue del primer WD (el Management Domain) y todos los componentes necesarios para habilitar el servicio Cloud, se requieren cuatro hosts ESXi con al menos 192 GB de memoria RAM en total. Cada host debe contar con dos interfaces de red físicas (NIC) de al menos 10 Gbit/seg de velocidad.

¹Los requisitos se basan en las cantidades mínimas establecidas en el documento *Planning and Preparation Workbook*, disponible en este enlace: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Validated-Design/6.1/vmware-validated-design-61-vmware-cloud-foundation-41-sddc-planning-and-preparation-workbook.zip>

5.1.2 Almacenamiento

En el Management Domain es obligatorio el uso de un datastore de VMware vSAN, este necesita al menos tres hosts con recursos de almacenamiento para funcionar². Se debe aplicar la configuración All-Flash con discos SSD. Cada host debe tener al menos un grupo de dos discos, con un total de 12.5 TB de almacenamiento persistente y 1.2 TB de almacenamiento caché. VMware vSAN soporta discos con adaptadores SAS, SATA o SCSI y estos pueden estar configurados en modo *pass-through* o RAID 0. En cuanto a esto, es preferible que los discos se configuren en modo *pass-through* ya que permite que estos se puedan gestionar de forma independiente, sin tener que apagar los hosts cuando sea necesario retirar o añadir discos. Para WDs adicionales se puede utilizar almacenamiento NFS en lugar de un datastore de VMware vSAN, aunque la solución de VMware aporta mayor rendimiento y simplifica la administración de esta parte de la infraestructura física.

5.1.3 Red

Switch Top Of Rack

Los hosts están colocados en racks, en un rack puede haber hosts pertenecientes a distintos WD. Para favorecer la alta disponibilidad y tolerancia a fallos de la infraestructura física, un rack debe tener dos switches Top Of Rack (TOR) y cada host debe tener una interfaz conectada a cada uno de ellos, una capa superior de switches conecta los switches TOR entre sí. Todas las conexiones de la red física deben soportar *Jumbo frames* (MTU hasta 9000 Bytes) y etiquetado VLAN, todo para dar soporte a las subredes del SDDC. Todas las conexiones físicas deben tener, al menos, 10 Gbit/seg de velocidad.

Servicios

En el SDDC se deben habilitar varios servicios requeridos por los componentes de VMware Cloud Foundation para su correcto funcionamiento.

- DNS: servidor de nombres para resolver todas las direcciones IP y *hostnames* de los componentes del SDDC.
- DHCP: servidor para asignar de forma automática una dirección IP a los hosts que forman el SDDC.
- NTP: servidor de tiempo para sincronizar la hora de todos los componentes del SDDC.

²VMware vSAN requiere un mínimo de tres hosts mientras que el Management Domain requiere un mínimo de cuatro hosts.

- Router: se requiere para enrutar el tráfico que emiten todas las instancias del SDDC y para dar acceso a redes externas. Debe soportar enrutamiento dinámico BGP y debe tener configuradas las subredes y VLANS que se vayan a utilizar en la infraestructura.
- SMTP: servidor de correo utilizado para el envío de alertas y comunicación de los usuarios con el administrador del SDDC.
- Active Directory: servidor de usuarios y grupos de usuarios que el SDDC utiliza como fuente para configurar el acceso a cada parte de la infraestructura virtual.
- Certificate Authority: se debe configurar una autoridad certificadora que genere certificados firmados para cada uno de los componentes de VMware Cloud Foundation. Permite establecer conexiones seguras cuando se accede a los componentes.

5.2 Prueba de concepto

Para no afectar al funcionamiento de los trabajos que se llevan a cabo en el CITIC, el proyecto se lleva a cabo en un entorno aislado formado por un host y un datastore, en el cual se despliegan todos los componentes de VCF con el fin de mostrar y probar las capacidades y características de VMware Cloud Foundation. El proceso se realizará siguiendo la metodología Scrum, donde en cada ciclo se realiza el despliegue de uno o varios componentes y posteriormente se revisa su configuración y funcionamiento. Primero se instalarán los componentes base de VMware Cloud Foundation³ usando el programa VMware Lab Constructor (VLC) v4.0.1⁴. Despues se instalarán los componentes de la suite VMware vRealize, uno dedicado a la gestión de usuarios del SDDC, otro que proporciona un servicio de aprovisionamiento de recursos y otro que se encarga de la medición de los recursos. Finalmente, se comprobará el funcionamiento general del SDDC y las posibilidades que ofrece el servicio Cloud desplegado.

5.2.1 Preparación

En esta sección se describe como se prepara el entorno de pruebas con los elementos y servicios utilizados para realizar el despliegue de la solución y necesarios para su correcto funcionamiento.

VMware Lab Constructor v4.0.1

El programa VMware Lab Constructor v4.0.1 (VLC), es una herramienta desarrollada por trabajadores de VMware, la cual permite crear un entorno embebido dentro del host utilizado

³Los componentes base de VCF son VMware vSphere, VMware vSAN y VMware NSX-T

⁴Herramienta que permite crear de forma automatizada un entorno embebido para probar las funcionalidades de VMware Cloud Foundation.

como entorno de pruebas. Este entorno se compone de cuatro hosts con el hipervisor ESXi en forma de VMs. Dentro de estos hosts, VLC despliega los componentes de VCF.

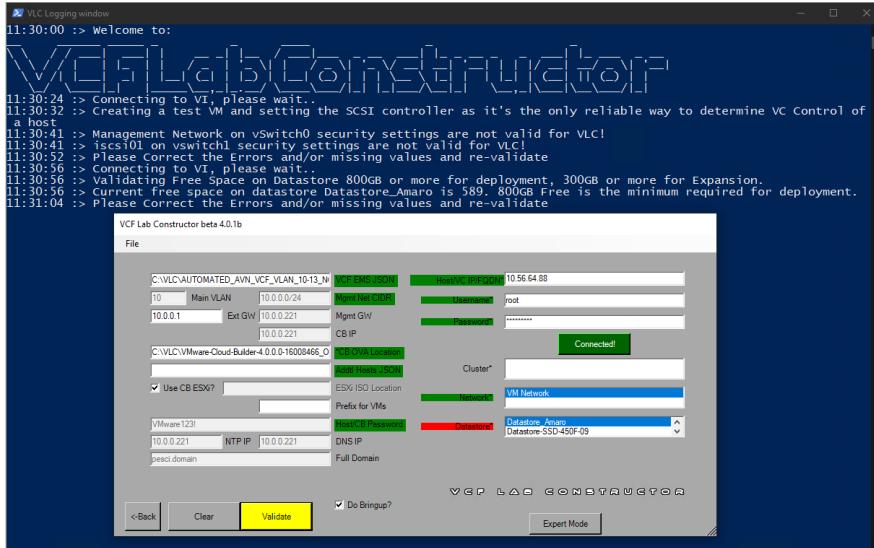


Figura 5.1: Herramienta VMware Lab Constructor v4.0.1b

Host ESXi

El host sobre el que VLC realiza la instalación del entorno se trata de un servidor con el hipervisor ESXi instalado. Este servidor cuenta con una memoria RAM de 192 GB, una CPU de 28,8 GHz y está conectado a un datastore formado por discos SSD y con una capacidad de 3 TB. Además, incorpora dos interfaces de red. La primera interfaz se conecta a una red para acceder al datastore, mientras que la segunda, representada con el nombre *vmnic0* en la figura 5.3, se conecta a una red utilizada para acceder de forma remota al servidor y a otra red dedicada a comunicar los componentes desplegados dentro del host.

Servicios

Los servicios externos requeridos por VCF se sitúan dentro del mismo servidor físico. Estos están colocados en una VM con el sistema operativo Windows Server 2016, el cual incluye DNS, NTP, SMTP, y los servicios Active Directory (AD) y Certificate Authority (CA). También incorpora un router en forma de VM con el sistema operativo VyOS, que además cuenta con servicio DHCP. El servidor DNS utiliza *pesci.domain* como nombre de dominio. El almacén Active Directory sustituye al directorio de usuarios de la UDC para poder manejar cuentas de usuarios sin causar conflictos en el funcionamiento de los servicios en producción.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

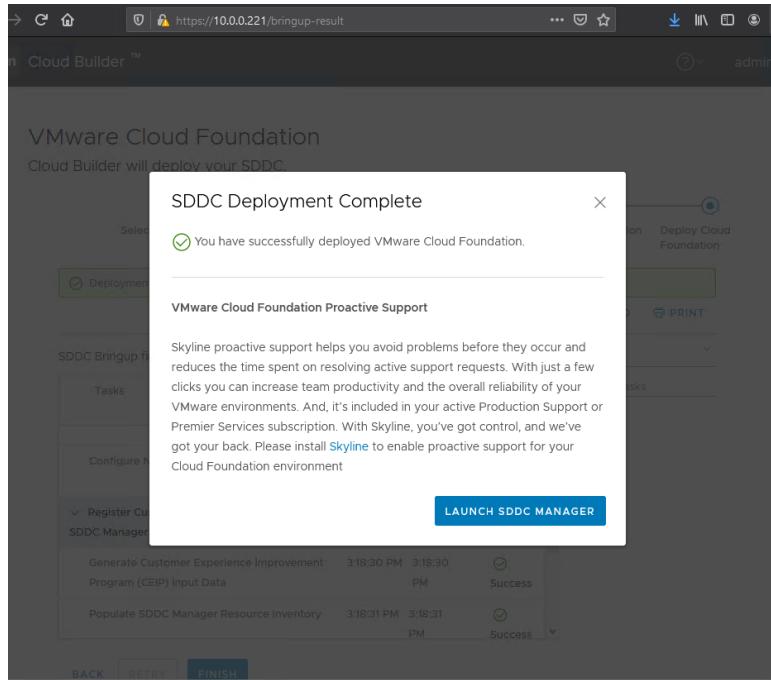


Figura 5.2: Finalización del despliegue inicial de VMware Cloud Foundation.

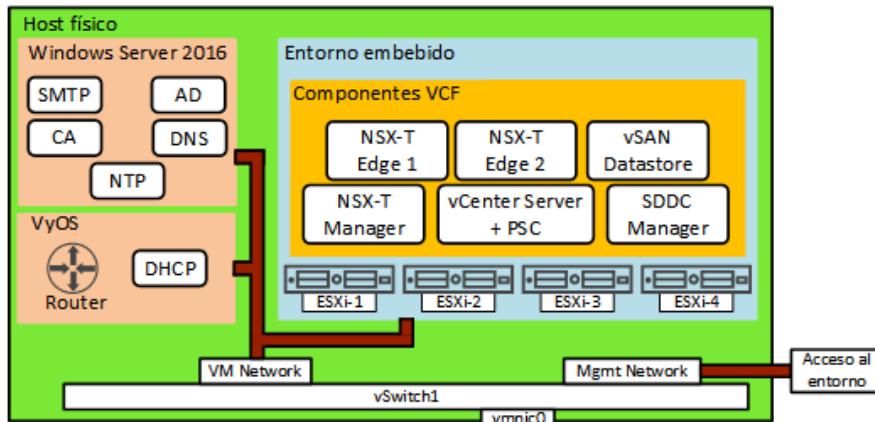


Figura 5.3: Servicios desplegados y entorno embebido generado por VLC dentro del host físico.

Una vez finalizado el despliegue como se muestra en la figura 5.2, el entorno embebido generado con VLC dentro del host físico, incluyendo las VMs de los componentes de VCF y los servicios necesarios para su correcto funcionamiento, se muestra en la figura 5.3. Esta figura también incluye las dos redes a las que se conecta la interfaz *vmnic0* del host. *VM Network* comunica a todos los elementos desplegados y representa la red física del entorno. La red *Mgmt Network* se utiliza para acceder al host de forma remota.

5.2.2 Diseño y configuración del Management Domain

En esta sección se describen las funciones y configuración establecida de los componentes de VCF, tanto los desplegados con la herramienta VLC como los instalados manualmente para completar las funcionalidades de la solución.

Se implementará el modelo de arquitectura consolidado debido a que solo se utilizan cuatro hosts. El entorno estará formado por una Region con una Availability Zone y un Workload Domain con un único cluster vSphere en su interior. El Workload Domain generado se denomina Management Domain a pesar de que contendrá tanto las operaciones de administración como la de los usuarios.

Diseño de VMware vCenter Server

El componente VMware vCenter Server es el punto de acceso y de control de todas las VMs localizadas en los hosts ESXi bajo su dominio. Esta instancia de vCenter Server contiene un dominio con un cluster vSphere que agrupa a los cuatro hosts ESXi que forman el Management Domain. Estos hosts se denominan respectivamente *esxi-1*, *esxi-2*, *esxi-3* y *esxi-4*, el primero cuenta con 96 GB de memoria RAM, el resto con 64 GB de memoria RAM y cada host tiene un total de 19,9 GHz de CPU. Desde VMware vCenter Server el administrador del SDDC gestiona los recursos de las VMs de cada componente, monitoriza los recursos del entorno, administra la creación y asignación de roles, permisos y usuarios, gestiona los grupos de discos que forman el datastore de VMware vSAN, determina las redes a las que se conecta cada componente, establece la configuración de disponibilidad y recuperación ante fallos proporcionada por VMware vSphere, en definitiva, VMware vCenter Server es el punto desde donde se controla y administra la infraestructura.

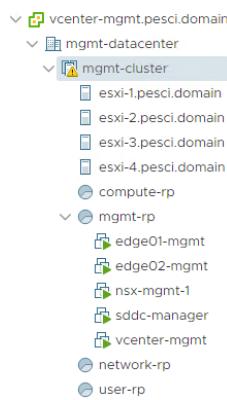


Figura 5.4: Dominio de la instancia de VMware vCenter Server.

En la imagen anterior se muestra el dominio *vcenter-mgmt.pesci.domain* de la instancia de VMware vCenter Server y el cluster vSphere *mgmt-cluster* donde se alojan los componentes

del Management Domain.

Diseño cluster VMware vSphere

Los cuatro hosts desplegados para el Management Domain están agrupados en un cluster de VMware vSphere, donde se encuentran las VMs de los componentes de VCF (figura 5.4). Gracias a dos funcionalidades de este componente, se establece una configuración para mantener activas las VMs desplegadas dentro de este cluster mediante el balanceo de forma automatizada del consumo de recursos y la recuperación del servicio de las VMs cuando alguna sufre un fallo. Estas funciones de VMware vSphere son:

- vSphere High Availability: establece una cantidad de recursos que se reserva de los disponibles en el cluster vSphere, y se encarga de reiniciar una VM cuando deja de estar operativa. Para este cluster se establece una reserva el 25% de la CPU total y el 25% de la memoria RAM total. De esta forma, se asegura que una cuarta parte de los recursos disponibles están reservados para reiniciar, en un host diferente, una VM que ha dejado de funcionar.
- vSphere DRS: se encarga de migrar VMs de un host a otro dentro del cluster vSphere con el objetivo de balancear la carga de trabajo entre los hosts disponibles. Usando este servicio se garantiza que cada VM obtiene la capacidad necesaria para funcionar correctamente, y aumenta la eficiencia del cluster al hacerse un mejor uso de sus recursos. Para realizar las migraciones entre hosts, vSphere DRS utiliza la funcionalidad vMotion, el cual permite mover una VM de un host a otro manteniendo el estado en el que se encontraba, y manteniendo activo el servicio de la VM. Por ejemplo, si el consumo de recursos de un host está alrededor del 100%, vSphere DRS lo detecta e inicia la migración de la VM mediante vMotion, a otro host con recursos disponibles.

Combinando estas dos funcionalidades, las tareas de mantenimiento se reducen ya que es VMware vSphere quien, de forma automática y transparente se encarga de monitorizar el estado de las VMs y los hosts, de optimizar el uso de recursos y de asegurarse de que existen suficientes recursos para la ejecución de todos los flujos de trabajo.

Diseño de red para el cluster vSphere

A parte de controlar la disponibilidad de los recursos, VMware vSphere también se encarga de gestionar las redes a las que se conecta cada VM, permitiendo separar cada tipo de tráfico en subredes y asignarles unas propiedades específicas. Para llevar esto a cabo y que las VMs puedan conectarse a la red externa y comunicarse con el resto de VMs, dentro del cluster vSphere se crea un vSphere Distributed Switch (vDS), en el cual se configuran puertos a los que se conectan las VMs alojadas en el cluster vSphere.

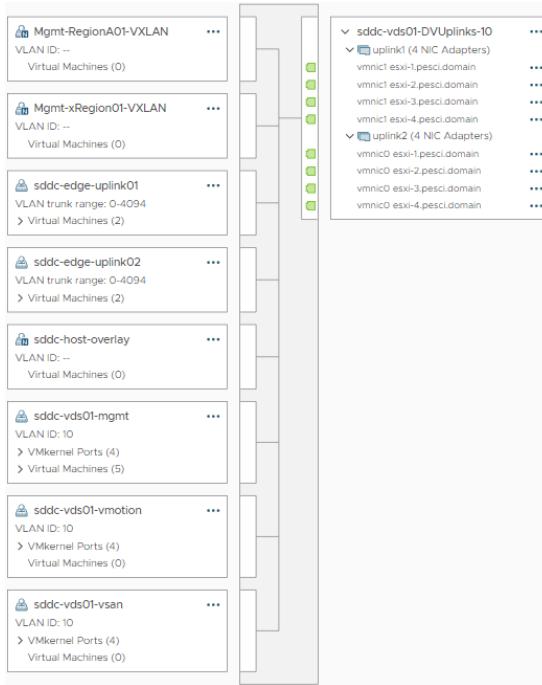


Figura 5.5: Contenido de vSphere Distributed Switch *sddc-vds01*.

Como se muestra en la figura anterior, el vDS creado para el cluster vSphere del Management Domain contiene varios puertos, donde hay VMs conectadas, y dos interfaces uplink (*sddc-vds01-DVUplinks-10*). Estas dos interfaces, *uplink1* y *uplink2*, representan las interfaces de red físicas de cada host y son las que dan salida al tráfico de las VMs hacia la red física del entorno. Cada uno de los puertos tiene una función específica, estos son, *sddc-vds01-mgmt*, dedicado al tráfico de configuración y gestión que los componentes de VCF envían entre sí, *sddc-vds01-vmotion*, dedicado al tráfico de las migraciones de VMs entre hosts llevadas a cabo por la funcionalidad vMotion, *sddc-vds01-vsxn*, usado por las VMs para acceder al datastore de VMware vSAN, *sddc-edge-uplink01* y *sddc-edge-uplink02*, puertos usados por los componentes de VMware NSX-T para dar salida, hacia la red física, al tráfico de las redes virtuales que gestiona este componente de VCF. Los demás puertos que se muestran en la imagen son generados de forma automática por VMware NSX-T.

En la configuración de cada puerto, se establece la VLAN que se asigna a su tráfico, las interfaces uplink por las que se transmite su tráfico hacia la red física, cómo se balancea la carga entre cada interfaz uplink, y la prioridad que se asigna a su tráfico respecto al resto de puertos. Los puertos, cuyo tráfico tiene mayor prioridad son *sddc-vds01-vsxn* y *sddc-vds01-vmotion*, con el fin de asegurarse de que obtienen el suficiente ancho de banda y así facilitar la transmisión de archivos de gran tamaño.

De esta forma, las propiedades del tráfico de cada subred son configuradas a través de VMware

vSphere. Además, es necesario configurar cada subred en los dispositivos físicos, el router VyOS en este caso, pero una vez hecho las propiedades del tráfico se controlan únicamente desde VMware vSphere, minimizando los cambios en la infraestructura de red física.

Diseño almacenamiento VMware vSAN

Los hosts del Management Domain utilizan como almacenamiento un datastore del componente VMware vSAN. Está formado por 16 discos SSD agrupados en cuatro grupos con configuración All-Flash, cada grupo está asociado a un host. Para mantener la disponibilidad de los ficheros almacenados en el datastore, se establece la opción *Failures-To-Tolerate* (FTT) igual a uno. De esta forma, VMware vSAN mantiene dos copias de los archivos generados por las VMs y las coloca en grupos de discos distintos, de forma que si ocurre un fallo en alguno de los hosts las VM seguirán teniendo acceso a sus archivos. Esta configuración equivale a tener un sistema de almacenamiento RAID 1, pero con la ventaja de que no se ha modificado la configuración del hardware y, si fuera necesario, se podría aumentar el número de réplicas simplemente editando el valor de FTT desde el portal de VMware vCenter Server. Como se muestra en la figura 5.6, VMware vSAN mantiene una copia del mismo archivo en dos hosts/grupos de discos diferentes, mientras la configuración física de cada grupo de discos es de tipo RAID 0. La configuración del FTT se aplica a nivel de VM, pudiendo aplicar a cada una una configuración de disponibilidad diferente mediante la creación de políticas, como se observa en la figura 5.7. Las VMs acceden al *datastore* a través de una subred que utiliza su propia VLAN y a la que todos los hosts están conectados.

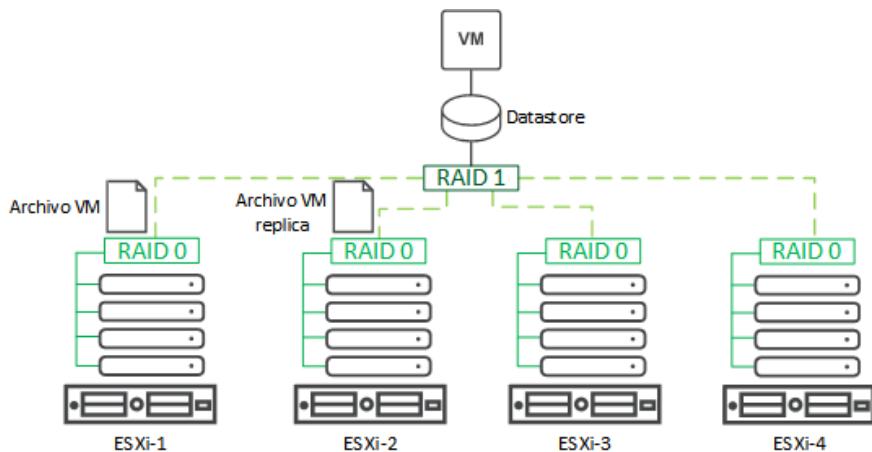


Figura 5.6: Ejemplo de como se almacena un archivo con VMware vSAN y FTT igual a uno

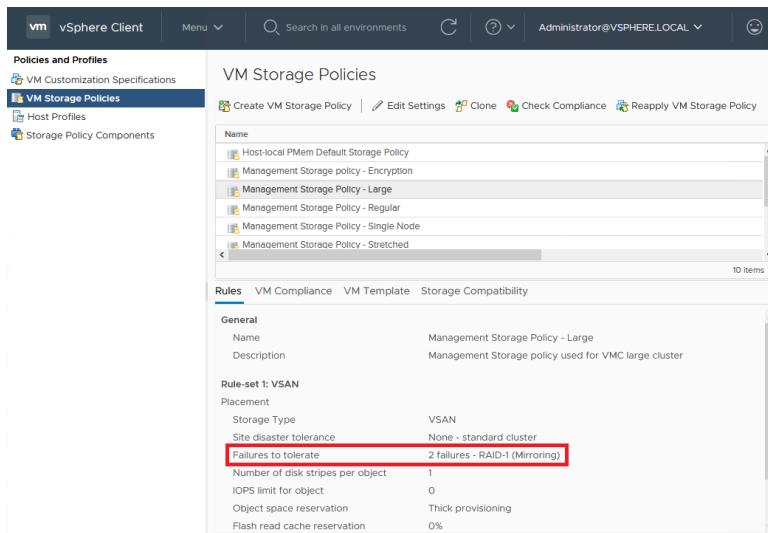


Figura 5.7: Política de almacenamiento vSAN con FTT igual a dos.

Utilizar el sistema de almacenamiento de VMware vSAN supone una gran mejora respecto al sistema de almacenamiento basado en LUNs, utilizado actualmente en el CPD del CITIC. VMware vSAN monitoriza los dispositivos de almacenamiento y configura la redundancia de los archivos de forma dinámica y sencilla, permitiendo establecer una configuración específica según sea necesario, sin modificar los dispositivos físicos de almacenamiento. Con el sistema basado en LUNs es obligatorio modificar la estructura y configuración de los dispositivos físicos cada vez que se quiera establecer una configuración de redundancia diferente en el sistema de almacenamiento, lo cual supone un gran coste para el administrador y un aumento de los riesgos. Si tomamos el ejemplo de la figura anterior, la redundancia el sistema gestionado por VMware vSAN, con FTT igual a 1, podría ser aumentada estableciendo la opción de configuración FTT igual a 2. Así, se crearía una nueva copia del archivo en un tercer host/grupo de discos mientras la configuración física se mantiene igual.

Diseño de la red del SDDC con VMware NSX-T

En el entorno de pruebas existe una red virtual que se define mediante software mantenida por VMware NSX-T, que al estar desacoplada de la infraestructura física se puede gestionar sin necesidad de modificar la configuración de la red física. Esto implica que se pueden aplicar diferentes configuraciones de red de forma sencilla, mejorando y simplificando su administración y seguridad. La virtualización de la red con VMware NSX-T se basa principalmente en el concepto de Segment:

- Segment: se trata de un dominio de broadcast de capa 2 (una subred) al cual las VMs se conectan.

Un Segment se extiende por diferentes hosts los cuales pueden estar en la misma red a nivel físico o en distintas partes de la infraestructura. De esta forma, las VMs situadas en hosts con acceso a un Segment pueden conectarse a él y comunicarse de forma directa con otras VMs situadas en un host conectado a una red física diferente. Es decir, con un Segment se pueden comunicar diferentes puntos de la infraestructura sin cambiar la estructura de la red física, ya que VMware NSX-T se encarga de encapsular el tráfico al salir de un host cuando su destino se encuentra en una red física diferente a la de origen, haciendo creer al destinatario y al remitente que se encuentran en la misma subred (figura 5.8).

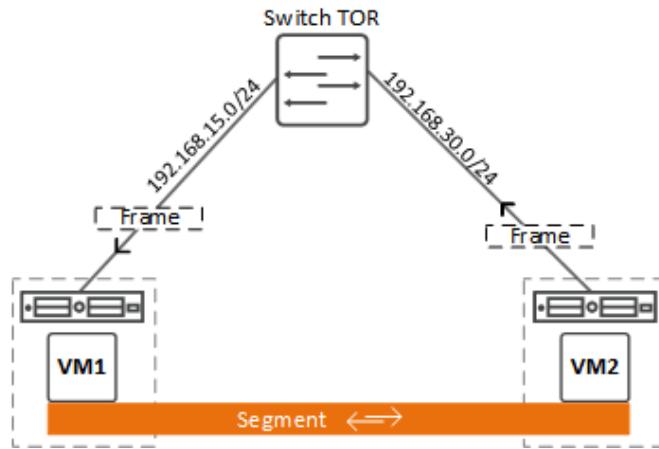


Figura 5.8: Ejemplo de cómo la comunicación entre dos VMs a través de un Segment es realizada transportando el tráfico a través de diferentes redes físicas.

En el entorno de pruebas existen cuatro Segments, *Mgmt-Region01A-VXLAN* y *Mgmt-xRegion01-VXLAN*, ambos dedicados a dar acceso a la red a los componentes de VMware vRealize Suite y a las VMs desplegadas por los usuarios, y *VCF-edge_mgmt-cluster_segment_11* y *VCF-edge_mgmt-cluster_segment_12*, utilizados para dar salida hacia el router VyOS al tráfico que proviene de los Segments anteriores.

Los encargados de gestionar el enrutamiento entre Segments y hacia la red externa son las instancias de NSX-T Edge. Para ello, internamente forman una estructura de routers virtuales que a parte de realizar las tareas de enrutamiento proporcionan servicios de red como NAT, Load Balancing, DNS, DHCP, VPN y Firewall, y mantienen rutas redundantes hacia el dispositivo físico de red.

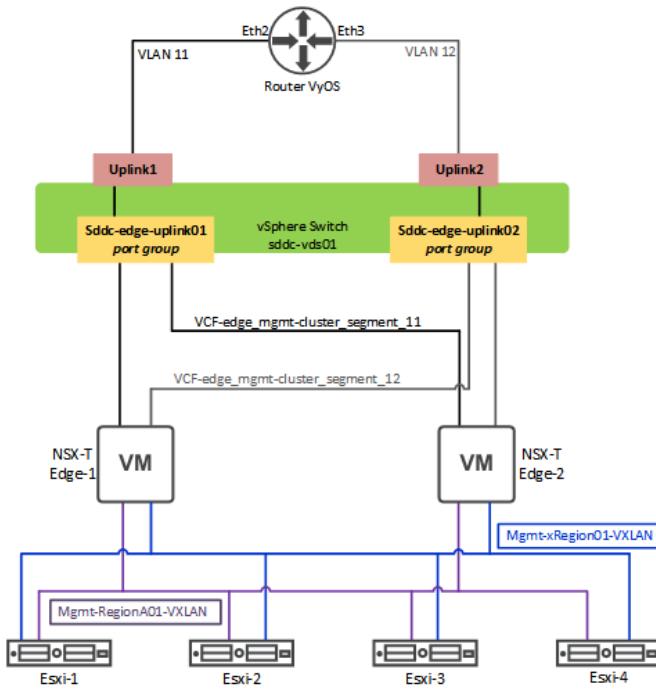


Figura 5.9: Segmentos a los que se conecta cada host del entorno y cómo estos acceden a la red física a través de las VMs de NSX-T Edge.

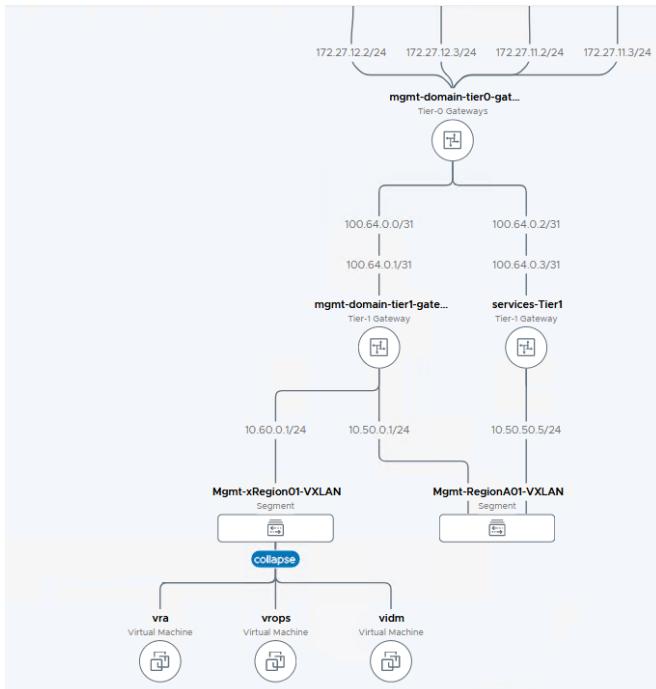


Figura 5.10: Topología virtual de las redes virtuales construidas en VMware NSX-T.

En la primera figura 5.9, se muestra como cada host se conecta a los dos Segments disponibles para que las VMs que se residen en ellos puedan acceder a la red física, en última instancia a través del vDS desplegado en el cluster de VMware vSphere. En la segunda figura 5.10, se muestra la misma estructura pero desde el punto de vista interno de VMware NSX-T. En ella se aprecian los dos Segments donde uno de ellos tiene tres VMs conectadas (componentes de VMware vRealize Suite), y tres routers virtuales, dos de tipo Tier-1 y uno de tipo Tier-0. Los routers Tier-1 proporcionan servicios de red y enrutamiento entre Segments, *services-Tier1* contiene un servidor DHCP para las VMs que se conecten al Segment *Mgmt-Region01A-VXLAN*, mientras que el router de tipo Tier-0 se encarga de dirigir el tráfico hacia la red física (router VyOS) a través de cuatro conexiones que se corresponden con las que se conectan al vDS que se muestra en la figura 5.9. Para que el router VyOS tenga conocimiento de las subredes virtuales/Segments existentes, las instancias de NSX-T Edge se las comunica mediante el protocolo de enrutamiento dinámico BGP.

Usando VMware NSX-T el administrador puede gestionar y crear redes para ser consumidas por los usuarios de la plataforma. La creación de estas redes virtuales se hace bajo demanda y no requiere ninguna configuración adicional en los dispositivos de la red física. Su gestión se realiza siempre desde VMware NSX-T, el cual permite monitorizarlas, controlar su seguridad y establecer servicios dedicados. Además, permite extender una red virtual sobre diferentes redes físicas, permitiendo acceder a las VMs conectadas a esa red virtual desde diferentes puntos del SDDC, lo cual implica que una VM se puede migrar de una localización a otra para aumentar su disponibilidad sin necesidad de cambiar su configuración de red. En la infraestructura actual del CITIC todo esto no es posible ya que las redes que se crean dentro del entorno deben configurarse previamente sobre la red física, y todos los servicios de red necesarios deben ser proporcionados también desde dispositivos físicos, es decir, no existe actualmente en el CITIC una plataforma que permita gestionar las redes de la infraestructura de una forma dinámica y sin un alto coste en tiempo y riesgos.

5.2.3 Operaciones de la Arquitectura

En este punto ya se ha formado el SDDC, la configuración de la infraestructura física y de todos sus componentes está lista para desplegar los componentes que habiliten el servicio Cloud de aprovisionamiento de recursos. Este último paso se completará con los productos agrupados bajo VMware vRealize Suite. Se utilizarán tres de estos productos, vRealize Operations Manager(vROps), Workspace One Access (WSA) y vRealize Automation (vRA).

Workspace One Access

WSA permite integrar un directorio de usuarios para proporcionarles acceso al servicio Cloud. Así, en el entorno real del CITIC, WSA estaría integrado con el directorio de usuarios

de la UDC para que estos pudieran acceder al servicio de aprovisionamiento utilizando las credenciales de la UDC.

En el entorno de pruebas, WSA está integrado con el directorio de usuarios Active Directory situado en la VM con Windows Server 2016. Este Active Directory contiene perfiles de usuarios y grupos de usuarios organizados en unidades organizativas. Los perfiles de usuario se añaden a grupos de usuarios y la creación y mantenimiento de sus credenciales se realiza desde el propio Active Directory. Desde WSA se seleccionan los usuarios y grupos de usuarios que se quieren sincronizar, para habilitarlos dentro del SDDC y posteriormente configurar su acceso al servicio Cloud. Como norma general, los permisos y roles se deben aplicar sobre grupos de usuarios y no a perfiles individuales, de esta forma se reduce el tiempo de gestión y se simplifica la estructura del directorio ya que se configura el acceso de un conjunto de usuarios al mismo tiempo.

Los usuarios configurados en el Active Directory son sincronizados en WSA y serán utilizados para mostrar las funcionalidades del servicio Cloud como si se tratase del entorno en producción. Para realizar la sincronización se seleccionarán las unidades organizativas necesarias.

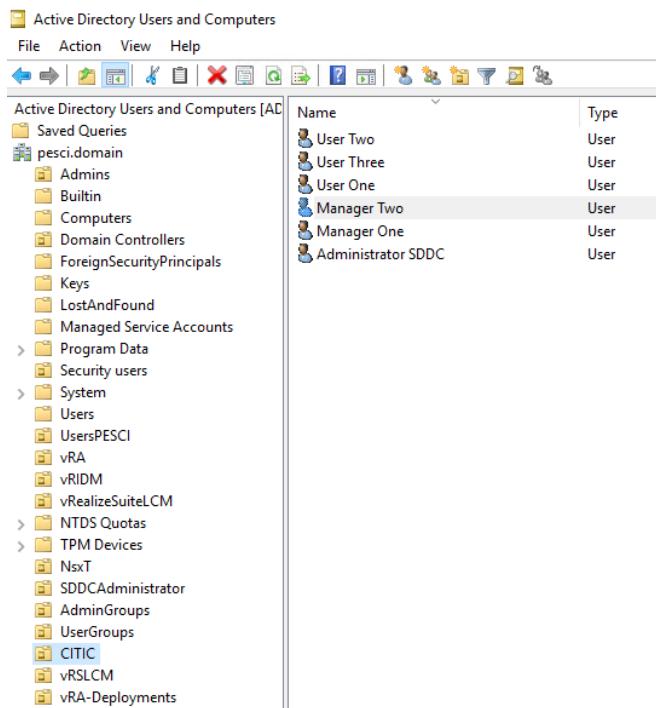


Figura 5.11: Unidades organizativas configuradas en el AD junto a los usuarios pertenecientes a la unidad CITIC.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

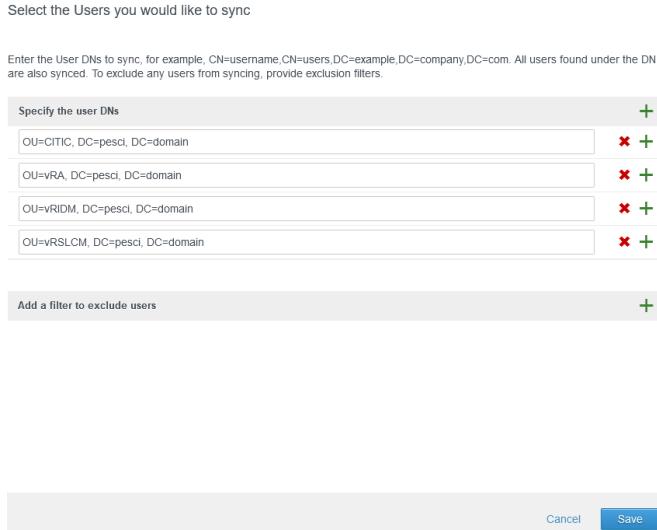


Figura 5.12: Sincronización de usuarios desde Workspace One Access seleccionando Unidades Organizativas.

User Name	User ID	Domain	Directory	VMware Verify ...	Groups	Status
Admin_Local	admin	System Domain	System Directory	N/A	ALL USERS	Enabled
configadmin.c...	configadmin	System Domain	System Directory	N/A	ALL USERS	Enabled
One_User	user.1	pesci.domain	pesci.domain	N/A	ALL USERS	Enabled
One_Manager	manager.1	pesci.domain	pesci.domain	N/A	ALL USERS	Enabled
SDDC_Admin...	admin.sddc	pesci.domain	pesci.domain	N/A	ALL USERS, svc...	Enabled
Three_User	user.3	pesci.domain	pesci.domain	N/A	ALL USERS	Enabled
Two_User	user.2	pesci.domain	pesci.domain	N/A	ALL USERS	Enabled
Two_Manager	manager.2	pesci.domain	pesci.domain	N/A	ALL USERS	Enabled

Figura 5.13: Usuarios sincronizados en Workspace One Access.

El acceso al servicio Cloud está centralizado a través de una plataforma de autenticación proporcionada por WSA. Cuando el usuario intenta acceder al servicio este es redirigido a una página web donde introduce sus credenciales, WSA comprueba los datos introducidos y vuelve a redirigir al usuario a la pantalla del servicio. Utilizando esta plataforma de autenticación el administrador del SDDC puede obtener estadísticas sobre qué usuarios se autentican, a qué servicios acceden y desde dónde lo hacen. Además, también se pueden modificar los parámetros de autenticación y la configuración las sesiones de usuarios, permitiendo definir si el usuario debe utilizar su cuenta de correo electrónico o nombre de usuario para iniciar sesión o si se utilizan cookies de sesión o persistentes. Por si esto fuera poco, también existe la posibilidad de crear políticas para controlar desde dónde pueden los usuarios acceder al

servicio y el tiempo de duración de las sesiones. En la siguiente figura se muestran las reglas de la política por defecto que se aplica, en esta se permite el acceso desde cualquier dirección IP, a través de un navegador web, usando su contraseña y con un tiempo de sesión de 8 horas.

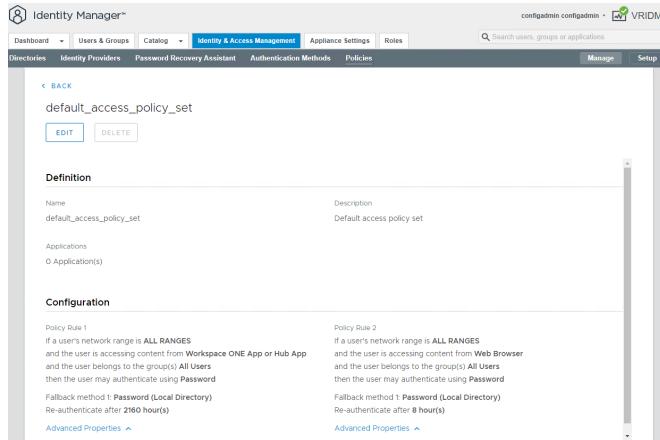


Figura 5.14: Política de autenticación por defecto establecida en WSA.

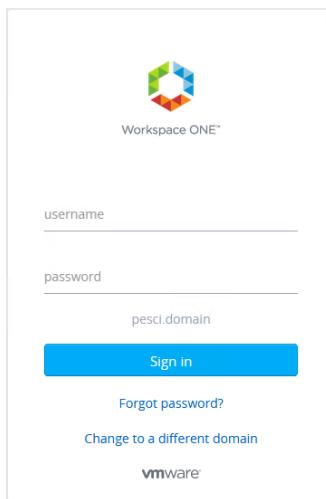


Figura 5.15: Plataforma de autenticación de Workspace One Access.

Con WSA el administrador tiene un mayor control sobre los usuarios y cómo estos acceden al servicio Cloud, ya que desde un único punto se gestionan todos los perfiles de usuarios disponibles y la seguridad de acceso, pudiendo controlar qué usuarios acceden y establecer medidas de seguridad de forma sencilla. La gestión de las credenciales de cada usuario se separa de la gestión del acceso, ya que lo primero está controlado por el AD y lo segundo por WSA. De esta forma la seguridad del entorno aumenta y las tareas del administrador se simplifican. Con esta plataforma se soluciona uno de los problemas de la infraestructura del CITIC, ya no

es necesario crear un perfil manualmente para cada usuario que quiera acceder al servicio y su gestión se centraliza en un componente dedicado a ello.

VMware vRealize Automation

VMware vRealize Automation es el componente de VMware vRealize Suite que automatiza el aprovisionamiento de recursos del SDDC. Con esta plataforma los usuarios elaboran diseños de los recursos que necesitan para posteriormente implementarlos y llevar a cabo sus trabajos. Estos diseños, son archivos con formato .yaml en los que se especifican los recursos de la infraestructura que se quieren utilizar y su configuración, como el tamaño de una VM, su sistema operativo, creación de usuarios, instalación de paquetes, redes a las que se conecta, almacenamiento que utiliza o su localización en la infraestructura. Una vez completado el diseño, el usuario lo ejecuta y vRA se encarga de aprovisionar todos los recursos especificados, de forma ordenada, automatizada y transparente. El administrador del SDDC es el encargado de establecer qué recursos de la infraestructura están disponibles para los usuarios, asignando a cada uno un tag con la forma *key:value* para que puedan ser referenciados.

Para separar el flujo de trabajo de diferentes usuarios, vRA permite la creación de proyectos que agrupan a un conjunto de usuarios, en los cuales se habilitan diseños a los que solo los miembros del proyecto tienen acceso. En cada proyecto existe el rol de administrador de proyecto y el de miembro de proyecto, el primero es el que se encarga de determinar qué usuarios tienen acceso al proyecto y de habilitar los diseños en un catálogo, el segundo solo tiene acceso a los proyectos donde ha sido admitido para aprovisionar y utilizar los recursos establecidos en los diseños disponibles. El administrador del SDDC se encarga de la creación de cada proyecto y de establecer recursos la cantidad de recursos disponibles para cada uno.

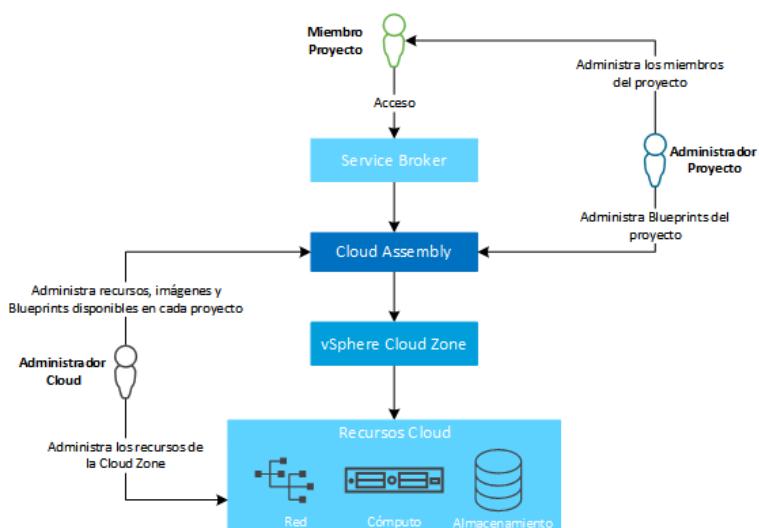


Figura 5.16: Uso y componentes de VMware vRealize Automation.

Como se muestra en la figura anterior, en vRA existen tres componentes principales que son Service Broker, a través del cual los usuarios tienen acceso a los diseños e implementaciones de sus proyectos, Cloud Assembly, donde el administrador del SDDC establece los recursos disponibles y donde los administradores de cada proyecto elaboran los diseños, y Cloud Zone, punto desde donde vRA accede a la infraestructura para obtener los recursos. vRA soluciona las principales carencias de la infraestructura del CITIC y su servicio de virtualización, que son la falta de automatización en el aprovisionamiento y la falta de control sobre el uso y el acceso a los recursos. Con vRA se proporciona un servicio Cloud de tipo IaaS para la obtención de recursos de forma medida y bajo demanda, mientras el administrador del SDDC puede controlar a qué recursos accede cada usuario y cuantos recursos pueden utilizar mediante el uso del servicio de valoración proporcionado por vROps.

vRealize Operations Manager

vROps se instala en el entorno para establecer un sistema de valoración de los recursos. Gracias a este componente, el administrador del SDDC será capaz de establecer una valoración de los recursos consumidos por los usuarios con el fin de establecer un límite de consumo total para cada usuario. Además, también permitirá al administrador del SDDC acceder a estadísticas y eventos donde vROps analiza información obtenida de la infraestructura para detectar problemas, proponer soluciones y monitorizar el uso de recursos. vROps monitoriza y obtiene métricas de los recursos disponibles en VMware vCenter Server, VMware NSX-T y VMware vSAN para recopilar los eventos e información de cada uno de ellos con el objetivo de predecir posibles problemas y automatizar la aplicación de soluciones. Además, se integra con vRealize Automation para mostrar al usuario en su portal de acceso, información sobre los recursos que utiliza.

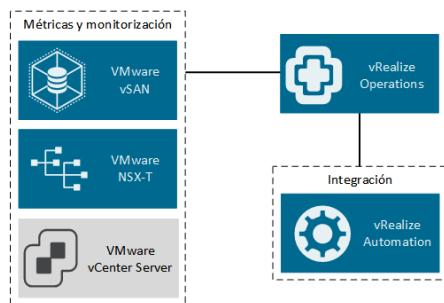


Figura 5.17: Componentes con los que se comunica vROps.

El sistema de valoración que se puede habilitar con vROps consiste en que se establecen una serie precios en una divisa determinada. Por el uso de CPU, memoria RAM y almacenamiento se establece un precio y a medida que los usuarios utilicen el servicio Cloud, vROps se

encargará de calcular el precio total de los recursos que ha consumido cada usuario durante un periodo de tiempo. De esta forma el administrador puede obtener una métrica de cuan-
to ha consumido un usuario y, en caso de que supere un límite establecido poder actuar en
consecuencia reduciendo la cantidad de recursos disponibles para el usuario o no permitirle
su uso temporalmente. Esta información sobre cuantos recursos ha consumido un usuario es
accesible por el administrador del SDDC y por el propio usuario desde el portal de vRealize
Automation.

Con este componente se completa el servicio Cloud al añadir un sistema de control sobre el
uso de recursos, hasta ahora inexistente en el servicio del CITIC. El objetivo de este sistema
consiste en optimizar al máximo rendimiento de la infraestructura, evitando que los usuarios
tengan recursos reservados que en realidad no están siendo usados. De esta forma se pueden
liberar esos recursos ociosos y ponerlos a disposición del resto de usuarios.

5.2.4 Servicio Cloud

A lo largo de esta sección se describe la configuración y el funcionamiento de VMware
vRealize Automation y VMware vRealize Operations, con el fin de mostrar sus características
y las mejoras que implica su implementación. Primero se habilitarán los recursos necesarios
dentro del servicio para que luego los usuarios hagan uso de ellos mediante la creación de dos
proyectos e implementación de diseños.

Preparación de los recursos

El aprovisionamiento de recursos con vRA se traduce en la creación de VMs a partir de
plantillas creadas previamente por el administrador del SDDC a las que se les aplica una con-
figuración determinada, y al uso de las subredes y almacenamiento disponibles en la infraes-
tructura.

Con el objetivo de organizar las VMs creadas por los usuarios, en el cluster vSphere del en-
torno de pruebas se crean una carpeta y un *resource pool* donde se colocarán las nuevas VMs
que desplieguen los usuarios, como se muestra en la siguiente figura.

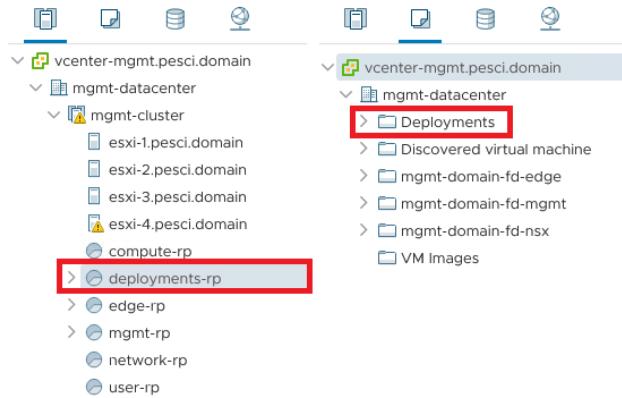


Figura 5.18: Resource pool (izquierda) y carpeta (derecha) creadas para alojar las VMs desplegadas desde vRA.

La red utilizada para dar acceso a las VMs creadas por los usuarios es el Segment *Mgmt-Region01A-VXLAN* disponible en VMware NSX-T⁵, el cual cuenta con un servidor DHCP⁶ y así poder establecer la configuración IP de forma automática de cada nueva VM que se conecte a este Segment. Si fuera necesario, el administrador del SDDC podría generar un Segment diferente en VMware NSX-T por cada proyecto que se cree en vRA, y así separar la red de las VMs de un proyecto del resto de proyectos. Para ello, el administrador crearía un Segment en VMware NSX-T y lo añadiría a vRA. Posteriormente, durante la elaboración de los diseños en vRA se debería hacer referencia al Segment creado específicamente para ese proyecto.

Segment Name	Connectivity	Transport Zone	Subnets	Ports	Admin State	Status ⓘ
Mgmt-Re...	mgmt-domain-tier1-gateway Tier1	mgmt-domain-m01-overlay-tz Overlay	10.50.0.1/24	5	Up	Suc... ⓘ

Detailed configuration for the segment:

- DHCP Config: Enabled
- DHCP Server Address: 10.50.50.5/24
- DHCP Ranges: 10.50.0.100-10.50.0.200
- Lease Time (seconds): 86400
- DNS Servers: 10.0.0.221 and 1 More

Figura 5.19: Segment utilizado para el despliegue de VMs con vRA (arriba) y la configuración del servidor DHCP definida en VMware NSX-T (abajo)

Para que los usuarios tengan plantillas a partir de las cuales generar sus propias VMs, el administrador del SDDC debe crearlas antes. Este proceso consiste en crear una VM, inicializarla con la instalación de un sistema operativo y establecer una configuración base para

⁵Figura 5.10

⁶Como se observa en la figura 5.19, el servidor DHCP está gestionado por VMware NSX-T ya que forma parte de sus servicios de red.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

finalmente generar una plantilla. En el entorno de pruebas se crean dos plantillas de dos sistemas operativos distintos desde VMware vCenter Server, una con Windows Server 2016 (figura 5.20) y otra con CentOS 8 (figura 5.21). Una vez instalados ambos sistemas se habilita al menos un método de acceso, SSH en el caso de CentOS y RDP en Windows Server, y se instala el servicio **cloud-init**⁷ el cual permitirá a los usuarios finales ejecutar comandos de configuración durante el despliegue de una VM para adaptarla a sus requisitos. En sistemas operativos Windows este servicio se llama **cloudbase-init**⁸. Una vez se ha completada la configuración se deben ejecutar una serie de comandos, que en el caso de Windows Server son ejecutados directamente por el instalador de cloudbase-init a través del servicio **sysprep**, para limpiar el sistema y así generar una VM única cada vez que el usuario final utiliza la plantilla. Esto incluye el borrado de paquetes obsoletos y limpieza de logs, claves SSH e identificadores del sistema como direcciones MAC. Una vez se ha completado el proceso se genera una plantilla de cada VM (figura 5.22).

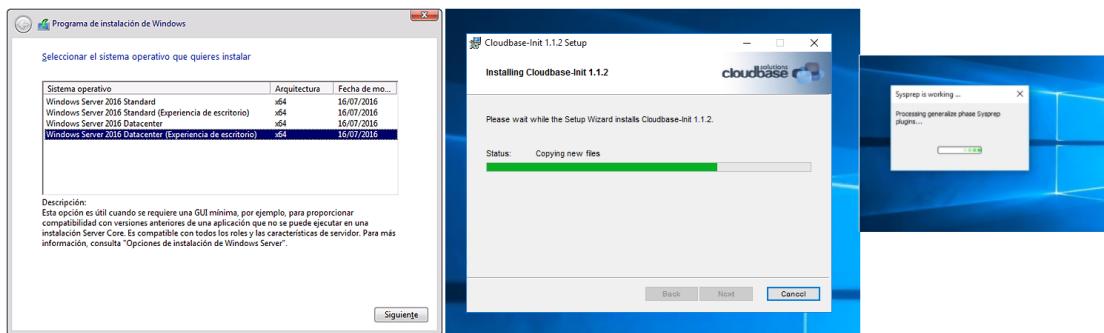


Figura 5.20: Instalación y preparación de la VM con Windows Server 2016 para la creación de una plantilla

⁷Ejemplos de uso y su documentación se pueden encontrar en el siguiente enlace: <https://cloudinit.readthedocs.io/en/latest/topics/examples.html>.

⁸Su documentación se puede encontrar en el siguiente enlace:<https://cloudbase.it/cloudbase-init/>.

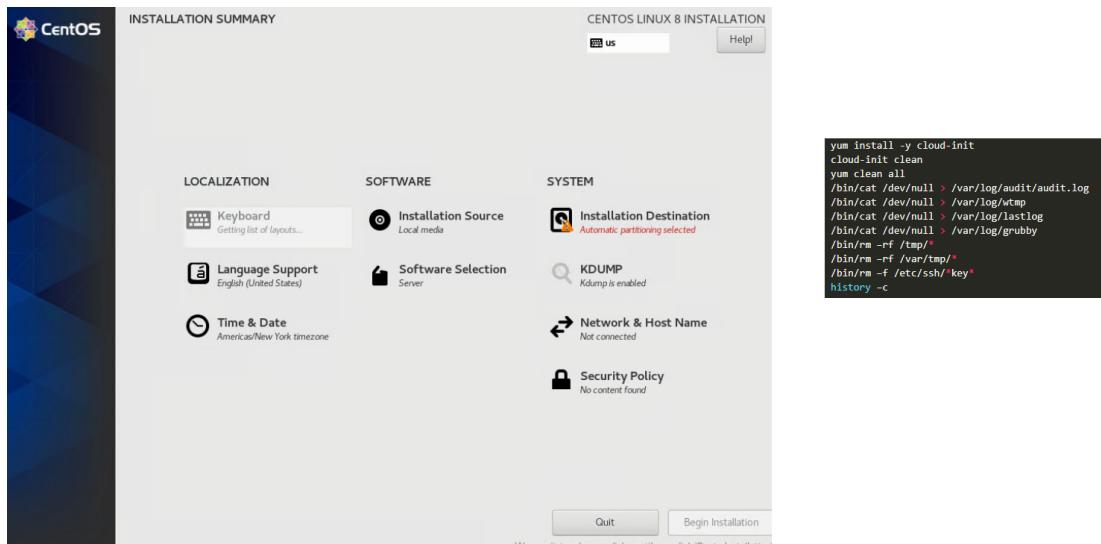


Figura 5.21: Instalación CentOS y comandos ejecutados para la creación de una plantilla.

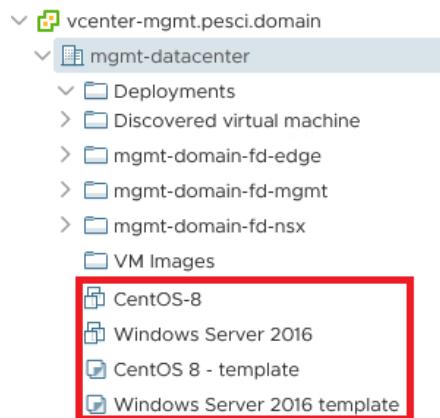


Figura 5.22: Plantillas de CentOS 8 y Windows Server 2016 creadas a partir de sus respectivas VMs.

Configuración de VMware vRealize Automation

Para que los recursos de cómputo, red y almacenamiento de la infraestructura sean consumidos por los usuarios, es necesario habilitarlos en la plataforma de vRA. A medida que se integra cada recurso se le asigna uno o más tags para poder identificarlo y que el usuario lo pueda incluir en sus diseños.

En la siguiente figura se muestran las plantillas creadas anteriormente en VMware vCenter Server. Cada vez que un usuario quiera crear una VM deberá indicar a partir de qué plantilla quiere generarla.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

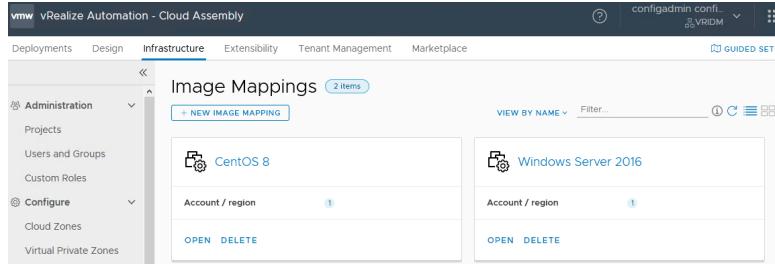


Figura 5.23: Plantillas de CentOS 8 y Windows Server 2016 disponibles en vRA.

Para habilitar el Segment *Mgmt-Region01A-VXLAN*, en vRA se crea un perfil de red y dentro de este se añade la subred deseada. A esta se le asignan los tags *subnet-cidr:10.50.0.0/24*, *function:pro* y *env:pro* como se muestra en la siguiente figura.

Name	Account / Region	Zone	Network Domain	CIDR	Support Public IP	Default for Zone	Origin	Tags
Mgmt-RegionAOI-VXLAN	nsxt-management	mgmt-domain-m01-overlay-tz		10.50.0.0/24	--	Discover red		subnet-cidr:10.50.0.0/24 policyPath:/infra/segments/l function:pro env:pro

Figura 5.24: Subred habilitada en vRA que se corresponde con el Segment *Mgmt-Region01A-VXLAN* configurado en VMware NSX-T.

Los recursos de cómputo se habilitan configurando una Cloud Zone que se muestra en la figura 5.25. Esta integra en vRA los recursos del cluster vSphere del entorno y permite establecer la política a seguir para escoger el host donde se debe desplegar cada VM⁹ y la carpeta y resource pool donde se deben colocar. A esta Cloud Zone se le han asignado los tags *cloud: private* y *region: management*, y al resource pool el tag *resource:rpprivate*.

⁹La opción DEFAULT escoge un host aleatoriamente.

The image shows two side-by-side configuration screens from the vSphere Management interface.

Left Screen (Cloud Zone Configuration):

- Title:** vSphere-Management / mgmt-datacenter
- Summary Tab:** Selected.
- Fields:**
 - Account / region: vSphere-Management / mgmt-datacenter
 - Name: vSphere-Management / mgmt-datacenter
 - Description: (empty)
 - Placement policy: DEFAULT
 - Folder: Deployments
- Capabilities:**
 - Capability tags: cloud:private, region:management

Right Screen (Resource Pool Configuration):

- Title:** mgmt-cluster / deployments-rp
- Summary Tab:** Selected.
- Fields:**
 - Account / region: vSphere-Management / mgmt-datacenter
 - Name: mgmt-cluster / deployments-rp
 - Type: VM_HOST
 - Tags: resource:private

Figura 5.25: Cloud Zone (izquierda) y resource pool (derecha) configurados para utilizar los recursos de cómputo y colocar las VMs desplegadas.

Igual que con los recursos de red, para habilitar los recursos de almacenamiento se debe crear un perfil de almacenamiento como se muestra en la figura 5.26. Este perfil integra al datastore vSAN utilizado por el cluster vSphere del entorno y se establece como el perfil por defecto para aprovisionar recursos de almacenamiento desde vRA. Al perfil se le asignan los tags *cloud: private* y *function: pro*.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

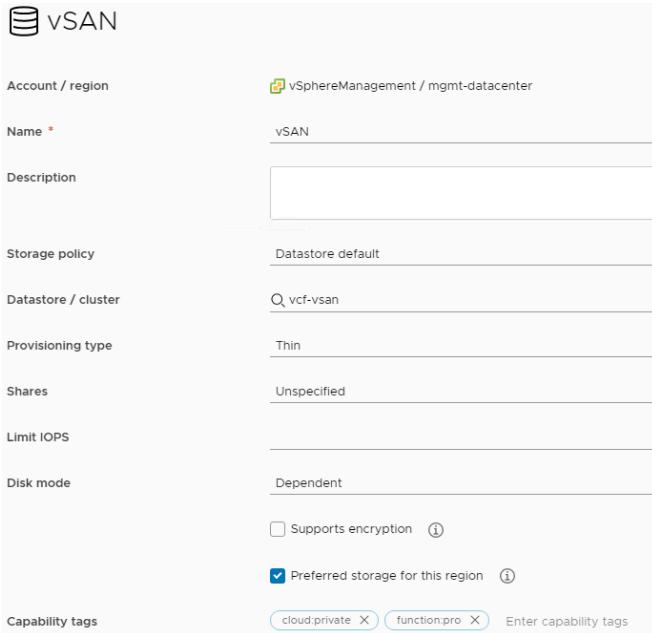


Figura 5.26: Perfil de almacenamiento configurado donde se indica el datastore utilizado para aprovisionar recursos de almacenamiento.

Además, el administrador del SDDC define varios perfiles de tamaños para que los usuarios determinen el tamaño de sus VMs. En estos perfiles se define una cantidad de CPU y memoria RAM con el fin de estandarizar la cantidad de recursos que un usuario puede asignar a una VM. En el entorno de pruebas, estos tamaños van desde *x-small* con 1 CPU y 512 MB de memoria RAM, hasta *large* con 8 CPUs y 16 GB de memoria RAM, mostrados en la siguiente figura.

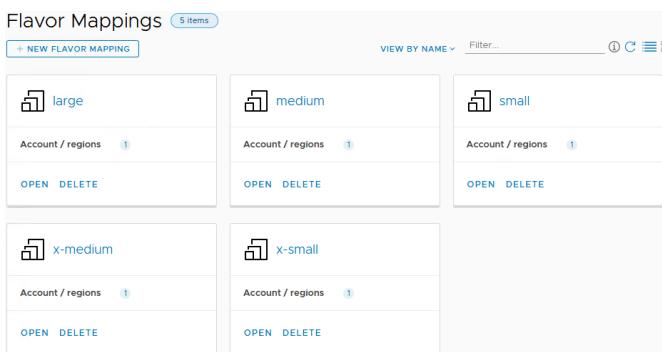


Figura 5.27: Perfiles donde se preestablecen la cantidad de recursos que puede tomar una VM.

Con el objetivo de establecer una valoración de los recursos que utilizan los usuarios, se hace uso de las tarjetas de cobro. Se define una única tarjeta que se aplicará a todos los proyectos que se creen en la plataforma, y a medida que se vayan desplegando VMs se generará

un cálculo total en base al precio asignado a cada recurso, a la cantidad de recursos utilizados y al tiempo que el despliegue se mantiene activo. Tanto el administrador del SDDC como el usuario tendrán acceso a estadísticas sobre el gasto que se realiza y de la cantidad total de recursos utilizados. En la figura 5.28 se muestra la valoración establecida para el consumo de recursos, que es de 1 €/hora por cada CPU cuando la VM está encendida, 2 €/hora por cada GB de memoria RAM cuando la VM está encendida y 0,5 €/hora por GB de almacenamiento mientras el despliegue esté activo.

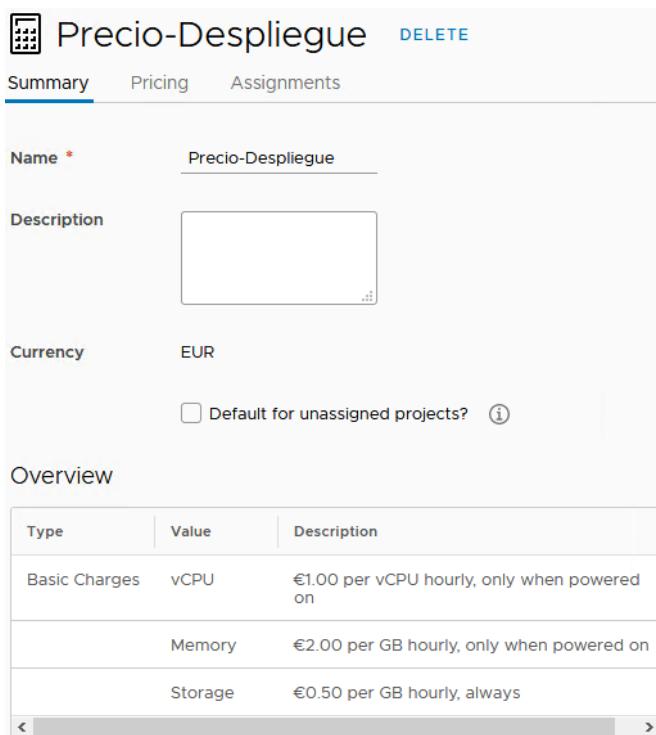


Figura 5.28: Tarjeta de cobro para valorar los recursos consumidos por los usuarios.

Uso del servicio Cloud

La plataforma de vRA ya está lista para ser utilizada por los usuarios. Los usuarios del CITIC que la utilizarán se organizan en proyectos, donde existe al menos un coordinador o administrador de proyecto. Cuando un grupo de usuarios quiere utilizar el servicio Cloud primero debe comunicarlo al administrador del SDDC, el cual crea el proyecto correspondiente y habilita el acceso a cada usuario con sus correspondientes permisos.

Como ya se ha visto en la sección [Workspace One Access](#), en el entorno de pruebas el administrador ha configurado dos proyectos con sus respectivos usuarios, uno llamado Web-DB con el objetivo de que los usuarios pertenecientes puedan construir un sitio web bajo demanda, y otro llamado Server-Desktop donde sus integrantes puedan desplegar dos VMs

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

para realizar cierto trabajo de investigación (figura 5.29). El proyecto Web-DB lo forman el usuario *User One*, *User Two* y *Manager One*, el cual es el coordinador del grupo, y el proyecto Server-Desktop está formado por *User Two*, *User Three* y *Manager Two*, el cual será el coordinador de este segundo grupo. Entonces, a los usuarios *Manager One* y *Manager Two* se les asigna el rol Administrador de Proyecto, y al resto de usuarios el rol Miembro de Proyecto, los primeros podrán controlar los diseños disponibles en el catálogo del proyecto, qué usuarios tienen acceso y los despliegues que estos realicen, mientras que los miembros del proyecto podrán desplegar los diseños habilitados (figura 5.30).

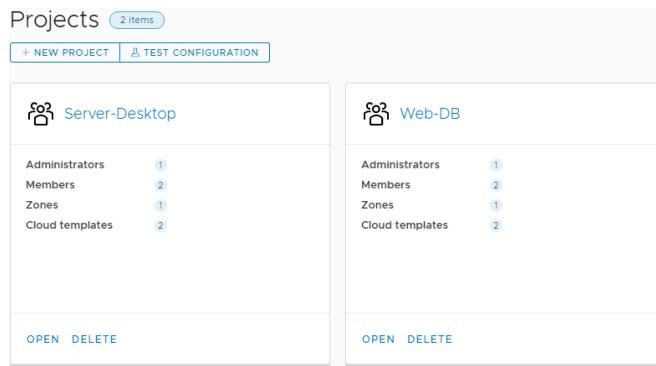


Figura 5.29: Proyectos creados por el administrador del SDDC para dar acceso a los usuarios a vRA.

Name	Account	Role
Manager Two	manager_2	Administrator
User Three	user_3	Member
User Two	user_2	Member

Name	Account	Role
Manager One	manager_1	Administrator
User One	user_1	Member
User Two	user_2	Member

Figura 5.30: Usuarios del proyecto Server-Desktop (izquierda) y usuarios del proyecto Web-DB (derecha).

Durante la creación de los proyectos el administrador establece la cantidad máxima de CPU, memoria RAM y almacenamiento que pueden consumir en total los usuarios del proyecto. Como se trata de un entorno de pruebas en el proyecto Server-Desktop se establece un límite de 2 VMs, 10 GB de memoria RAM y 6 CPUs, y en el proyecto Web-DB un límite de 3 VMs, 10 GB de memoria RAM y 6 CPUs, de esta forma los usuarios del proyecto no podrán superar ninguno de los límites establecidos. Para obtener una valoración del consumo se asigna a cada proyecto la tarjeta de cobro creada anteriormente.

Una vez configurados ambos proyectos los administradores de cada uno pueden acceder y empezar a crear los diseños de los recursos que requieran sus usuarios a través del componente Cloud Assembly. El administrador del proyecto Server-Desktop, *Manager Two*, crea el diseño con el nombre WD-Server que se muestra en la siguiente figura¹⁰.

¹⁰En el anexo se encuentra el contenido del archivo .yaml donde se establece la configuración del diseño.

5.2. Prueba de concepto

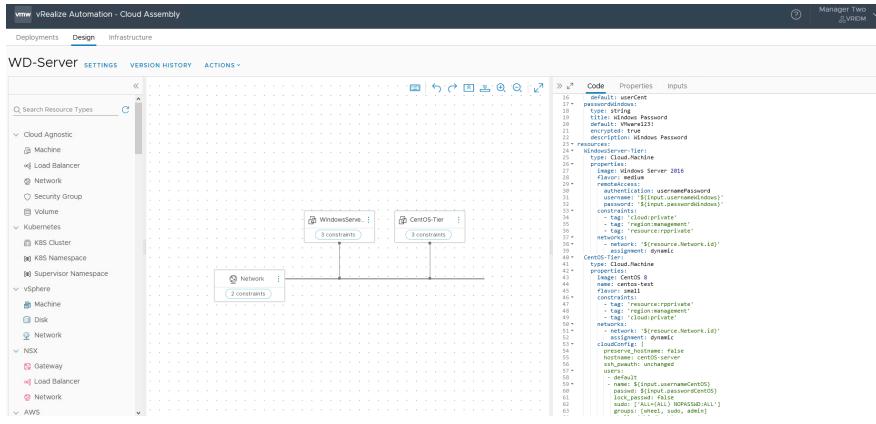


Figura 5.31: Diseño WD-Server para el proyecto Server-Desktop.

En el archivo .yaml del diseño WD-Server se define una VM con el sistema operativo Windows Server 2016 y otra con CentOS 8, y una red a la que ambas se conectan. Se establecen además unas credenciales para cada VM, cuyos datos son introducidos por el usuario cuando se despliega el diseño y así poder iniciar sesión en ellas mediante SSH, o RDP en el caso de Windows. Los tags que se utilizan en la definición de las VMs son *cloud:private*, *region:management* y *resource:rpprivate*, y el tag *subnet-cidr:10.50.0.0/24* en la definición de la red, por lo tanto ambas VMs utilizarán los recursos del cluster vSphere, el Segment definido en VMware NSX-T y el datastore vSAN del entorno. En cuanto a la configuración de las interfaces de red, se establece que se configuren de forma dinámica con el servidor DHCP disponible en el Segment. Una vez completado el diseño, *Manager Two* publica el diseño en el catálogo del proyecto para que los usuarios puedan acceder a él. Durante la publicación se especifica la versión del diseño ya que este puede ser actualizado, como se muestra en la siguiente figura.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

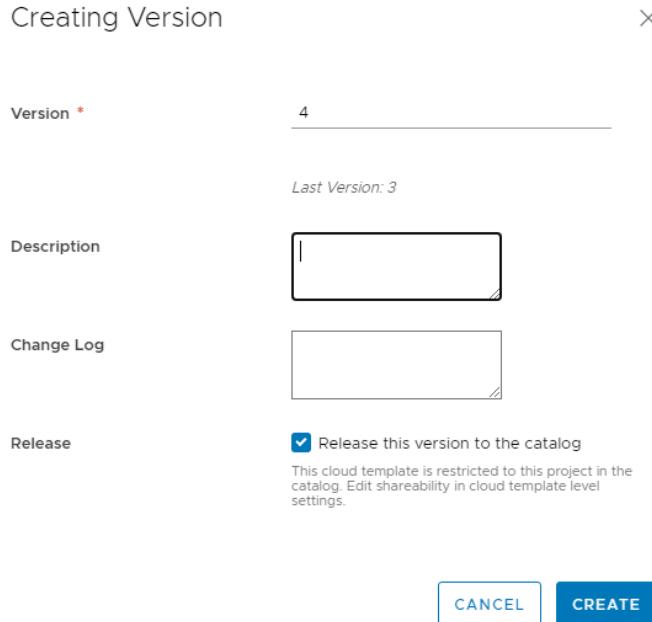


Figura 5.32: Publicación en el catálogo de una nueva versión del diseño.

De la misma forma que para el proyecto Server/Desktop, el administrador del proyecto Web-WD, *Manager One*, crea el diseño de los recursos necesarios para que los usuarios del proyecto puedan generar un sitio web basado en Wordpress automatizando la configuración del entorno, con la idea de que una vez desplegados los recursos el usuario pueda trabajar inmediatamente y exclusivamente en su sitio web. En la siguiente figura se muestra el diseño creado para el proyecto Web-WD¹¹.

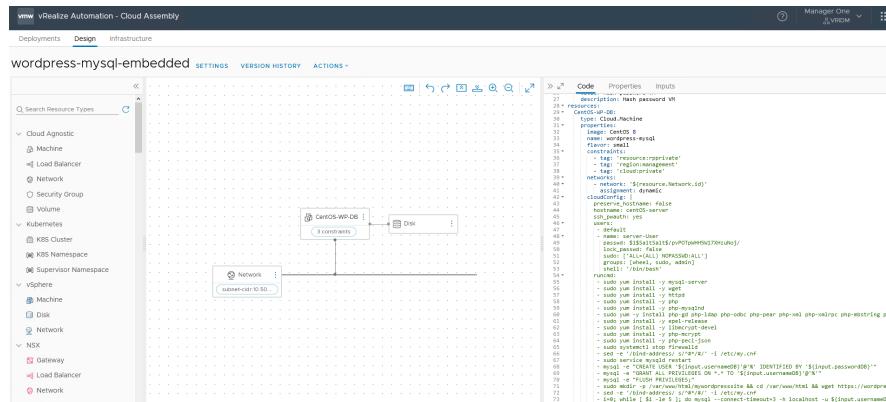


Figura 5.33: Diseño Wordpress-MySQL-Embedded para el proyecto Web-WD.

En el archivo .yaml del diseño Wordpress-MySQL-Embedded se define una VM con el

¹¹En el anexo se encuentra el contenido del archivo .yaml donde se establece la configuración del diseño.

sistema operativo CentOS 8, una red a la cual se conecta y un disco de almacenamiento conectado a la VM. En la sección **cloudConfig** del diseño se definen una serie de comandos que se ejecutan durante la inicialización de la VM cuando se despliega. Estos comandos son ejecutados por el servicio **cloud-init** y con ellos primero se instalan los paquetes necesarios para ejecutar MySQL y el framework Wordpress en un servidor Apache, luego se crea una base de datos y se configura Wordpress. De esta forma una vez se complete un despliegue el sitio web estará listo para ser usado. Además también se incluyen en esa sección del diseño los atributos que permiten a cloud-init crear las credenciales para acceder a la VM mediante SSH. Este diseño utiliza los mismos tags que el proyecto Server-Desktop por lo tanto utilizará los mismos recursos de cómputo, red y almacenamiento. Finalmente, *Manager One* publica el diseño en el catálogo.

Una vez completada la fase de diseño y publicación, los usuarios ya pueden acceder al servicio Cloud y comenzar a utilizar los recursos en base a los diseños disponibles. A continuación se muestra cómo los usuarios de cada proyecto acceden al servicio Cloud y utilizan los recursos. El usuario *User Three* perteneciente al proyecto Server-Desktop accede a la plataforma utilizando sus credenciales¹², una vez inicia sesión accede al componente Service Broker de vRA donde se le muestra el catálogo de diseños disponibles en el proyecto al que pertenece (figura 5.34). Cuando inicia el despliegue del diseño WD-Server, se muestra un formulario donde introduce los datos de las credenciales de cada VM¹³ que se va a crear y el nombre del despliegue (figura 5.35). A continuación comienza el proceso de despliegue. En este punto vRA se encarga de crear, configurar y reservar los recursos descritos en el diseño sin que el usuario tenga que realizar ninguna operación adicional (figura 5.36).

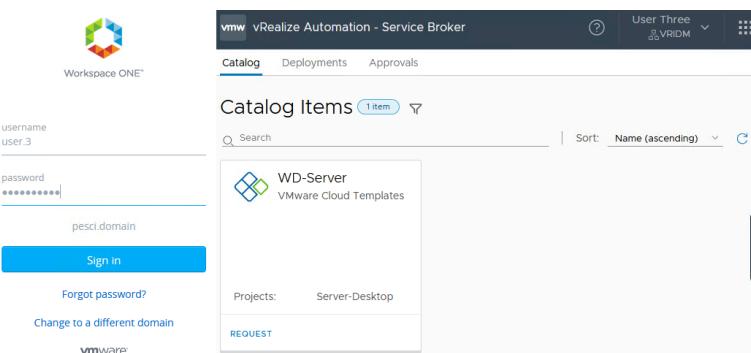


Figura 5.34: Inicio de sesión del usuario *User Three* (izquierda) y catálogo de diseños disponibles en el proyecto Server-Desktop (derecha).

¹²En el caso del entorno real utilizaría sus credenciales de la UDC.

¹³Para la VM con CentOS es necesario indicar el hash de la contraseña ya que el SO lo interpreta de esta forma, generado en este caso con el comando `openssl passwd -1 -salt SaltSalt VMware123!` desde el powershell de Windows siendo "VMware123!" la contraseña en texto plano.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

New Request

WD-Server Version 3

Project * Server/Desktop

Deployment Name * User3-Work

Description

CentOS Password (hash) * \$1\$SaltSalt\$/pvPOTpWHH5W17XHzuNoj/ ⓘ

CentOS username userCent

Windows Password *****

Windows username userCent

SUBMIT **CANCEL**

Figura 5.35: Formulario para configurar el nuevo despliegue iniciado por el usuario *User Three*.

Deployments 1 item

User3-Work

No description

Project Server/Desktop Requestor user.3

Create - In Progress 6 / 9 Tasks CANCEL 2 minutes since submitted

User3-Work

No description

Requestor user.3

Project Server/Desktop

Cloud Template WD-Server, version: 3

Expires on Never

Last updated Oct 28, 2020, 12:36:59 PM

Created on Oct 28, 2020, 12:35:53 PM

Topology History

Create In Progress Requested by: user.3

Events Request details

Timestamp	Status	Resource type	Resource name	Details
Oct 28, 2020... 12:36:59 PM	CREATE_IN_PROGRESS	Cloud Machine	WindowsServer-Tier	Request is in stage STARTED and substage RESOURCE_COUNTED
Oct 28, 2020...	CREATE_IN_PROGRESS	Cloud Machine	CentOS-Tier	Request is in stage STARTED and substage RESOURCE_COUNTED
Oct 28, 2020...	CREATE_IN_PROGRESS	Cloud Machine	WindowsServer-Tier	
Oct 28, 2020...	CREATE_IN_PROGRESS	Cloud Machine	CentOS-Tier	
Oct 28, 2020...	CREATE_FINISHED	Cloud Network	Network	Cloud Resource Name: Mgmt-...

17 Events

Figura 5.36: Tarjeta del despliegue iniciado por el usuario *User Three* (arriba) y la monitorización de todas las tareas llevadas a cabo por vRA durante el despliegue (abajo).

Cuando la creación y configuración de los recursos se ha completado estos ya están listos para su uso. En el panel de control del despliegue se muestra información como direcciones IP de las VMs, discos de almacenamiento disponibles en cada VM, la configuración aplicada a las VMs durante el despliegue o las credenciales indicadas por el usuario para acceder a las VMs (figura 5.37). Además, desde este punto es donde el usuario puede gestionar los recursos pudiendo encenderlos o apagarlos, añadir discos de almacenamiento, modificar el tamaño de la VM, crear copias de seguridad y añadir tags para cambiar la ubicación de los recursos (figura 5.38). Para acceder a las VMs creadas, *User Three* simplemente tiene que comprobar las direcciones IP que se han asignado y conectarse a la VMs mediante SSH o a través de un cliente de escritorio remoto en el caso de Windows Server 2016 (figura 5.39).

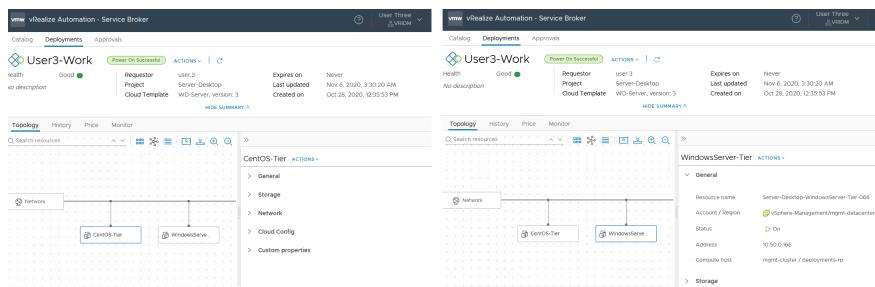


Figura 5.37: Panel de control de la VM CentOS creada por *User Three* (izquierda) y panel de control de la VM Windows creada por *User Three* (derecha).

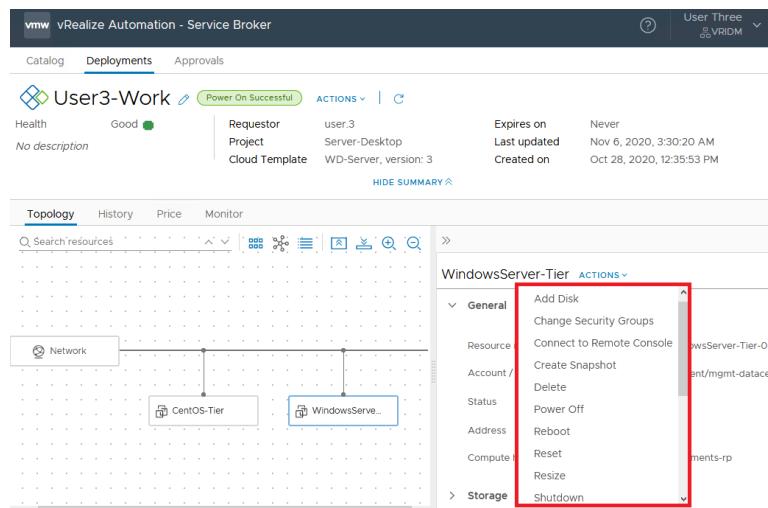


Figura 5.38: Acciones que *User Three* puede ejecutar sobre las VMs creadas.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

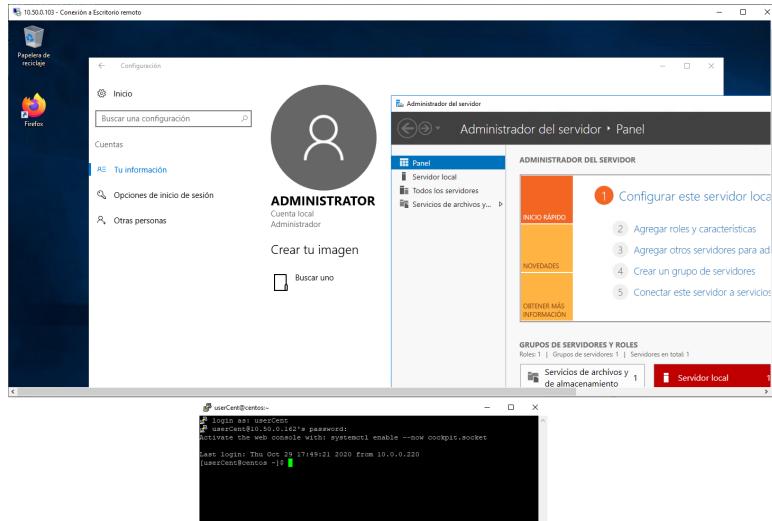


Figura 5.39: Conexión de *User Three* mediante RDP a la VM con Windows Server 2016 (arriba) y mediante SSH a la VM con CentOS (abajo).

En el proyecto Web-WD, el usuario *User Two* accede a la plataforma de vRA y en el catálogo tiene disponibles dos diseños, WD-Server y Wordpress-MySQL-Embedded, ya que es miembro de los dos proyectos Server-Desktop y Web-WD (figura 5.40). El objetivo de este usuario es montar un sitio web por lo tanto inicia el despliegue del diseño Wordpress-MySQL-Embedded. En el formulario de configuración *User Two* introduce las credenciales que se deben configurar en la VM para acceder a ella y para configurar a la base de datos (figura 5.40), luego inicia el despliegue del diseño (figura 5.41). Una vez generada la VM con CentOS el servicio cloud-init se inicia y ejecuta los comandos descritos en el diseño (figura 5.42). Cuando este proceso se ha completado el usuario ya puede acceder al panel de control del despliegue (figura 5.43), comprobar la dirección IP de la VM, acceder a Wordpress a través del navegador, realizar la configuración inicial de su sitio web y comenzar a editar artículos (figura 5.44).

5.2. Prueba de concepto

The screenshot shows two side-by-side views of the vRealize Automation - Service Broker interface. On the left, the 'Catalog' tab is selected, displaying 'Catalog Items (2 items)'. It lists two items: 'WD-Server VMware Cloud Templates' (Project: Server/Desktop, Status: REQUEST) and 'wordpress-mysql-embedded VMware Cloud Templates' (Project: Web-DB, Status: REQUEST). On the right, the 'New Request' form is open for the 'wordpress-mysql-embedded' template. The form includes fields for 'Project' (set to 'Web-DB'), 'Deployment Name' (empty), 'Description' (empty), 'Database Password' (*****), 'Hash password VM' (\$1\$salt\$pwPOTpWhDW7XhbuNq/), 'Database Username' (user01), and 'Username VM' (server<User). Buttons for 'SUBMIT' and 'CANCEL' are at the bottom.

Figura 5.40: Diseños disponibles para *User Two* (izquierda). Formulario de configuración de un nuevo despliegue del diseño Wordpress-MySQL-Embedded (derecha).

The screenshot shows the 'Deployments' tab selected, displaying 'Deployments (2 items)'. It lists two deployment entries: 'user2-wordpr...' (Status: Create - In Progress, 7 / 9 Tasks, 5 minutes since submitted) and 'User3-Work' (Status: 3 Resources, Created a da..., Never expires, ACTIONS). The 'user2-wordpr...' entry details its requestor as 'user.2' and its target project as 'Web-DB'. The 'User3-Work' entry details its requestor as 'user.3' and its target project as 'Server-...'.

Figura 5.41: Despliegues user2-wordpress-blog iniciado por *User Two*.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

```
=====
Install 1 Package
Total download size: 73 k
Installed size: 44 k
Downloading Packages:
php-json-7.2.24-1.module_el8.2.0+313+b04d0a66.x 14 kB/s | 73 kB     00:05
-----
Total                                         6.7 kB/s | 73 kB     00:10
Running transaction check
Transaction check succeeded.
Running transaction test
Transaction test succeeded.
Running transaction
  Preparing : 1/1
  Installing : php-json-7.2.24-1.module_el8.2.0+313+b04d0a66.x86_64 1/1
  Running scriptlet: php-json-7.2.24-1.module_el8.2.0+313+b04d0a66.x86_64 1/1
  Verifying   : php-json-7.2.24-1.module_el8.2.0+313+b04d0a66.x86_64 1/1
Installed:
  php-json-7.2.24-1.module_el8.2.0+313+b04d0a66.x86_64

Complete!
Redirecting to /bin/systemctl restart mysqld.service
--2020-10-29 12:29:20-- https://wordpress.org/latest.tar.gz
Resolving wordpress.org (wordpress.org)... 198.143.164.252
Connecting to wordpress.org (wordpress.org)|198.143.164.252|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 12983648 (12M) [application/octet-stream]
Saving to: 'latest.tar.gz'
```

Figura 5.42: Fragmento de la ejecución de cloud-init donde se instala el paquete php-json y se descargan los archivos para la instalación de Wordpress.

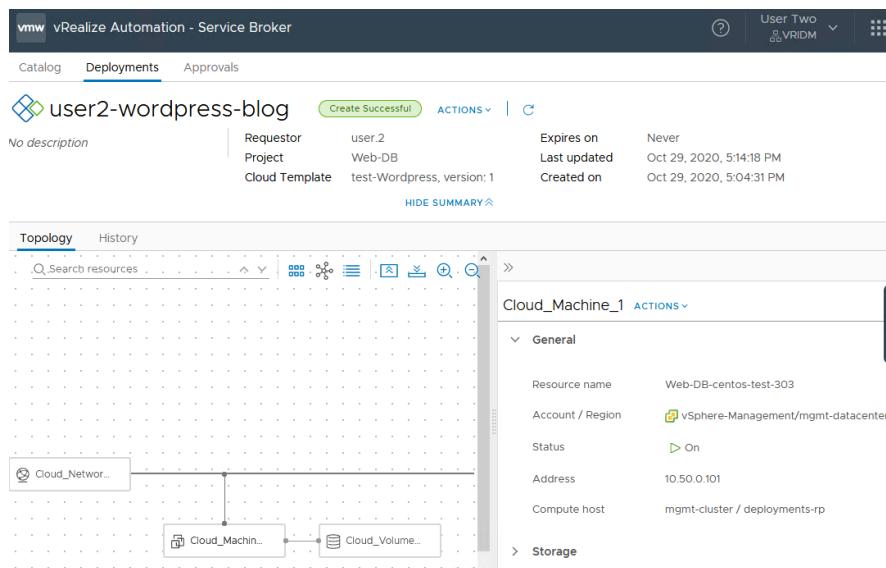


Figura 5.43: Panel de control del despliegue iniciado por *User Two* una vez finalizado.

5.2. Prueba de concepto

The left screenshot shows the initial WordPress installation screen, prompting for site title, username, password, and email. The right screenshot shows a published article titled "PESCI automatiza" with a brief description and one comment from "A WordPress Commenter".

Figura 5.44: Página de instalación de Worpress cuando *User Three* accede por primera vez (izquierda). Primer artículo escrito por *User Two* en su nuevo sitio web.

A medida que se despliegan los diseños las VMs creadas comienzan a consumir recursos. El administrador del SDDC y los usuarios pueden monitorizar el consumo desde el panel de control de cada despliegue, donde pueden acceder a estadísticas diarias, semanales y mensuales sobre el uso de CPU, memoria RAM, almacenamiento y red.

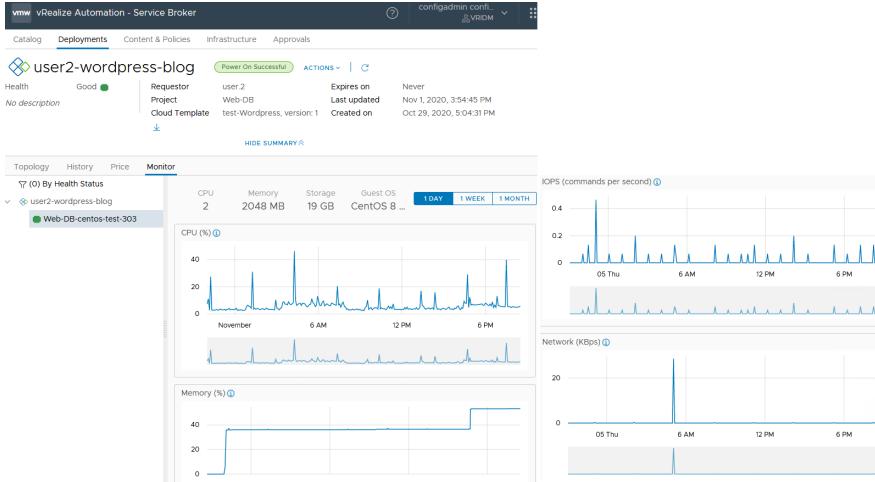


Figura 5.45: Panel de control del despliegue User2-Wordpress-Blog con la vista de monitorización de la VM Web-DB-CentOS-test-303.

Una vez el despliegue ha estado cierto tiempo activo, alrededor de un día, en el panel de control del despliegue se empiezan a mostrar estadísticas sobre el coste que tiene el consumo de recursos realizado. El cálculo es realizado por el componente vROps en base a la tarjeta de cobro establecida previamente, la cantidad de recursos utilizada y al tiempo de actividad del despliegue. Posteriormente, vROps comunica esta información a vRA que muestra al usuario

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

todos los detalles.

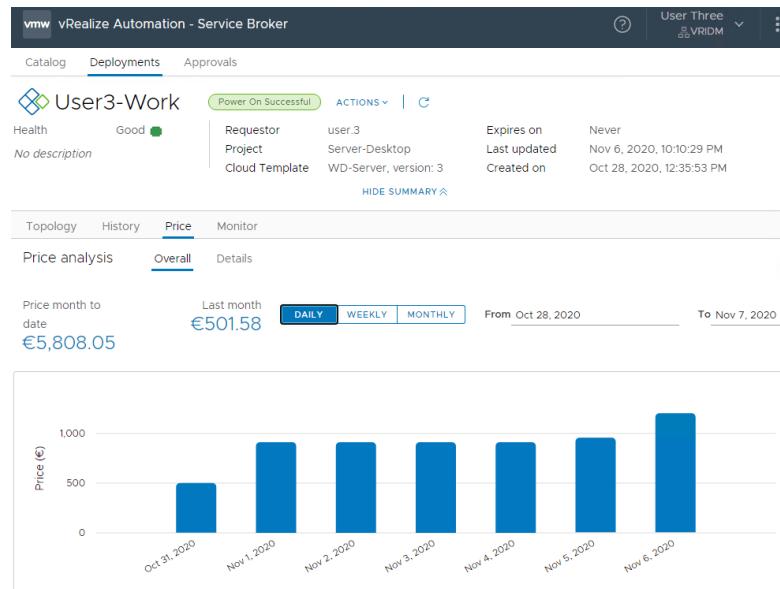


Figura 5.46: Estadística del coste diario de los recursos consumidos en el despliegue User3-Work por parte del usuario *User Three*.

5.2. Prueba de concepto

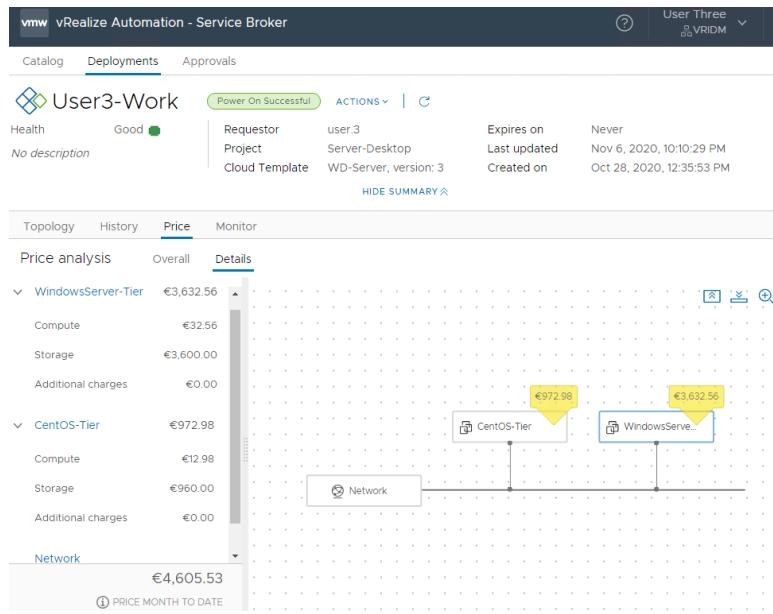


Figura 5.47: Estadística del coste detallado de los recursos consumidos en el despliegue User3-Work por parte del usuario *User Three*.

Como se muestra en la figura 5.46, el usuario *User Three* accede a las estadísticas de coste de su despliegue a través de la pestaña "Price" en el panel de control. Aquí obtiene el coste diario, semanal, mensual y total de los recursos que ha consumido. En la figura 5.47 se muestra el desglose del coste total para que el usuario pueda conocer el coste de cada elemento desplegado.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

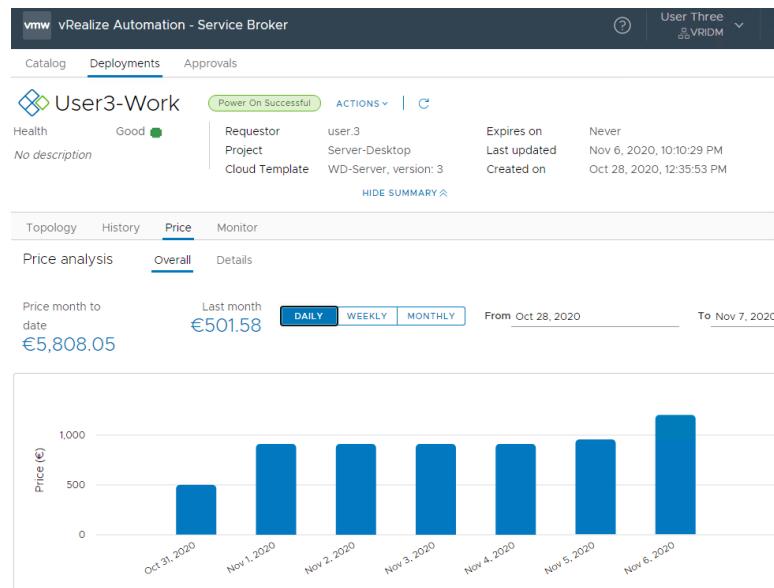


Figura 5.48: Estadística del coste diario de los recursos consumidos en el despliegue User2-Wordpress-Blog por parte del usuario *User Two*.

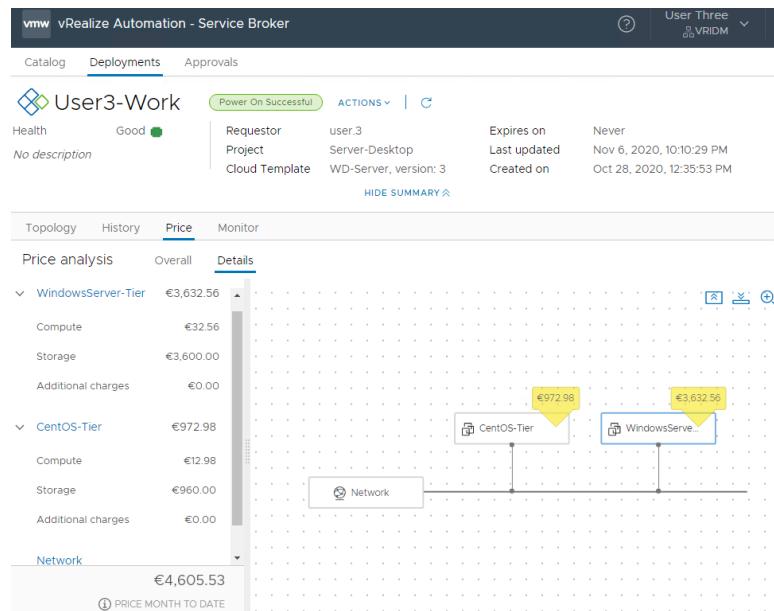


Figura 5.49: Estadística del coste detallado de los recursos consumidos en el despliegue User2-Wordpress-Blog por parte del usuario *User Two*.

El administrador del SDDC aparte de tener acceso a todos los despliegues realizados en el vRA, desde vROps también puede obtener las estadísticas sobre el coste de los recursos consumidos pero de forma algo más detallada. Desde este componente el administrador del SDDC puede ver el coste total y detallado de cada proyecto y de los despliegues realizados en cada uno (figuras 5.50, 5.51 y 5.52). Además, también tiene acceso a gráficos donde se muestra el coste realizado en cada proyecto y despliegue a lo largo del tiempo, y una predicción del coste en los siguientes cinco días según el estado de cada despliegue (figuras 5.54 y 5.53).

The screenshot shows the 'Cloud Automation Project Price Overview' page. The left sidebar includes 'Recent Dashboards' with 'Cloud Automation Project Price Overview' selected. The main content displays two projects: 'Server/Desktop' and 'Web-DB'. A table provides detailed price information:

Name	Total MTD Price	CPU MTD Price	Memory MTD Price	Storage MTD Price	Additional MTD Price
Server/Desktop	6,209.63	166.53	169.52	5,873.58	0
Web-DB	1,651.02	189.8	295.17	1,166.05	0

Figura 5.50: Información sobre el coste de los proyectos Server-Desktop y Web-DB ofrecida por vROps.

The screenshot shows the 'Cloud Automation Project Price Overview' page. The left sidebar includes 'Recent Dashboards' with 'Cloud Automation Project Price Overview' selected. The main content displays one project: 'User3-Work'. A table provides detailed price information:

Name	Total MTD Price	CPU MTD Price	Memory MTD Price	Storage MTD Price	Additional MTD Price
User3-Work	6,209.63	166.53	169.52	5,873.58	0

Figura 5.51: Información sobre el coste del despliegue User3-Work del usuario *User Three* ofrecida por vROps.

The screenshot shows the 'Cloud Automation Project Price Overview' page. The left sidebar includes 'Recent Dashboards' with 'Cloud Automation Project Price Overview' selected. The main content displays one project: 'user2-wordpress_'. A table provides detailed price information:

Name	Total MTD Price	CPU MTD Price	Memory MTD Price	Storage MTD Price	Additional MTD Price
user2-wordpress_	1,651.02	189.8	295.17	1,166.05	0

Figura 5.52: Información sobre el coste del despliegue User2-Wordpress-Blog del usuario *User Two* ofrecida por vROps.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA



Figura 5.53: Gráfico de coste del proyecto Web-DB y del despliegue User2-Wordpress-Blog del usuario *User Two* ofrecido por vROps.

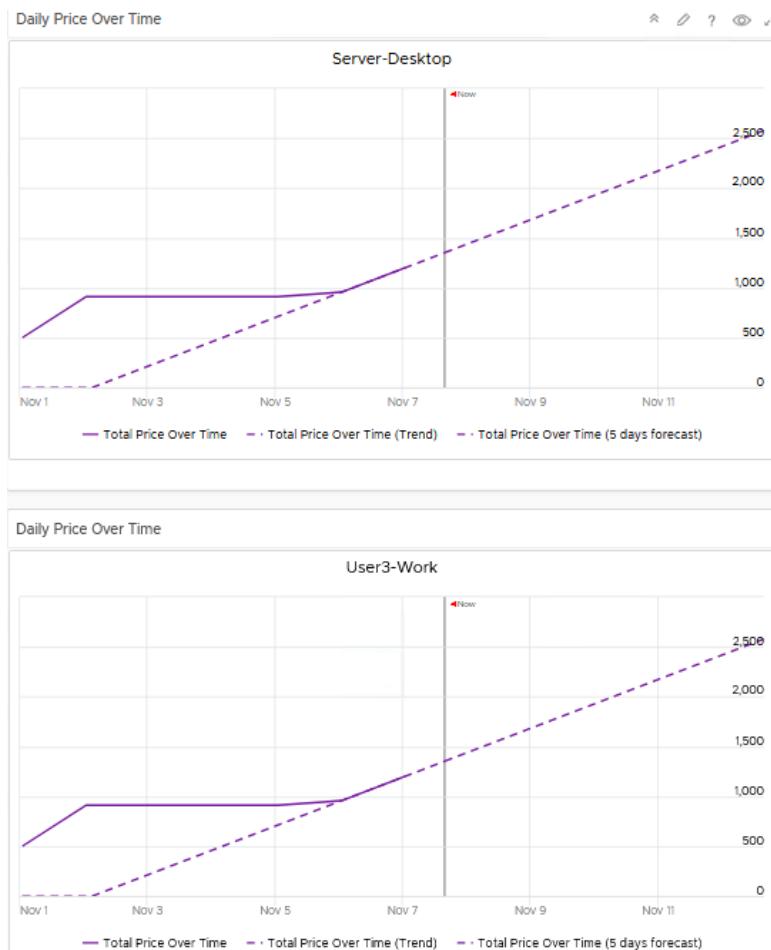


Figura 5.54: Gráfico de coste del proyecto Server/Desktop y del despliegue User3-Work del usuario *User Three* ofrecido por vROps.

CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

De esta forma el administrador del SDDC puede asignar a cada proyecto o usuario una cuenta con una cantidad de dinero ficticio de la cual se va extrayendo de forma mensual o semanal el coste del consumo realizado. Cuando la cuenta esté vacía o no tenga suficiente saldo para consumir más recursos el administrador del SDDC puede bloquear nuevos despliegues para un proyecto o usuario de forma temporal hasta que su cuenta vuelva a tener saldo. Con este método se persigue que el servicio tenga recursos suficientes para todos los usuarios y para ejecutar los flujos de trabajo de forma correcta, y evitar que existan usuarios con despliegues activos pero que no están siendo realmente usados.

Además, desde vROps el administrador también tiene visibilidad sobre los eventos que suceden en la infraestructura y estadísticas sobre los recursos, como se muestra en las dos siguientes figuras.

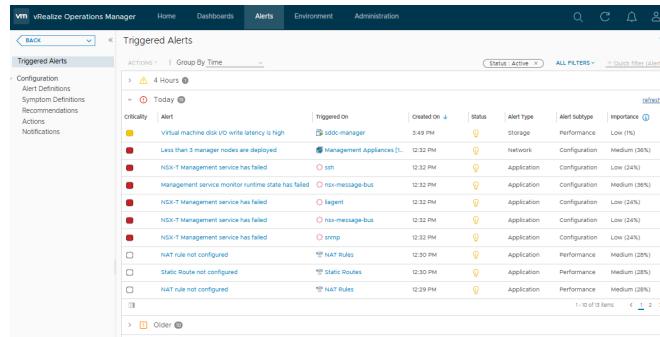


Figura 5.55: Alertas ocurridas en la infraestructura con información sobre su gravedad.

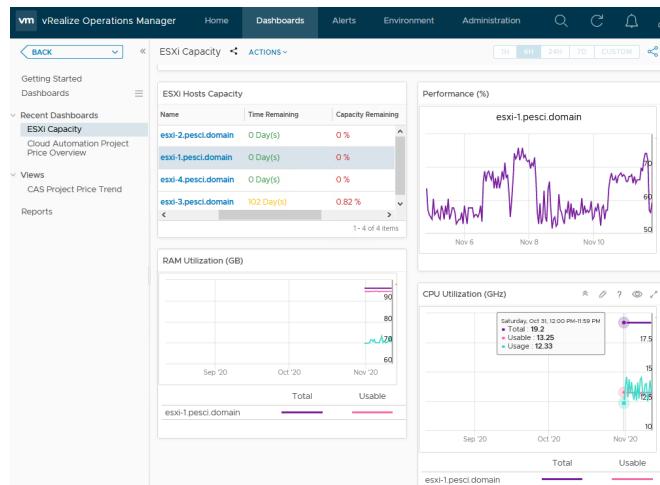


Figura 5.56: Estadísticas sobre la cantidad de recursos utilizados en cada host del entorno a lo largo del tiempo.

Habiendo cumplido todos los objetivos de este proyecto se concluye la formación de un servicio Cloud para la infraestructura del CITIC, usable por sus usuarios y capaz de optimizar

el uso de los recursos.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se expondrán las conclusiones obtenidas durante la realización del proyecto junto con posibles trabajos que se pueden realizar en el futuro sobre la solución propuesta.

6.1 Conclusiones

Con la finalización de este proyecto se ha construído a pequeña escala un servicio Cloud que proporciona una solución a las carencias que presenta la infraestructura del CITIC. En caso de implementarse VMware Cloud Foundation, el CITIC podría entregar el servicio para el cual se ha construído su infraestructura y así proporcionar gran cantidad de recursos a sus usuarios de una forma sencilla. Los usuarios podrían autenticarse con sus credenciales de la UDC y gestionar y obtener recursos bajo demanda, y los administradores verían simplificadas las tareas de gestión de la infraestructura, a la vez que obtienen una mayor visibilidad y control de los recursos.

Con esta solución, las tareas se realizan sobre una infraestructura virtual que automatiza su ejecución, se aportan herramientas para automatizar la resolución de problemas y para controlar el uso que los usuarios hacen de los recursos, se separa la configuración del acceso al servicio de la gestión de credenciales y se limita el control y visibilidad de cada usuario a los recursos que él tiene aprovisionados. Por esto, si bien puede mejorar en algún aspecto, la solución propuesta supone un ahorro en costes de gestión y un incremento en la velocidad de ejecución de las operaciones y en la seguridad del entorno.

Cabe destacar que con VMware Cloud Foundation la infraestructura del CITIC contaría con una de las plataformas Cloud más completas de la actualidad, con múltiples funcionalidades más allá de las descritas en este proyecto, y que permitiría obtener el máximo rendimiento de los recursos.

6.2 Trabajos futuros

A partir de este proyecto y conociendo las funcionalidades de la solución propuesta, el siguiente trabajo sería la implementación de VMware Cloud Foundation en la infraestructura del CITIC y así habilitar definitivamente el servicio Cloud para sus usuarios.

Una mejora sobre el servicio propuesto sería automatizar el proceso de determinación sobre si un usuario ha superado el límite de uso de recursos establecido, ya que sino este proceso tiene que ser realizado por el administrador de forma manual. Una solución podría ser una aplicación externa que se conectara a los componentes de VMware Cloud Foundation a través de su API para obtener cuantos recursos ha consumido un usuario, y luego comprobar si tiene saldo suficiente para seguir utilizando el servicio.

Apéndices

Diseños

Diseño WD-Server para vRealize Automation

Diseño elaborado para desplegar una VM con Windows Server 2016 y otra VM con CentOS 8 sobre una misma red en VMware vRealize Automation.

```
1 formatVersion: 1
2 inputs:
3   usernameCentOS:
4     type: string
5     title: CentOS username
6     description: CentOS username
7     default: userCent
8   passwordCentOS:
9     type: string
10    title: CentOS Password ()
11    default: $1$SaltSalt$/pvPOTpWHH5W17XHzuNoj/
12    description: Hash de la contraseña CentOS
13   usernameWindows:
14     type: string
15     title: Windows username
16     description: Windows username
17     default: Administrator
18   passwordWindows:
19     type: string
20     title: Windows Password
21     default: VMware123!
22     encrypted: true
23     description: Windows Password
24 resources:
25   WindowsServer-Tier:
26     type: Cloud.Machine
27     properties:
28       image: Windows Server 2016
29       flavor: medium
```

```

30     remoteAccess:
31         authentication: usernamePassword
32         username: '${input.usernameWindows}'
33         password: '${input.passwordWindows}'
34     constraints:
35         - tag: 'cloud:private'
36         - tag: 'region:management'
37         - tag: 'resource:rpprivate'
38     networks:
39         - network: '${resource.Network.id}'
40             assignment: dynamic
41 CentOS-Tier:
42     type: Cloud.Machine
43     properties:
44         image: CentOS 8
45         name: centos-test
46         flavor: small
47     constraints:
48         - tag: 'resource:rpprivate'
49         - tag: 'region:management'
50         - tag: 'cloud:private'
51     networks:
52         - network: '${resource.Network.id}'
53             assignment: dynamic
54     cloudConfig: |
55         preserve_hostname: false
56         hostname: centOS-server
57         ssh_pauth: unchanged
58     users:
59         - default
60         - name: ${input.usernameCentOS}
61             passwd: ${input.passwordCentOS}
62             lock_passwd: false
63             sudo: ['ALL=(ALL) NOPASSWD:ALL']
64             groups: [wheel, sudo, admin]
65             shell: '/bin/bash'
66 Network:
67     type: Cloud.Network
68     properties:
69         networkType: existing
70     constraints:
71         - tag: 'subnet-cidr:10.50.0.0/24'
72         - tag: 'cloud:private'
```

Diseño Wordpress-MySQL-Embedded para vRealize Automation

Diseño elaborado para desplegar una VM con CentOS 8 y el framework Wordpress preparado para crear un sitio web.

```
1 formatVersion: 1
2 inputs:
3   usernameDB:
4     type: string
5     minLength: 4
6     maxLength: 20
7     pattern: '[a-z]+'
8     default: user01
9     title: Database Username
10    description: Database Username
11  passwordDB:
12    type: string
13    pattern: '[a-zA-Z0-9@#$]+'
14    default: password
15    encrypted: true
16    title: Database Password
17    description: Database Password
18  usernameVM:
19    type: string
20    default: user01
21    title: Username VM
22    description: Username VM
23  passwordVM:
24    type: string
25    default: $1$SaltSalt$/pvPOTpWHH5W17XHzuNoj/
26    title: Hash password VM
27    description: Hash password VM
28 resources:
29   CentOS-WP-DB:
30     type: Cloud.Machine
31     properties:
32       image: CentOS 8
33       name: wordpress-mysql
34       flavor: small
35       constraints:
36         - tag: 'resource:rpprivate'
37         - tag: 'region:management'
38         - tag: 'cloud:private'
39       networks:
40         - network: '${resource.Network.id}'
41           assignment: dynamic
```

```

42    cloudConfig: |
43        preserve_hostname: false
44        hostname: centOS-server
45        ssh_pauth: yes
46        users:
47            - default
48            - name: ${input.usernameVM}
49                passwd: ${input.passwordVM}
50                lock_passwd: false
51                sudo: [ 'ALL=(ALL) NOPASSWD:ALL' ]
52                groups: [wheel, sudo, admin]
53                shell: '/bin/bash'
54        runcmd:
55            - sudo yum install -y mysql-server
56            - sudo yum install -y wget
57            - sudo yum install -y httpd
58            - sudo yum install -y php
59            - sudo yum install -y php-mysqlnd
60            - sudo yum -y install php-gd php-ldap php-odbc php-pear
61            - php-xml php-xmlrpc php-mbstring php-snmp php-soap curl
62            - sudo yum install -y epel-release
63            - sudo yum install -y libmcrypt-devel
64            - sudo yum install -y php-mcrypt
65            - sudo yum install -y php-pecl-json
66            - sudo systemctl stop firewalld
67            - sed -e '/bind-address/ s/^#*/#/ -i /etc/my.cnf
68            - sudo service mysqld restart
69            - mysql -e "CREATE USER '${input.usernameDB}'@'%'
70 IDENTIFIED BY '${input.passwordDB}'"
71            - mysql -e "GRANT ALL PRIVILEGES ON *.* TO
72 '${input.usernameDB}'@'%'
73            - mysql -e "FLUSH PRIVILEGES;"
74            - sudo mkdir -p /var/www/html/mywordpresssite && cd
75 /var/www/html && wget https://wordpress.org/latest.tar.gz && tar
76 -xzf /var/www/html/latest.tar.gz -C
77 /var/www/html/mywordpresssite --strip-components 1
78            - sed -e '/bind-address/ s/^#*/#/ -i /etc/my.cnf
79            - i=0; while [ $i -le 5 ]; do mysql --connect-timeout=3 -h
80 localhost -u ${input.usernameDB} -p${input.passwordDB} -e "SHOW
81 STATUS;" && break || sleep 15; i=$((i+1)); done
82            - mysql -u ${input.usernameDB} -p${input.passwordDB} -h
83 localhost -e "create database wordpress_blog;"
84            - sudo cp /var/www/html/mywordpresssite/wp-config.php
85 /var/www/html/mywordpresssite/wp-config-sample.php
86            - sed -i -e s/"define( 'DB_NAME', 'database_name_here'
87 );"/"define( 'DB_NAME', 'wordpress_blog' );"/

```

```

76      /var/www/html/mywordpresssite/wp-config.php && sed -i -e
77      s/"define( 'DB_USER', 'username_here' );"/"define( 'DB_USER',
78      '${input.usernameDB}' );"/
79      /var/www/html/mywordpresssite/wp-config.php && sed -i -e
80      s/"define( 'DB_PASSWORD', 'password_here' );"/"define(
81      'DB_PASSWORD', '${input.passwordDB}' );"/
82      /var/www/html/mywordpresssite/wp-config.php && sed -i -e
83      s/"define( 'DB_HOST', 'localhost' );"/"define( 'DB_HOST',
84      'localhost' );"/ /var/www/html/mywordpresssite/wp-config.php
85          - sudo chown -R apache:apache
86      /var/www/html/mywordpresssite/
87          - sudo chmod -R g+w /var/www/html/mywordpresssite/
88          - sudo semanage fcontext -a -t httpd_sys_rw_content_t
89      "/var/www/html/mywordpresssite(/.*)?""
90          - sudo restorecon -R /var/www/html/mywordpresssite/
91          - systemctl enable httpd
92          - service httpd restart
93      attachedDisks:
94          - source: '${resource.Disk.id}'
```

Network:

```

95      type: Cloud.Network
96      properties:
97          networkType: existing
98      constraints:
99          - tag: 'subnet-cidr:10.50.0.0/24'
```

Disk:

```

100     type: Cloud.Volume
101     properties:
102         capacityGb: 3
```


Notas

En este documento se utilizan términos en inglés ya que forman parte del campo que se está tratando o por ser su nombre original.

Cuando en el documento se mencionan los términos "capa 2" y "capa 3" se está haciendo referencia a las capas establecidas por el Modelo OSI, la capa de enlace de datos y la capa de red respectivamente.

La configuración, diseño y componentes tratados en este proyecto se basan principalmente en el diseño descrito por VMware para VMware Cloud Foundation en el documento *VMware Validated Design Product Documentation 6.0*. Las partes seguidas se encuentran en los siguientes enlaces:

- *Arquitecture and Design for the Management Domain:* <https://docs.vmware.com/en/VMware-Validated-Design/6.0/sddc-architecture-and-design-for-the-management-domain/GUID-2CF10D34-D576-47D7-B51A-275245DCC4C9.html>
- *Deployment of the Management Domain in the First Region:* <https://docs.vmware.com/en/VMware-Validated-Design/6.0/sddc-deployment-of-the-management-domain-in-the-first-region/GUID-8DF002CB-9142-4AF3-A69E-5F07063272D7.html>
- *Deployment of Cloud Operations and Automation in the First Region:* <https://docs.vmware.com/en/VMware-Validated-Design/6.0/sddc-deployment-of-cloud-operations-and-automation-in-the-first-region/GUID-07AD9C42-CB80-4064-8B68-E47D08BD6967.html>

La documentación de cada producto utilizado para la realización del proyecto es la siguiente:

- VMware Cloud Foundation 4.0: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Cloud-Foundation/index.html>
- VMware vSphere 7.0: <https://docs.vmware.com/es/VMware-vSphere/index.html>
- VMware vSAN 7.0: <https://docs.vmware.com/es/VMware-vSAN/index.html>
- VMware NSX-T 3.0: <https://docs.vmware.com/es/VMware-NSX-T-Data-Center/index.html>
- VMware vRealize Automation 8.2: <https://docs.vmware.com/es/vRealize-Automation/index.html>

-
- VMware vRealize Operations 8.2: <https://docs.vmware.com/es/vRealize-Operations-Manager/index.html>
 - VMware Identity Manager 3.3.2 (Workspace One Access): <https://docs.vmware.com/es/VMware-Workspace-ONE-Access/index.html>

Lista de acrónimos

API *Application Programming Interface*

BGP *Border Gateway Protocol*

DHCP *Dynamic Host Configuration Protocol*

DNS *Domain Name Server*

HDD *Hard Disk Drive*

IP *Internet Protocol*

iSCSI *Internet Small Computer System Interface*

LUN *Logical Unit Number*

MTU *Maximum Transmission Unit*

NAT *Network Address Translation*

NFS *Network File System*

NIC *Network Interface Card*

NTP *Network Time Protocol*

RAID *Redundant Array of Independent Disks*

SDDC *Software Defined Data Center*

SFP *Small Form-factor Pluggable Transceiver*

SMTP *Simple Mail Transfer Protocol*

SSD *Solid-State Drive*

TB *TeraByte*

UDC *Universidade da Coruña*

VLAN *Virtual Local Area Network*

VMFS *Virtual Machine File System*

VM *Virtual Machine*

Glosario

Conector SFP+ : interfaz modular que permite conectar cables de fibra óptica a un dispositivo.

CPD : lugar donde se sitúan un conjunto recursos con gran capacidad de cómputo necesarios para procesar información, normalmente en grandes cantidades.

Datastore : dentro de VMware vSphere, un datastore es un contenedor lógico que abstrae los componentes físicos de almacenamiento y provee un modelo uniforme para almacenar máquinas virtuales, plantillas o imágenes ISO.

Hipervisor baremetal : software instalado sobre el hardware de un servidor que permite instalar aplicaciones que funcionan sobre entornos virtuales directamente sobre el hardware.

Host : servidor físico en el que se ejecuta un hipervisor.

IaaS : servicio Cloud en el que se provee capacidad de aprovisionamiento de recursos de cómputo, almacenamiento y red, sobre los cuales se puede desplegar software [2].

iSCSI : estándar que implementa el protocolo de transporte SCSI para transmitir datos entre dispositivos.

LUN : identifica una colección de dispositivos de almacenamiento que se presentan como un único volumen.

Multi-tenant : "Multi-tenancy is a relatively new software architecture principle in the realm of the Software as a Service (SaaS)" [9].

Pool de almacenamiento : agrupación de volúmenes de almacenamiento que se administran de forma conjunta.

Rack : armario metálico destinado a alojar servidores físicos.

RAID 5 : conjunto de discos duros que funciona como una única unidad de almacenamiento para aumentar el rendimiento y la eficiencia. RAID 5 necesita como mínimo tres discos duros, y distribuye de paridad en todos los discos para poder recuperar datos corruptos.

SAN : red dedicada a proveer acceso a los dispositivos de almacenamiento.

Virtual Machine : máquina que se ejecuta en un entorno virtualizado con hardware virtual dentro de un hipervisor.

VLAN : método para aislar múltiples dominios de broadcast sobre una misma red física.

Bibliografía

- [1] “Vmware vsphere entreprise edition datasheet.” [Online]. Available: <https://www.vmware.com/files/es/pdf/VMware-vSphere-Enterprise-Edition-Datasheet.pdf>
- [2] T. G. Peter Mell, “The NIST Definition of Cloud Computing.” [En línea]. Disponible en: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>
- [3] CITIC, “Centro de Procesado de Datos.” [En línea]. Disponible en: <https://citic.udc.es/installaciones-2/>
- [4] V. Hamburger, *Building VMware Software-Defined Data Centers*. Packt Publishing Ltd, 2016.
- [5] VMware, “Cloud foundation components.” [En línea]. Disponible en: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Cloud-Foundation/4.0/rn/VMware-Cloud-Foundation-40-Release-Notes.html#swversions>
- [6] V. vSAN, “vsan disk groups and data storage architecture: Hybrid or all-flash.” [En línea]. Disponible en: <https://youtu.be/PDcLgV37FP4?list=PLjwkgfjHppDux1XhPB8pW3vS43Aglfq2c>
- [7] VMware, “Multiple availability zones.” [En línea]. Disponible en: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Cloud-Foundation/4.0/com.vmware.vcf.vxrail.admin.doc/GUID-0FA2DBCB-4522-46EC-B267-9F1B10FD9B26.html>
- [8] V. C. Foundation, “Vmware software edition license information.” [En línea]. Disponible en: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Cloud-Foundation/4.0/rn/VMware-Cloud-Foundation-40-Release-Notes.html#licenseinfo>
- [9] C.-P. Bezemer and A. Zaidman, “Multi-tenant saas applications: Maintenance dream or nightmare?” 2010. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/1862372.1862393>

