



Solución arquitectónica de tecnologías de virtualización basada en contenedores para el grupo de investigación en redes, información y distribución (GRID)

Tesis de pregrado

Autores:

José Alejandro Arias Pinzón

Cc: 1002652342

Anubis Haxard Correa Urbano

Cc: 1004871385

Universidad del Quindío

Facultad de ingeniería

Programa de Ingeniería de Sistemas

Revisor: Dra. Diana Marcela Rivera Valencia

Asesor: Ph.D. Luis Eduardo Sepúlveda Rodríguez

Julio 2025

*A mi madre, por sus esfuerzos y sacrificios para brindarme una educación,
además de enseñarme el valor del trabajo duro y la perseverancia.*

A mi padre, por enseñarme casi todo lo que sé y por ser un ejemplo de esfuerzo.

A mi hermano, por su apoyo constante y por ser una fuente de inspiración.

*A mi esposa, por su amor, paciencia y comprensión, y por apoyarme de todas las
maneras posibles en esta etapa de mi vida.*

*A mis compañeros, por su colaboración y apoyo durante este proceso, y por hacer
de esta experiencia algo más enriquecedor, sin ustedes no habría sido posible.*

— José Alejandro Arias Pinzón

*A mi familia,
por creer siempre en mí y motivarme a alcanzar mis metas.*

— Anubis Haxard Correa Urbano

Índice general

Dedicatoria	1
Resumen	4
Introducción	8
Glosario	10
Siglas y Abreviaturas	12
Objetivos	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
Justificación	14
Metodología	15
Marco Conceptual	16
Marco Teórico	17
Desarrollo Metodológico	20
Caracterización del GRID	22
Análisis de stakeholders del grupo GRID	22
Priorización de stakeholders	22
Integrantes y áreas de trabajo del GRID	23
Misión del GRID	24
Visión del GRID	25
Impacto del proyecto en el GRID	25
Caracterización de la infraestructura tecnológica del GRID	25

Caracterización de servicios del GRID	39
Servicios actuales	40
Servicios esperados	40
Descripción de la oportunidad	41
Resumen de la entrevista con el cliente	42
Revisión sistemática de la literatura	44
1. Construcción de la bitácora	44
Planeación	44
Búsqueda de estudios	45
Estrategia de búsqueda	46
Búsqueda en bases de datos	46
A. Ficha técnica del recurso tecnológico	49
B. Ficha técnica de servicios	51

Resumen

Este es un breve resumen del contenido de la tesis.

Abstract

This is a brief summary of the thesis content in English.

Índice de figuras

1.	Priorización de stakeholders del proyecto	23
A.1.	Ficha técnica del recurso tecnológico	50
B.1.	Ficha técnica de servicios	51

Índice de cuadros

1.	Análisis de stakeholders del proyecto	22
2.	Caracterización torre 1	26
3.	Caracterización torre 2	27
4.	Caracterización torre 3	28
5.	Caracterización torre 4	29
6.	Caracterización torre 5	30
7.	Caracterización torre 6	31
8.	Caracterización torre 7	32
9.	Caracterización rack 1	33
10.	Caracterización rack 2	34
11.	Caracterización rack 3	35
12.	Caracterización rack 4	36
13.	Caracterización rack 5	37
14.	Caracterización NAS 1	38
15.	Caracterización firewall 1	39
16.	Caracterización de los servicios actuales del GRID	40
17.	Caracterización de los servicios esperados del GRID	41
18.	Definición de metas del SMS	44
19.	Definición de preguntas de investigación del SMS	45
20.	Definición de métricas del SMS	45
21.	Modelo PICOC	46

Introducción

La computación en la nube (*Cloud Computing*) es uno de los conceptos con más crecimiento en la industria de la tecnología(Jayaweera et al., 2024). Las organizaciones han identificado en esta forma de computación una manera de aprovisionamiento de recursos informáticos rápida y según la demanda. Entre sus principales beneficios se incluyen la flexibilidad, la escalabilidad y la eficiencia en costos(Ahmadi, 2024). La adopción de estos recursos ha transformado el desarrollo de soluciones tecnológicas, lo cual ha posibilitado que la planificación, el análisis, el diseño, el desarrollo, las pruebas y el mantenimiento se realicen completamente en la nube. Esto ha dado origen a aplicaciones nativas de este entorno, conocidas como *cloud native apps*.

Las *cloud native apps* permiten a las organizaciones implementar soluciones complejas con un rendimiento mejorado, distribuyendo sus cargas de trabajo en múltiples entornos de nube y optimizando el retorno de inversión(Alonso et al., 2023). Con el aumento en el uso de estas aplicaciones nativas, ha surgido también la necesidad de consolidar los recursos de TI. La virtualización es útil debido a que permite una consolidación de recursos según las necesidades organizacionales. Anteriormente el despliegue de aplicaciones se realizaba directamente sobre el sistema de la máquina física; actualmente, la gran mayoría se ejecuta sobre sistemas virtualizados(Jain and Choudhary, 2016). Las máquinas virtuales, o de sistema completo, han sido hasta ahora el estándar de facto para la segmentación de infraestructura de TI; sin embargo, la virtualización ligera, también conocida como virtualización basada en contenedores (VBC)¹, se ha ido posicionando como una alternativa moderna a las máquinas virtuales.

En este contexto, desde la aparición de Docker en 2013, la virtualización ligera ha transformado el desarrollo de software, fortaleciendo prácticas como DevOps, donde la escalabilidad y la replicabilidad son fundamentales(Docker, 2021). Docker ha experimentado un notable crecimiento en su adopción, debido a su capacidad para ejecutar aplicaciones en el mismo entorno en el que fueron construidas, sin importar el lugar donde se implementen. El crecimiento de Docker se ve evidenciado

¹Las siglas utilizadas en este documento se explican en el capítulo Siglas y Abreviaturas.

en el uso de Docker images por parte de los desarrolladores. En 2023 se registraron 130 mil millones de descargas, cifra que aumentó a 242 mil millones en 2024(Docker, 2024). A partir del auge de Docker, surgieron nuevas tecnologías de contenerización, la aparición de estas puede percibirse inicialmente como una ventaja para organizaciones, desarrolladores y demás actores de TI; sin embargo, la proliferación de estas herramientas puede representar un reto al momento de elegir la idónea en una arquitectura de solución.

Este trabajo aborda la situación ya expuesta, cuyo objetivo principal es proponer una arquitectura de solución basada en contenedores para el Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID) de la Universidad del Quindío. Inicialmente, se realiza una valoración de necesidades de la organización cliente, destacando sus objetivos misionales enfocados en el apoyo a la docencia, la investigación y la extensión. El desafío consiste en el aprovechamiento de la infraestructura actual del GRID aportando al cumplimiento de sus objetivos misionales. Lo anterior, haciendo uso de los aportes del presente trabajo. Posteriormente, se profundiza en una revisión del estado del arte mediante un estudio de mapeo sistemático (*Systematic Mapping Study — SMS*), con el objetivo de comprender las tecnologías de virtualización basada en contenedores (VBC) y los dominios de TI en los que se desarrollan. Paso seguido, se realiza un análisis DAR (*Decision Analysis and Resolution*) basado en el modelo de CMMI, el cual permite definir la tecnología de contenedores adecuada en la implementación de una solución. A partir de este análisis, se desarrolla la arquitectura de solución con base en las necesidades del grupo de investigación.

Glosario

En este apartado se encuentran términos clave y conceptos relevantes utilizados a lo largo de este proyecto.

B

Benchmarking: Mide el rendimiento o el grado de éxito alcanzado en comparación con otras empresas para una actividad, flujo de valor u otros factores de interés determinados. Estas medidas se convierten en la base para el análisis y el rediseño (Peter Wootton, 2024).

C

Cloud Computing: La computación en la nube es un modelo que permite el acceso a la red, ubicuo, práctico y bajo demanda, a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables que pueden aprovisionarse y liberarse rápidamente con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción con el proveedor de servicios (Mell, 2011).

E

Escalabilidad: El escalado automático en computación se refiere al ajuste automático de los recursos informáticos a medida que aumenta la carga de trabajo. Los servicios en la nube aumentan automáticamente sus recursos informáticos en respuesta al aumento de la carga de trabajo, las solicitudes y las actividades. Como parte de este proceso, se asignan servidores adicionales, se asignan recursos de memoria y se gestionan los requisitos de red (Tari et al., 2024).

H

Hypervisor: Es responsable de crear, administrar y programar máquinas virtuales, que representan máquinas reales para los sistemas operativos que se ejecutan en ellas (Cinque et al., 2024).

P

Private Cloud: Una nube privada virtual se refiere a una nube privada alojada en un entorno de nube pública o compartida. Permite la conexión entre la infraestructura heredada y los servicios en la nube mediante una conexión de red virtual segura (Collins, 2016).

Producto mínimo viable (PMV): El producto mínimo viable es aquella versión de un nuevo producto que permite a un equipo recopilar la máxima cantidad de aprendizaje validado sobre los clientes con el menor esfuerzo (Ries, 2020).

V

Virtualización: Virtualización significa máquina virtual, que no existe pero proporciona todas las facilidades del mundo real, que se utilizan para mejorar la eficiencia de la computación en la nube (Meena and Kumar Banyal, 2021).

Siglas y Abreviaturas

API Interfaz de Programación de Aplicaciones

CMMI Capability Maturity Model Integration

CPU Unidad Central de Procesamiento

DAR Decision Analysis and Resolution

GRID Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución

IT Tecnologías de la Información

SMS Systematic Mapping Study

VBC Virtualización Basada en Contenedores

Objetivos

1.1 Objetivo general

Especificar una arquitectura de tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC), evaluando sus características a través de un benchmarking, seleccionando la que mejor se adapte a la necesidad, problema y oportunidad del GRID (Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución), haciendo un análisis DAR e implementando un producto mínimo viable (PMV).

1.2 Objetivos específicos

- Reconocer necesidades del GRID (Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución) con relación a las tecnologías de virtualización basadas en contenedores.
- Identificar las tecnologías de virtualización basadas en contenedores.
- Caracterizar tecnologías de virtualización basadas en contenedores.
- Seleccionar un conjunto de tecnologías de contenedores para realizar pruebas de concepto.
- Diseñar una especificación arquitectónica para las herramientas seleccionadas.
- Implementar el prototipo funcional.
- Validar casos con relación a la necesidad del cliente.

Justificación

Actualmente el Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID) presenta diversas necesidades y oportunidades con relación a los servicios tecnológicos que ofrece a la Universidad del Quindío, en apoyo a sus objetivos misionales de docencia, investigación y extensión. En este contexto, el GRID busca identificar tecnologías emergentes que permitan potenciar su capacidad de brindar servicios tecnológicos avanzados para su propio beneficio y de la comunidad académica de su influencia. Con relación a lo anterior, la virtualización basada en procesos se presenta como una oportunidad para potenciar la gestión de recursos y servicios de tecnología informática (TI). Aunque el GRID cuenta con una infraestructura basada en máquinas virtuales y gestionadas mediante un hipervisor tipo I, aún se requiere de instancias computacionales más livianas para ser usadas en su oferta de servicios computacionales hacia la comunidad académica, representada por los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Quindío. Como menciona Sepúlveda-Rodríguez et al. (2022), las tecnologías de virtualización han proliferado en los últimos años y constituyen la base subyacente de infraestructuras modernas como el cloud computing. La VBC representan una opción de virtualización que requieren menos recursos computacionales para su operación (Xavier et al., 2013) y que en paralelo con las máquinas virtuales existentes en el GRID podrían constituir una oferta de servicios de TI con mayor diversificación, escalabilidad, flexibilidad y mantenibilidad para satisfacer los requerimientos del contexto académico del grupo de investigación.

Metodología

Texto de la metodología.

Marco Conceptual

Texto del marco conceptual.

Marco Teórico

En el contexto de la gestión de proyectos y el desarrollo de software, contar con marcos de referencia sólidos es esencial para enfrentar los desafíos actuales con una estructura clara y metodologías bien definidas. Estos marcos permiten ubicar el proyecto dentro de una corriente de pensamiento ampliamente aceptada, al tiempo que proporcionan herramientas prácticas que facilitan su aplicación en contextos reales. Uno de los referentes más reconocidos en la gestión de proyectos es el PMBOK (Project Management Body of Knowledge), establecido por el Project Management Institute. Este estándar reúne un conjunto amplio de buenas prácticas aplicables a la mayoría de los proyectos, organizando el trabajo en áreas clave como el alcance, tiempo, costos, calidad, riesgos y recursos(Institute, 2017). La utilización del PM-BOK no solo mejora la gestión y control de los proyectos, sino que también permite alinearlos con los objetivos estratégicos de la organización, propendiendo la entrega de valor y la reducción de riesgos durante su ejecución(Monday, 2022). Complementariamente, la norma ISO 9000 aporta una perspectiva centrada en la calidad, promoviendo la estandarización de procesos y la mejora continua(Porfert, 1986). Esta serie de normas internacionales busca garantizar que las organizaciones respondan de manera consistente a las expectativas de los clientes, mediante la implementación de principios que abarcan desde el liderazgo hasta la gestión de la información y el conocimiento. Aplicar este marco no solo mejora la operación, sino que también fortalece la confianza del cliente y asegura la calidad en los productos y servicios ofrecidos(Gray et al., 2022). Así, se establece una conexión directa entre la gestión de proyectos y los sistemas de calidad, lo que resulta especialmente útil cuando se busca garantizar la sostenibilidad de los resultados. Para abordar la complejidad técnica de los sistemas desarrollados, se recurre al modelo por capas, una arquitectura que permite dividir el sistema en distintos niveles con funciones específicas y autónomas. Esta forma de organización contribuye a una mayor claridad y modularidad, permitiendo que los componentes de una capa puedan ser modificados sin afectar el resto del sistema(Spray, 2023). De este modo, se facilita el mantenimiento, la escalabilidad y la gestión de cambios, cualidades esenciales en el desarrollo de software.

moderno. La interoperabilidad también se ve fortalecida, dado que esta arquitectura permite una integración más fluida entre distintos módulos y servicios. En ese mismo sentido, la Cloud Native Computing Foundation (CNCF) introduce un enfoque moderno para el desarrollo de aplicaciones, orientado a tecnologías nativas de la nube. Este marco promueve prácticas como el uso de contenedores, microservicios y la automatización continua, con el objetivo de construir soluciones más eficientes, escalables y resilientes(?). La CNCF también proporciona herramientas que buscan la portabilidad y la interoperabilidad entre diferentes entornos de nube, lo que permite a las organizaciones adaptarse con mayor agilidad a un entorno cambiante y competitivo. Su enfoque abierto e interoperable lo convierte en un aliado clave para iniciativas que busquen aprovechar al máximo las capacidades de la nube. Junto a estas herramientas técnicas y de gestión, el Design Thinking aporta una perspectiva centrada en las personas, enfocándose en comprender profundamente las necesidades del usuario para proponer soluciones innovadoras(?). Esta metodología fomenta la empatía, la experimentación y la colaboración interdisciplinaria, promoviendo la creación de productos y servicios que se ajusten con mayor precisión a las demandas reales del contexto. Su inclusión en proyectos tecnológicos no solo impulsa la innovación, sino que también fortalece la toma de decisiones ágiles y adaptativas, favoreciendo entornos flexibles en constante evolución. Por su parte, TOGAF (The Open Group Architecture Framework) complementa este conjunto de marcos al enfocarse en la alineación entre la estrategia del negocio y los procesos de tecnología de la información. Mediante su enfoque estructurado por fases —que abarca desde la planificación hasta la implementación y el monitoreo— TOGAF permite gestionar arquitecturas empresariales de forma coherente y flexible. Su aplicación ayuda en el uso recursos, integración de sistemas y toma de decisiones estratégicas con una visión holística de la organización(Mumtaza et al., 2025). Finalmente, la norma ISO/IEC 25010 establece un modelo integral para la evaluación de la calidad del software, considerando atributos como la funcionalidad, usabilidad, seguridad, mantenibilidad y portabilidad(?). Este marco teórico es fundamental para asegurar que los sistemas desarrollados cumplan con los requisitos tanto del negocio como del usuario final, proporcionando un enfoque riguroso que permite identificar áreas de mejora en las distintas etapas del ciclo de vida del software. Su adopción permite fortalecer la confianza en los productos desarrollados y garantizar su robustez en contextos dinámicos. Todos estos marcos, aunque distintos en su enfoque, se complementan entre sí y permiten establecer una base para la formulación y ejecución de proyectos tecnológicos. Su integración permite abordar los retos desde múltiples dimensiones —estratégica, técnica, organizacional y humana—, ayudando al diseño

de soluciones innovadoras y sostenibles.

Desarrollo Metodológico

1. Caracterización del GRID

El Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID) de la Universidad del Quindío se dedica a la educación, investigación y extensión, siendo los objetivos misionales de la Universidad del Quindío. Desde el grupo de investigación se busca ofrecer servicios tecnológicos avanzados a la comunidad académica, especialmente a los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación. Es por esto que en este apartado se caracterizó el GRID, identificando sus necesidades y oportunidades con relación a las tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC).

2. Mapeo SMS

El mapeo sistemático de estudios (SMS) se realizó para identificar y analizar las tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC) más relevantes y utilizadas en la actualidad. Este proceso incluyó la revisión de literatura académica, artículos técnicos y estudios de caso, con el fin de establecer un panorama claro sobre las opciones disponibles y sus características principales.

3. Identificación y caracterización de las tecnologías VBC

En esta sección se llevó a cabo un análisis detallado de las tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC) identificadas en el mapeo SMS. Se examinaron sus características, ventajas y desventajas, así como su aplicabilidad en el contexto del GRID.

4. Benchmarking de tecnologías VBC

El benchmarking se realizó para comparar las tecnologías VBC en función de criterios como uso de CPU, throughput de red, I/O. Esta evaluación permitió identificar las soluciones más adecuadas para las necesidades del GRID.

5. Análisis DAR

El análisis de riesgos y oportunidades (DAR) se llevó a cabo para evaluar el impacto potencial de la implementación de tecnologías VBC en el GRID. Se identificaron los principales riesgos asociados y se propusieron estrategias para mitigarlos.

6. Diseño de la solución arquitectónica

7. Implementación de la solución

8. Validación de la solución

Caracterización del GRID

El Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID) de la Universidad del Quindío se dedica a la educación, investigación y extensión, siendo los objetivos misionales de la Universidad del Quindío. Desde el grupo de investigación se busca ofrecer servicios tecnológicos a la comunidad académica, especialmente a los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación.

1.1 Análisis de stakeholders del grupo GRID

Para comprender mejor las necesidades y expectativas del GRID, se realizó un análisis de los stakeholders involucrados. Este análisis incluyó a los miembros del grupo de investigación, estudiantes, docentes, entre otros, identificando sus roles, impacto y poder de influencia por una solución basada en las tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC).

Stakeholder	Rol	Involucramiento	Impacto	Poder de influencia	Interés	Compromiso
Grupo de Investigación GRID	Beneficiario principal	Provee infraestructura, evalúa la solución y su impacto	Alto	Alto, decide la adopción de la tecnología	Alto, busca mejorar sus servicios	Alto, ya que su infraestructura será potenciada
Docentes de Ingeniería de Sistemas	Usuarios clave	Harán uso de los entregables para proyectos y enseñanza	Medio-Alto	Medio, pueden sugerir mejoras pero no decidir implementación	Medio-Alto, esperan decisiones sobre tecnología para enseñanza e investigación	Medio, dependerá de la utilidad de la solución
Estudiantes de Ingeniería de Sistemas	Usuarios finales	Usarán los servicios en sus cursos y proyectos. Podrán informarse sobre el estudio.	Medio	Bajo, no tienen poder de decisión, pero su uso validará la solución	Alto, necesitan un entorno estable y eficiente	Medio-Alto, dependiendo de la accesibilidad y usabilidad
Programa de ingeniería de sistemas y computación	Facilitador	Puede apoyar con recursos y normativas para la adopción	Alto	Alto, puede aprobar recursos	Medio, su interés es institucional y estratégico	Bajo-Medio, si la solución no afecta directamente a su gestión
Proveedores de tecnología (Docker, Kubernetes, etc.)	Proveedores de herramientas	Proveen la tecnología de virtualización a utilizar	Bajo	Bajo, la decisión de uso recae en el GRID y la universidad	Bajo aunque buscan ampliar su base de usuarios	Bajo, su involucramiento es indirecto
Investigadores y otros grupos de investigación	Potenciales beneficiarios	Pueden usar los resultados en búsqueda de mejoras para sus proyectos	Medio	Medio, pueden influir con solicitudes de mejora	Medio, dependiendo de su relación con GRID	Bajo, solo si ven beneficios concretos
Sector empresarial	Potencial inversor o usuario	Podría apoyar la solución si ve ventajas en la adopción de TVBC	Bajo-Medio	Bajo, no decide en la universidad, pero puede ofrecer incentivos	Bajo-Medio, si la tecnología ofrece valor comercial	Bajo, depende de la alineación con sus intereses

Cuadro 1: Análisis de stakeholders del proyecto

1.2 Priorización de stakeholders

A partir del análisis de stakeholders, se priorizaron aquellos que tienen mayor impacto y poder de influencia en el proyecto. Esta priorización permite enfocar

los esfuerzos de comunicación y gestión de expectativas hacia los stakeholders más relevantes, asegurando que sus necesidades sean atendidas de manera especial.

Priorización de stakeholders

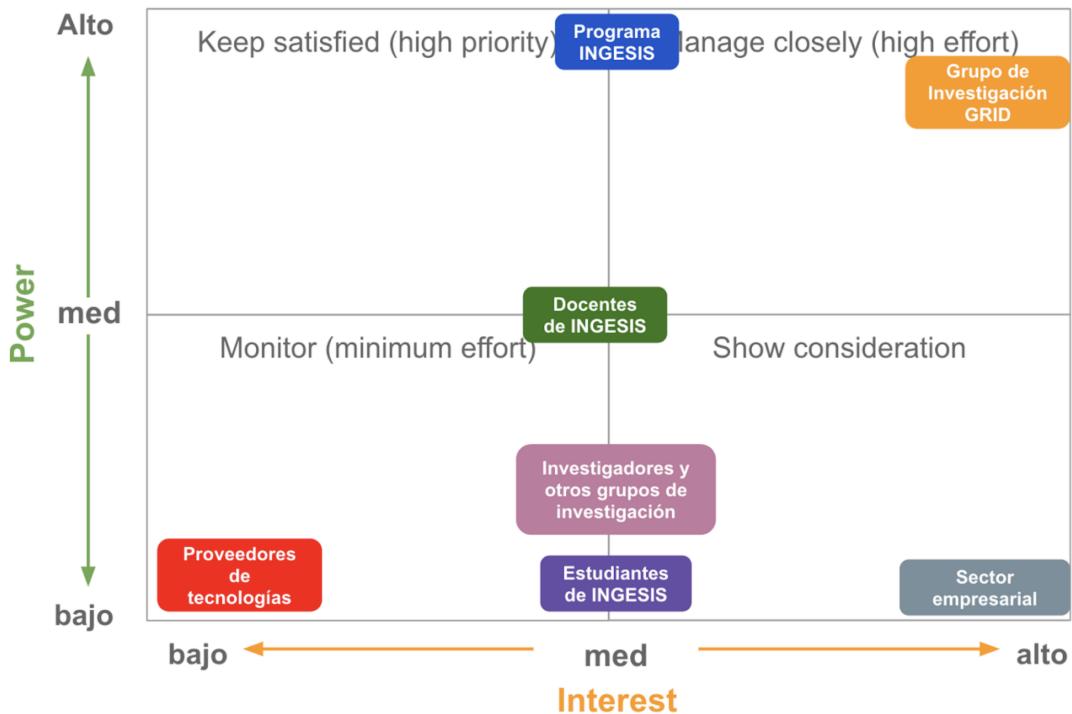


Figura 1: Priorización de stakeholders del proyecto

1.3 Integrantes y áreas de trabajo del GRID

El GRID está compuesto por un equipo multidisciplinario de investigadores y profesionales, cada uno con áreas de especialización diferentes. A continuación se presentan los diferentes integrantes y sus respectivas áreas de trabajo:

- **Christian Andrés Candela Uribe:** Microservicios, desarrollo de software, minería de datos, infraestructura TI
- **Luis Eduardo Sepúlveda Rodríguez:** Infraestructura de TI, HPC, computación paralela
- **Carlos Andrés Flórez Villarraga:** Programación y algoritmia, Activa, inteligencia artificial
- **Carlos Eduardo Gómez Montoya:** Networking, ingeniería de software, cloud computing

- **Sergio Augusto Cardona Torres:** Big data y análisis de datos, ingeniería de software, educación asistida por computador - sistemas adaptativos, informática educativa
- **Sonia Jaramillo Valbuena:** Big data, electroquímica, inteligencia artificial
- **Julián Esteban Gutiérrez Posada:** Microservicios, desarrollo de software, minería de datos, infraestructura TI, HPC, computación paralela, networking, ingeniería de software

1.4 Misión del GRID

La misión del GRID es heredada de la Universidad del Quindío. A continuación se presenta la misión del GRID:

La Universidad del Quindío contribuye a la transformación de la sociedad, mediante la formación integral desde el ser, el saber y el hacer, de líderes reflexivos y gestores del cambio; con estándares de calidad, a través de una oferta de formación en diferentes metodologías, que responda a una sociedad basada en el conocimiento; una investigación pertinente, que aporte a la solución de las problemáticas del desarrollo e integrada con la extensión y proyección social; educando en tiempos del posconflicto y de la consolidación de la paz, apoyada en una gestión creativa y con estándares de calidad.

A partir de esta misión, se identifican los siguientes pilares fundamentales:

- **Docencia:** La Universidad del Quindío contribuye a la transformación de la sociedad, mediante la formación integral desde el ser, el saber y el hacer, de líderes reflexivos y gestores del cambio; con estándares de calidad, a través de una oferta de formación en diferentes metodologías, que responda a una sociedad basada en el conocimiento.
- **Investigación:** Una investigación pertinente, que aporte a la solución de las problemáticas del desarrollo e integrada con la extensión y proyección social.
- **Extensión y Desarrollo Social:** Apoyada en una gestión creativa y con estándares de calidad.
- **Responsabilidad Social:** Educando en tiempos del posconflicto y de la consolidación de la paz.

1.5 Visión del GRID

En el año 2025, la Universidad del Quindío estará consolidada como una institución *Pertinente - Creativa - Integradora*, acreditada de alta calidad, con reconocimiento nacional e internacional en sus procesos de formación a través de diferentes metodologías, de investigación, extensión, proyección y responsabilidad social.

A partir de esta visión, se destacan los siguientes enfoques estratégicos:

- **Gestión:** La Universidad del Quindío estará consolidada como una institución *Pertinente — Creativa — Integradora*.
- **Docencia:** Acreditada de alta calidad en sus procesos de formación a través de diferentes metodologías.
- **Investigación:** Consolidada como pertinente y de alta calidad en sus procesos de investigación.
- **Extensión y Desarrollo Social:** Procesos creativos e integradores en proyección social.
- **Responsabilidad Social:** Reconocimientos en sus procesos de responsabilidad social.

1.6 Impacto del proyecto en el GRID

El proyecto tiene como objetivo apoyar los procesos de **docencia, investigación y extensión** mediante la especificación de una arquitectura de tecnologías de virtualización basada en contenedores (VBC).

Este trabajo se enfoca en la identificación de una tecnología de contenerización que **agregue valor a los procesos del GRID**, beneficiando a **docentes, estudiantes** y cualquier parte interesada que participe en los proyectos y actividades desarrolladas por este grupo de investigación.

1.7 Caracterización de la infraestructura tecnológica del GRID

En el siguiente formato se van a especificar las características técnicas de la infraestructura tecnológica del GRID disponible para temas de virtualización. Macro de la ficha técnica

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Servidor tipo torre marca HP
TIPO DE RECURSO	Torre
MODELO	Desconocido
MARCA	HP
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 49867 3 (14)
FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
PARTES	<ul style="list-style-type: none"> - 8 entradas USB (4 al frente, 4 en la parte trasera) - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 3 puertos Ethernet (parte trasera) - entrada Displayport - Puertos PS/2 (Teclado y Ratón)
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	
Hipervisor de reserva XCP-ng	
IMPACTO	
- Oportunidad de uso	
OBSERVACIONES	
El Equipo no tiene modelo	
INSTRUCCIONES DE USO	
CARACTERÍSTICAS DE USO	

Cuadro 2: Caracterización torre 1

DESCRIPCIÓN FÍSICA		Servidor tipo torre marca HP
TIPO DE RECURSO	Torre	
MODELO	Desconocido	
MARCA	HP	
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 49861 1 (12)	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		 PARTES
<ul style="list-style-type: none"> - 8 entradas USB (4 al frente, 4 en la parte trasera) - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 3 puertos Ethernet (parte trasera) - entrada Displayport - Puertos PS/2 (Teclado y Ratón) 		
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA		
Servidor de reserva (Todavia no hay un uso definido)		
IMPACTO		
<ul style="list-style-type: none"> - Oportunidad de uso 		
OBSERVACIONES		
El Equipo no tiene modelo		
INSTRUCCIONES DE USO		
CARACTERÍSTICAS DE USO		

Cuadro 3: Caracterización torre 2

DESCRIPCIÓN FÍSICA		Servidor tipo torre marca HP
TIPO DE RECURSO	Torre	
MODELO	Desconocido	
MARCA	HP	
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 49969 4 (13)	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)
<ul style="list-style-type: none"> - 8 entradas USB (4 al frente, 4 en la parte trasera) - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 3 puertos Ethernet (parte trasera) - entrada Displayport - Puertos PS/2 (Teclado y Ratón) 		
		PARTES
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA		
Servidor de reserva (Todavia no hay un uso definido)		
IMPACTO		
<ul style="list-style-type: none"> - Oportunidad de uso 		
OBSERVACIONES		
El Equipo no tiene modelo		
INSTRUCCIONES DE USO		
CARACTERÍSTICAS DE USO		

Cuadro 4: Caracterización torre 3

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Servidor tipo torre marca HP				
TIPO DE RECURSO	Torre				
MODELO	Desconocido	FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)			
MARCA	HP				
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 49879 4 (15)				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	 - 8 entradas USB (4 al frente, 4 en la parte trasera) - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 3 puertos Ethernet (parte trasera) - entrada Displayport - Puertos PS/2 (Teclado y Ratón)				
	PARTES				
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	Servidor de reserva (Todavia no hay un uso definido)				
IMPACTO					
- Oportunidad de uso					
OBSERVACIONES	El Equipo no tiene modelo				
INSTRUCCIONES DE USO					
CARACTERÍSTICAS DE USO					

Cuadro 5: Caracterización torre 4

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Servidor tipo torre marca HP				
TIPO DE RECURSO	Torre				
MODELO	Desconocido	FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)			
MARCA	HP				
CÓDIGO DE INVENTARIO	72992 (22)				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS					
<ul style="list-style-type: none"> - 9 entradas USB (4 al frente, 5 en la parte trasera) - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 1 puerto Ethernet (parte trasera) - 2 Entrada Displayport - Procesador Intel vPro i9 		 PARTES			
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA					
Servidor de reserva (Todavia no hay un uso definido)					
IMPACTO					
<ul style="list-style-type: none"> - Oportunidad de uso 					
OBSERVACIONES					
El Equipo no tiene modelo					
INSTRUCCIONES DE USO					
CARACTERÍSTICAS DE USO					

Cuadro 6: Caracterización torre 5

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Servidor tipo torre marca HP				
TIPO DE RECURSO	Torre				
MODELO	Desconocido	FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)			
MARCA	HP				
CÓDIGO DE INVENTARIO	72976 (21)				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	<ul style="list-style-type: none"> - 9 entradas USB (4 al frente, 5 en la parte trasera) - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 1 puerto Ethernet (parte trasera) - 2 Entrada Displayport - Procesador Intel vPro i9 				
					
	PARTES				
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	Servidor de reserva (Todavia no hay un uso definido)				
IMPACTO	<ul style="list-style-type: none"> - Oportunidad de uso 				
OBSERVACIONES	El Equipo no tiene modelo				
INSTRUCCIONES DE USO					
CARACTERÍSTICAS DE USO					

Cuadro 7: Caracterización torre 6

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Servidor tipo torre marca HP				
TIPO DE RECURSO	Torre				
MODELO	Desconocido	FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)			
MARCA	HP				
CÓDIGO DE INVENTARIO	(11)				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	 - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 1 puerto Ethernet (parte trasera) - Procesador Intel Core i7				
	PARTES				
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	Servidor de reserva (Todavia no hay un uso definido)				
IMPACTO					
- Oportunidad de uso					
OBSERVACIONES	El Equipo no tiene modelo				
INSTRUCCIONES DE USO					
CARACTERÍSTICAS DE USO					

Cuadro 8: Caracterización torre 7

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Blade en el Rack 03
TIPO DE RECURSO	Servidor
MODELO	System x3250 M4
MARCA	IBM
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 50981 2
FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	 <ul style="list-style-type: none"> - Procesador Intel Xeon E3-1220v2 - Controlador integrado Serial-ATA (SATA) - Dos ranuras de expansión de E / S PCI Express - Cuatro SAS / SATA de intercambio en caliente - Fuente de alimentación redundante de 460W - Soporte de gestión del sistema - Puertos de E / S - Cuatro puertos USB ; dos en frente, dos en la parte trasera - Lector de DVDs
PARTES	<ul style="list-style-type: none"> - Chasis - Rails o guías deslizantes
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	Prestación de servicios de computo
IMPACTO	<ul style="list-style-type: none"> - Prestación de servicios a los estudiantes - Creación de máquinas virtuales para prácticas
OBSERVACIONES	
INSTRUCCIONES DE USO	
CARACTERÍSTICAS DE USO	

Cuadro 9: Caracterización rack 1

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Blade en el Rack 03
TIPO DE RECURSO	Servidor
MODELO	System x3250 M4
MARCA	IBM
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 50980 5
FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
- Cuatro SAS / SATA de intercambio en caliente de 2,5 pulgadas - Fuente de alimentación redundante de 460 vatios	PARTES - Chasis - Rails o guias deslizantes
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	
Prestacion de servicios de computo	
IMPACTO	
- Prestacion de servicios a los estudiantes - Creacion de maquinas virtuales para practicas	
OBSERVACIONES	
INSTRUCCIONES DE USO	
CARACTERÍSTICAS DE USO	

Cuadro 10: Caracterización rack 2

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Blade en el Rack 03
TIPO DE RECURSO	Servidor
MODELO	System x3550 M3
MARCA	IBM
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 48735 6
FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	<p>Memoria:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mínimo: 2 GB - Máximo: 288 GB - 48 GB utilizando módulos DIMM sin búfer (UDIMM) - 288 GB utilizando DIMM registrados (RDIMM) - Tipo: PC3-10600R-999, 800, 1066 y 1333 MHz, ECC, DDR3 registrado o sin búfer DIMM SDRAM - Ranuras: 18 en línea dual - Admite (según el modelo): - DIMM sin búfer de 2 GB y 4 GB - DIMM registrados de 2 GB, 4 GB, 8 GB y 16 GB
PARTES	<ul style="list-style-type: none"> - Chasis - Rails o guías deslizantes
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	Prestación de servicios de computo
IMPACTO	<ul style="list-style-type: none"> - Prestación de servicios a los estudiantes - Creación de máquinas virtuales para prácticas
OBSERVACIONES	Tiene 2 etiquetas de Activos Fijos
INSTRUCCIONES DE USO	
CARACTERÍSTICAS DE USO	

Cuadro 11: Caracterización rack 3

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Blade en el Rack 03				
TIPO DE RECURSO	Servidor				
MODELO	System x3550 M3	FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)			
MARCA	IBM				
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 48733 2				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	<p>Memoria:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mínimo: 2 GB - Máximo: 288 GB - 48 GB utilizando módulos DIMM sin búfer (UDIMM) - 288 GB utilizando DIMM registrados (RDIMM) - Tipo: PC3-10600R-999, 800, 1066 y 1333 MHz, ECC, DDR3 registrado o sin búfer DIMM SDRAM - Ranuras: 18 en línea dual - Admite (según el modelo): - DIMM sin búfer de 2 GB y 4 GB - DIMM registrados de 2 GB, 4 GB, 8 GB y 16 GB 				
PROPOSITO DE LA TECNOLOGÍA	Prestacion de servicios de computo				
IMPACTO	<ul style="list-style-type: none"> - Prestacion de servicios a los estudiantes - Creacion de maquinas virtuales para practicas 				
OBSERVACIONES	Tiene 2 etiquetas de Activos Fijos				
INSTRUCCIONES DE USO					
CARACTERÍSTICAS DE USO					

Cuadro 12: Caracterización rack 4

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Blade en el Rack 03				
TIPO DE RECURSO	Servidor				
MODELO	System x3550 M3	FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)			
MARCA	IBM				
CÓDIGO DE INVENTARIO	51474				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	<ul style="list-style-type: none"> - Mínimo: 2 GB - Máximo: 288 GB - 48 GB utilizando módulos DIMM sin búfer (UDIMM) - 288 GB utilizando DIMM registrados (RDIMM) - Tipo: PC3-10600R-999, 800, 1066 y 1333 MHz, ECC, DDR3 registrado o sin búfer DIMM SDRAM Ranuras: 18 en línea dual Admite (según el modelo): - DIMM sin búfer de 2 GB y 4 GB 				
					
	PARTES				
	<ul style="list-style-type: none"> - Chasis - Rails o guias deslizantes 				
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	Prestacion de servicios de computo				
IMPACTO					
	<ul style="list-style-type: none"> - Prestacion de servicios a los estudiantes - Creacion de maquinas virtuales para practicas 				
OBSERVACIONES	Tiene 2 etiquetas de Activos Fijos				
INSTRUCCIONES DE USO					
CARACTERÍSTICAS DE USO					

Cuadro 13: Caracterización rack 5

DESCRIPCIÓN FÍSICA NAS de color negro con 8 unidades de almacenamiento

TIPO DE RECURSO	NAS	FECHA DE ADQUI (APROX.)
MODELO	TS-832PX	
MARCA	QNAP	
CÓDIGO DE INVENCIÓN	N/A	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
<ul style="list-style-type: none">- Procesador: Annapurna Labs Alpine AL-324- RAM: 4 GB DDR4 (expandible a 16 GB)- Bahías: 8 bahías para discos duros SATA d- Ruido: Operación silenciosa con ventiladore- Consumo: 50.8 W en funcionamiento, 27 W- Puertos de Red: 2 x RJ45 2.5GbE, 2 x 10G- Puertos USB: 1 x USB 3.2 Gen 1 frontal, 2 x- Expansión: Ranuras PCIe para tarjetas de e		
 PARTES <ul style="list-style-type: none">- Carcasa negra- 8 unidades de almacenamiento		

PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA

Proporcionar almacenamiento compartido y redundante a los usuarios y servidores dentro de una red

IMPACTO

- Proporciona almacenamiento y redundancia (si la NAS falla, no hay disponibilidad de backups ni acceso a los archivos almacenados)

OBSERVACIONES**INSTRUCCIONES DE USO****CARACTERÍSTICAS DE USO**

Cuadro 14: Caracterización NAS 1

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Servidor Firewall con chasis negro, marca DELL
TIPO DE RECURSO	Firewall
MODELO	PowerEdge T100
MARCA	DELL
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 46288 9
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	<p>- Familia de procesador: Intel® Xeon®</p> <p>- Frecuencia del procesador: 3 GHz</p> <p>- Modelo del procesador: E3110. Memoria integrada: 2 GB.</p> <p>- Tipo de memoria interna: DDR2-SDRAM</p> <p>- Disposición de la memoria: 2 x 2 GB. Capacidad máxima: 4 GB.</p> <p>- Tamaño del HDD: 3.5".</p> <p>- Ethernet.</p> <p>- Tipo de unidad óptica: DVD-ROM.</p> <p>- Fuente de alimentación: 305 W</p> <p>- Tipo de chasis: Torre</p>
FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)	
PROPOSITO DE LA TECNOLOGÍA	Seguridad de la red de los servidores
IMPACTO	<ul style="list-style-type: none"> - Proteger los equipos de la frente a usuarios no autorizados
OBSERVACIONES	
INSTRUCCIONES DE USO	
CARACTERÍSTICAS DE USO	

Cuadro 15: Caracterización firewall 1

1.8 Caracterización de servicios del GRID

El GRID ofrece una variedad de servicios tecnológicos a la comunidad académica, especialmente a los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación. Estos servicios incluyen:

1.8.1 Servicios actuales

Los servicios actuales del GRID se centran en la provisión de infraestructura de TI, incluyendo máquinas virtuales, almacenamiento y redes. Estos servicios son utilizados principalmente por estudiantes y docentes

NOMBRE DEL SERVICIO	Máquinas Virtuales para estudiantes y docentes
TIPO DE SERVICIO	Servicio educativo
PROPÓSITO DEL SERVICIO	Proveer máquinas virtuales tanto a profesores, estudiantes y administrativos del programa de ingeniería de sistemas y computación, a través de XCP-ng, para el desarrollo de sus prácticas relacionadas con sus actividades misionales.
HORARIOS DE DISPONIBILIDAD ESPERADO	24/7
TIEMPO QUE LLEVA EN FUNCIONAMIENTO	3 años
RECURSOS TECNOLÓGICOS USADOS	servidores tipo torre y rack
TECNOLOGÍAS QUE USA	hipervisor tipo I (XCP-ng)
IMPACTO	En caso de indisponibilidad afecta la ejecución de las actividades misionales del grupo de investigación y el programa de Ingeniería de sistemas y computación.
OBSERVACIONES	

Cuadro 16: Caracterización de los servicios actuales del GRID

1.8.2 Servicios esperados

Los servicios esperados del GRID incluyen la implementación de tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC) para mejorar la administración de la infraestructura de TI.

NOMBRE DEL SERVICIO	Ambientes computacionales basados en VBC
TIPO DE SERVICIO	Servicio de educación, investigación y extensión.
PROPÓSITO DEL SERVICIO	Proveer ambientes computacionales tanto a profesores, investigadores, estudiantes y administrativos usando las VBC a través de un mecanismo de orquestación.
HORARIOS DE DISPONIBILIDAD	24/7
RECURSOS TECNOLÓGICOS USADOS	servidores tipo torre y rack
TECNOLOGÍAS QUE USA	Por determinar
IMPACTO	En caso de indisponibilidad afecta la ejecución de las actividades misionales del grupo de investigación y el programa de Ingeniería de sistemas y computación.
OBSERVACIONES	

Cuadro 17: Caracterización de los servicios esperados del GRID

1.9 Descripción de la oportunidad

Actualmente el Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID) presenta diversas necesidades y oportunidades con relación a los servicios tecnológicos que ofrece a la Universidad del Quindío, en apoyo a sus objetivos misionales de docencia, investigación y extensión.

En este contexto, el GRID busca identificar tecnologías emergentes que permitan potenciar su capacidad de brindar servicios tecnológicos avanzados, tanto para su propio beneficio como para la comunidad académica dentro de su ámbito de influencia.

Con relación a lo anterior, las **tecnologías de virtualización basadas en procesos** se presentan como una alternativa para optimizar la gestión de recursos y servicios de tecnología informática (TI). Aunque el GRID cuenta con una infraestructura basada en máquinas virtuales, gestionadas mediante el hipervisor tipo I *XCP-ng*, además de iniciativas de computación *Desktop Cloud*, aún requiere de instancias computacionales más livianas para ampliar su oferta de servicios computacionales dirigidos a la comunidad académica, especialmente a los estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Quindío.

Como mencionan *Sepúlveda et al.* (2022), las tecnologías de virtualización han proliferado en los últimos años y constituyen la base subyacente de infraestructuras modernas como el *cloud computing*. A partir de esta proliferación, las Tecnologías de Virtualización Basadas en Contenedores (VBC) se presentan como una alternativa que podría potenciar la gestión de los recursos relacionados con la infraestructura

de TI del GRID.

Las TVBC representan una opción de virtualización que requiere menos recursos computacionales para su operación (Xavier et al., 2013), y que, en conjunto con las máquinas virtuales ya existentes en el GRID, podrían constituir una oferta de servicios de TI con mayor diversificación, escalabilidad, flexibilidad y mantenibilidad, para satisfacer los requerimientos del contexto académico del grupo de investigación.

1.10 Resumen de la entrevista con el cliente

Para comprender mejor las necesidades y expectativas del GRID, se realizó una entrevista con el cliente.

- **Entrevistado:** Luis Eduardo Sepúlveda Rodríguez
- **Fecha:** 6 de febrero de 2025
- **Duración:** 25 minutos
- **Link:** [click aquí](#)
- **Asistentes:** Anubis Haxard Correa Urbano, José Alejandro Arias Pinzón

1.10.1 Misión del grupo GRID (Minuto 1:01)

El grupo de investigación no declara una misión y visión distinta a la de su organización, la Universidad del Quindío. En consecuencia, estos elementos se heredan directamente de la institución.

1.10.2 Actividades del grupo de investigación (Minuto 1:10)

Aunque su nombre podría llevar al sesgo de pensar que se dedica exclusivamente a la investigación, el GRID se desarrolla en los tres pilares misionales: docencia, investigación y extensión. Participa en actividades académicas como la enseñanza en el programa de Ingeniería de Sistemas y Computación, desarrolla investigaciones mediante el método científico, y realiza actividades de proyección social y formación complementaria.

1.10.3 La virtualización basada en contenedores como una oportunidad (Minuto 3:01)

Las TVBC pueden aportar al cumplimiento de la misión institucional. Actualmente se utiliza Docker por ser un estándar de facto, no por una evaluación formal.

Existen alternativas como Podman, ContainerD y LXC que también podrían apoyar los tres pilares institucionales.

1.10.4 El problema de la multitud de herramientas (Minuto 3:44)

Existen muchas herramientas que podrían cumplir los objetivos institucionales. Escoger una tecnología adecuada no es trivial y requiere comprender el contexto organizacional. Por eso, este proyecto busca ofrecer una solución arquitectónica basada en TVBC, que sirva a estudiantes y docentes para comprender el estado y las tendencias de estas tecnologías.

1.10.5 Difusión para apoyar a otros grupos e instituciones (Minuto 5:32)

Aunque el proyecto se enmarca en el GRID, sus resultados podrían ser útiles para otras universidades, grupos de investigación o incluso la industria. Elegir tecnologías VBC estratégicamente puede tener gran valor, por lo que se plantea la necesidad de difundir los avances y resultados del proyecto.

1.10.6 Restricción en los recursos (Minuto 7:08)

El GRID cuenta con infraestructura de TI, pero debe considerar su contexto y limitaciones. Soluciones que requieran licencias costosas o hardware especializado no son viables. Por tanto, las opciones de código abierto cobran especial relevancia.

1.10.7 Impacto del proyecto en los campos de estudio del GRID (Minuto 14:50)

Los pilares misionales abarcan muchas actividades. El GRID se enfoca en áreas como desarrollo de software, pensamiento computacional, computación paralela, análisis de datos, inteligencia artificial, redes, infraestructura de TI, y HPC. Este proyecto busca fortalecer esas áreas mediante el uso de tecnologías VBC.

1.10.8 Necesidad de orquestación entre máquinas virtuales y contenedores

Actualmente los servicios se ejecutan sobre máquinas virtuales con XCP-ng. Se considera deseable —aunque no obligatorio— que la solución propuesta permita integrar contenedores con máquinas virtuales completas mediante un clúster, para maximizar el aprovechamiento de la infraestructura existente.

Nota: Este documento es solo un resumen de la entrevista. El audio incluye una explicación adicional del mapeo SMS que no se encuentra transcrita aquí.

Revisión sistemática de la literatura

1. Construcción de la bitácora

En búsqueda de una base teórica para la elección de una tecnología de virtualización basada en contenedores, se realizó una revisión del estado del arte. Esta revisión se completó en diferentes etapas:

1.1 Planeación

Esta etapa consistió en establecer el propósito general que se buscaba alcanzar con el SMS (*Systematic Mapping Study*). A su vez, definió aspectos como objetivos, preguntas de investigación y métricas. Para ello, se siguió el modelo Objetivo-Pregunta-Métrica (*Goal-Question-Metric*, GQM). A continuación, se definen los objetivos del SMS aplicado a las tecnologías de virtualización basadas en contenedores.

1.1.1 Definición de metas para el SMS

Meta	Descripción
G1	Identificar trabajos relacionados con VBC en proyectos de docencia, investigación y extensión.
G2	Clasificar trabajos relacionados con VBC en los dominios de desarrollo de software, pensamiento computacional, computación paralela, análisis de datos, inteligencia artificial, redes computacionales, infraestructura de TI, HPC, entre otros.

Cuadro 18: Definición de metas del SMS

1.1.2 Definición de preguntas de investigación

Meta	Pregunta	Descripción	Motivación
G1	Q1	¿Cuáles son los trabajos relacionados con tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC) que podrían impactar positivamente proyectos de docencia, investigación y extensión?	La transversalidad que ofrece la VBC, gracias a su reproducibilidad de entornos, permite estimular diferentes aristas de la sociedad. Su naturaleza facilita el transporte de soluciones de TI, entre diferentes entornos, generando que una innovación en cualquier dominio social impacte directamente en otro.
G2	Q2	¿Cuáles son los principales trabajos relacionados con las tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC) que podrían contribuir en los diversos dominios de TI, entre las que pueden ser desarrollo de software, pensamiento computacional, computación paralela, análisis de datos, inteligencia artificial, redes computacionales, infraestructura de TI, HPC, entre otros?	Se busca proporcionar una base sólida para investigadores, docentes y profesionales interesados en comprender el estado del arte actual en relación con las VBC, además del alcance y las aplicaciones de estos trabajos sin necesidad de un análisis profundo.

Cuadro 19: Definición de preguntas de investigación del SMS

1.1.3 Definición de métricas

Métrica	Descripción
M1	Cantidad de trabajos identificados en cada dominio de TI.
M2	Cantidad de trabajos que están incluidos en educación.
M3	Cantidad de trabajos que están incluidos en investigación.
M4	Cantidad de trabajos que están incluidos en extensión.

Cuadro 20: Definición de métricas del SMS

2. Búsqueda de estudios

Esta etapa comprendió las siguientes secciones:

1. Estrategia de búsqueda, ya sea independiente o combinada;
2. Identificación general de estudios;
3. Selección; y finalmente,
4. Selección de estudios para incluir en el SMS.

2.1 Estrategia de búsqueda

Este trabajo combinó las estrategias de búsqueda en bases de datos y búsqueda en bola de nieve. Para la estrategia de búsqueda en bases de datos, se seleccionaron las siguientes bases de datos: ACM, IEEE Xplore, Springer, Taylor & Francis y Science Direct.

2.2 Búsqueda en bases de datos

Se seleccionaron las siguientes bases de datos para este propósito: ACM, IEEE Xplore, Springer, Taylor & Francis y Science Direct.

2.2.1 Identificación de estudios mediante búsqueda en bases de datos

En esta etapa del proceso fue necesario establecer las palabras clave que serían útiles en las cadenas de búsqueda para cada una de las bases de datos seleccionadas. Los términos consideran los elementos identificados en la etapa de planificación, para lo cual también se utilizó el modelo PICOC como guía metodológica.

Componente	Descripción
Población	Trabajos relacionados con la VBC aplicadas en diversos dominios de TI con un énfasis en la educación, investigación y extensión.
Intervención	Identificación y clasificación de los trabajos en VBC en los dominios de TI establecidos
Comparación	1. Se comparan los proyectos que han hecho uso de la VBC para determinar cuáles han tenido mayor tasa de éxito expresado por los autores en cada dominio de TI 2. Se analiza el impacto de la VBC en proyectos de docencia, investigación y extensión en comparación con otras soluciones tecnológicas.
Salida	Estructura de clasificación de los trabajos relacionados con las VBC en cada dominio de TI que han impactado en proyectos de docencia, investigación y extensión.
Contexto	Docencia, investigación y extensión con apropiación de los dominios de TI en forma de VBC

Cuadro 21: Modelo PICOC

Bibliografía

- Ahmadi, S. (2024). Systematic Literature Review on Cloud Computing Security: Threats and Mitigation Strategies. *Journal of Information Security*, 15(02):148–167.
- Alonso, J., Orue-Echevarria, L., Casola, V., Torre, A. I., Huarte, M., Osaba, E., and Lobo, J. L. (2023). *Understanding the challenges and novel architectural models of multi-cloud native applications – a systematic literature review*. Springer Berlin Heidelberg.
- Cinque, M., De Simone, L., and Ottaviano, D. (2024). Temporal isolation assessment in virtualized safety-critical mixed-criticality systems: A case study on Xen hypervisor. *Journal of Systems and Software*, 216:112147.
- Collins, L. (2016). Virtual Private Cloud.
- Docker (2021). Developers Bring Their Ideas to Life with Docker.
- Docker (2024). Docker Index: Dramatic Growth in Docker Usage Affirms the Continued Rising Power of Developers.
- Gray, J., Ross, J., and Badrick, T. (2022). The path to continual improvement and business excellence: compliance to ISO standards versus a business excellence approach. *Accreditation and Quality Assurance*, 27(4):195–203.
- Institute, P. M. (2017). *Guia de los Fundamentos Para la Direccion de Proyectos: Guia del Pmbok*. Project Management Institute.
- Jain, N. and Choudhary, S. (2016). Overview of virtualization in cloud computing. *2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking, CDAN 2016*.
- Jayaweera, M., Kithulwatta, W., and Rathnayaka, R. (2024). An Approach to Examine and Recognize Anomalies on Cloud Computing Platforms with Machine. *International Journal of Research in Cloud Computing*.

- Meena, J. K. and Kumar Banyal, R. (2021). Efficient Virtualization in Cloud Computing. In *Proceedings - 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication, ICCMC 2021*, pages 227–232.
- Mell, P. G. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. *National institute of standart and technology*.
- Monday (2022). The PMBOK and How It's Used in Project Management.
- Mumtaza, F. F., Mulyana, R., and Mukti, I. Y. (2025). Utilizing TOGAF 10 to Design an Enterprise Architecture for BPRBCo SME Digital Transformation.
- Peter Wootton (2024). Benchmarking.
- Porfert, J. (1986). Quality Management Systems. Standard, International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza.
- Ries, E. (2020). Minimum Viable Product: a guide. August 3, 2009. *Retrieved July, 29.*
- Sepúlveda-Rodríguez, L. E., Chavarro-Porras, J. C., Sanabria-Ordoñez, J. A., Castro, H. E., and Matthews, J. (2022). A Survey of Virtualization Technologies: Towards a New Taxonomic Proposal. *Ingenieria e Investigacion*, 42(3):1–14.
- Spray, J. R. (2023). Abstraction Layered Architecture.
- Tari, M., Ghobaei-Arani, M., Pouramini, J., and Ghorbian, M. (2024). Auto-scaling mechanisms in serverless computing: A comprehensive review. *Computer Science Review*, 53:100650.
- Xavier, M. G., Neves, M. V., Rossi, F. D., Ferreto, T. C., Lange, T., and De Rose, C. A. (2013). Performance evaluation of container-based virtualization for high performance computing environments. In *Proceedings of the 2013 21st Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing, PDP 2013*, pages 233–240.

Apéndice A

Ficha técnica del recurso tecnológico

DESCRIPCIÓN FÍSICA			
TIPO DE RECURSO			
MODELO		FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)	
MARCA			
CÓDIGO DE INVENTARIO			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
	PARTES		
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA			
IMPACTO			
OBSERVACIONES			
INSTRUCCIONES DE USO			
CARACTERÍSTICAS DE USO			

Figura A.1: Ficha técnica del recurso tecnológico

Apéndice B

Ficha técnica de servicios

NOMBRE DEL SERVICIO	
TIPO DE SERVICIO	
PROPÓSITO DEL SERVICIO	
HORARIOS DE DISPONIBILIDAD	
TIEMPO QUE LLEVA EN FUNCIONAMIENTO	
RECURSOS TECNOLÓGICOS USADOS	
TECNOLOGÍAS QUE USA	
IMPACTO	
OBSERVACIONES	

Figura B.1: Ficha técnica de servicios