



# **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

<b>Dedicatoria</b>	<b>1</b>
<b>Resumen</b>	<b>5</b>
<b>Introducción</b>	<b>12</b>
<b>Glosario</b>	<b>14</b>
<b>Siglas y Abreviaturas</b>	<b>16</b>
<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
Objetivo general . . . . .	17
Objetivos específicos . . . . .	17
<b>Justificación</b>	<b>18</b>
<b>Metodología</b>	<b>19</b>
<b>Marco Conceptual</b>	<b>20</b>
<b>Marco Teórico</b>	<b>21</b>
<b>Desarrollo Metodológico</b>	<b>24</b>
<b>Caracterización del GRID</b>	<b>26</b>
Análisis de stakeholders del grupo GRID . . . . .	26
Priorización de stakeholders . . . . .	26
Integrantes y áreas de trabajo del GRID . . . . .	27
Misión del GRID . . . . .	28
Visión del GRID . . . . .	29
Impacto del proyecto en el GRID . . . . .	29
Caracterización de la infraestructura tecnológica del GRID . . . . .	29

Caracterización de servicios del GRID . . . . .	43
Servicios actuales . . . . .	44
Servicios esperados . . . . .	44
Descripción de la oportunidad . . . . .	45
Resumen de la entrevista con el cliente . . . . .	46
<b>Revisión sistemática de la literatura</b>	<b>48</b>
Construcción de la bitácora . . . . .	48
Planeación . . . . .	48
Búsqueda de estudios . . . . .	49
Estrategia de búsqueda . . . . .	50
Búsqueda en bases de datos . . . . .	50
Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión . . . . .	56
Eliminación de duplicados . . . . .	57
Priorización de estudios . . . . .	57
Estrategia de búsqueda usando bola de nieve . . . . .	58
Diagrama de búsqueda . . . . .	59
Usando cadenas de búsqueda . . . . .	59
Usando bola de nieve . . . . .	60
Identificación de estudios . . . . .	61
Artículos por año y métricas . . . . .	61
Información de la herramienta . . . . .	63
<b>Pruebas de Benchmarking</b>	<b>74</b>
1. Definición de las pruebas . . . . .	74
2. Construcción de las pruebas . . . . .	74
3. Resultados de las pruebas . . . . .	75
4. Métricas de rendimiento . . . . .	75
5. Análisis de los resultados . . . . .	78
<b>Análisis de Decisiones y Resolución (DAR)</b>	<b>79</b>
1. Metodología de evaluación . . . . .	79
2. Resultados de la evaluación . . . . .	80
3. Criterios de evaluación . . . . .	80
4. Tecnología VBC ganadora . . . . .	82
<b>A. Fichas técnicas y búsqueda en bases de datos</b>	<b>88</b>



# 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 . . . . .	27
2.	Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión . . . . .	56
3.	Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión . . . . .	57
4.	Artículos por métricas y año . . . . .	61
5.	Artículos por tipo . . . . .	61
7.	Diagrama de red de los artículos . . . . .	62
6.	Estrategia de búsqueda de artículos . . . . .	62
8.	Cuadrante de Gartner de cada VBC . . . . .	71
9.	Métricas de uso de CPU . . . . .	76
10.	Métricas de uso de RAM . . . . .	76
11.	Métricas de entrada/salida . . . . .	77
12.	Métricas de throughput . . . . .	77
A.1.	Ficha técnica del recurso tecnológico . . . . .	89
A.2.	Ficha técnica de servicios . . . . .	90
B.1.	Búsqueda de artículos de educación en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:13 pm . . . . .	91
B.2.	Búsqueda de artículos de investigación en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 8:23 pm . . . . .	92
B.3.	Búsqueda de artículos de extensión en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:20 pm . . . . .	92
B.4.	Búsqueda de artículos de educación en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 7/03/25 8:50 pm . . . . .	93
B.5.	Búsqueda de artículos de investigación en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 7/03/25 8:46 pm . . . . .	94
B.6.	Búsqueda de artículos de extensión en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 8:54 pm . . . . .	94

B.7. Búsqueda de artículos de educación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:58 pm . . . . .	95
B.8. Búsqueda de artículos de investigación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:40 pm . . . . .	96
B.9. Búsqueda de artículos de extensión en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:48 pm . . . . .	96
B.10. Búsqueda de artículos de educación en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:03 pm . . . . .	97
B.11. Búsqueda de artículos de investigación en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:43 pm . . . . .	98
B.12. Búsqueda de artículos de extensión en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:48 pm . . . . .	98
B.13. Búsqueda de artículos de educación en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:21 pm . . . . .	99
B.14. Búsqueda de artículos de investigación en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:31 pm . . . . .	100
B.15. Búsqueda de artículos de extensión en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:34 pm . . . . .	100
B.16. Búsqueda de artículos de educación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:15 pm . . . . .	101
B.17. Búsqueda de artículos de investigación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:19 pm . . . . .	102
B.18. Búsqueda de artículos de extensión en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:20 pm . . . . .	102
B.19. Búsqueda de artículos de educación en IEEE con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:27 pm . . . . .	103
B.20. Búsqueda de artículos de extensión en IEEE con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:37 pm . . . . .	104
B.21. Búsqueda de artículos de educación en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 2:29 pm . . . . .	104
B.22. Búsqueda de artículos de investigación en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 11:05 am . . . . .	105
B.23. Búsqueda de artículos de extensión en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 11:07 am . . . . .	106
B.24. Búsqueda de artículos de educación en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 2:59 am . . . . .	106

B.25.Búsqueda de artículos de investigación en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 3:01 am . . . . .	107
B.26.Búsqueda de artículos de extensión en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 3:07 am . . . . .	108
B.27.Búsqueda de artículos de educación en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:46 am . . . . .	108
B.28.Búsqueda de artículos de investigación en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:49 am . . . .	109
B.29.Búsqueda de artículos de extensión en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:50 am . . . . .	110
B.30.Plantilla del análisis DAR . . . . .	111

# Índice de cuadros

1.	Análisis de stakeholders del proyecto . . . . .	26
2.	Caracterización torre 1 . . . . .	30
3.	Caracterización torre 2 . . . . .	31
4.	Caracterización torre 3 . . . . .	32
5.	Caracterización torre 4 . . . . .	33
6.	Caracterización torre 5 . . . . .	34
7.	Caracterización torre 6 . . . . .	35
8.	Caracterización torre 7 . . . . .	36
9.	Caracterización rack 1 . . . . .	37
10.	Caracterización rack 2 . . . . .	38
11.	Caracterización rack 3 . . . . .	39
12.	Caracterización rack 4 . . . . .	40
13.	Caracterización rack 5 . . . . .	41
14.	Caracterización NAS 1 . . . . .	42
15.	Caracterización firewall 1 . . . . .	43
16.	Caracterización de los servicios actuales del GRID . . . . .	44
17.	Caracterización de los servicios esperados del GRID . . . . .	45
18.	Definición de metas del SMS . . . . .	48
19.	Definición de preguntas de investigación del SMS . . . . .	49
20.	Definición de métricas del SMS . . . . .	49
21.	Modelo PICOC . . . . .	50
22.	Palabras clave identificadas usando el modelo PICOC . . . . .	50
23.	Palabras clave para la búsqueda en base de datos . . . . .	50
24.	Criterios de Inclusión/Exclusión . . . . .	51
25.	Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión . . . . .	55
26.	Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión . . . . .	56
27.	Diagrama de la cadena de búsqueda . . . . .	59

28.	Diagrama de la búsqueda en bola de nieve . . . . .	60
29.	Comparativa de tecnologías de contenerización, licencias, términos de uso y costos . . . . .	67
30.	Interfaz de uso de cada VBC . . . . .	68
31.	Integración cloud de cada VBC . . . . .	69
32.	Tabla de medición para el cuadrante gartner . . . . .	70
33.	Entornos de ejecución de cada VBC . . . . .	72
34.	Tabla de matriz DOFA para el cuadrante gartner . . . . .	73
35.	Enlaces a la documentación de tecnologías de contenerización . . . . .	73
36.	Análisis de Decisiones y Resolución (DAR) aplicado a la selección de VBC . . . . .	80

# 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)<sup>1</sup>, 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

---

<sup>1</sup>Las 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

# 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 PMBOK 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(CNCF, 2023). 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(Combelles C. Lucena P., 2020). 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(BSI, 2011). 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

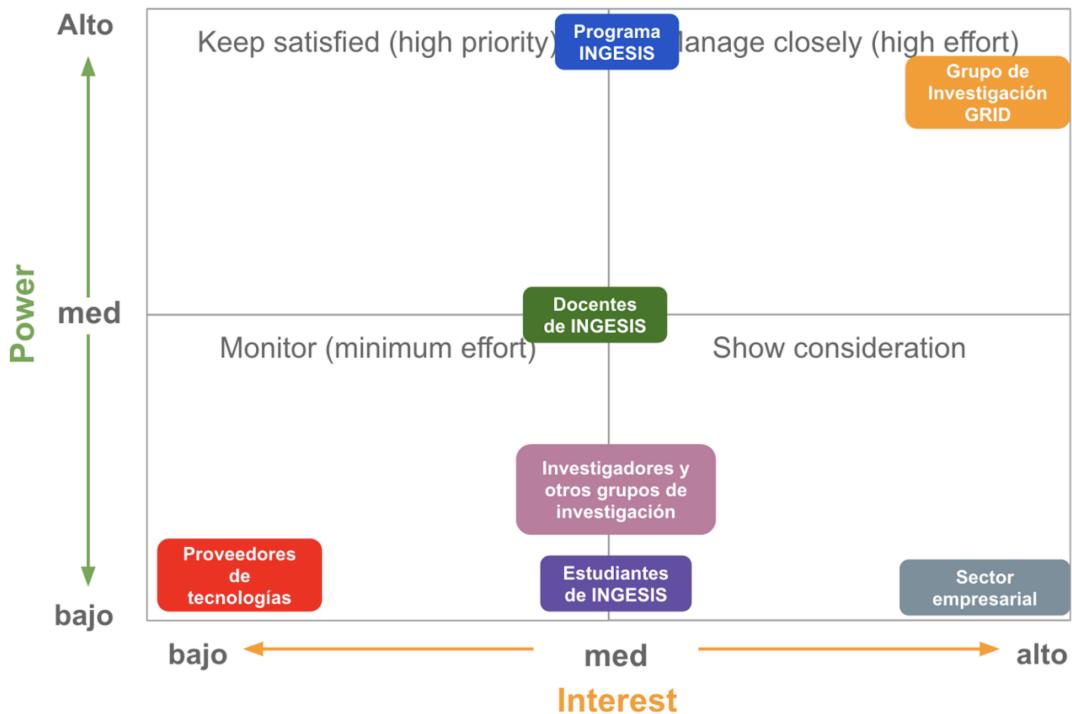


Figura 1: Priorización de stakeholders del proyecto

### 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

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

Cuadro 2: Caracterización torre 1

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

Cuadro 3: Caracterización torre 2

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

Cuadro 4: Caracterización torre 3

<b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>	Servidor tipo torre marca HP				
<b>TIPO DE RECURSO</b>	Torre				
<b>MODELO</b>	<b>Desconocido</b>	<b>FECHA DE ADQUISICIÓN ( APROX. )</b>			
<b>MARCA</b>	HP				
<b>CÓDIGO DE INVENTARIO</b>	7 24390 49879 4 ( 15 )				
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	 - 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 )				
	<b>PARTES</b>				
<b>PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA</b>	Servidor de reserva ( Todavia no hay un uso definido )				
<b>IMPACTO</b>					
- Oportunidad de uso					
<b>OBSERVACIONES</b>	El Equipo no tiene modelo				
<b>INSTRUCCIONES DE USO</b>					
<b>CARACTERÍSTICAS DE USO</b>					

Cuadro 5: Caracterización torre 4

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

Cuadro 6: Caracterización torre 5

<b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>	Servidor tipo torre marca HP				
<b>TIPO DE RECURSO</b>	Torre				
<b>MODELO</b>	<b>Desconocido</b>	<b>FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)</b>			
<b>MARCA</b>	HP				
<b>CÓDIGO DE INVENTARIO</b>	72976 ( 21 )				
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	 - 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				
<b>PROPOSITO DE LA TECNOLOGÍA</b>	Servidor de reserva ( Todavia no hay un uso definido )				
<b>IMPACTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oportunidad de uso</li> </ul>				
<b>OBSERVACIONES</b>	El Equipo no tiene modelo				
<b>INSTRUCCIONES DE USO</b>					
<b>CARACTERÍSTICAS DE USO</b>					

Cuadro 7: Caracterización torre 6

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

Cuadro 8: Caracterización torre 7

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

Cuadro 9: Caracterización rack 1

<b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>	Blade en el Rack 03		
<b>TIPO DE RECURSO</b>	Servidor		
<b>MODELO</b>	System x3250 M4	<b>FECHA DE ADQUISICIÓN ( APROX. )</b>	
<b>MARCA</b>	IBM		
<b>CÓDIGO DE INVENTARIO</b>	7 24390 50980 5		
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuatro SAS / SATA de intercambio en caliente de 2,5 pulgadas</li> <li>- Fuente de alimentación redundante de 460 vatios</li> </ul>		
	<b>PARTES</b>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chasis</li> <li>- Rails o guias deslizantes</li> </ul>		
<b>PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA</b>			
Prestacion de servicios de computo			
<b>IMPACTO</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prestacion de servicios a los estudiantes</li> <li>- Creacion de maquinas virtuales para practicas</li> </ul>			
<b>OBSERVACIONES</b>			
<b>INSTRUCCIONES DE USO</b>			
<b>CARACTERÍSTICAS DE USO</b>			

Cuadro 10: Caracterización rack 2

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

Cuadro 11: Caracterización rack 3

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

Cuadro 12: Caracterización rack 4

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

Cuadro 13: Caracterización rack 5

**DESCRIPCIÓN FÍSICA** NAS de color negro con 8 unidades de almacenamiento

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

**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

<b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>	Servidor Firewall con chasis negro, marca DELL
<b>TIPO DE RECURSO</b>	Firewall
<b>MODELO</b>	PowerEdge T100
<b>MARCA</b>	DELL
<b>CÓDIGO DE INVENTARIO</b>	7 24390 46288 9
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	<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>
<b>FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)</b>	
<b>PROPOSITO DE LA TECNOLOGÍA</b>	Seguridad de la red de los servidores
<b>IMPACTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteger los equipos de la frente a usuarios no autorizados</li> </ul>
<b>OBSERVACIONES</b>	
<b>INSTRUCCIONES DE USO</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS DE USO</b>	

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

<b>NOMBRE DEL SERVICIO</b>	Máquinas Virtuales para estudiantes y docentes
<b>TIPO DE SERVICIO</b>	Servicio educativo
<b>PROPÓSITO DEL SERVICIO</b>	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.
<b>HORARIOS DE DISPONIBILIDAD ESPERADO</b>	24/7
<b>TIEMPO QUE LLEVA EN FUNCIONAMIENTO</b>	3 años
<b>RECURSOS TECNOLÓGICOS USADOS</b>	servidores tipo torre y rack
<b>TECNOLOGÍAS QUE USA</b>	hipervisor tipo I (XCP-ng)
<b>IMPACTO</b>	En caso de indisponibilidad afecta la ejecución de las actividades misionales del grupo de investigación y el programa de Ingeniería de sistemas y computación.
<b>OBSERVACIONES</b>	

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.

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

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

Población	Intervención	Comparación	Salida	Contexto
VBC Dominios de TI Educación Investigación Extensión	Identificación Clasificación	Tasa de éxito Evidencia de uso	Clasificación de trabajos relacionados con VBC en cada dominio de TI	Docencia Investigación Extensión

Cuadro 22: Palabras clave identificadas usando el modelo PICOC

Palabras clave	Sinónimos
Container-based virtualization	Application virtualization, Docker, Lightweight Virtualization
Education	Education System, Education Development, Higher Education
Research	Research Group, Research Proposal
Industry	IT Services, Technology Infrastructure, Cloud Computing

Cuadro 23: Palabras clave para la búsqueda en base de datos

Categoría	Inclusión	Exclusión
Campos	Abstract	-
Tipo de publicación	Journal articles and conferences proceedings	Thesis and books chapters.
Área/Disciplina	Management, Computer Science, Information technology and Management, engineering.	Areas not related to virtualization, Computer Science, and Information technology and Management.
Período	Between 2022 to 2024	Less than 2022
Idioma	English	-

Cuadro 24: Criterios de Inclusión/Exclusión

### 2.2.1.1 Búsqueda en bases de datos

#### Cadena de búsqueda en ACM para educación

```
(Title:( "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR
"Lightweight Virtualization") AND Title:( "Education" OR "Education System"
OR "Education Development" OR "Higher Education" ) )
```

OR

```
(Abstract:( "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker"
OR "Lightweight Virtualization") AND Abstract:( "Education" OR "Education System"
OR "Education Development" OR "Higher Education" ) )
```

OR

```
(Keyword:( "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR
"Lightweight Virtualization")
AND Keyword:( "Education" OR "Education System" OR "Education Development"
OR "Higher Education" ))
```

#### Cadena de búsqueda en ACM para investigación

```
(Title:( "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR
"Lightweight Virtualization") AND Title:( "Research" OR "Research Group" OR
"Research Proposal" ))
```

OR

```
(Abstract:( "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR
"Lightweight Virtualization") AND Abstract:( "Research" OR "Research Group" OR
"Research Proposal" ))
```

OR

```
(Keyword:( "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR
"Lightweight Virtualization") AND Keyword:( "Research" OR "Research Group" OR
"Research Proposal" ))
```

## Cadena de búsqueda en ACM para industria

```
(Title:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\" OR \"Docker\" OR  
\"Lightweight Virtualization\") AND Title:(\"Industry\" OR \"IT Services\" OR  
\"Technology Infrastructure\" OR \"Cloud Computing\" )
```

OR

```
(Abstract:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\" OR \"Docker\"  
OR \"Lightweight Virtualization\") AND Abstract:(\"Industry\" OR \"IT Services\" OR  
\"Technology Infrastructure\" OR \"Cloud Computing\" )
```

OR

```
(Keyword:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\" OR \"Docker\"  
OR \"Lightweight Virtualization\")  
AND Keyword:(\"Industry\" OR \"IT Services\" OR \"Technology Infrastructure\"  
OR \"Cloud Computing\"))
```

## Cadena de búsqueda en IEE para educación

```
((\"Abstract\":\"Container-based virtualization\" OR \"Abstract\":\"Application virtualization\"  
OR \"Abstract\":\"Docker\" OR \"Abstract\":\"Lightweight Virtualization\") AND (\"Abstract\":\"Education\"  
OR \"Abstract\":\"Education System\" OR \"Abstract\":\"Education Development\" OR  
\"Abstract\":\"Higher Education\"))
```

```
OR ((\"Publication Title\":\"Container-based virtualization\" OR \"Publication  
Title\":\"Application virtualization\"  
OR \"Publication Title\":\"Docker\" OR \"Publication Title\":\"Lightweight Virtualization\")  
AND (\"Publication Title\":\"Education\"  
OR \"Publication Title\":\"Education System\" OR \"Publication Title\":\"Education Development\"  
OR \"Publication Title\":\"Higher Education\" ))
```

```
OR ((\"Author Keywords\":\"Container-based virtualization\" OR  
\"Author Keywords\":\"Application virtualization\" OR  
\"Author Keywords\":\"Docker\" OR \"Author Keywords\":\"Lightweight Virtualization\") AND  
(\"Author Keywords\":\"Education\"  
OR \"Author Keywords\":\"Education System\" OR \"Author Keywords\":\"Education Development\"  
OR \"Author Keywords\":\"Higher Education\"))
```

## Cadena de búsqueda en IEE para investigación

```
((("Abstract":"Container-based virtualization" OR "Abstract":"Application virtualization"  
OR "Abstract":"Docker" OR "Abstract":"Lightweight Virtualization") AND  
("Abstract":"Research Group" OR "Abstract":"Research Proposal"))  
  
OR ((("Publication Title":"Container-based virtualization" OR  
"Publication Title":"Application virtualization" OR "Publication Title":"Docker" OR  
"Publication Title":"Lightweight Virtualization") AND  
("Publication Title":"Research Group" OR "Publication Title":"Research Proposal" ))  
  
OR ((("Author Keywords":"Container-based virtualization" OR  
"Author Keywords":"Application virtualization" OR "Author Keywords":"Docker" OR  
"Author Keywords":"Lightweight Virtualization") AND  
("Author Keywords":"Research Group" OR "Author Keywords":"Research Proposal"))
```

## Cadena de búsqueda en IEE para industria

```
((("Abstract":"Container-based virtualization" OR "Abstract":"Application virtualization"  
OR "Abstract":"Docker" OR "Abstract":"Lightweight Virtualization") AND  
("Abstract":"Industry" OR "Abstract":"IT Services" OR  
"Abstract":"Technology Infrastructure" OR "Abstract":"Cloud Computing"))  
  
OR ((("Publication Title":"Container-based virtualization" OR  
"Publication Title":"Application virtualization"  
OR "Publication Title":"Docker" OR "Publication Title":"Lightweight Virtualization") AND  
("Publication Title":"Industry" OR "Publication Title":"IT Services" OR  
"Publication Title":"Technology Infrastructure" OR "Publication Title":"Cloud Computing"))  
  
OR ((("Author Keywords":"Container-based virtualization" OR  
"Author Keywords":"Application virtualization" OR "Author Keywords":"Docker" OR  
"Author Keywords":"Lightweight Virtualization") AND ("Author Keywords":"Industry" OR  
"Author Keywords":"IT Services" OR "Author Keywords":"Technology Infrastructure" OR  
"Author Keywords":"Cloud Computing"))
```

## Cadena de búsqueda en Springer para educación

```
(title:(("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR  
"Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND title:(("Education" OR  
"Education System" OR "Education Development" OR "Higher Education")))  
  
OR  
  
(abstract:(("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR  
"Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND abstract:(("Education" OR  
"Education System" OR "Education Development" OR "Higher Education")))  
  
OR  
  
(keyword:(("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR  
"Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND keyword:(("Education" OR  
"Education System" OR "Education Development" OR "Higher Education")))
```

## Cadena de búsqueda en Springer para investigación

```
(title:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\" OR  
\"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\") AND title:(\"research\" OR  
\"Research Group\" OR \"Research Proposal\"))
```

OR

```
(abstract:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\"  
OR \"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\") AND abstract:(\"research\"  
OR \"Research Group\" OR \"Research Proposal\"))
```

OR

```
(keyword:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\"  
OR \"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\") AND keyword:(\"research\" OR  
\"Research Group\" OR \"Research Proposal\"))
```

## Cadena de búsqueda en Springer para industria

```
(title:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\"  
OR \"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\") AND title:(\"Industry\" OR  
\"IT Services\" OR \"Technology Infrastructure\" OR \"Cloud Computing\"))
```

OR

```
(abstract:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\"  
OR \"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\") AND abstract:(\"Industry\" OR  
\"IT Services\" OR \"Technology Infrastructure\" OR \"Cloud Computing\"))
```

OR

```
(keyword:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\"  
OR \"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\") AND keyword:(\"Industry\"  
OR \"IT Services\" OR \"Technology Infrastructure\" OR \"Cloud Computing\"))
```

## Cadena de búsqueda en Science Direct para educación

```
(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\"  
OR \"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\") AND (\"Education\" OR  
\"Education System\" OR \"Education Development\" OR \"Higher Education\")
```

## Cadena de búsqueda en Science Direct para investigación

```
(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\" OR  
\"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\") AND (\"Research\" OR  
\"Research Group\" OR \"Research Proposal\")
```

### Cadena de búsqueda en Science Direct para industria

```
("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR  
"Lightweight Virtualization") AND  
("Industry" OR "IT Services" OR "Technology Infrastructure" OR "Cloud Computing")
```

### Cadena de búsqueda en Taylor & Francis para educación

```
("Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization" OR "Docker Container")  
AND  
("Education System" OR "Education Sector" OR "Education Development" OR "Higher Education")
```

### Cadena de búsqueda en Taylor & Francis para investigación

```
("Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization" OR "Docker Container")  
AND  
("Specific Research Areas" OR "Research Group" OR "Research Proposal" OR "Research and Development")
```

### Cadena de búsqueda en Taylor & Francis para industria

```
("Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization" OR "Docker Container")  
AND  
("Industry" OR "IT Services" OR "Technology Infrastructure" OR "Cloud Computing")
```

## 2.2.2 Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión

Este es el resultado antes de aplicar criterios de exclusión

Base de datos	ACM	IEEE	Springer	Science Direct	Taylor & Francis	Total
Estudios sin aplicar criterios de exclusión	189	426	4562	353	1000	<b>6530</b>

Cuadro 25: Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión

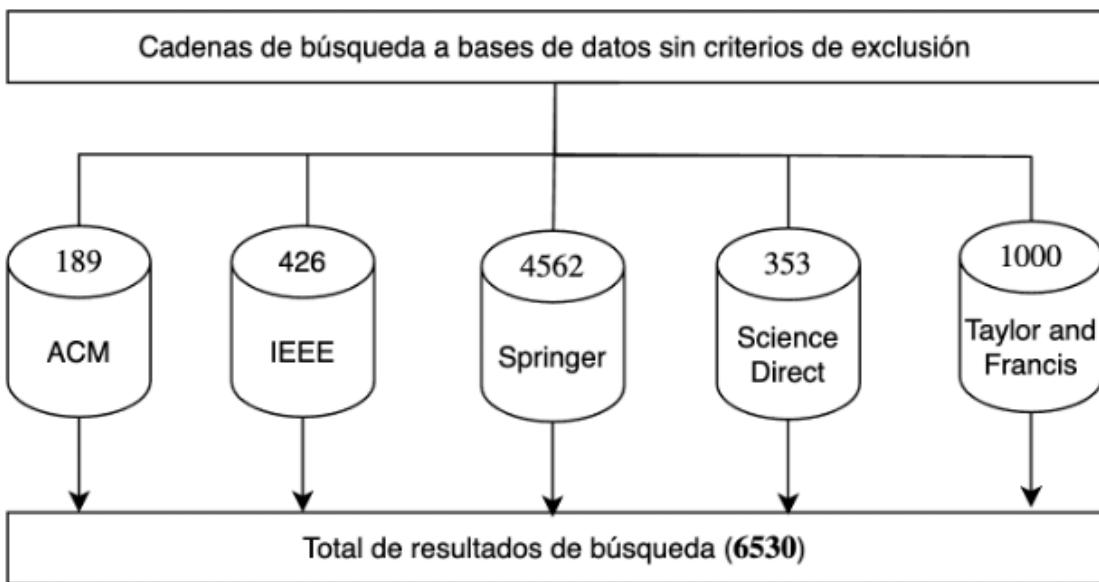


Figura 2: Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión

### 2.2.3 Aplicación de criterios de exclusión de las bases de datos

Esta búsqueda se realizó considerando los criterios de exclusión e inclusión definidos previamente.

Las cadenas de búsqueda son exactamente iguales que antes, este punto se diferencia por la aplicación de filtros. Para ver las capturas de pantalla veáse el apéndice B sección 2.

### 2.3 Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión

Bases de datos	ACM	IEEE	Springer	Science Direct	Taylor & Francis	Total
Estudios sin aplicar criterios de exclusión	189	426	4562	353	1000	<b>6530</b>
Aplicando criterios de exclusión	48	134	592	46	156	<b>976</b>

Cuadro 26: Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión

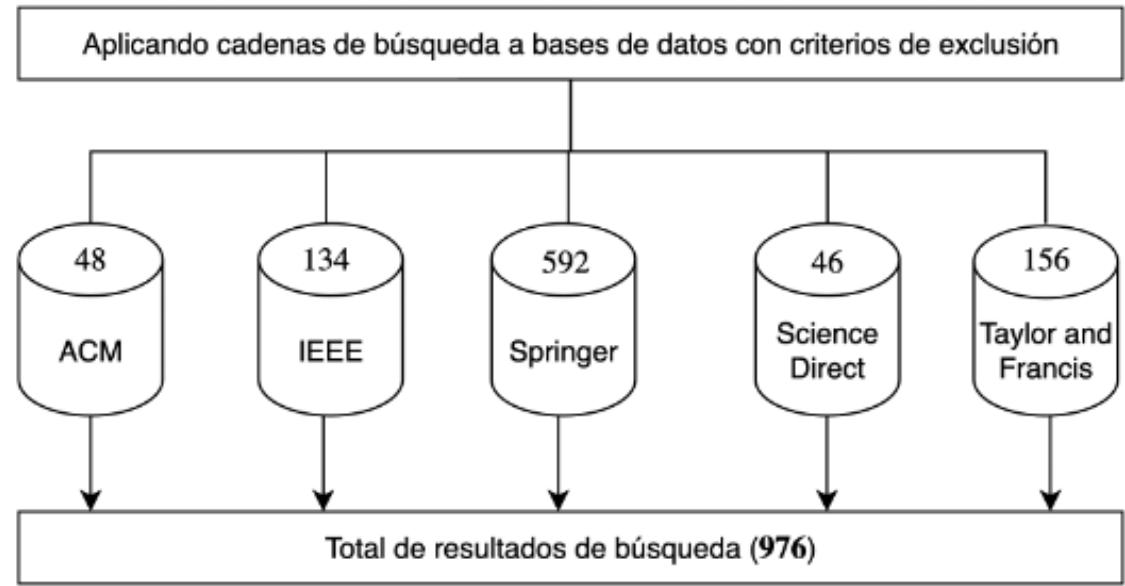


Figura 3: Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión

### 3 Eliminación de duplicados

La eliminación de duplicados se realizó haciendo uso de la herramienta de gestión de referencias Mendeley. Luego de obtener los artículos se agregaron a Mendeley y esta herramienta se encargó de eliminar duplicados. En este punto se eliminaron 274 artículos duplicados.

### 4 Priorización de estudios

Luego de la selección inicial de los artículos, se procedió a revisar el *title*, *abstract* y *keywords* de cada uno. Como resultado de esta revisión, se generaron métricas de calidad para cada artículo, con el fin de priorizar aquellos más relevantes para la investigación. Las métricas utilizadas fueron las siguientes:

- **SCI** (Science Citation Index)
- **CVI** (Core Value Index)
- **IRRQ** (Index Relation Research Question)

Este proceso inició con un total de 771 artículos, los cuales fueron evaluados según su alineamiento con los objetivos de la investigación. La evaluación temática permitió identificar un total de 110 artículos con una relación directa con el enfoque planteado.

## 5 Estrategia de búsqueda usando bola de nieve

En esta etapa, se seleccionó el primer cuartil según el índice **IRRQ**, lo que resultó en un total de 24 artículos. Adicionalmente, se incluyeron dos artículos por criterio de inclusión directa, estableciendo así una línea base de **26 artículos**.

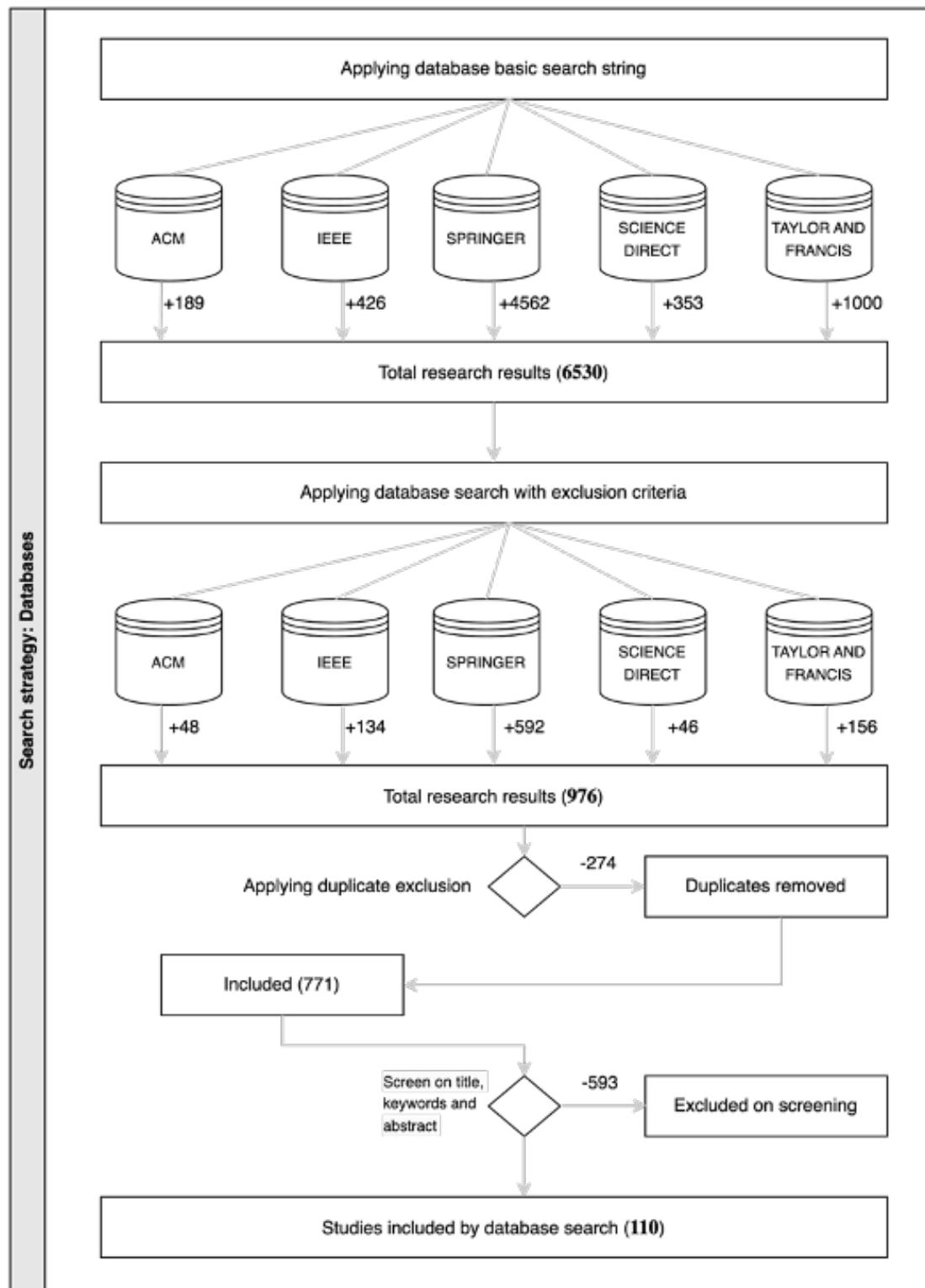
Sobre esta base, se aplicó la estrategia de *bola de nieve* en ambas direcciones: hacia adelante y hacia atrás. Como resultado, se obtuvieron **87 artículos** mediante la técnica hacia atrás y **495 artículos** mediante la técnica hacia adelante.

Esto definió un nuevo conjunto de artículos para un proceso de selección adicional (*screening*). En esta fase, se eliminaron **14 duplicados** y **452 artículos** fueron descartados por no estar alineados con la investigación.

Finalmente, se obtuvo un total de **116 artículos** mediante esta estrategia de búsqueda ampliada.

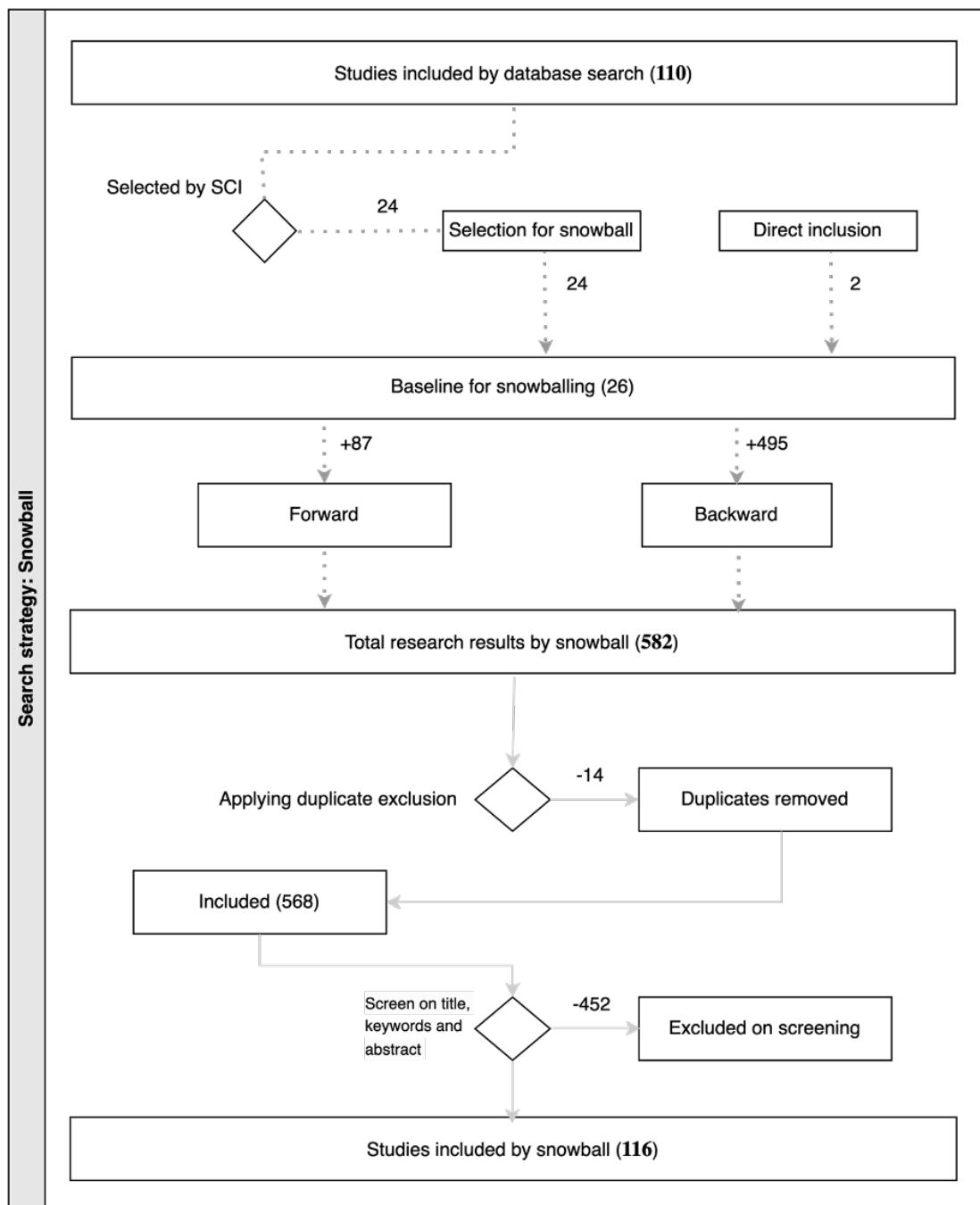
## 6 Diagrama de búsqueda

### 6.1 Usando cadenas de búsqueda



Cuadro 27: Diagrama de la cadena de búsqueda

## 6.2 Usando bola de nieve



Cuadro 28: Diagrama de la búsqueda en bola de nieve

## 7 Identificación de estudios

### 7.1 Artículos por año y métricas

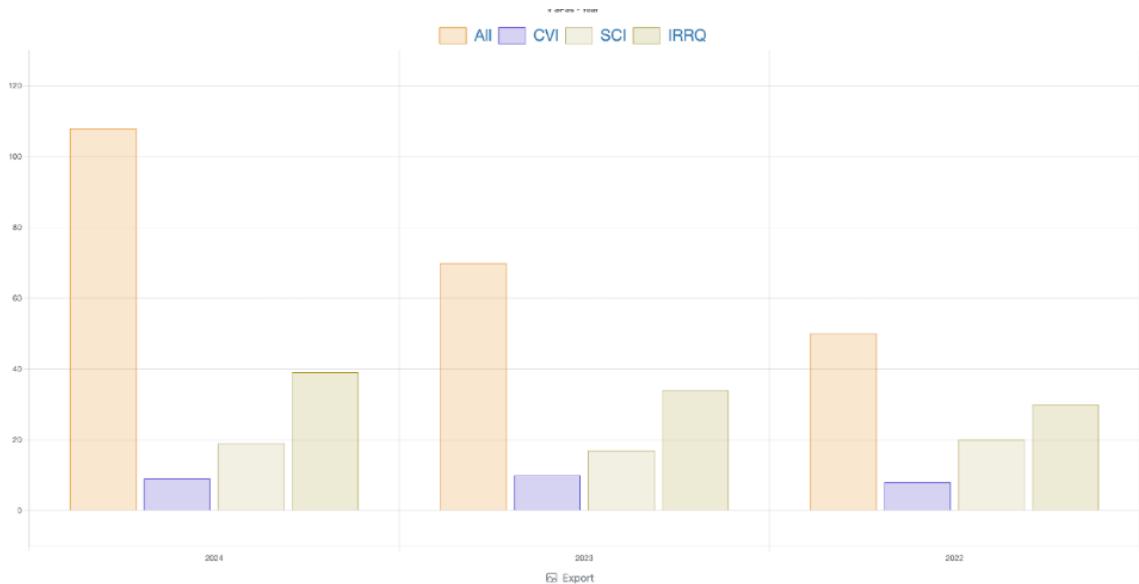


Figura 4: Artículos por métricas y año

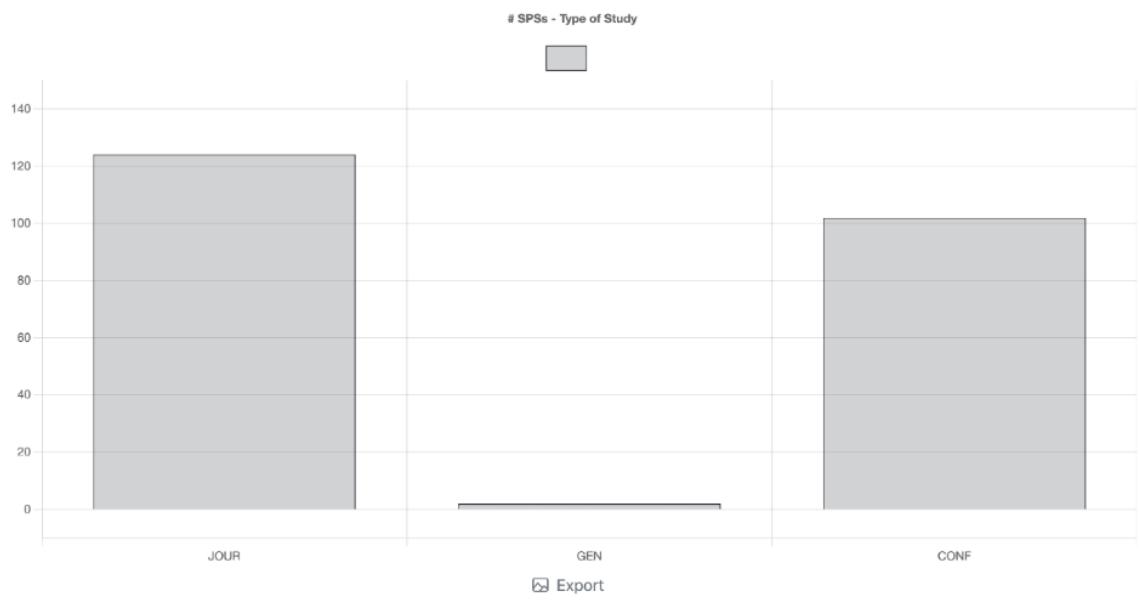


Figura 5: Artículos por tipo

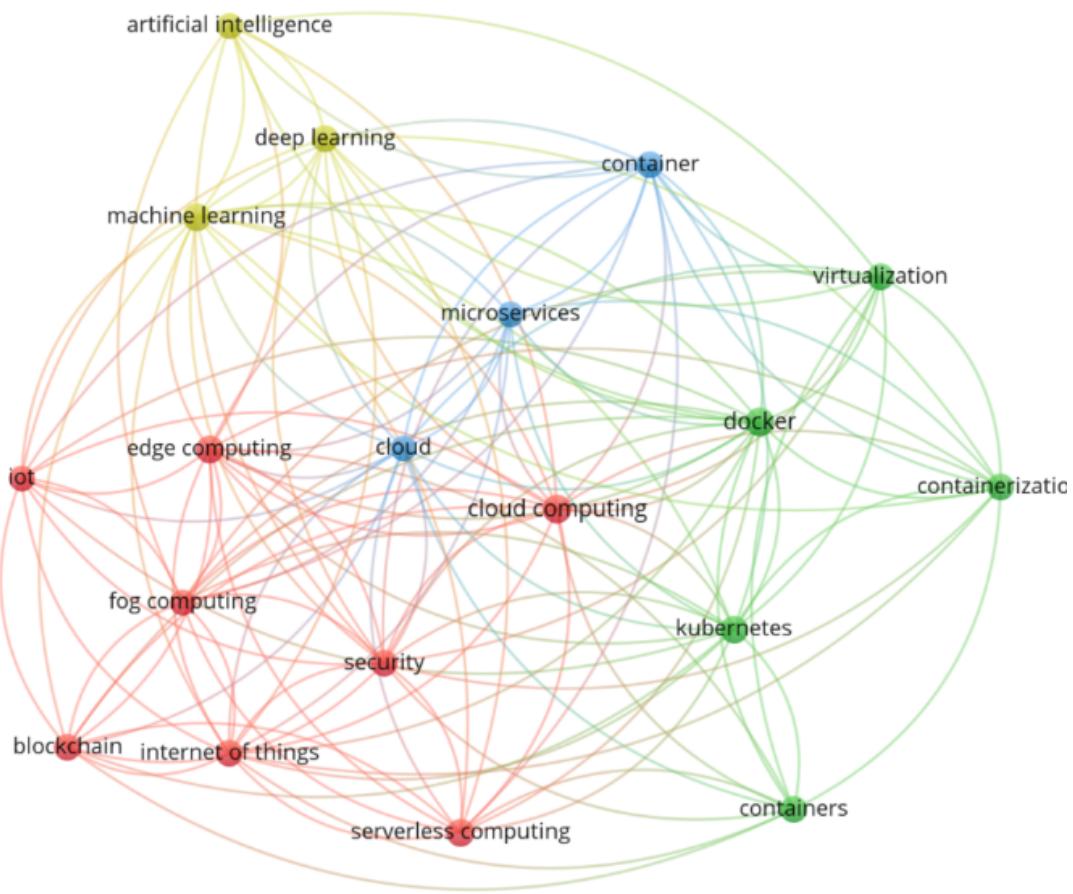


Figura 7: Diagrama de red de los artículos

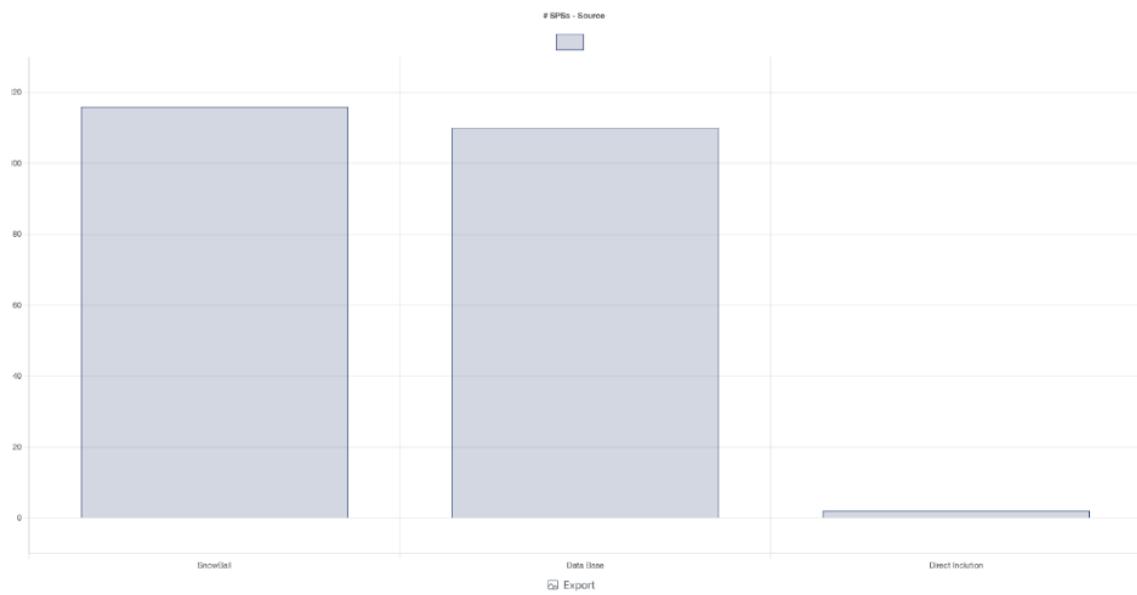


Figura 6: Estrategia de búsqueda de artículos

## 8 Información de la herramienta

La herramienta utilizada para este proceso de revisión de la literatura fue **SMS-BUILDER**, la cual se encuentra disponible en *Docker Hub*. El estudio realizado puede consultarse en el siguiente enlace:

<https://sms-vbc.iti.grid.uniquindio.edu.co/>

Adicionalmente, se implementaron procesos de respaldo como medida de seguridad. Estos *backups* fueron almacenados en ubicaciones diferentes, siguiendo la estrategia de respaldo **3–2–1**.

### 1. Nichos de mercado

#### Docker

Docker se posiciona principalmente en el nicho de mercado de desarrolladores de software, empresas tecnológicas y proveedores de servicios en la nube que buscan una solución para la creación, implementación y gestión de aplicaciones en contenedores (Hill, 2025). Su capacidad de automatizar despliegues y garantizar la portabilidad entre entornos lo convierte en una opción ideal para DevOps y desarrollo ágil (Mag, 2025).

#### Podman

Podman está orientado a entornos empresariales y desarrolladores que requieren una solución de contenerización sin *daemon*, compatible con OCI y con enfoque en la seguridad (Surendhar, 2024). Su naturaleza sin *daemon* y su capacidad para ejecutar contenedores de forma aislada permiten su adopción en entornos donde la seguridad y la conformidad son prioridades (Trevor and Walker, 2022).

#### Udocker

Udocker se especializa en nichos de mercado académicos y de investigación, donde los usuarios necesitan ejecutar contenedores sin privilegios en sistemas que no permiten la instalación de software de nivel de sistema (Campos and Gomes, 2017). Su facilidad para funcionar en entornos HPC (Computación de Alto Rendimiento) sin requerir permisos de root lo hace adecuado para instituciones de investigación (Gomes et al., 2018).

## **Wasm (WebAssembly)**

Wasm se centra en el nicho de desarrollo web y aplicaciones de alto rendimiento en el navegador (Haas et al., 2017). Su capacidad para ejecutar código de forma eficiente en múltiples plataformas, incluidas aplicaciones de escritorio y móviles, lo convierte en una opción atractiva para empresas de desarrollo de software que buscan optimización multiplataforma (Jangda et al., 2019).

## **LXC (Linux Containers)**

LXC es popular en entornos de virtualización ligera y servidores, donde se requiere un control granular sobre los entornos de contenedores (Silva et al., 2024). Su uso está orientado a proveedores de alojamiento web, desarrolladores de software y administradores de sistemas que necesitan un control preciso del entorno del sistema operativo (Šimon et al., 2023).

## **Containerd**

Containerd está dirigido a proveedores de servicios en la nube y plataformas de orquestación como Kubernetes, donde se requiere una solución de gestión de contenedores ligera y compatible con OCI (Vaño et al., 2023). Su arquitectura modular lo convierte en una opción preferida para grandes infraestructuras (Zhou et al., 2021).

## **LXD**

LXD se enfoca en nichos de mercado que requieren entornos de virtualización basados en contenedores que imiten máquinas virtuales, como proveedores de servicios en la nube, plataformas de pruebas y entornos de desarrollo (Silva et al., 2024). Su capacidad para ofrecer entornos de sistema completo lo hace ideal para desarrolladores y administradores de sistemas (Kaiser et al., 2022).

## **Rkt**

Rkt fue diseñado para satisfacer las necesidades de proveedores de servicios en la nube y organizaciones que buscan una alternativa a Docker con un enfoque en la seguridad y compatibilidad OCI (Lingayat et al., 2018). Aunque su desarrollo ha sido discontinuado, sigue siendo relevante en entornos donde la compatibilidad y la seguridad son críticas (Watada et al., 2019).

## **Singularity**

Singularity se centra en entornos de computación científica y HPC, donde se requiere portabilidad de aplicaciones sin necesidad de privilegios de root (Godlove, 2019). Es ampliamente adoptado en universidades, centros de investigación y laboratorios que ejecutan aplicaciones de alto rendimiento (Kurtzer et al., 2017).

## **runC**

runC está orientado a proveedores de servicios en la nube, plataformas de orquestación como Kubernetes y desarrolladores de software que buscan una solución de contenedorización ligera y compatible con OCI (Perez, 2005). Su adopción en proyectos de gran escala se debe a su eficiencia y cumplimiento de estándares de contenedores (Espe et al., 2020).

## **CRI-O**

CRI-O está diseñado específicamente para su integración con Kubernetes, sirviendo como un motor de contenedores ligero y compatible con OCI para esta plataforma (CNCF, 2019). Es una solución ideal para proveedores de servicios en la nube y organizaciones que utilizan Kubernetes como su plataforma de orquestación principal (Espe et al., 2020).

## **Hyper-V Containers**

Hyper-V Containers están orientados a empresas que utilizan infraestructuras basadas en Windows, ofreciendo una solución de contenedorización segura y eficiente para aplicaciones basadas en Windows (Smith, 2016). Su integración con el ecosistema de Microsoft lo hace ideal para empresas con infraestructuras híbridas (Clark, 2024).

## **OpenVZ**

OpenVZ se centra en proveedores de alojamiento web y servicios VPS, donde se requiere una solución de virtualización ligera basada en contenedores que permita un control granular sobre los recursos del sistema y la administración de múltiples instancias (OpenVZ, 2015).

## **Linux VServer**

Linux VServer está orientado a administradores de sistemas y proveedores de servicios que requieren una solución de virtualización ligera basada en contenedores para la administración de servidores seguros y eficientes (Soltesz et al., 2007). Es una opción adecuada para entornos de servidor dedicados y alojamientos compartidos (LinuxVirt, 2017).

## **Google gVisor**

Google gVisor está dirigido a proveedores de servicios en la nube y organizaciones que priorizan la seguridad en sus entornos de contenedores (Lopez Falcon, 2024). Su arquitectura de *sandbox* proporciona un aislamiento fuerte, lo que lo convierte en una opción atractiva para aplicaciones sensibles (Gvisor, 2025).

## **Kata Containers**

Kata Containers se centra en entornos donde se requiere un alto nivel de seguridad y aislamiento, como proveedores de servicios en la nube y empresas que manejan información confidencial (Viktorsson et al., 2020). Su capacidad para combinar la eficiencia de los contenedores con el aislamiento de máquinas virtuales es su principal ventaja (Soltesz et al., 2007).

## **Firecracker**

Firecracker está orientado a proveedores de servicios en la nube y plataformas de cómputo en la nube que requieren micro VMs eficientes y seguras (Jain, 2020). Es una solución ideal para plataformas *serverless* y entornos multi-tenant (Agache et al., 2020).

## **Sarus**

Sarus está dirigido a entornos de HPC y computación científica, donde los usuarios necesitan ejecutar contenedores de forma segura en sistemas de alto rendimiento (Sarus, 2021). Su compatibilidad con estándares de contenedores y su enfoque en la seguridad lo hacen ideal para centros de investigación y universidades (B et al., 2020).

Tecnologías	Licencias	Términos de uso	Costo
Docker	Apache 2.0 (permisiva)	link	Desde los 11 a 24 dólares
Podman	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
Udocker	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
Wasm	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
LXC	GNU LGPLv2.1+	link	Gratis
Containerd	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
LXD	AGPL-3.0 license	link	Gratis
Rkt	Apache 2.0 (permisiva)	link	Descontinuado
Singularity	BSD 3-Clause (permisiva)	link	Singularity CE (Gratis), PRO (\$30/año)
runC	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
CRI-O	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
Hyper-V containers	Licencia Windows (Propietaria)	link	Windows Server 2025 (\$1,176 USD)
OpenVZ	GPL v2 (permisiva)	link	Gratis
Linux VServer	GPL v2 (permisiva)	link	Gratis
Google gVisor	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
Kata Containers	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
Firecracker	Apache 2.0 (permisiva)	link	Gratis
Sarus	BSD 3-Clause (permisiva)	link	Gratis

Cuadro 29: Comparativa de tecnologías de contenerización, licencias, términos de uso y costos

Tecnología	Interfaz de Uso
Docker	CLI (Command Line Interface) principalmente, con herramientas como docker, también tiene Docker Desktop con UI para gestionar contenedores en entornos gráficos.
Podman	CLI, similar a Docker, sin necesidad de un daemon. También ofrece Podman Desktop, una interfaz gráfica opcional.
Udocker	CLI, proporciona comandos específicos para ejecutar contenedores sin necesidad de privilegios de root.
Wasm (WebAssembly)	Se ejecuta a través de navegadores web, por lo que no tiene una interfaz de línea de comandos estándar, pero los desarrolladores interactúan con ella a través de APIs de JavaScript.
LXC	CLI, mediante el comando lxc para crear, gestionar y configurar contenedores. No tiene una interfaz gráfica oficial.
Containerd	CLI, con herramientas como ctr que permiten interactuar con el runtime de contenedores. Es comúnmente utilizado como backend para otras herramientas como Docker.
LXD	CLI, mediante el comando lxd y lxc para gestionar contenedores y máquinas virtuales. LXD también tiene una interfaz web llamada LXD Web UI.
Rkt	CLI, interactúa mediante comandos como rkt run, aunque esta tecnología está descontinuada.
Singularity	CLI, utiliza comandos como singularity para la creación, ejecución y gestión de contenedores.
runC	CLI, es el runtime bajo Docker, Kubernetes y otras plataformas. Los usuarios interactúan directamente con runC mediante comandos de línea de comandos.
CRI-O	CLI, interactúa con Kubernetes para gestionar contenedores, sin una interfaz gráfica dedicada.
Hyper-V containers	CLI (PowerShell o la interfaz de línea de comandos de Windows), con administración posible a través de Hyper-V Manager para las VM subyacentes.
OpenVZ	CLI, se gestionan a través de comandos específicos como vzctl y vzeventd, aunque existen algunas interfaces gráficas de terceros.
Linux VServer	CLI, interactúa con los contenedores a través de comandos como vserver para la gestión y administración de contenedores.
Google gVisor	CLI, interactúa con contenedores utilizando comandos estándar de Docker, pero proporcionando una capa de seguridad adicional.
Kata Containers	CLI, se gestiona a través de comandos como kata-runtime y se integra con Kubernetes y otras plataformas de orquestación.
Firecracker	CLI, interactúa con micro-VMs mediante una API RESTful, y también tiene herramientas de línea de comandos como firecracker.
Sarus	CLI, se gestiona mediante el comando sarus para la creación y ejecución de contenedores en entornos HPC.

Cuadro 30: Interfaz de uso de cada VBC

Tecnología	Integración con Proveedores de Cloud
Docker	Integración con AWS (ECR, ECS), Google Cloud (GCR, GKE), Azure (ACR, AKS), y otros proveedores a través de herramientas como Docker Compose, Docker Swarm y Docker Desktop.
Podman	Compatible con AWS (ECR), Google Cloud (GCR), Azure (ACR), aunque su integración con orquestadores como Kubernetes es más reciente y menos prevalente que Docker.
Udocker	Generalmente se usa en entornos sin privilegios de root y en plataformas como HPC. No tiene una integración directa con proveedores de nube a gran escala.
Wasm (WebAssembly)	Integración principalmente con servicios de computación en la nube como AWS Lambda, Google Cloud Functions, y Azure Functions, ya que permite la ejecución eficiente de código en la nube sin dependencia del sistema operativo subyacente.
LXC	Se puede integrar en plataformas de nube privada y algunas soluciones híbridas. Se usa en servidores de nube como OpenStack, pero no tiene una integración directa con plataformas públicas principales.
Containerd	Integración fuerte con Kubernetes, que a su vez se integra con proveedores de nube como AWS (EKS), Google Cloud (GKE), Azure (AKS) y otros.
LXD	Puede integrarse con plataformas de nube privada, como OpenStack, para ofrecer contenedores ligeros que emulan máquinas virtuales. No tiene integración directa con los proveedores de nube pública principales, pero puede ser utilizado en soluciones personalizadas.
Rkt	Aunque estaba integrado con Kubernetes y otras plataformas, su descontinuación limita la integración con proveedores de nube. En el pasado, soportaba plataformas como AWS y Google Cloud.
Singularity	Utilizado principalmente en entornos de computación científica y HPC. Puede integrarse con proveedores como AWS (HPC, Batch) y Google Cloud (Compute Engine) para tareas específicas de alto rendimiento.
runC	Integración con Kubernetes, que se usa ampliamente en proveedores de nube como AWS (EKS), Google Cloud (GKE), y Azure (AKS) para la orquestación de contenedores.
CRI-O	Integración directa con Kubernetes, lo que le permite ser utilizado en proveedores de nube como AWS (EKS), Google Cloud (GKE), Azure (AKS), y otros servicios de orquestación de contenedores.
Hyper-V containers	Integración exclusiva con Microsoft Azure, especialmente con Azure Kubernetes Service (AKS) y otras soluciones basadas en Hyper-V.
OpenVZ	Tradicionalmente usado en proveedores de hosting como OVH, aunque su uso ha disminuido frente a soluciones más modernas. La integración con nubes públicas es limitada y generalmente personalizada.
Linux VServer	Utilizado principalmente en proveedores de hosting dedicados y servidores privados, sin integración directa con proveedores de nube pública como AWS, Google Cloud o Azure.
Google gVisor	Integración con Google Cloud, especialmente en Google Kubernetes Engine (GKE), para agregar una capa adicional de seguridad a los contenedores.
Kata Containers	Soporta proveedores de nube pública como AWS, Google Cloud, y Azure a través de Kubernetes, proporcionando aislamiento similar a máquinas virtuales en entornos de contenedores.

Cuadro 31: Integración cloud de cada VBC

Tecnología	Visión (X)	Ejecución (Y)	Cuadrante
Docker	9	9	Líderes
Containerd	8	8	Líderes
Podman	8	7	Retadores
CRI-O	7	7	Retadores
LXC	6	6	Jugadores de Nicho
LXD	6	6	Jugadores de Nicho
Udocker	4	4	Jugadores de Nicho
runC	5	5	Jugadores de Nicho
Rkt	3	4	Jugadores de Nicho
Singularity	5	4	Visionarios
Wasm	9	5	Visionarios
Google gVisor	8	6	Visionarios
Kata Containers	7	6	Visionarios
Firecracker	8	6	Visionarios
Sarus	4	4	Jugadores de Nicho
Hyper-V containers	5	5	Jugadores de Nicho
OpenVZ	4	5	Jugadores de Nicho
Linux VServer	3	4	Jugadores de Nicho

Cuadro 32: Tabla de medición para el cuadrante gartner



Figura 8: Cuadrante de Gartner de cada VBC

Tecnología	Ambiente de Ejecución
Docker	Sistemas Linux, Windows y macOS. Entornos de desarrollo, pruebas y producción, incluyendo la nube pública (AWS, Google Cloud, Azure).
Podman	Sistemas Linux y macOS, con soporte experimental en Windows. Usado en entornos de desarrollo y producción sin necesidad de un daemon.
Udocker	Sistemas Linux, en entornos de computación de alto rendimiento (HPC) y servidores compartidos, permitiendo ejecutar contenedores sin privilegios de root.
Wasm (WebAssembly)	Navegadores web (Chrome, Firefox, Safari, Edge). Ejecución en aplicaciones web y entornos de alto rendimiento sin dependencia del sistema operativo subyacente.
LXC	Sistemas Linux. Utilizado para crear contenedores ligeros que actúan como máquinas virtuales, con aplicaciones aisladas en servidores y plataformas de nube privada.
Containerd	Sistemas Linux y Windows. Usado en plataformas de orquestación como Kubernetes, y en infraestructuras de contenedores a gran escala.
LXD	Sistemas Linux. Virtualización ligera de contenedores como máquinas virtuales completas, ideal para servidores y plataformas de virtualización en la nube privada.
Rkt	Sistemas Linux. Anteriormente usado en entornos de orquestación de contenedores y en infraestructuras de nube privada. (Descontinuado actualmente).
Singularity	Sistemas Linux, especialmente en entornos de computación científica y HPC. Portabilidad de aplicaciones científicas sin necesidad de privilegios de root.
runC	Sistemas Linux. Runtime ligero de contenedores compatible con los estándares de la Open Container Initiative (OCI), utilizado por plataformas como Docker y Kubernetes.
CRI-O	Sistemas Linux. Integrado con Kubernetes para la gestión eficiente de contenedores en plataformas de orquestación en la nube y servidores locales.
Hyper-V containers	Sistemas Windows (Windows Server y Windows 10 con Hyper-V habilitado). Usado para contenedores con aislamiento mediante micro-VMs, ideal para entornos híbridos.
OpenVZ	Sistemas Linux. Virtualización a nivel de contenedor en proveedores de hosting para ofrecer entornos aislados y eficientes.
Linux VServer	Sistemas Linux. Contenedores que funcionan como servidores virtuales, usados en entornos de hosting y administración de servidores de alta disponibilidad.
Google gVisor	Plataformas de nube, especialmente Google Cloud. Capa adicional de seguridad para contenedores en entornos multitenant.
Kata Containers	Sistemas Linux. Virtualización ligera con aislamiento similar a máquinas virtuales, utilizado en plataformas de contenedores en la nube y servidores donde se requiere seguridad.
Firecracker	Plataformas de computación en la nube, como AWS. Optimizado para micro-VMs ultra ligeras y de alto rendimiento en entornos serverless.
Sarus	Sistemas Linux. Entornos de computación de alto rendimiento (HPC) y clústeres de supercomputación, proporcionando portabilidad y eficiencia sin privilegios de root.

Cuadro 33: Entornos de ejecución de cada VBC

Debilidades	Fortalezas
Los contenedores comparten el mismo núcleo del sistema operativo host, lo que podría permitir que una vulnerabilidad afecte a todos los contenedores.	La VBC es ampliamente utilizada en plataformas en la nube como AWS, Azure y Google Cloud.
A medida que crece la infraestructura, gestionar múltiples contenedores y sus redes se vuelve complejo.	Herramientas como Kubernetes y Docker se actualizan constantemente, agregando nuevas funcionalidades y mejoras.
A diferencia de las máquinas virtuales tradicionales, los contenedores son efímeros por diseño, lo que complica el manejo de datos persistentes.	Numerosos foros, grupos y organizaciones están dedicados a mejorar y desarrollar soluciones de contenerización.
No todos los sistemas y aplicaciones son compatibles de manera nativa con contenedores, lo que requiere configuraciones específicas.	Los contenedores pueden ejecutarse en múltiples entornos (local, nube, híbrido).
La seguridad y rendimiento de los contenedores están directamente relacionados con el sistema operativo subyacente.	Permiten una mejor utilización de recursos en comparación con las máquinas virtuales tradicionales.
Oportunidades	Amenazas
Los contenedores son ligeros y comparten el kernel del sistema operativo, reduciendo el consumo de recursos.	Si no se aplican buenas prácticas, los contenedores pueden ser vulnerables a ataques.
Una aplicación en contenedor puede ejecutarse en cualquier entorno compatible sin modificaciones.	El uso de soluciones propietarias como AWS o Azure puede generar dependencia tecnológica.
Permiten implementar y gestionar aplicaciones de manera escalable y eficiente.	Las tecnologías de contenerización evolucionan rápidamente, lo que puede dejar obsoletas algunas soluciones.
Los contenedores permiten que las aplicaciones se ejecuten de manera independiente, evitando conflictos entre ellas.	Un mal diseño puede llevar a un consumo ineficiente de recursos.
Herramientas como Docker Compose y Kubernetes facilitan la gestión automatizada de contenedores.	Aunque existen buenas prácticas, no hay una regulación estándar única para la gestión de contenedores.

Cuadro 34: Tabla de matriz DOFA para el cuadrante gartner

Tecnología	Enlace a la Documentación
Docker	<a href="#">link</a>
Podman	<a href="#">link</a>
Udocker	<a href="#">link</a>
Wasm (WebAssembly)	<a href="#">link</a>
LXC	<a href="#">link</a>
Containerd	<a href="#">link</a>
LXD	<a href="#">link</a>
Rkt	<a href="#">link</a>
Singularity	<a href="#">link</a>
runC	<a href="#">link</a>
CRI-O	<a href="#">link</a>
Hyper-V containers	<a href="#">link</a>
OpenVZ	<a href="#">link</a>
Linux VServer	<a href="#">link</a>
Google gVisor	<a href="#">link</a>
Kata Containers	<a href="#">link</a>
Firecracker	<a href="#">link</a>
Sarus	<a href="#">link</a>

Cuadro 35: Enlaces a la documentación de tecnologías de contenerización

# Pruebas de Benchmarking

## 1. Definición de las pruebas

Para evaluar el rendimiento de distintas tecnologías de contenerización —específicamente Docker, Podman, LXC, LXD y Containerd— se diseñó un conjunto de pruebas orientadas a medir aspectos clave del desempeño en entornos controlados. Las pruebas incluyeron el consumo de CPU y memoria RAM, el tiempo de arranque de los contenedores, el *throughput* de red y la latencia de acceso a disco.

Para garantizar la repetibilidad y objetividad de los resultados, se desarrollaron scripts en *Bash* que automatizan la ejecución de cada métrica en condiciones homogéneas. Estas pruebas permiten comparar las tecnologías evaluadas bajo criterios cuantificables y facilitar un análisis técnico de sus capacidades en escenarios reales de uso.

## 2. Construcción de las pruebas

La construcción de las pruebas se llevó a cabo mediante el desarrollo de scripts automatizados en *Bash*, diseñados para ejecutarse de forma uniforme sobre cada tecnología de contenerización evaluada. Cada script fue responsable de iniciar contenedores, ejecutar cargas de trabajo específicas y recolectar métricas de rendimiento relevantes.

Para medir el consumo de CPU y memoria RAM, se utilizó `pidstat`, una utilidad que permite la medición del consumo de recursos. El tiempo de arranque se determinó midiendo el intervalo entre la orden de inicio del contenedor y el momento en que estuvo completamente operativo.

Para evaluar el *throughput* de red se emplearon herramientas como `iperf`, mientras que la latencia de disco fue medida utilizando `fio`. Todas las pruebas fueron ejecutadas múltiples veces para reducir el impacto de variaciones puntuales y asegurar la confiabilidad de los resultados. Los scripts fueron programados para ejecutarse 10 veces; al final se extrae un promedio y este constituye el puntaje final de la tec-

nología de contenerización en cuestión.

En el repositorio [GitHub benchmarking](#) se pueden encontrar los scripts resultantes de este proceso.

### 3. Resultados de las pruebas

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas evidencian diferencias significativas en el rendimiento entre las tecnologías de contenerización evaluadas. Estos se pueden consultar en el archivo de Excel [benchmarking\\_tecnologias](#).

En términos de consumo de CPU, Docker y Containerd presentan las mejores métricas; en consumo de memoria RAM, LXC y LXD mostraron un mejor uso de los recursos. En cuanto al tiempo de arranque, Containerd destacó por su velocidad, seguido de cerca por Docker, mientras que LXC presentó un arranque considerablemente más lento en comparación con las demás tecnologías.

Para el *throughput* de red, todas las tecnologías mostraron un desempeño comparable, siendo LXC el más destacado; no obstante, Podman quedó muy por debajo en esta métrica. Finalmente, en la medición de latencia de disco, LXD y Containerd obtuvieron los mejores resultados, lo que sugiere una gestión de E/S más directa y liviana.

Estos resultados permiten establecer un panorama claro de fortalezas y debilidades de cada solución, según el tipo de carga o entorno de ejecución esperado.

### 4. Métricas de rendimiento

De la ejecución de las pruebas se obtuvieron las siguientes métricas de rendimiento:

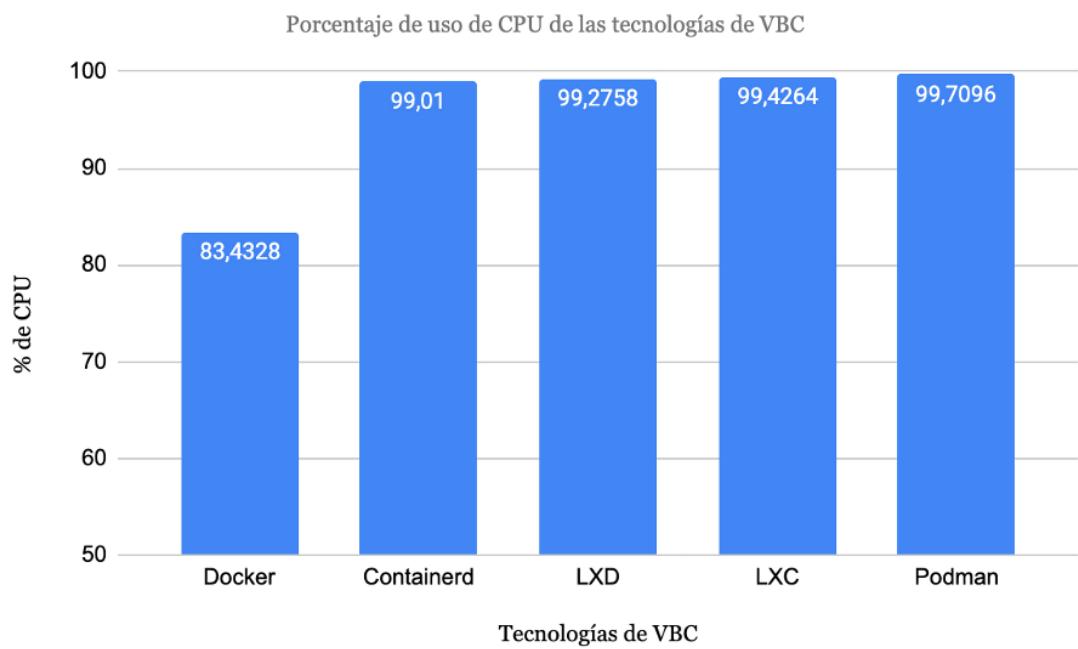


Figura 9: Métricas de uso de CPU

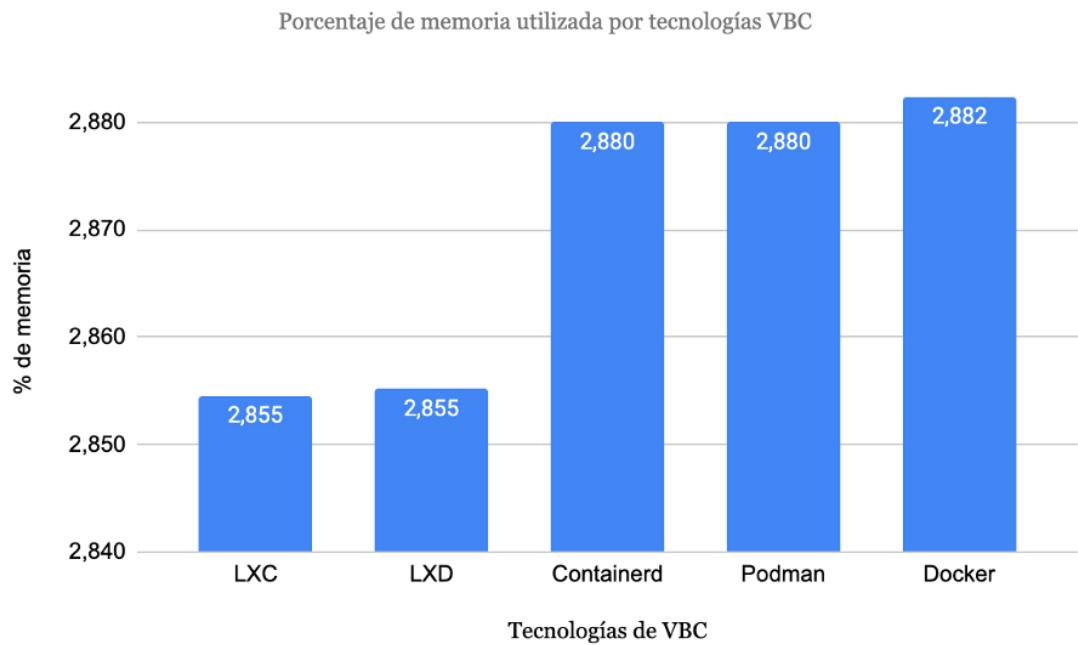


Figura 10: Métricas de uso de RAM

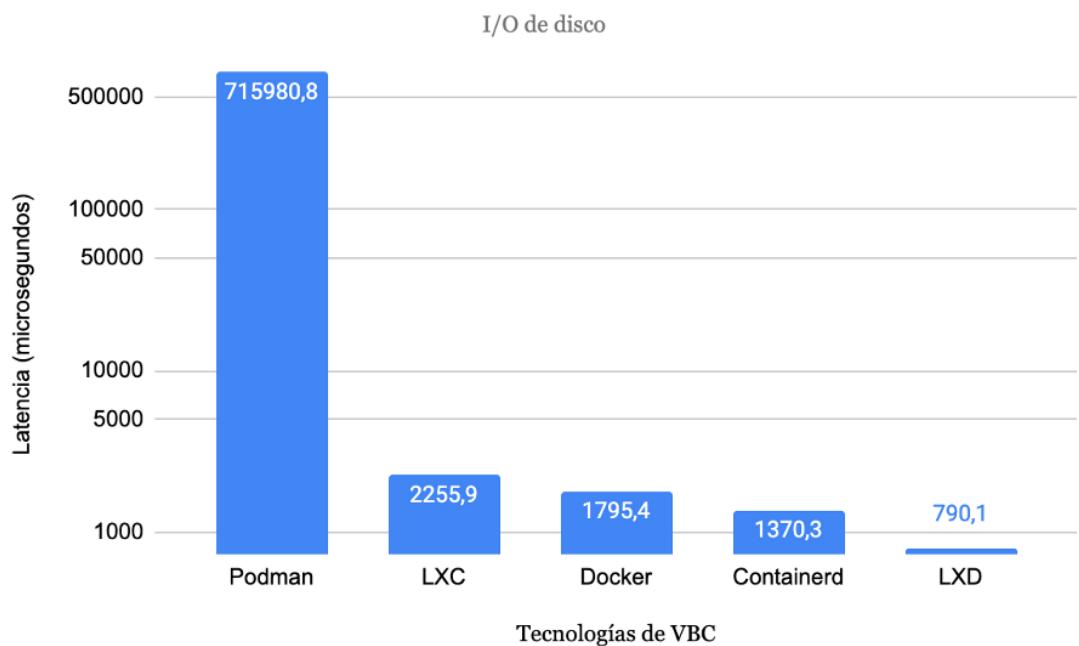


Figura 11: Métricas de entrada/salida

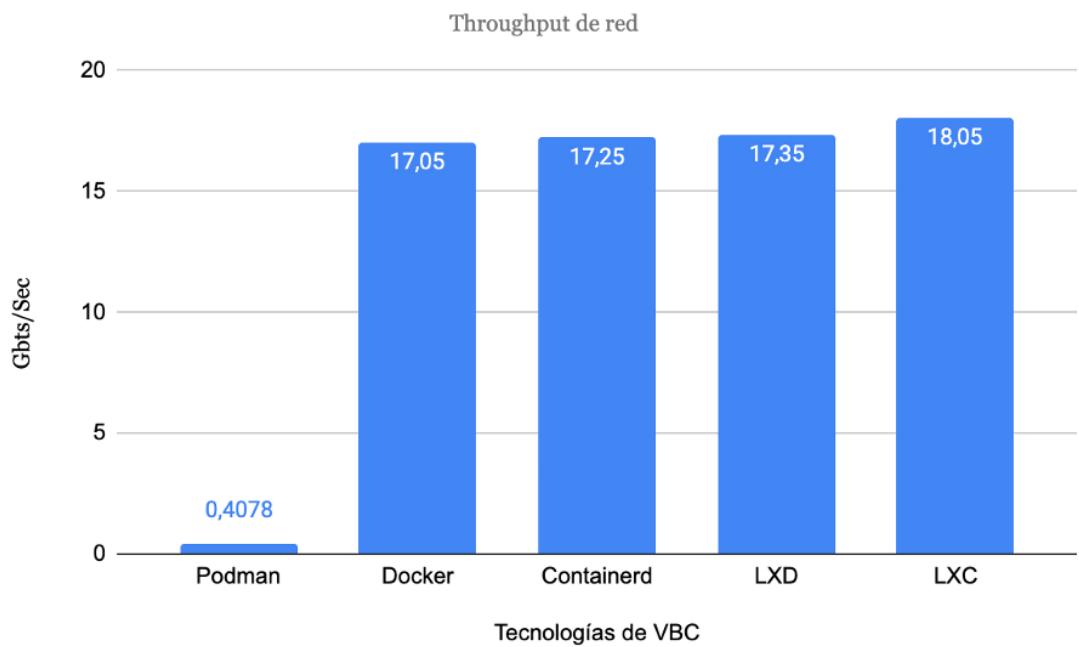


Figura 12: Métricas de throughput

## 5. Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas permiten identificar comportamientos diferenciados entre las tecnologías de contenerización evaluadas. **Containerd** se posiciona como una de las soluciones más equilibradas, con excelente tiempo de arranque, bajo uso de CPU y buena latencia de disco, lo que lo hace ideal para entornos donde la eficiencia es prioritaria.

**LXC** mostró consistentemente el menor consumo de recursos y alto rendimiento en red, lo que lo convierte en una opción sólida para sistemas embebidos o despliegues que requieren un uso mínimo de *overhead*.

Por otro lado, **Docker** ofreció un rendimiento aceptable, pero con mayores niveles de consumo de CPU y latencia de disco, compensados por su madurez y ecosistema.

**LXD**, al estar basado en LXC, heredó parte de sus beneficios, especialmente en uso de red, aunque con un ligero incremento en el tiempo de arranque.

En contraste, **Podman**, si bien eficiente en uso de CPU y memoria, presentó resultados considerablemente bajos en el *throughput* de red y alta latencia de disco, lo cual podría limitar su aplicación en cargas sensibles a E/S o comunicación intensiva.

En resumen, la elección de la tecnología de contenerización debe considerar el caso de uso específico: **Containerd** y **LXC** sobresalen en eficiencia general; **Docker** y **LXD** ofrecen robustez y facilidad de integración; mientras que **Podman** puede ser más adecuado para entornos que prioricen la seguridad y compatibilidad con el modelo sin *daemon*, siempre que el rendimiento de red o disco no sea crítico.

# **Análisis de Decisiones y Resolución (DAR)**

## **1. Metodología de evaluación**

La metodología de evaluación que se aplicó para la elección de la tecnología de Virtualización Basada en Contenedores (VBC) fue DAR (Decision, analysis and resolution) de CMMI (CMMI Institute, 2010). Esta metodología permitió evaluar las necesidades del grupo GRID a través de un proceso estructurado que consideró múltiples alternativas, criterios de evaluación bien definidos y un análisis comparativo. En este caso, se identificaron y analizaron diversas tecnologías VBC —como Docker, Podman, LXC o Kata Containers— aplicando criterios como el tipo de licencia, la compatibilidad con herramientas de orquestación, el rendimiento entre otros. Mediante el uso de matrices DOFA, se logró visualizar las fortalezas y debilidades de cada opción, facilitando una selección alineada con los objetivos estratégicos del sistema. Así, el uso de DAR no solo aportó transparencia al proceso, sino también trazabilidad y justificación técnica frente a una decisión para la arquitectura de infraestructura basada en contenedores.

## 2. Resultados de la evaluación

Criterios	VBC	Tipo de licencia	Posibilidad de orquestación	Compatibilidad d de imágenes de Docker Hub	Soporte para redes personalizada	Persistencia de datos/volumenes	Documentación	Soporte al proyecto	Popularidad	Consumo de recursos	Compatibilidad de orquestación	Costo de implementación y operación en ambientes productivos	Total	
Valoración	5	5	4	3	2	3	5	5	3	3	5	5		
Docker	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	5	5	5	69900	4	5	0	195
Podman	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	5	5	5	27200	5	2	3	196
Udocker	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	NO	SI	2	3	4	4	1500	4	3	2	150
Wasm	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	NO	SI	1	4	4	4	7900	5	3	1	124
LXC	SI	GNU LGPLv2.1+	5	SI	NO	5	4	4	5	4900	4	3	2	170
Containerd	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	4	4	5	18800	5	5	5	213
LXD	SI	AGPL-3.0 license	5	SI	SI	4	5	5	5	4500	3	2	2	189
Rkt	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	3	4	1	8800	2	3	1	148
Singularity	SI	BSD 3-Clause (permisiva)	5	SI	SI	2	4	4	5	856	3	1	1	165
runC	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	4	3	5	12400	5	4	1	181
CRI-O	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	4	4	5	5400	3	5	3	196
Hyper-V containers	SI	Licencia Windows (Propietaria)	1	SI	SI	3	4	4	4	0	2	3	0	144
OpenVZ	SI	GPL v2 (permisiva)	5	SI	SI	4	3	3	4	43	4	1	2	154
Linux VServer	SI	GPL v2 (permisiva)	5	NO	NO	3	2	1	2	17	4	1	2	104
Google gVisor	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	4	3	4	16600	2	4	2	172
Kata Containers	NO	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	4	3	5	6300	4	3	1	142
Firecracker	NO	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	4	3	5	28200	5	2	1	146
Sarus	SI	BSD 3-Clause (permisiva)	5	SI	SI	2	4	4	3	138	3	2	1	160

Cuadro 36: Análisis de Decisiones y Resolución (DAR) aplicado a la selección de VBC

## 3. Criterios de evaluación

### 3.1 VBC (¿Es una tecnología basada en contenedores?)

Este criterio define si la tecnología analizada entra dentro de la categoría de virtualización basada en contenedores, lo cual es el punto de partida para que pueda ser considerada en el análisis. Se evalúa como Sí (SI) o No (NO).

### 3.2 Tipo de licencia

Se analiza el tipo de licencia bajo la cual se distribuye la tecnología, ya que esto afecta su adopción en proyectos académicos o comerciales. Las licencias permisivas (como Apache 2.0 o BSD) permiten mayor libertad de uso y modificación, mientras que licencias restrictivas (como GPL o licencias propietarias) imponen ciertas limitaciones legales o técnicas.

### 3.3 Posibilidad de orquestación

Se refiere a la capacidad de la tecnología para integrarse con herramientas de orquestación como Kubernetes, Docker Swarm o Nomad, lo cual es clave para la

gestión automatizada de contenedores a gran escala. Una mayor puntuación indica mejor compatibilidad y soporte para estas herramientas.

### **3.4 Compatibilidad con imágenes de Docker Hub**

Evaluá si la tecnología puede ejecutar imágenes obtenidas directamente desde Docker Hub, el repositorio más utilizado para contenedores. Esto facilita la reutilización de contenedores existentes y la integración con flujos de trabajo ya establecidos.

### **3.5 Soporte para redes personalizadas**

Determina si la tecnología permite la creación y gestión de redes personalizadas entre contenedores. Este aspecto es fundamental en arquitecturas distribuidas, donde la comunicación entre servicios debe configurarse de forma segura.

### **3.6 Persistencia de datos / volúmenes**

Analiza si la solución permite la persistencia de datos, es decir, que los datos generados dentro de un contenedor puedan mantenerse incluso después de reiniciarlo o eliminarlo. Esto se logra mediante el uso de volúmenes o sistemas de almacenamiento externos.

### **3.7 Documentación**

Se valora la calidad, profundidad y accesibilidad de la documentación oficial. Una buena documentación facilita el aprendizaje, la resolución de problemas y la implementación efectiva de la tecnología.

### **3.8 Soporte al proyecto**

Considera el respaldo que tiene la tecnología por parte de la comunidad, empresas o fundaciones (como CNCF o Red Hat). Esto incluye mantenimiento activo, actualizaciones regulares, y foros o canales de ayuda disponibles.

### **3.9 Popularidad**

Este criterio mide la adopción y visibilidad de la tecnología, lo cual puede reflejar su madurez, confianza del mercado y disponibilidad de talento capacitado. Se puede estimar por métricas como el número de estrellas en GitHub.

### **3.10 Consumo de recursos**

Evalúa el nivel de consumo de recursos respecto al uso de CPU, memoria y almacenamiento. Se valora según lo que mencionan las organizaciones en este aspecto.

### **3.11 Compatibilidad de orquestación**

Difiere levemente del punto 4.3, ya que aquí se mide qué tan bien se integra con los orquestadores, considerando estabilidad, plugins nativos y experiencia de uso. Un puntaje alto indica integración fluida y confiable.

### **3.12 Costo de implementación y operación en ambientes productivos**

Este criterio analiza los costos asociados a poner en marcha la tecnología en un entorno real. Incluye licencias, infraestructura, tiempo de configuración y mantenimiento. Una puntuación alta significa bajo costo o costo nulo, lo cual es ideal para instituciones académicas o proyectos con presupuesto limitado.

## **4. Tecnología VBC ganadora**

Del análisis comparativo realizado, Containerd se posiciona como la tecnología de virtualización basada en contenedores con mejor desempeño general. Destaca por su alta compatibilidad con Docker Hub, soporte para redes y volúmenes, excelente integración con orquestadores como Kubernetes, y una licencia permisiva que facilita su adopción. Además, cuenta con una sólida documentación y un respaldo activo de la comunidad. Estas características hacen de Containerd la opción adecuada para ser implementada en ambientes productivos del grupo de investigación GRID, combinando los diferentes criterios definidos desde el grupo de investigación.

# Bibliografía

- Agache, A., Brooker, M., Iordache, A., Liguori, A., Neugebauer, R., Piwonka, P., and Popa, D.-M. (2020). Firecracker: Lightweight Virtualization for Serverless Applications. In *17th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 20)*, pages 419–434, Santa Clara, CA. USENIX Association.
- 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.
- B, L. B., Cruz, F. A., Madonna, A., and Mariotti, K. (2020). *Sarus : Highly Scalable Docker Containers for HPC Systems*. Springer International Publishing.
- BSI (2011). BSI Standards Publication: Systems and Software Engineering — Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and Software Quality Models. <https://bsol-bsigroup-com.lcproxy.shu.ac.uk/Bibliographic/BibliographicInfoData/00000000030215101>. BS ISO/IEC 25010:2011.
- Campos, I. and Gomes, J. (2017). Researchers Advance User-Level Container Solution for HPC.
- 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.
- Clark, S. (2024). How Does Microsoft’s Contact Center Play Shake up the Industry?

- CMMI Institute (2010). CMMI ® para Desarrollo, Versión 1.3 Equipo del Producto CMMI. 1(1):1–555.
- CNCF (2019). CNCF to host CRI-O.
- CNCF (2023). Who we are.
- Collins, L. (2016). Virtual Private Cloud.
- Combelles C. Lucena P., A. E. (2020). *Design Thinking ( Design Thinking )*. ALA Neal-Schuman, Chicago.
- 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.
- Espe, L., Jindal, A., Podolskiy, V., and Gerndt, M. (2020). Performance evaluation of container runtimes. In Ferguson, D., Helfert, M., and Pahl, C., editors, *CLOSER 2020 - Proceedings of the 10th International Conference on Cloud Computing and Services Science*, CLOSER 2020 - Proceedings of the 10th International Conference on Cloud Computing and Services Science, pages 273–281. SciTePress.
- Godlove, D. (2019). Singularity: Simple, secure containers for compute-driven workloads. In *Practice and Experience in Advanced Research Computing 2019: Rise of the Machines (Learning)*, PEARC ’19, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Gomes, J., Bagnaschi, E., Campos, I., David, M., Alves, L., Martins, J., Pina, J., López-García, A., and Orviz, P. (2018). Enabling rootless Linux Containers in multi-user environments: The udocker tool. *Computer Physics Communications*, 232:84–97.
- 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.
- Gvisor (2025). The Container Security Platform | gVisor.
- Haas, A., Rossberg, A., Schuff, D. L., Titze, B. L., Holman, M., Gohman, D., Wagner, L., Zakai, A., and Bastien, J. F. (2017). Bringing the web up to speed with WebAssembly. *ACM SIGPLAN Notices*, 52(6):185–200.
- Hill, J. (2025). Docker.

- Institute, P. M. (2017). *Guia de los Fundamentos Para la Direccion de Proyectos: Guia del Pmbok*. Project Management Institute.
- Jain, M. (2020). Study of Firecracker MicroVM. *arXiv:2005.12821 [cs]*.
- Jain, N. and Choudhary, S. (2016). Overview of virtualization in cloud computing. *2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking, CDAN 2016*.
- Jangda, A., Powers, B., Berger, E. D., and Guha, A. (2019). Not so fast: Analyzing the performance of webassembly vs. Native code. *Proceedings of the 2019 USENIX Annual Technical Conference, USENIX ATC 2019*, pages 107–120.
- 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*.
- Kaiser, S., Haq, M. S., Tosun, A. S., and Korkmaz, T. (2022). Container Technologies for ARM Architecture: A Comprehensive Survey of the State-of-the-Art. *IEEE Access*, 10:84853–84881.
- Kurtzer, G. M., Sochat, V., and Bauer, M. W. (2017). Singularity: Scientific containers for mobility of compute. *PLoS ONE*, 12(5):1–20.
- Lingayat, A., Badre, R. R., and Gupta, A. K. (2018). Integration of linux containers in openstack: An introspection. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 12(3):1094–1105.
- LinuxVirt (2017). The Linux-VServer approach.
- Lopez Falcon, G. (2024). Por qué las Empresas y Desarrolladores Deberían Adoptar Tecnologías como gVisor para Aumentar la Seguridad de sus Contenedores. *CNCF Blog*.
- Mag, A. (2025). How Docker is Revolutionizing DevOps and 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.
- OpenVZ (2015). OpenVZ Philosophy.
- Perez, E. (2005). dtSearch: The little search engine that could.
- 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.*
- Sarus (2021). Sarus.
- 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.
- Silva, D., Rafael, J., and Fonte, A. (2024). Toward Optimal Virtualization: An Updated Comparative Analysis of Docker and LXD Container Technologies. *Computers*, 13(4).
- Šimon, M., Huraj, L., and Búčik, N. (2023). A Comparative Analysis of High Availability for Linux Container Infrastructures. *Future Internet*, 15(8).
- Smith, R. (2016). Sponsored: Securing Windows Containers with Hyper-V.
- Soltesz, S., Pötzl, H., Fiuczynski, M. E., Bavier, A., and Peterson, L. (2007). Container-based operating system virtualization: a scalable, high-performance alternative to hypervisors. In *Proceedings of the 2nd ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems 2007*, EuroSys '07, pages 275–287, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Spray, J. R. (2023). Abstraction Layered Architecture. *Abstraction Layered Architecture*.
- Surendhar, M. (2024). Exploring Podman and Beyond: Open Source Alternatives to Docker for Secure Containerization.
- 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.

- Trevor, B. and Walker, S. (2022). Enhancing application container security and compliance with Podman.
- Vaño, R., Lacalle, I., Sowiński, P., S-Julián, R., and Palau, C. E. (2023). Cloud-Native Workload Orchestration at the Edge: A Deployment Review and Future Directions. *Sensors*, 23(4).
- Viktorsson, W., Klein, C., and Tordsson, J. (2020). Security-Performance Trade-offs of Kubernetes Container Runtimes. *Proceedings - IEEE Computer Society's Annual International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunications Systems, MASCOTS*, 2020-Novem(November).
- Watada, J., Roy, A., Kadikar, R., Pham, H., and Xu, B. (2019). Emerging Trends, Techniques and Open Issues of Containerization: A Review. *IEEE Access*, 7:152443–152472.
- 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.
- Zhou, N., Georgiou, Y., Pospieszny, M., Zhong, L., Zhou, H., Niethammer, C., Pejak, B., Marko, O., and Hoppe, D. (2021). Container orchestration on HPC systems through Kubernetes. *Journal of Cloud Computing*, 10(1).

## **Apéndice A**

### **Fichas técnicas y búsqueda en bases de datos**

**Ficha técnica del recurso tecnológico**

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

Figura A.1: Ficha técnica del recurso tecnológico

## Ficha técnica de servicios

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

Figura A.2: Ficha técnica de servicios

# Apéndice B

## Búsquedas en bases de datos

### Búsqueda de artículos sin criterios de inclusión/exclusión

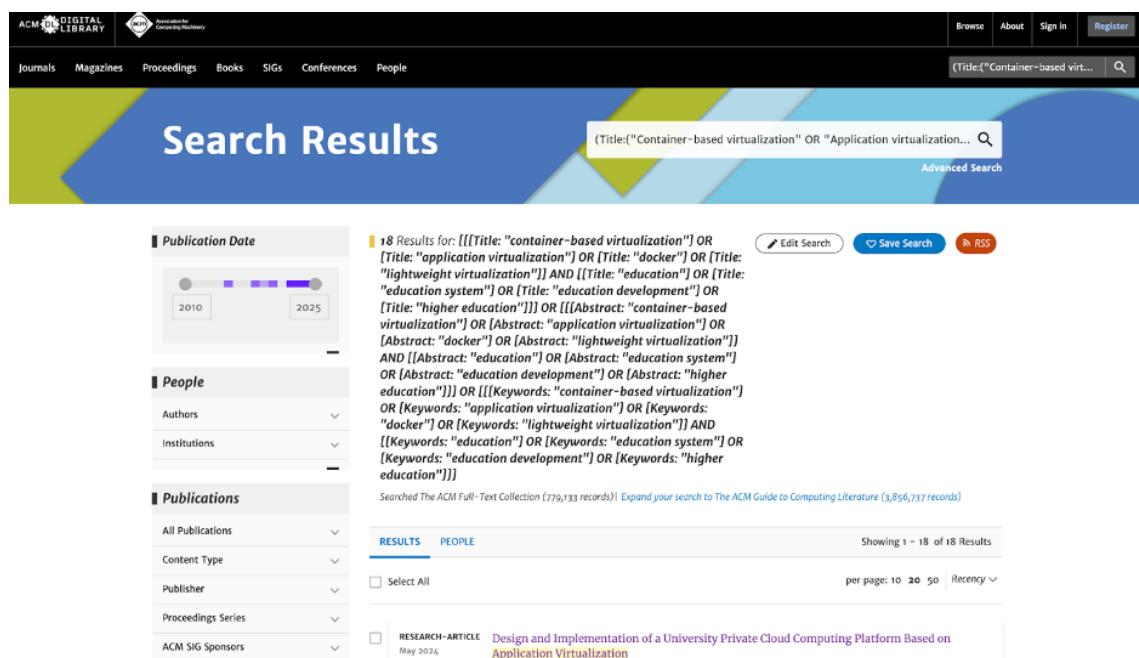


Figura B.1: Búsqueda de artículos de educación en ACM sin criterios de inclusión/exclusión

Fecha de acceso: 12/03/25 9:13 pm

The screenshot shows the ACM Digital Library search results for the query "Container-based virtualization". The search bar at the top contains the query. Below it, a search summary indicates 93 results found. On the left, there are filters for Publication Date (2010-2025), People (Authors, Institutions), and Publications (Journal/Magazine Names, All Publications, Content Type, Supplemental Material Type). The main results section shows one article titled "PWN Lessons Made Easy with Docker: Toward an Undergraduate Vulnerability Research Cybersecurity Class" by TJ.OConnor, Alex Schmitt, Chris Stricklan, Marco Carvalho, and Sneha Sudhakaran. The article is marked as OPEN ACCESS and published in March 2024. The interface includes standard search controls like Edit Search, Save Search, and RSS.

Figura B.2: Búsqueda de artículos de investigación en ACM sin criterios de inclusión/exclusión

Fecha de acceso: 12/03/25 8:23 pm

This screenshot shows the same search results as Figure B.2, but with an additional filter applied: "RESULTS" (selected) and "EXTENSION". The search summary now shows 78 results. The article listed is "Design and Implementation of a University Private Cloud Computing Platform Based on Application Virtualization" by May 2024. The rest of the interface is identical to Figure B.2.

Figura B.3: Búsqueda de artículos de extensión en ACM sin criterios de inclusión/exclusión

Fecha de acceso: 12/03/25 9:20 pm

The screenshot shows the IEEE Xplore search interface. At the top, there are links for IEEE.org, IEEE Xplore, IEEE SA, IEEE Spectrum, More Sites, and options to Subscribe, Donate, Create Account, and Personal Sign In. The IEEE logo is also present. Below the header, the search bar contains the query "Education". The search results page displays 28 results, with the first two listed:

- Dealing with Scalability of Laboratory Sessions in Computer Science University Courses** (2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR))
- Enhancing IT Education Through Docker Integration** (2024 4th International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE))

On the left side, there are filters for Show (All Results selected), Open Access Only, Year (Range selected), and sorting options (Abstract, HTML, PDF, DOI). A sidebar on the left encourages users to contact IEEE to subscribe.

Figura B.4: Búsqueda de artículos de educación en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 7/03/25 8:50 pm

The screenshot shows the IEEE Xplore search interface. The search bar at the top contains the query "Container-based virtualization". Below the search bar, there are several search filters and sorting options. On the left, a sidebar offers a "Need access to IEEE Xplore for your organization?" button and a "CONTACT IEEE TO SUBSCRIBE" link. The main results area displays one result titled "Performance Evaluation of SDN-VNF in Virtual Machine and Container" by Dewang Gedia and Levi Perigo, from the 2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). The result includes options to export, set search alerts, and view search history.

Figura B.5: Búsqueda de artículos de investigación en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 7/03/25 8:46 pm

This screenshot shows the IEEE Xplore search results for the same query, but with an additional search term "OR 'Author Keywords':Container-based virtualization" added to the search bar. This results in 397 total results. The results page is similar to Figure B.5, showing the first few articles and providing filtering and sorting options.

Figura B.6: Búsqueda de artículos de extensión en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 8:54 pm

**SPRINGER NATURE Link**

Find a journal Publish with us Track your research  Search Cart

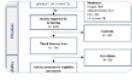
Search for articles, journals, books, authors, videos  
 (title:(“Container-based virtualization” OR “Application virtualization” OR “

Advanced search Search help

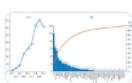
Showing 1–20 of 643 results  Sort by (updates page) Relevance ▾

**Content type**  Chapter (387)  Article (256)  Research article (174)  Conference paper (111)  Review article (26)  News article (8)  Reference work entry (6)  Protocol (1)

**Date published**  Last 3 months  Last 6 months  Last 12 months

**Article**  Full access **Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research** 

Remote learning has advanced from the theoretical to the practical sciences with the advent of virtual labs. Although virtual labs allow students to...  
 Ramy Elmazaen, Mohammed Saqr, ... Barbara Wasson in *Smart Learning Environments*  
 09 March 2023 | Open access

**Article**  Software Testing in the DevOps Context: A Systematic Mapping Study 

Abstract DevOps is a philosophy and framework that allows software development and operations teams to work in a coordinated manner, with the purpose...  
 B. Pando, A. Dávila in *Programming and Computer Software*  
 21 December 2022

**Chapter**  Healthcare and Cyberspace: from Cyber-Physical Systems to Medical Digital Twins 

Figura B.7: Búsqueda de artículos de educación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:58 pm

**SPINGER NATURE Link**

Find a journal | Publish with us | Track your research |  Search | Cart

Search for articles, journals, books, authors, videos  
(title:"Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR )

Advanced search | Search help

Showing 1-20 of 2,415 results | RSS feed | Sort by (updates page) Relevance

**Content type**

- Chapter (1,341)
- Article (1,074)
- Research article (908)
- Conference paper (734)
- Review article (84)
- Protocol (19)
- News article (10)
- Reference work entry (10)

**Date published**

- Last 3 months
- Last 6 months
- Last 12 months

**Article** | Full access | [Open source container orchestration for Industry 4.0 – requirements and systematic feature analysis](#)  
Container-based virtualization is a popular technique, e.g., to realize microservice architectures. Recently, containers became popular in Industry...  
Ahmad Alamoush, Holger Eichelberger in [International Journal on Software Tools for Technology Transfer](#)  
18 September 2024 | Open access

**Article** | Full access | [Kubernetes as a Standard Container Orchestrator – A Bibliometric Analysis](#)  
Container orchestration systems simplify the deployment and maintenance of container-based applications, but developing efficient and well-defined...  
Carmen Carrón in [Journal of Grid Computing](#)  
06 December 2022

**Article** | Full access | [Trends and Gaps in Prescribed Burning Research](#) 

Figura B.8: Búsqueda de artículos de investigación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:40 pm

**SPINGER NATURE Link**

Find a journal | Publish with us | Track your research |  Search | Cart

Search for articles, journals, books, authors, videos  
(title:"Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR )

Advanced search | Search help

Showing 1-20 of 1,504 results | RSS feed | Sort by (updates page) Relevance

**Content type**

- Chapter (914)
- Article (590)
- Research article (490)
- Conference paper (444)
- Review article (57)
- Protocol (8)
- Reference work entry (7)
- News article (6)

**Date published**

- Last 3 months
- Last 6 months
- Last 12 months

**Article** | Full access | [Cloud media video encoding: review and challenges](#)  
In recent years, Internet traffic patterns have been changing. Most of the traffic demand by end users is multimedia, in particular, video streaming...  
Wilmer Moina-Rivera, Miguel García-Pineda, ... Jose M. Alcaraz-Calero in [Multimedia Tools and Applications](#)  
09 March 2024 | Open access 

**Chapter** | Full access | [Introduction to Cloud Computing Computing](#)  
This chapter is an overview of cloud computing, including common cloud computing scenarios in life, the characteristics, definitions, origins and...  
in [Cloud Computing Technology](#)  
2023 | Open access 

**Article** | [Resource Utilization-Based Container Orchestration: Closing the Gap for Enhanced Cloud Application Performance](#) 

Figura B.9: Búsqueda de artículos de extensión en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:48 pm

The screenshot shows the ScienceDirect search interface. At the top, there is a logo, a search bar with placeholder text "Find articles with these terms", and a search button. Navigation links include "Journals & Books", "Help", "My account", and "Sign in". Below the search bar, a query is displayed: "Title, abstract, keywords: [\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\" OR \"Docker\" OR \"Lightweight Virtualization\"] AND [\"Education\" OR \"Education System\"] O". A link to "Advanced search" is also present.

**21 results** sorted by relevance | date

**Refine by:**

- Years
  - 2024 [5]
  - 2023 [7]
  - 2022 [2]Show more
- Article type
  - Review articles [8]
  - Research articles [17]
  - Short communications [1]Show more
- Publication title
  - Procedia Computer Science [2]
  - JMIR Medical Education [2]
  - Computers in Biology and Medicine [1]Show more
- Subject areas
  - Medicine and Dentistry [10]
  - Computer Science [6]
  - Nursing and Health Professions [6]Show more

**Short communication**

**Personal connections and preference signaling: A cross-sectional analysis of the dermatology residency match during COVID-19**  
Journal of the American Academy of Dermatology, June 2023  
Yen Liu, Whitney Gao, ... Travis Vandergriff

**Research article** • Open access

**Virtual Hydrogen, a VR hydrogen atomic orbitals viewer in physics and chemistry**  
Procedia Computer Science, 2024  
Hiroya Suno, Nobutaka Ohno  
View PDF

**Want a richer search experience?**  
Sign in for article previews, additional search fields & filters, and multiple article download & export options.  
Sign in

**Research article**

**Influence of Applicant Interview Format Choice on Demographics and Outcomes from the Residency Match**  
Journal of Surgical Education, April 2024  
Said S. Shebrawi, Kent Gross, ... Robert G. Sawyer

**Research article** • Open access

**Innovative learning paths: Virtual reality in teaching the thrill of crime fiction**  
Procedia Computer Science, 2024  
Abdul Aziz Turhan Karlio, Momoko Tokai  
View PDF

**Review article**

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03000131501000765>

Figura B.10: Búsqueda de artículos de educación en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:03 pm

ScienceDirect®

Find articles with these terms

Title, abstract, keywords: ("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND ("Research" OR "Research Group" OR "Review")

[Advanced search](#)

160 results

sorted by relevance | date

Refine by:

Years

- 2025 [8]
- 2024 [29]
- 2023 [60]

Show more ▾

Article type

- Review articles [12]
- Research articles [118]
- Book chapters [1]
- Conference abstracts [3]

Show more ▾

Publication title

- Future Generation Computer Systems [11]
- SoftwareX [8]
- Computers & Security [5]

Show more ▾

Subject areas

- Computer Science [78]
- Medicine and Dentistry [35]
- Engineering [27]

Want a richer search experience?

Sign in for article previews, additional search fields & filters, and multiple article download & export options.

[Sign in](#)

Research article • Open access  
CONSERVE: A framework for the selection of techniques for monitoring containers security  
Journal of Systems and Software, April 2022  
Rodi Jolak, Thomas Rosenstatter, ... Riccardo Scandariato  
[View PDF](#)

Research article  
A performance comparison of container-based technologies for the Cloud  
Future Generation Computer Systems, March 2017  
Zhonibek Kozhirboev, Richard O. Sinnott

Research article  
CEVMI: A container-based virtualization method for instruments

Figura B.11: Búsqueda de artículos de investigación en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:43 pm

ScienceDirect®

Find articles with these terms

Title, abstract, keywords: ("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND ("Industry" OR "IT Services" OR "Techn")

[Advanced search](#)

172 results

sorted by relevance | date

Refine by:

Years

- 2025 [8]
- 2024 [19]
- 2023 [22]

Show more ▾

Article type

- Review articles [11]
- Research articles [138]
- Book chapters [10]
- Conference abstracts [4]

Show more ▾

Publication title

- Future Generation Computer Systems [27]
- Journal of Network and Computer Applications [11]
- Procedia Computer Science [8]

Show more ▾

Subject areas

- Computer Science [122]
- Engineering [50]

Want a richer search experience?

Sign in for article previews, additional search fields & filters, and multiple article download & export options.

[Sign in](#)

Research article  
Reducing cold start delay in serverless computing using lightweight virtual machines  
Journal of Network and Computer Applications, December 2024  
Amirmahmood Karimzadeh, Alireza Shomeli-Sendi

Research article  
Auto-scaling techniques in container-based cloud and edge/fog computing: Taxonomy and survey  
Computer Communications, 1 September 2023  
Javad Dogani, Reza Norouzi, Farshad Khunjajeh

Research article  
A performance comparison of container-based technologies for the Cloud  
Future Generation Computer Systems, March 2017  
Zhonibek Kozhirboev, Richard O. Sinnott

Research article  
Analysis of SR-IOV in Docker containers using RTT measurements  
Computer Communications, 1 December 2024  
Assis T. de Oliveira Filho, Eduardo Freitas, ... Djamel F. H. Sodok

Research article  
Latency and quality-aware task offloading in multi-node next generation RANs  
Computer Communications, 15 February 2023

Figura B.12: Búsqueda de artículos de extensión en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:48 pm

The screenshot shows the Taylor & Francis Online search interface. At the top, there are links for 'Taylor & Francis Online', 'Browse', 'Search', 'Publish', 'Login | Register', and a shopping cart icon. Below the header, a search bar contains the query: ("Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization" OR "Docker Container"). There is also a link to 'Advanced search'. On the left, there are 'Filters' sections for 'Only show content I have full access to', 'Only show Open Access', 'Article Type', 'Subject', 'Journal', and 'Publication date'. Below these filters, there is a 'Modify your search' section with a dropdown for 'Anywhere' and a search input field containing '("Application virtualization" OR ...)' with a '+' sign. A 'Search' button is located at the bottom of this section. The main results area is titled 'Search results' and shows 'Showing 1-10 of 162 results for search: [...]'. It includes a 'Save this search' button and an 'Export search results' button. The results list displays two articles:

- Expanding higher education: institutional responses in Australia from the post-war era to the 1970s** by Hannah Forsyth. Published in *Paedagogica Historica*, Volume 51, 2015 - Issue 3. Article | Published Online: 16 Jul 2014 | Views: 855 | Citations: 10. Includes 'Abstract' and 'Full Text' links.
- Cultural Issues in Secondary Education Development in West Africa: Away from colonial survivals, towards neocolonial influences?** by Hubert O. Quist. Published in *Comparative Education*, Volume 37, 2001 - Issue 3. Article | Published Online: 08 Jun 2001 | Views: 975.

The results are paginated with 'Articles 162' and a '10 per page' dropdown menu.

Figura B.13: Búsqueda de artículos de educación en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:21 pm

**Search results**

Showing 1-10 of 121 results for search: [All: "application virtualization"] OR [All: "docker"] OR [All: "lightweight virtualization"] OR [All: "docker container"] AND [All: "specific research areas"] OR [All: "research group"] OR [All: "research proposal"] OR [All: "research and development"]

Only show content I have full access to     Only show Open Access

Save this search     Export search results

**Articles** 121

Download citations     Download PDFs    Order by Relevance    10 per page

A Container-Based Technique to Improve Virtual Machine Migration in Cloud Computing >  
Aditya Bhardwaj & C. Rama Krishna  
IETE Journal of Research, Volume 58, 2022 - Issue 1  
Article | Published Online: 22 Apr 2019 | Views: 476 | Citations: 20  
Abstract < Full Text >

Utilizing serverless framework for dynamic visualization and operations in geospatial applications >  
Mingkai Li, Charles Tousignant, Chiranjib Chaudhuri & Achraf Chabbouh  
International Journal of Digital Earth, Volume 17, 2024 - Issue 1  
Article | Published Online: 09 Sep 2024 | Views: 538  
Abstract < Full Text >

**Modify your search**

Anywhere:  +  
Search

Figura B.14: Búsqueda de artículos de investigación en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:31 pm

**Search results**

Showing 1-10 of 717 results for search: [All: "application virtualization"] OR [All: "docker"] OR [All: "lightweight virtualization"] OR [All: "docker container"] AND [All: "industry"] OR [All: "it services"] OR [All: "technology infrastructure"] OR [All: "cloud computing"]

Only show content I have full access to     Only show Open Access

Save this search     Export search results

**Articles** 717

Download citations     Download PDFs    Order by Relevance    10 per page

Model Architecture for Cloud Computing-Based Library Management >  
Jitendra Nath Shaw & Tanmay De Sarkar  
New Review of Information Networking, Volume 24, 2019 - Issue 1  
Article | Published Online: 30 May 2019 | Views: 530 | Citations: 6  
Abstract < Full Text >

Most Cited Works on Cloud Computing: The 'Citation Classics' as Viewed through Dimensions.ai >  
Daud Khan, Masoumeh Khalil Arjmandi & Mayank Yuvaraj  
Science & Technology Libraries, Volume 41, 2022 - Issue 1  
Article | Published Online: 26 Jul 2021 | Views: 279 | Citations: 6  
Abstract < Full Text >

**Modify your search**

Anywhere:  +

Figura B.15: Búsqueda de artículos de extensión en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:34 pm

# Búsqueda de artículos usando criterios de inclusión/exclusión

The screenshot shows the ACM Digital Library search results page. The search query is: (Title:"Container-based virtualization" OR "Application virtualization..."). The results section displays 7 results. On the left, there are applied filters for Research Article (2022 - 2024), Publication Date (2022 - 2024), People (Authors, Institutions), and Publications. The main results table shows a single item: "RESEARCH-ARTICLE Design and Implementation of a University Private Cloud Computing Platform Based on".

Figura B.16: Búsqueda de artículos de educación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:15 pm

The screenshot shows the ACM Digital Library search results for the query "Container-based virtualization". The search bar at the top contains the query. Below it, the search results are displayed with a total of 26 results. The results are filtered by Research Article and the date range 2022 - 2024. The results list includes a research article titled "PWN Lessons Made Easy with Docker: Toward an Undergraduate Vulnerability Research Cybersecurity Class" by TLO Cossari, Kieu Chanh, Chiai Chiodini, Maria Camilleri, and Caiohe Gobbiukum.

Figura B.17: Búsqueda de artículos de investigación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:19 pm

This screenshot shows the same search results as Figure B.17, but with the "Export Citations" checkbox selected in the results list. The results list now includes a research article titled "Design and Implementation of a University Private Cloud Computing Platform Based on" by [unauthorised].

Figura B.18: Búsqueda de artículos de extensión en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:20 pm

Showing 1-13 of 13 results for  
 ("Abstract": "Container-based virtualization" OR "Abstract": "Application virtualization" OR "Abstract": "Docker" OR "Abstract": "Lightweight Virtualization") AND ("Abstract": "Education" OR "Abstract": "Education System" OR "Abstract": "Education Development" OR "Abstract": "Higher Education") OR ((("Publication Title": "Container-based virtualization" OR "Publication Title": "Application virtualization" OR "Publication Title": "Docker" OR "Publication Title": "Lightweight Virtualization") AND ("Publication Title": "Education" OR "Publication Title": "Education System" OR "Publication Title": "Education Development" OR "Publication Title": "Higher Education")) OR ((("Author Keywords": "Container-based virtualization" OR "Author Keywords": "Docker" OR "Author Keywords": "Lightweight Virtualization") AND ("Author Keywords": "Education" OR "Author Keywords": "Education Development" OR "Author Keywords": "Higher Education")) X

Filters Applied: Conferences X Journals X 2022 - 2024 X

Books (1)

Need access to IEEE Xplore for your organization? CONTACT IEEE TO SUBSCRIBE →

Show: All Results (selected) Open Access Only

Year: 2024

Select All on Page Sort By Relevance

**Enhancing IT Education Through Docker Integration**  
 Dmitrii Sedov, Andrei Lazarev  
 2024 4th International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE)  
 Year: 2024 | Conference Paper | Publisher: IEEE

**Innovative Approaches to Teaching Quantum Computer Programming and Quantum Software Engineering**  
 Majid Haghparast; Enrique Moguel; Jose Garcia-Alonso; Tommi Mikkonen; Juan Manuel Murillo  
 2024 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE)  
 Year: 2024 | Conference Paper | Publisher: IIEEE

Figura B.19: Búsqueda de artículos de educación en IEEE con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:27 pm

Para la búsqueda de artículos en IEEE de investigación, no se encontró ningún artículo que cumpliera con los criterios de inclusión/exclusión establecidos. Por lo tanto, no se presenta una figura para esta búsqueda. Fecha de acceso: 20/03/25 1:35 pm

Showing 1-25 of 121 results for  
(("Abstract": "Container-based virtualization" OR "Abstract": "Application virtualization" OR "Abstract": "Docker" OR "Abstract": "Lightweight Virtualization") AND ("Abstract": "Industry" OR "Abstract": "Services" OR "Abstract": "Technology Infrastructure" OR "Abstract": "Cloud Computing")) OR ((("Publication Title": "Container-based virtualization" OR "Publication Title": "Application virtualization" OR "Publication Title": "Docker" OR "Publication Title": "Lightweight Virtualization") AND ("Publication Title": "Industry" OR "Publication Title": "IT Services" OR "Publication Title": "Technology Infrastructure" OR "Publication Title": "Cloud Computing")) OR ((("Author Keywords": "Container-based virtualization" OR "Author Keywords": "Application virtualization" OR "Author Keywords": "Docker" OR "Author Keywords": "Lightweight Virtualization") AND ("Author Keywords": "Industry" OR "Author Keywords": "IT Services" OR "Author Keywords": "Technology Infrastructure" OR "Author Keywords": "Cloud Computing"))  
Filters Applied: Conferences x Journals x 2022 - 2025 x

Books (2)     Early Access Articles (2)     Magazines (2)

Select All on Page    Sort By Relevance

**A Comparative Analysis of Container Orchestration Tools in Cloud Computing**  
Anshita Malviya; Rajendra Kumar Dwivedi  
2022 9th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)  
Year: 2022 | Conference Paper | Publisher: IEEE  
Cited by: Papers (17)  
 Abstract    [HTML](#)

**Construction of Cloud Computing Password Application System Based on Docker Technology**  
Chen Chen; Wei Shen; Honghai Liu

Figura B.20: Búsqueda de artículos de extensión en IEEE con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:37 pm

SPRINGER NATURE Link

Find a journal    Publish with us    Track your research    Search    Log in    Cart

Search for articles, journals, books, authors, videos  
[title:("Container-based virtualization" OR "Application virtualization")]

Showing 1-20 of 68 results    RSS feed    Sort by (updates page) Relevance

Content type: Article (68), Research article (57), Review article (8)  
Date published: Last 3 months, Last 6 months, Last 12 months, Last 24 months  
Custom dates: Start year (YYYY) 2022, End year (YYYY) 2024  
Advanced search    Search help

**Article**  
**Software Testing in the DevOps Context: A Systematic Mapping Study**  
Abstract: DevOps is a philosophy and framework that allows software development and operations teams to work in a coordinated manner, with the purpose...  
B. Pando, A. Díaz in Programming and Computer Software  
21 December 2022

**Article** Full access  
**Abstract papers from the Energy Informatics Academy Conference 2022 (EI.A 2022)**  
in Energy Informatics  
21 December 2022 | Open access

Figura B.21: Búsqueda de artículos de educación en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 2:29 pm

**SPRINGER NATURE Link**

Log in

Find a journal   Publish with us   Track your research    Search   Cart

Search for articles, journals, books, authors, videos  
 (title:( "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR ')

[Advanced search](#) [Search help](#)

Showing 1–20 of 305 results    [RSS feed](#)   Sort by (updates page) [Relevance](#)

**Content type**

- Article (305)
- Research article (276)
- Review article (23)

**Date published**

- Last 3 months
- Last 6 months
- Last 12 months
- Last 24 months

Custom dates   Start year (YYYY)  End year (YYYY)

[Article](#) | [Full access](#)  
**Open source container orchestration for Industry 4.0 – requirements and systematic feature analysis**  
 Container-based virtualization is a popular technique, e.g., to realize microservice architectures. Recently, containers became popular in Industry...  
 Ahmad Alamoush, Holger Eichelberger in *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*  
 18 September 2024 [Open access](#)

---

[Article](#)  
**Kubernetes as a Standard Container Orchestrator – A Bibliometric Analysis**  
 Container orchestration systems simplify the deployment and maintenance of container-based applications, but developing efficient and well-defined...

Carmen Carrón in *Journal of Grid Computing*  
 06 December 2022

Figura B.22: Búsqueda de artículos de investigación en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 11:05 am

**SPINGER NATURE Link**

[Log in](#)

[Find a journal](#) [Publish with us](#) [Track your research](#) [Search](#) [Cart](#)

Search for articles, journals, books, authors, videos  
(title:"Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "

[Advanced search](#) [Search help](#)

Showing 1-20 of 219 results

[RSS feed](#) [Sort by \(updates page\)](#) [Relevance](#)

**Content type**  
 Article (219)  
 Research article (192)  
 Review article (22)

**Date published**  
 Last 3 months  
 Last 6 months  
 Last 12 months  
 Last 24 months

**Custom dates**  
 Start year (YYYY)   
 End year (YYYY)

[Clear selected](#) [Update results](#)

**Article** [Full access](#)  
**Cloud media video encoding: review and challenges**  
 In recent years, Internet traffic patterns have been changing. Most of the traffic demand by end users is multimedia, in particular, video streaming...  
 Wilmer Moina-Rivera, Miguel García-Pineda, ... Jose M. Alcaraz-Calero in [Multimedia Tools and Applications](#)  
 09 March 2024 | [Open access](#)

**Article**  
**Fog Computing Complete Review: Concepts, Trends, Architectures, Technologies, Simulators, Security Issues, Applications, and Open Research Fields**  
 Regarding real-time data processing, technological innovations like the Internet of Things (IoTs) need latency-sensitive computation. The...

Ishfaq Ahmad in [SN Computer Science](#)




Figura B.23: Búsqueda de artículos de extensión en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 11:07 am

**ScienceDirect**

[Journals & Books](#) [Help](#) [My account](#) [University of Quindio](#)

Find articles with these terms  [Search](#)

Title, abstract, keywords: ("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND ("Education" OR "Education S")

[Advanced search](#)

10 results [Download selected articles](#) [Export](#) [sorted by relevance | date](#)

**Refine by:**  
 Subscribed journals

**Years**  
 2024 (5)  
 2023 (3)  
 2022 (2)

**Article type**  
 Review articles (3)  
 Research articles (10)  
 Short communications (1)

**Publication title**  
 Procedia Computer Science (2)  
 Computer Methods and Programs in Biomedicine (1)  
 Automation in Construction (1)

Show more [▼](#)

**Subject areas**  
 Medicine and Dentistry (6)  
 Computer Science (4)  
 Nursing and Health Professions (2)

[Personalize >](#)

**1** [Virtual Hydrogen, a VR hydrogen atomic orbitals viewer in physics and chemistry](#)  
 Procedia Computer Science, 2024  
 Hiroya Suno, Nobuyuki Ohno  
[View PDF](#) [Abstract](#) [Export](#)

**2** [Influence of Applicant Interview Format Choice on Demographics and Outcomes from the Residency Match](#)  
 Journal of Surgical Education, April 2024  
 Saad S. Shebani, Kent Groth, ... Robert G. Sawyer  
[Abstract](#) [Figures](#) [Export](#)

**3** [Innovative learning paths: Virtual reality in teaching the thrill of crime fiction](#)  
 Procedia Computer Science, 2024  
 Abdul Aziz Turhan Kariko, Memoko Takai  
[View PDF](#) [Abstract](#) [Export](#)

**4** [Virtual reality technology in construction safety training: Extended technology acceptance model](#)  
 Automation in Construction, March 2022  
 Ming Zhang, Lei Shu, ... Xiazhong Zheng  
[Abstract](#) [Figures](#) [Export](#)

[FEEDBACK](#)

Figura B.24: Búsqueda de artículos de educación en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 2:59 am

Find articles with these terms

Title, abstract, keywords: ("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND ("Research" OR "Research Gi  
Advanced search

53 results  Set search alert

Refine by:  Subscribed journals

Years:  2024 (22)  2023 (22)  2022 (9)

Article type:  Review articles (4)  Research articles (53)  Conference abstracts (1)  Mini reviews (1)  Short communications (3)  Software publications (11)  Video articles (1)

Show less ^

Publication title:  Computers & Security (4)  Future Generation Computer Systems (2)  Journal of Systems and Software (2)

Show more ^

Download selected articles  sorted by relevance | date

1 Reducing cold start delay in serverless computing using lightweight virtual machines  
Journal of Network and Computer Applications, December 2024  
Amir Mohammad Karamzadah, Alireza Shamsi-Sendi  
Abstract

2 CONSERVE: A framework for the selection of techniques for monitoring containers security  
Journal of Systems and Software, April 2022  
Rodríguez-Jolak, Thomas Rosenstatter, ... Riccardo Scandariato

3 The Automatic Context Measurement Tool (ACMT) to Compile Participant-Specific Built and Social Environment Measures for Health Research: Development and Usability Study  
JMIR Formative Research, 2024  
Weipeng Zhou, Amy Youngblood, ... Stephen J Mooney  
Abstract

4 LSTM-AI: A deep learning ensemble for accurate MS lesion segmentation  
NeuroImage: Clinical, 2024  
Tun Witgen, Julian McGinnis, ... Benedikt Wiestler

Figura B.25: Búsqueda de artículos de investigación en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 3:01 am

The screenshot shows the ScienceDirect search interface. At the top, there is a logo for ScienceDirect, navigation links for Journals & Books, Help, My account, and University of Quindio. Below the header is a search bar with placeholder text "Find articles with these terms" and a search button. A link to "Advanced search" is also present.

**46 results**

[Set search alert](#)

**Refine by:**

- Subscribed journals
- Years**
  - 2024 (17)
  - 2023 (17)
  - 2022 (12)
- Article type**
  - Review articles (3)
  - Research articles (46)
  - Book chapters (1)
  - Conference abstracts (1)
  - Data articles (1)
  - Software publications (3)
- Show less ▾
- Publication title**
  - Future Generation Computer Systems (6)
  - Computer Communications (3)
  - Computer Networks (3)
- Show more ▾
- Subject areas**

**Download selected articles** [Export](#)

sorted by relevance | date

**1** Reducing cold start delay in serverless computing using lightweight virtual machines  
Journal of Network and Computer Applications, December 2024  
Amin Mohammad Karamzadeh, Alireza Shamsi-Sendi  
Abstract ▾ Figures ▾ Export ▾

**2** Analysis of SR-IOV in Docker containers using RTT measurements  
Computer Communications, 1 December 2024  
Assis T. de Oliveira Filho, Eduardo Freitas, ... Djamel F. H. Sadok  
Abstract ▾ Figures ▾ Export ▾

Get a personalized search experience  
Recommendations, reading history, search & journals alerts, and [more registration benefits](#).

[Personalize >](#)

**3** Latency and quality-aware task offloading in multi-node next generation RANs  
Computer Communications, 15 February 2022  
Ayman Younis, Brian Qiu, Dario Pompli  
Abstract ▾ Figures ▾ Export ▾

**4** From Detection to Action: Implementing Deep Learning Inference in PLC Systems via Docker Services  
IFAC-PapersOnLine, 2024  
Körber L., Kajan S., ... Mihálik J.  
[View PDF](#) Abstract ▾ Export ▾

[FEEDBACK](#)

Figura B.26: Búsqueda de artículos de extensión en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 3:07 am

The screenshot shows the Taylor & Francis search interface. At the top, there is a logo for Taylor & Francis Online, navigation links for Browse, Search ▾, Publish ▾, and a note that access is provided by Universidad del Quindío. There are also links for Login | Register and a shopping cart icon.

[Home](#) [Search](#)

Search bar: ("Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization" OR "Docker Container") [Advanced search](#)

**Filters**

- Only show content I have full access to
- Only show Open Access

**Selected filters** Article x 01/01/2022 - 12/31/2024 x

**Subject** ▾

**Journal** ▾

**Publication date** ▾

**Modify your search**

**Search results**

Showing 1-10 of 25 results for search: [[All: "application virtualization"] OR [All: "docker"] OR [All: "lightweight virtualization"] OR [All: "docker container"]]] AND [[All: "education system"] OR [All: "education sector"] OR [All: "education development"] OR [All: "higher education"]]] AND [Article Type: Article] AND [Publication Date: 01/01/2022 TO 12/31/2024]

[Save this search](#) [Export search results](#)

**Articles** 25

[Download citations](#) [Download PDFs](#) [Order by Relevance](#) 10 per page

**Lightweight Cloud-Based Solution for Digital Education and Assessment** ▾  
J. Geetha, D. S. Jayalakshmi, E. Nareesh & N. Sreenivas  
Science & Technology Libraries, Volume 43, 2024 - Issue 3  
Article | Published Online: 05 Sep 2023 | Views: 950 | Citations: 1  
Abstract ▾ Full Text ▾

**Synthesis of Novel Benzoxazole Derivatives: Exploration of Their Possible Pharmacological Profiles with Computational Studies** ▾  
Shahnazar Ali, PoojaKumari Omprakash, Anand Kumar Tengli, Bijo Mathew, Basavaraj M V, Praveen Parkali, Chandan R S & Arun Kumar S

Figura B.27: Búsqueda de artículos de educación en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:46 am

Taylor & Francis Online

Browse Search ▾ Publish ▾

Access provided by  
Universidad del Quindío

Login | Register

Home > Search

(“Application virtualization” OR “Docker” OR “Lightweight Virtualization” OR “Docker Container”)

Save this search Export search results

**Search results**

Showing 1-10 of 34 results for search: [[All: “application virtualization”] OR [All: “docker”] OR [All: “lightweight virtualization”] OR [All: “docker container”]] AND [[All: “specific research areas”] OR [All: “research group”] OR [All: “research proposal”] OR [All: “research and development”]] AND [Article Type: Article] AND [Publication Date: (01/01/2022 TO 12/31/2024)]

Selected filters Clear all filters

Article 01/01/2022 - 12/31/2024

Subject

Journal

Publication date

Articles 34

Download citations Download PDFs Order by Relevance 10 per page

Utilizing serverless framework for dynamic visualization and operations in geospatial applications >  
Mingke Li, Charles Tousignant, Chiranjib Chaudhuri & Achraf Chabbouh  
International Journal of Digital Earth, Volume 17, 2024 - Issue 1  
Article | Published Online: 09 Sep 2024 | Views: 551 | Citations: 1  
Abstract Full Text

Microhistories of the Holocaust: between factual and fictional narrative >  
Radu Harald Dinu  
Prose Studies, Volume 43, 2022 - Issue 2  
Article | Published Online: 30 Jan 2024 | Views: 1078

Modify your search

Figura B.28: Búsqueda de artículos de investigación en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:49 am

**Search results**

Showing 1-10 of 97 results for search: [All: "application virtualization"] OR [All: "docker"] OR [All: "lightweight virtualization"] OR [All: "docker container"] AND [All: "industry"] OR [All: "it services"] OR [All: "technology infrastructure"] OR [All: "cloud computing"] AND [Article Type: Article] AND [Publication Date: (01/01/2022 TO 12/31/2024)]

Only show content I have full access to  
 Only show Open Access

Save this search  Export search results

**Selected filters**  Article  01/01/2022 – 12/31/2024

**Subject**  
**Journal**  
**Publication date**

**Modify your search**

Advanced search  Advanced search with facets

**Articles** 97

Download citations  Download PDFs  Order by Relevance  10 per page

Improving flexibility in cloud computing using optimal multipurpose particle swarm algorithm with auction rules >  
 Seyed Ebrahim Dashti, Mohammad Zolghadri & Fatemeh Moayedi  
 Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, Volume 36, 2024 - Issue 8  
 Article | Published Online: 08 Dec 2022 | Views: 78 | Citations: 2  
 Abstract  Full Text >

Enhancing Vulnerability Prioritization in Cloud Computing Using Multi-View Representation Learning >  
 Steven Ullman, Sagar Samtanji, Hongyi Zhu, Ben Lazarine, Hsinchun Chen & Jay F. Nunamaker Jr.

Figura B.29: Búsqueda de artículos de extensión en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:50 am

## Plantilla del análisis DAR

## Plantilla análisis DAR

Figura B.30: Plantilla del análisis DAR