

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



José Alejandro Arias Pinzón
Cc: 1002652342

Anubis Haxard Correa Urbano
Cc: 1004871385



Tesis de pregrado



Revisor: Dra. Diana Marcela Rivera Valencia

Asesor: Ph.D. Luis Eduardo Sepúlveda Rodríguez

Septiembre 2025

PERTINENTE CREATIVA INTEGRADORA

@uniquindio uniquindioconectada uniquindioconectada

www.uniquindio.edu.co

*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

1 Índice general

Dedicatoria	1
9.1. Objetivo general	17
Objetivo general	17
9.2. Objetivos específicos	17
Objetivos específicos	17
14.1. Caracterización del GRID	24
14.2. Mapeo sistemático de estudios (SMS)	24
14.3. Identificación y caracterización de tecnologías VBC	24
14.4. Benchmarking de tecnologías VBC	25
14.5. Análisis de Decisión y Resolución (DAR)	25
14.6. Diseño de la solución arquitectónica	25
14.7. Implementación de la solución	25
14.8. Validación de la solución	26
15.1. Análisis de stakeholders del GRID	27
Análisis de stakeholders del GRID	27
15.2. Priorización de stakeholders	28
Priorización de stakeholders	28
15.3. Integrantes y áreas de trabajo del GRID	28
Integrantes y áreas de trabajo del GRID	28
Misión del GRID	30
Visión del GRID	31
Impacto del proyecto en el GRID	32
Caracterización de la infraestructura tecnológica del GRID	32
Caracterización de servicios del GRID	46
Servicios actuales	47
Servicios esperados	47
Descripción de la oportunidad	48
Resumen de la entrevista con el cliente	49
Construcción de la bitácora	51
Planeación	51
Búsqueda de estudios	52
Estrategia de búsqueda	53
Búsqueda en bases de datos	53
Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión	59

Eliminación de duplicados	60
Priorización de estudios	60
Estrategia de búsqueda usando bola de nieve	61
Diagrama de búsqueda	62
Usando cadenas de búsqueda	62
Usando bola de nieve	63
Identificación de estudios	64
Artículos por año y métricas	64
Información de la herramienta	66
16.1. Definición de las pruebas	77
16.2. Construcción de las pruebas	77
16.3. Resultados de las pruebas	78
16.4. Métricas de rendimiento	78
16.5. Análisis de los resultados	81
17.1. Metodología de evaluación	82
1. Metodología de evaluación	82
17.2. Resultados de la evaluación	82
2. Resultados de la evaluación	82
17.3. Criterios de evaluación	83
3. Criterios de evaluación	83
17.3.1. VBC (¿Es una tecnología basada en contenedores?)	83
17.3.2. Tipo de licencia	83
17.3.3. Posibilidad de orquestación	83
17.3.4. Compatibilidad con imágenes de Docker Hub	83
17.3.5. Soporte para redes personalizadas	83
17.3.6. Persistencia de datos / volúmenes	83
17.3.7. Documentación	84
17.3.8. Soporte al proyecto	84
17.3.9. Popularidad	84
17.3.10. Consumo de recursos	84
17.3.11. Compatibilidad de orquestación	84
17.3.12. Costo de implementación y operación en ambientes productivos	84
17.4. Tecnología VBC ganadora	85
4. Tecnología VBC ganadora	85
A. Fichas técnicas y búsqueda en bases de datos	92
B. Búsquedas en bases de datos	95

2 Resumen

Este es un breve resumen del contenido de la tesis.

3 Abstract

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

4 Índice de figuras

15.1. Priorización de stakeholders del proyecto	28
15.2. Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión	59
15.3. Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión	60
15.4. Artículos por métricas y año	64
15.5. Artículos por tipo	64
15.7. Diagrama de red de los artículos	65
15.6. Estrategia de búsqueda de artículos	65
15.8. Cuadrante de Gartner de cada VBC	74
16.1. Métricas de uso de CPU	79
16.2. Métricas de uso de RAM	79
16.3. Métricas de entrada/salida	80
16.4. Métricas de throughput	80
A.1. Ficha técnica del recurso tecnológico	93
A.2. Ficha técnica de servicios	94
B.1. Búsqueda de artículos de educación en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:13 pm	95
B.2. Búsqueda de artículos de investigación en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 8:23 pm	96
B.3. Búsqueda de artículos de extensión en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:20 pm	96
B.4. Búsqueda de artículos de educación en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 7/03/25 8:50 pm	97
B.5. Búsqueda de artículos de investigación en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 7/03/25 8:46 pm	98
B.6. Búsqueda de artículos de extensión en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 8:54 pm	98
B.7. Búsqueda de artículos de educación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:58 pm	99
B.8. Búsqueda de artículos de investigación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:40 pm	100
B.9. Búsqueda de artículos de extensión en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:48 pm	100

B.10.Búsqueda de artículos de educación en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:03 pm	101
B.11.Búsqueda de artículos de investigación en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:43 pm	102
B.12.Búsqueda de artículos de extensión en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:48 pm	102
B.13.Búsqueda de artículos de educación en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:21 pm	103
B.14.Búsqueda de artículos de investigación en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:31 pm	104
B.15.Búsqueda de artículos de extensión en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:34 pm	104
B.16.Búsqueda de artículos de educación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:15 pm	105
B.17.Búsqueda de artículos de investigación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:19 pm	106
B.18.Búsqueda de artículos de extensión en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:20 pm	106
B.19.Búsqueda de artículos de educación en IEEE con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:27 pm	107
B.20.Búsqueda de artículos de extensión en IEEE con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:37 pm	108
B.21.Búsqueda de artículos de educación en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 2:29 pm	108
B.22.Búsqueda de artículos de investigación en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 11:05 am	109
B.23.Búsqueda de artículos de extensión en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 11:07 am	110
B.24.Búsqueda de artículos de educación en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 2:59 am	110
B.25.Búsqueda de artículos de investigación en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 3:01 am	111
B.26.Búsqueda de artículos de extensión en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 3:07 am	112
B.27.Búsqueda de artículos de educación en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:46 am	112

B.28.Búsqueda de artículos de investigación en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:49 am . . .	113
B.29.Búsqueda de artículos de extensión en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:50 am	114
B.30.Plantilla del análisis DAR	115

5 Índice de tablas

15.1. Análisis de stakeholders	29
15.2. Caracterización torre 1	33
15.3. Caracterización torre 2	34
15.4. Caracterización torre 3	35
15.5. Caracterización torre 4	36
15.6. Caracterización torre 5	37
15.7. Caracterización torre 6	38
15.8. Caracterización torre 7	39
15.9. Caracterización rack 1	40
15.10Caracterización rack 2	41
15.11Caracterización rack 3	42
15.12Caracterización rack 4	43
15.13Caracterización rack 5	44
15.14Caracterización NAS 1	45
15.15Caracterización firewall 1	46
15.16Caracterización de los servicios actuales del GRID	47
15.17Caracterización de los servicios esperados del GRID	48
15.18Definición de metas del SMS	51
15.19Definición de preguntas de investigación del SMS	52
15.20Definición de métricas del SMS	52
15.21Modelo PICOC	53
15.22Palabras clave identificadas usando el modelo PICOC	53
15.23Palabras clave para la búsqueda en base de datos	53
15.24Criterios de Inclusión/Exclusión	54
15.25Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión	58
15.26Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión	59
15.27Diagrama de la cadena de búsqueda	62
15.28Diagrama de la búsqueda en bola de nieve	63
15.29Comparativa de tecnologías de contenerización, licencias, términos de uso y costos	70
15.30Interfaz de uso de cada VBC	71
15.31Integración cloud de cada VBC	72
15.32Tabla de medición para el cuadrante gartner	73
15.33Entornos de ejecución de cada VBC	75

15.34Tabla de matriz DOFA para el cuadrante gartner	76
15.35Enlaces a la documentación de tecnologías de contenerización	76
17.1. Análisis de Decisiones y Resolución (DAR) aplicado a la selección de VBC	82

6 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 aumentado también la demanda por la infraestructura que las soporte. Para mitigar los costos que implica el crecimiento de estos equipos físicos se busca la posibilidad de consolidar cada vez más los recursos de TI. La virtualización es útil debido a que permite una consolidación de recursos según las necesidades organizacionales. Anteriormente el despliegue de aplicaciones se realizaba directamente sobre el sistema de la máquina física; actualmente, la gran mayoría se ejecuta sobre sistemas virtualizados(Jain and Choudhary, 2016). Las máquinas virtuales, o de sistema completo, han sido hasta ahora el estándar de facto para la segmentación de infraestructura de TI; sin embargo, la virtualización ligera, también conocida como Virtualización Basada en Contenedores (**VBC**)¹, se ha ido posicionando como una alternativa moderna a las máquinas virtuales.

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

¹Las siglas utilizadas en este documento se explican en el capítulo 8.

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 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.

7 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).

8 Siglas y Abreviaturas

A continuación, se presentan las siglas y abreviaturas utilizadas en este documento, junto con su significado completo para facilitar la comprensión.

API Interfaz de Programación de Aplicaciones

CMMI Capability Maturity Model Integration

CPU Unidad Central de Procesamiento

DAR Decision Analysis and Resolution

GRID Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución

TI Tecnologías de la Información

SMS Systematic Mapping Study

VBC Virtualización Basada en Contenedores

PMV Producto Mínimo Viable

PMBOK Project Management Body of Knowledge

ISO Organización Internacional de Normalización (*International Organization for Standardization*)

CNCF Cloud Native Computing Foundation

TOGAF The Open Group Architecture Framework

IEC Comisión Electrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission*)

CPU Unidad Central de Procesamiento (*Central Processing Unit*)

9 Objetivos

En este capítulo se establece un conjunto de objetivos que orientan el desarrollo del trabajo, articulando el propósito general con metas específicas que permiten su cumplimiento de manera sistemática. Estos objetivos se centran en la definición, análisis y validación de una arquitectura basada en tecnologías de virtualización con contenedores (VBC), con el fin de responder a las necesidades y oportunidades del Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID).

9.1. 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).

9.2. Objetivos específicos

- Reconocer necesidades del GRID 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.

10 Justificación

Actualmente, el Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID) enfrenta diversas necesidades y oportunidades en relación con 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 orienta sus esfuerzos hacia la identificación de tecnologías emergentes que fortalezcan su capacidad de ofrecer servicios tecnológicos avanzados, tanto para beneficio propio como para la comunidad académica de su área de influencia. En este marco, la virtualización basada en procesos se vislumbra como una alternativa estratégica para la gestión de recursos y servicios de tecnología informática (TI). Si bien el GRID dispone de una infraestructura sustentada en máquinas virtuales, gestionadas mediante un hipervisor tipo I, persiste la necesidad de contar con instancias computacionales más livianas que permitan ampliar la oferta de servicios hacia la comunidad académica, particularmente a los estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad del Quindío.

Como señalan diversos autores, las tecnologías de virtualización han experimentado un crecimiento acelerado en los últimos años, consolidándose como la base fundamental de infraestructuras modernas, entre ellas el cloud computing (Sepúlveda-Rodríguez et al., 2022). En este sentido, la virtualización basada en contenedores (VBC) se presenta como una opción al requerir recursos computacionales más ligeros para su operación (Xavier et al., 2013). Su incorporación, en complemento a las máquinas virtuales ya desplegadas en el GRID, posibilita el diseño de un portafolio de servicios de TI más diversificado, escalable, flexible y de fácil mantenimiento. De este modo, la adopción de tecnologías de virtualización basadas en contenedores no solo responde a las necesidades actuales del grupo de investigación, sino que también abre la puerta a nuevas oportunidades de innovación y transferencia de conocimiento dentro del contexto académico. Con ello, el GRID podría consolidarse como un referente institucional en el aprovechamiento de tecnologías de virtualización, incrementando su capacidad para atender demandas crecientes de infraestructura computacional y apoyando con mayor solidez la misión universitaria.

11 Metodología

12 Marco Conceptual

13 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) introdu-

ce 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.

14 Desarrollo

El presente capítulo describe el procedimiento metodológico seguido para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación. La metodología se estructuró en fases sucesivas y complementarias que permiten pasar de la caracterización del contexto institucional y tecnológico, hacia la selección, diseño, implementación y validación de una arquitectura basada en tecnologías de virtualización por contenedores (VBC).

14.1. Caracterización del GRID

El Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID) de la Universidad del Quindío desarrolla actividades en los ejes misionales de la institución: educación, investigación y extensión. En el marco de esta investigación, se caracterizó el GRID con el propósito de identificar sus capacidades actuales, necesidades y oportunidades relacionadas con la adopción de tecnologías de virtualización. Este diagnóstico inicial permitió contextualizar la pertinencia de las VBC como una alternativa tecnológica para fortalecer los servicios académicos y de investigación, especialmente en beneficio de los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación.

14.2. Mapeo sistemático de estudios (SMS)

Con el fin de fundamentar la investigación en el estado del arte, se realizó un mapeo sistemático de estudios (SMS). Este consistió en la búsqueda, filtrado, selección y análisis de literatura académica, artículos técnicos y reportes de caso relacionados con las VBC. El objetivo fue obtener una visión global y estructurada sobre las tecnologías disponibles, sus tendencias de adopción y las principales dimensiones de análisis empleadas en la comunidad científica y profesional.

14.3. Identificación y caracterización de tecnologías VBC

A partir de los resultados del SMS, se seleccionaron las tecnologías de virtualización basadas en contenedores con mayor relevancia e impacto en la literatura y la práctica. Para cada una de ellas se realizó una caracterización técnica, evaluando aspectos como arquitectura interna, facilidad de integración, seguridad, escalabilidad y comunidad de soporte. Esta fase permitió construir un marco comparativo

preliminar que orienta la elección de herramientas candidatas para el GRID.

14.4. Benchmarking de tecnologías VBC

Posteriormente, se diseñó y ejecutó un proceso de benchmarking enfocado en medir y contrastar el desempeño de las tecnologías seleccionadas bajo condiciones controladas. Los criterios de evaluación incluyeron consumo de CPU, uso de memoria, throughput de red y operaciones de entrada/salida (I/O). Los resultados permitieron establecer métricas que evidencian fortalezas y limitaciones de cada tecnología, facilitando la selección informada de la alternativa adecuada para el contexto institucional.

14.5. Análisis de Decisión y Resolución (DAR)

Con base en los resultados del benchmarking, se aplicó un análisis de Decisión y Resolución (DAR). Este método permitió ponderar los beneficios, riesgos y oportunidades asociados con la adopción de las VBC en el GRID. El DAR integró tanto los criterios técnicos como los organizacionales, priorizando aquellos que garantizan la sostenibilidad de la solución a mediano y largo plazo. Asimismo, se plantearon estrategias de mitigación para los riesgos identificados.

14.6. Diseño de la solución arquitectónica

En esta fase se elaboró la propuesta de arquitectura tecnológica que articula la infraestructura existente en el GRID con las capacidades de la tecnología seleccionada. El diseño incluyó la definición de componentes, interacciones, flujos de información y políticas de gestión, buscando escalabilidad, resiliencia y facilidad de administración de la solución.

14.7. Implementación de la solución

Con el diseño arquitectónico como guía, se procedió a implementar un producto mínimo viable (PMV) que materializa la adopción de la tecnología seleccionada. La implementación se llevó a cabo en el entorno del GRID, integrando las configuraciones necesarias y desplegando servicios básicos que permiten evaluar la funcionalidad del sistema en condiciones reales.

14.8. Validación de la solución

Finalmente, se realizó la validación del PMV mediante pruebas de desempeño, disponibilidad y escalabilidad, contrastando los resultados con los requerimientos definidos en la fase de caracterización del GRID. Adicionalmente, se consideraron percepciones de los usuarios del grupo de investigación como insumo para verificar la pertinencia y aplicabilidad de la solución propuesta.

15 Caracterización del GRID

El Grupo de Investigación en Redes, Información y Distribución (GRID) de la Universidad del Quindío se enmarca en los objetivos misionales de la institución: educación, investigación y extensión. Su propósito central es impulsar el desarrollo a través de proyectos de investigación aplicada, formación académica y transferencia de conocimiento. En particular, el GRID busca ofrecer servicios tecnológicos avanzados a la comunidad académica, con énfasis en los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación, quienes encuentran en este grupo un espacio de formación e innovación en temas de infraestructura, software y tecnologías emergentes.

La caracterización del GRID resulta esencial para comprender su estructura, capacidades y necesidades en relación con la adopción de tecnologías de virtualización basadas en contenedores (VBC). A continuación, se presenta un análisis detallado de los diferentes aspectos que definen el contexto institucional y tecnológico del grupo.

15.1. Análisis de stakeholders del GRID

Con el fin de identificar los actores internos y externos que influyen en el desarrollo de las actividades del grupo, se realizó un análisis de *stakeholders*. Este ejercicio permitió reconocer los diferentes intereses, roles y niveles de influencia que cada actor tiene en relación con la posible implementación de una solución basada en tecnologías de virtualización por contenedores. Los principales *stakeholders* identificados incluyen: investigadores del grupo, estudiantes de pregrado y posgrado, docentes de la Facultad de Ingeniería, y en un nivel más amplio, la comunidad académica de la Universidad del Quindío.

La tabla 15.1 presenta el análisis de los principales interesados en la adopción de tecnologías de virtualización dentro del contexto institucional. Se identifican actores internos y externos, especificando su rol, el tipo de relación con el proyecto, el nivel de impacto esperado, así como su poder de influencia, interés y compromiso frente a la iniciativa. Este análisis permite reconocer que el Grupo de Investigación GRID constituye el beneficiario principal y el decisor estratégico, mientras que los docentes y estudiantes de Ingeniería de Sistemas representan usuarios clave y finales que validarán la utilidad de la solución en actividades académicas y de investigación. A nivel institucional, el programa de ingeniería de sistemas y computación actúa como facilitador de recursos y lineamientos, mientras que los proveedores de tecnología aportan las herramientas de virtualización requeridas. De forma complementaria, los investigadores externos y otros grupos de investigación pueden beneficiarse indirectamente de los resultados, y el sector empresarial se perfila como un potencial

socio estratégico si percibe ventajas competitivas en la solución.

15.2. Priorización de stakeholders

Tras la identificación de los *stakeholders*, se realizó un proceso de priorización para determinar cuáles poseen mayor impacto y poder de decisión en el proyecto. Esta clasificación resulta crucial para establecer estrategias de comunicación, gestión de expectativas y participación activa en la definición de requerimientos. De esta manera, se garantiza que los actores más influyentes en la toma de decisiones y en la adopción tecnológica sean atendidos de forma prioritaria, aumentando las probabilidades de éxito en la implementación.

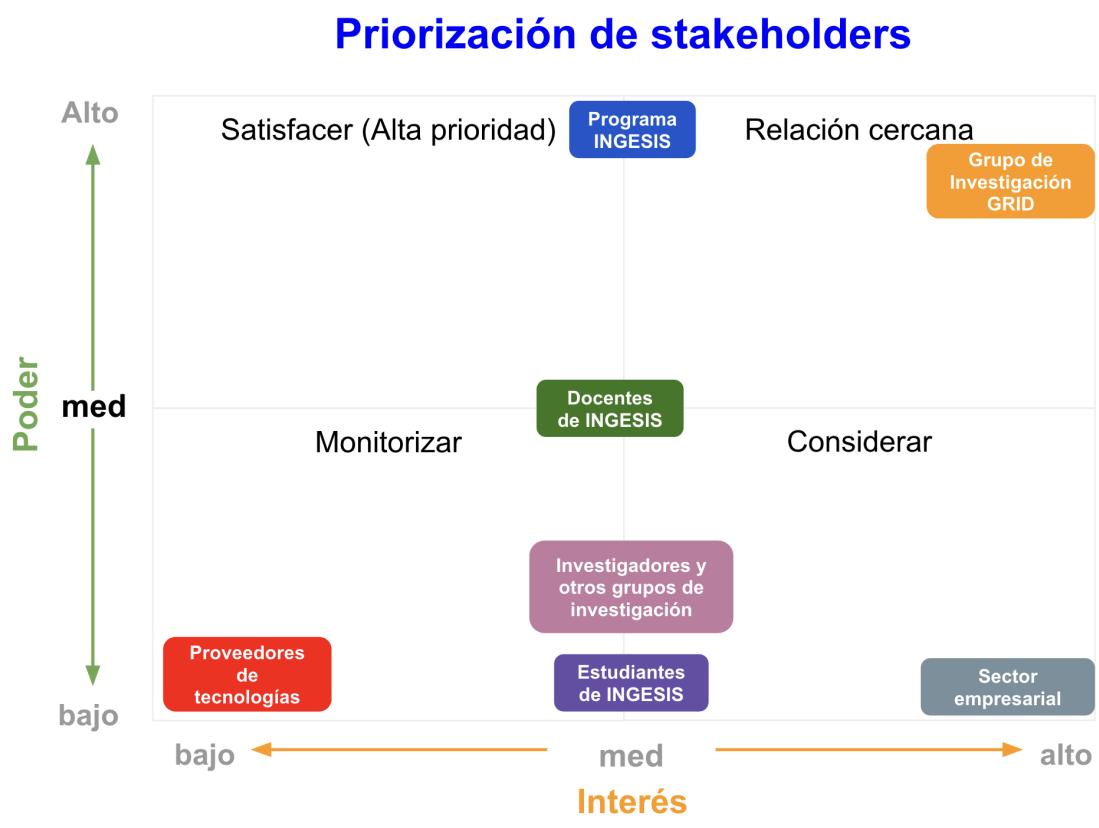


Figura 15.1: Priorización de stakeholders del proyecto

15.3. Integrantes y áreas de trabajo del GRID

El GRID está conformado por un equipo multidisciplinario de investigadores y profesionales que, desde sus diferentes áreas de experticia, contribuyen al avance en campos como computación de alto rendimiento, big data, inteligencia artificial,

Interesado	Rol	Relación	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 socio	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 15.1: Análisis de stakeholders

redes y desarrollo de software. A continuación, se listan sus integrantes junto con las principales líneas de investigación y 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, inteligencia artificial.
- **Carlos Eduardo Gómez Montoya:** Redes, ingeniería de software, cloud computing.
- **Sergio Augusto Cardona Torres:** Big data y análisis de datos, ingeniería de software, 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, redes, ingeniería de software.

La diversidad de líneas de trabajo de los integrantes fortalece la capacidad del grupo para abordar proyectos de carácter transversal y multidisciplinario, lo cual resulta particularmente relevante para el diseño e implementación de soluciones arquitectónicas soportadas en tecnologías de virtualización.

1.4 Misión del GRID

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

La Universidad del Quindío contribuye a la transformación de la sociedad, mediante la formación integral desde el ser, el saber y el hacer, de líderes reflexivos y gestores del cambio; con estándares de calidad, a través de una oferta de formación en diferentes metodologías, que responda a una sociedad basada en el conocimiento; una investigación pertinente, que aporte a la solución de las problemáticas del desarrollo e integrada

con la extensión y proyección social; educando en tiempos del posconflicto y de la consolidación de la paz, apoyada en una gestión creativa y con estándares de calidad.

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

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

1.5 Visión del GRID

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

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

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

- **Responsabilidad Social:** Reconocimientos en sus procesos de responsabilidad social.

1.6 Impacto del proyecto en el GRID

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

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

1.7 Caracterización de la infraestructura tecnológica del GRID

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

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

Cuadro 15.2: Caracterización torre 1

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

Cuadro 15.3: Caracterización torre 2

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Servidor tipo torre marca HP		
TIPO DE RECURSO	Torre		
MODELO	Desconocido		
MARCA	HP		
CÓDIGO DE INVENTARIO	7 24390 49969 4 (13)		
FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	 - 8 entradas USB (4 al frente, 4 en la parte trasera) - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 3 puertos Ethernet (parte trasera) - entrada Displayport - Puertos PS/2 (Teclado y Ratón)		
PARTES			
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	Servidor de reserva (Todavia no hay un uso definido)		
IMPACTO			
- Oportunidad de uso			
OBSERVACIONES	El Equipo no tiene modelo		
INSTRUCCIONES DE USO			
CARACTERÍSTICAS DE USO			

Cuadro 15.4: Caracterización torre 3

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

Cuadro 15.5: Caracterización torre 4

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

Cuadro 15.6: Caracterización torre 5

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

Cuadro 15.7: Caracterización torre 6

DESCRIPCIÓN FÍSICA	Servidor tipo torre marca HP				
TIPO DE RECURSO	Torre				
MODELO	Desconocido	FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.)			
MARCA	HP				
CÓDIGO DE INVENTARIO	(11)				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	 - Entrada de audio y microfono - Entrada HDMI - Lector de DVDs - 1 puerto Ethernet (parte trasera) - Procesador Intel Core i7				
	PARTES				
PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA	Servidor de reserva (Todavia no hay un uso definido)				
IMPACTO	<ul style="list-style-type: none"> - Oportunidad de uso 				
OBSERVACIONES	El Equipo no tiene modelo				
INSTRUCCIONES DE USO					
CARACTERÍSTICAS DE USO					

Cuadro 15.8: Caracterización torre 7

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

Cuadro 15.9: Caracterización rack 1

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

Cuadro 15.10: Caracterización rack 2

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

Cuadro 15.11: Caracterización rack 3

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

Cuadro 15.12: Caracterización rack 4

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

Cuadro 15.13: Caracterización rack 5

DESCRIPCIÓN FÍSICA NAS de color negro con 8 unidades de almacenamiento

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

PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA

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

IMPACTO

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

OBSERVACIONES

INSTRUCCIONES DE USO

CARACTERÍSTICAS DE USO

Cuadro 15.14: Caracterización NAS 1

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

Cuadro 15.15: Caracterización firewall 1

1.8 Caracterización de servicios del GRID

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

1.8.1 Servicios actuales

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

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

Cuadro 15.16: Caracterización de los servicios actuales del GRID

1.8.2 Servicios esperados

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

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

Cuadro 15.17: 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 15.18: 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 15.19: 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 15.20: 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 15.21: 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 15.22: 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 15.23: 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 15.24: 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	6530

Cuadro 15.25: Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión

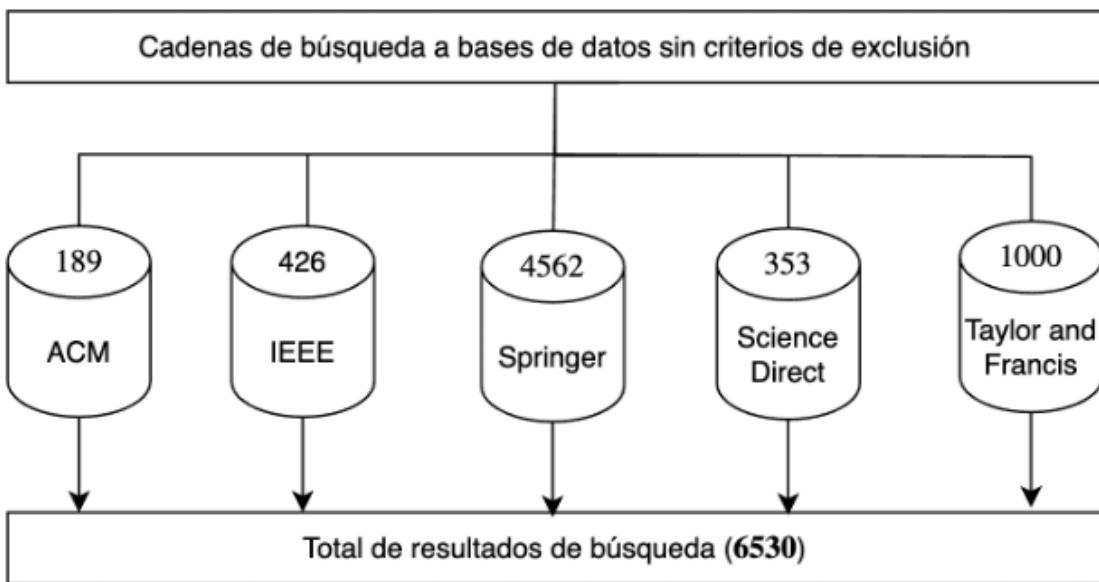


Figura 15.2: Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión

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	6530
Aplicando criterios de exclusión	48	134	592	46	156	976

Cuadro 15.26: Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión

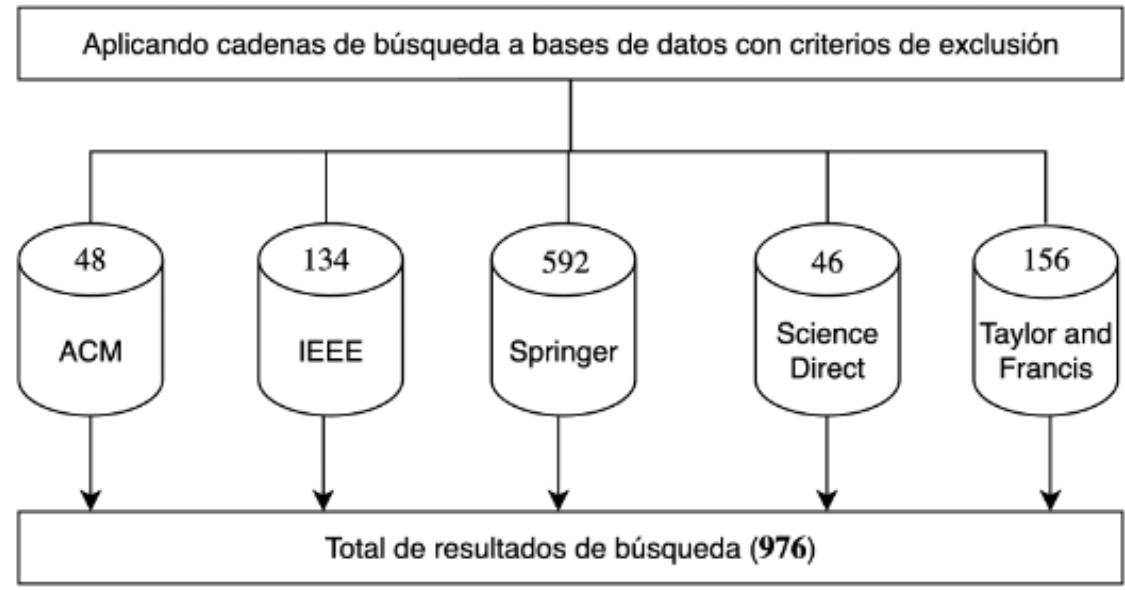


Figura 15.3: Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión

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**.

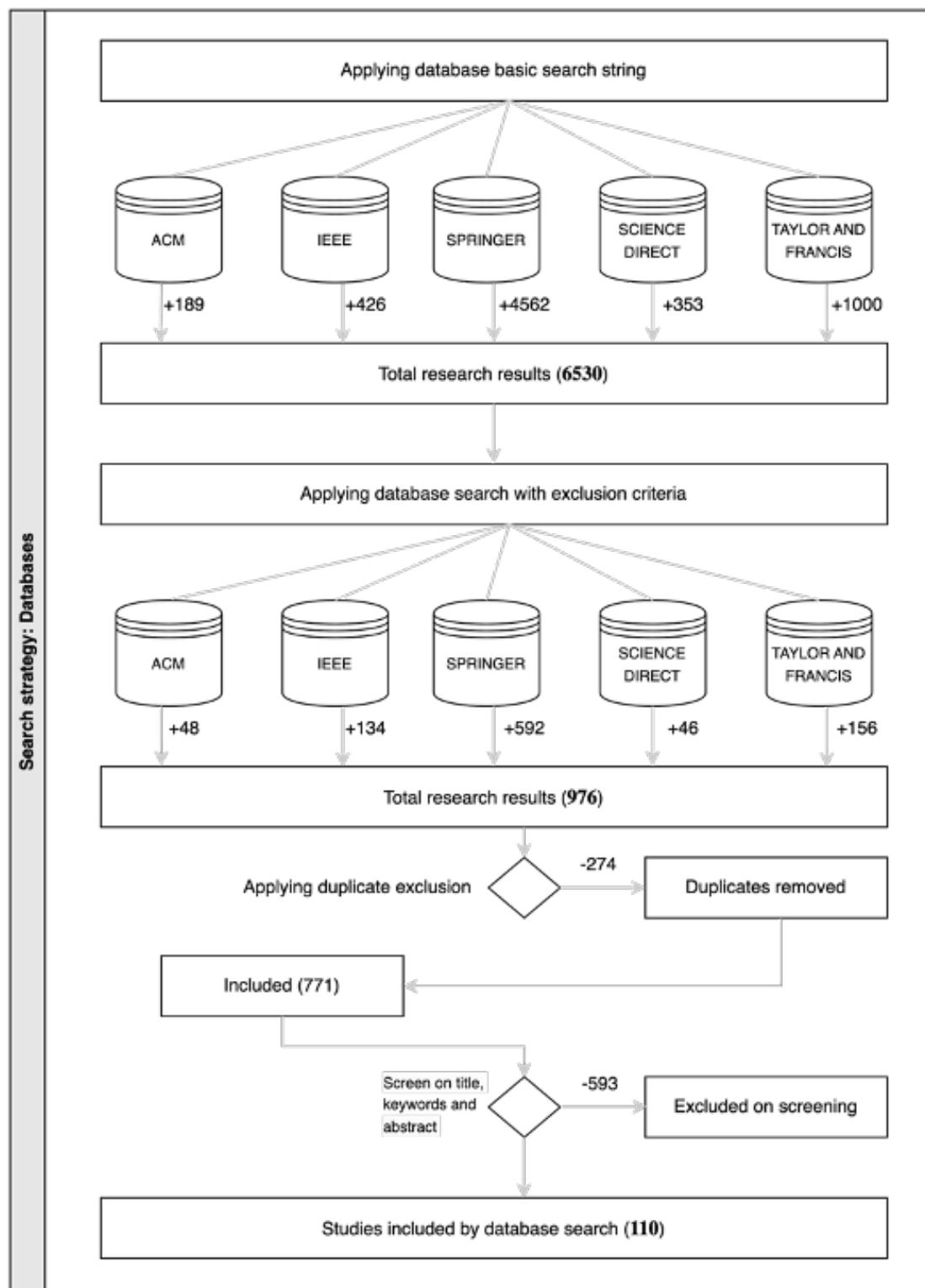
Sobre esta base, se aplicó la estrategia de *bola de nieve* en ambas direcciones: hacia adelante y hacia atrás. Como resultado, se obtuvieron **87 artículos** mediante la técnica hacia atrás y **495 artículos** mediante la técnica hacia adelante.

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.

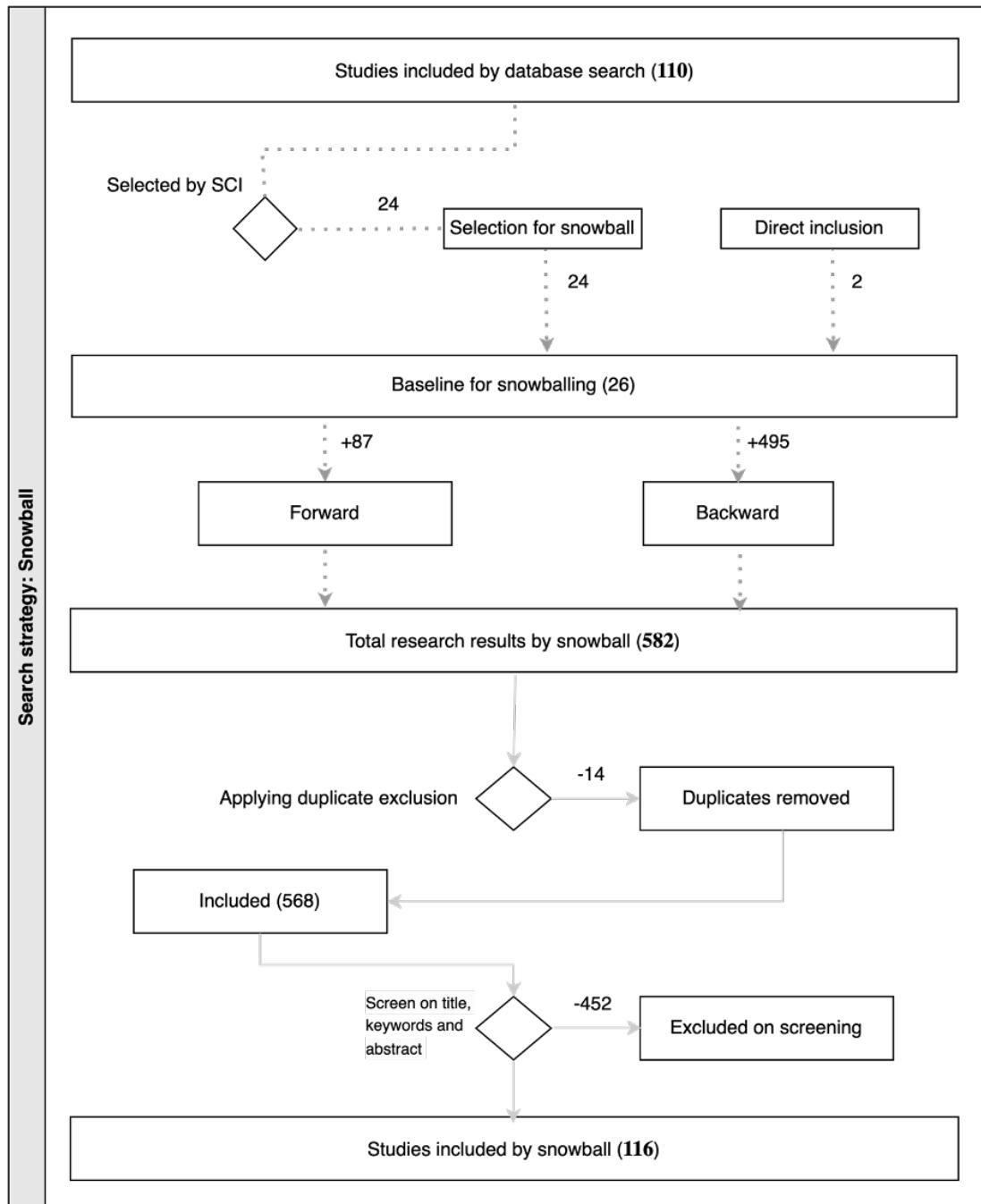
6 Diagrama de búsqueda

6.1 Usando cadenas de búsqueda



Cuadro 15.27: Diagrama de la cadena de búsqueda

6.2 Usando bola de nieve



Cuadro 15.28: Diagrama de la búsqueda en bola de nieve

7 Identificación de estudios

7.1 Artículos por año y métricas

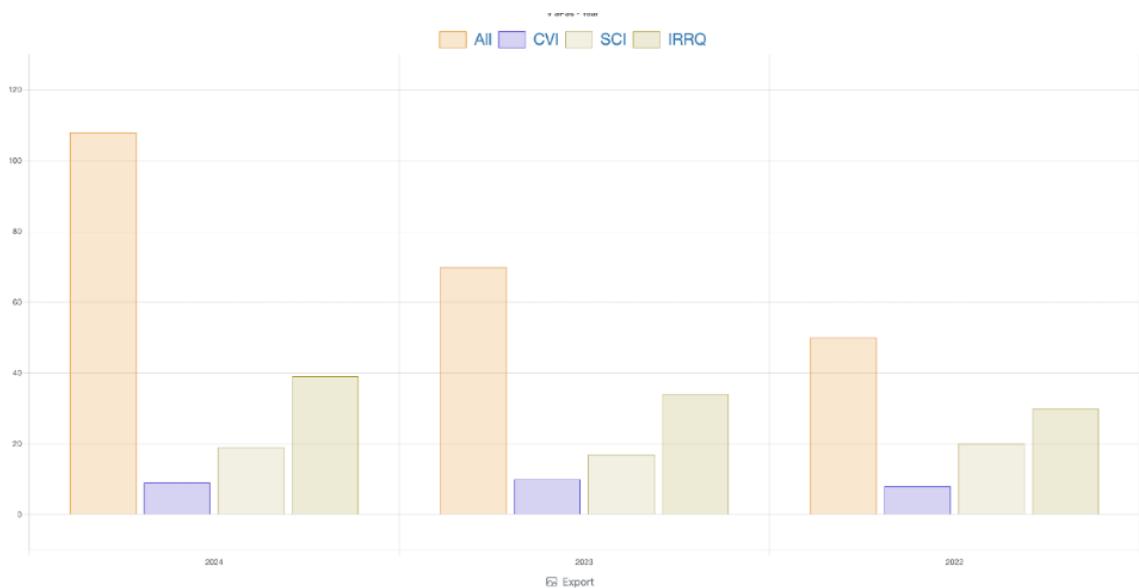


Figura 15.4: Artículos por métricas y año

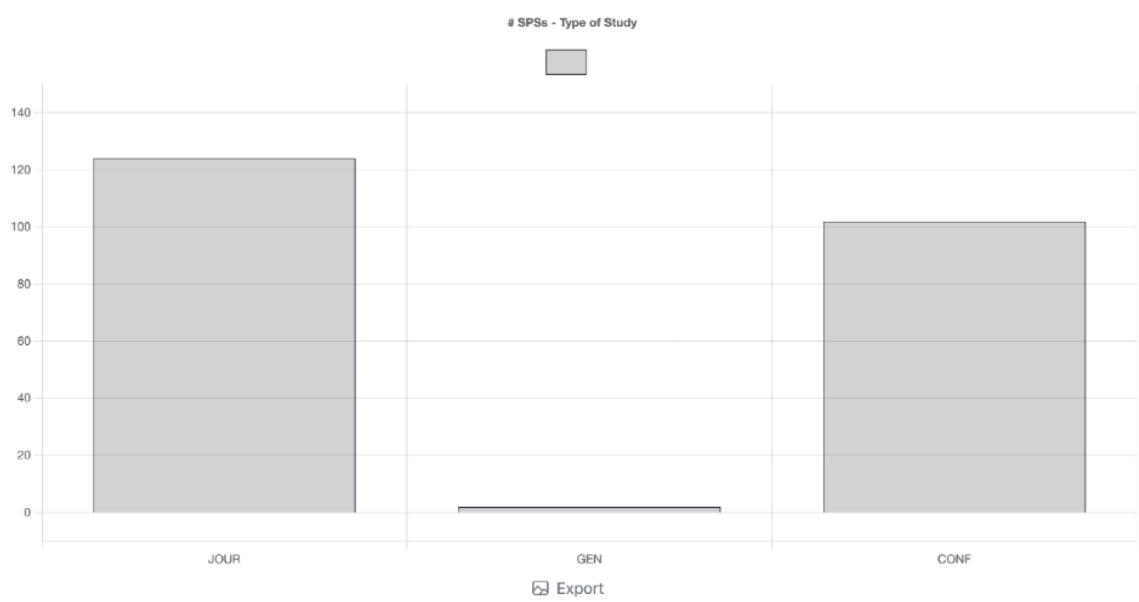


Figura 15.5: Artículos por tipo

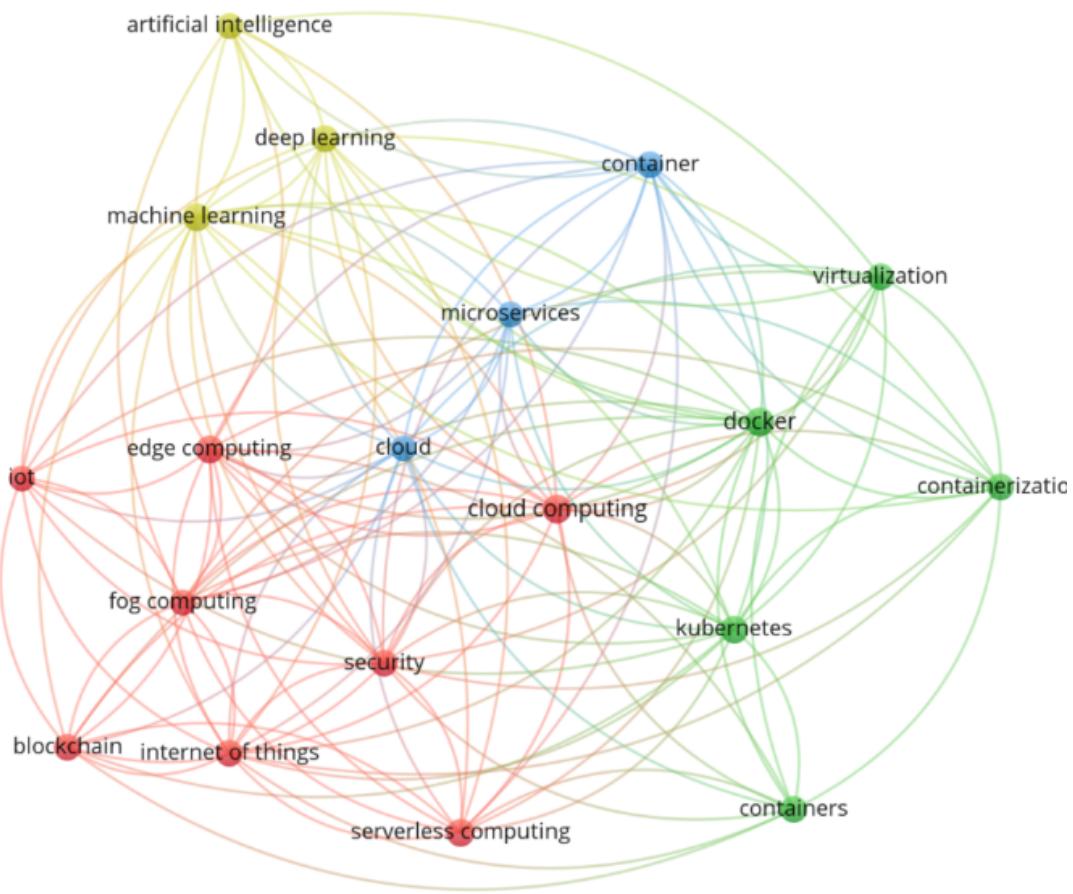


Figura 15.7: Diagrama de red de los artículos

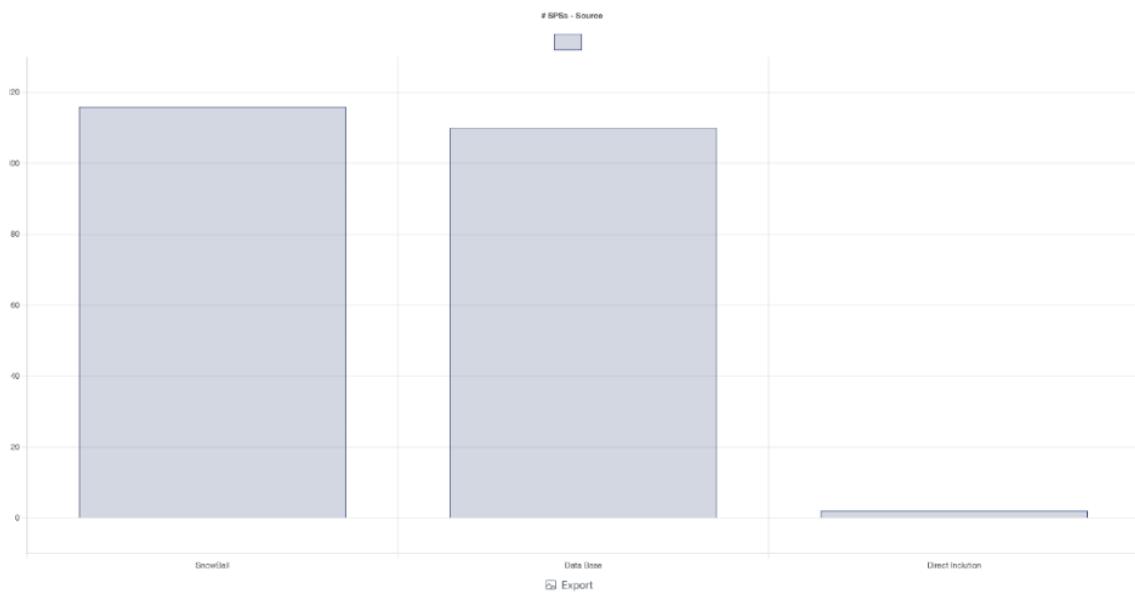


Figura 15.6: Estrategia de búsqueda de artículos

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 15.29: 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 15.30: 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 15.31: 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 15.32: Tabla de medición para el cuadrante gartner



Figura 15.8: 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 15.33: 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 15.34: Tabla de matriz DOFA para el cuadrante gartner

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

Cuadro 15.35: Enlaces a la documentación de tecnologías de contenerización

16 Benchmarking

16.1. 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.

16.2. 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 tecnología de contenerización en cuestión.

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

16.3. 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.

16.4. Métricas de rendimiento

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

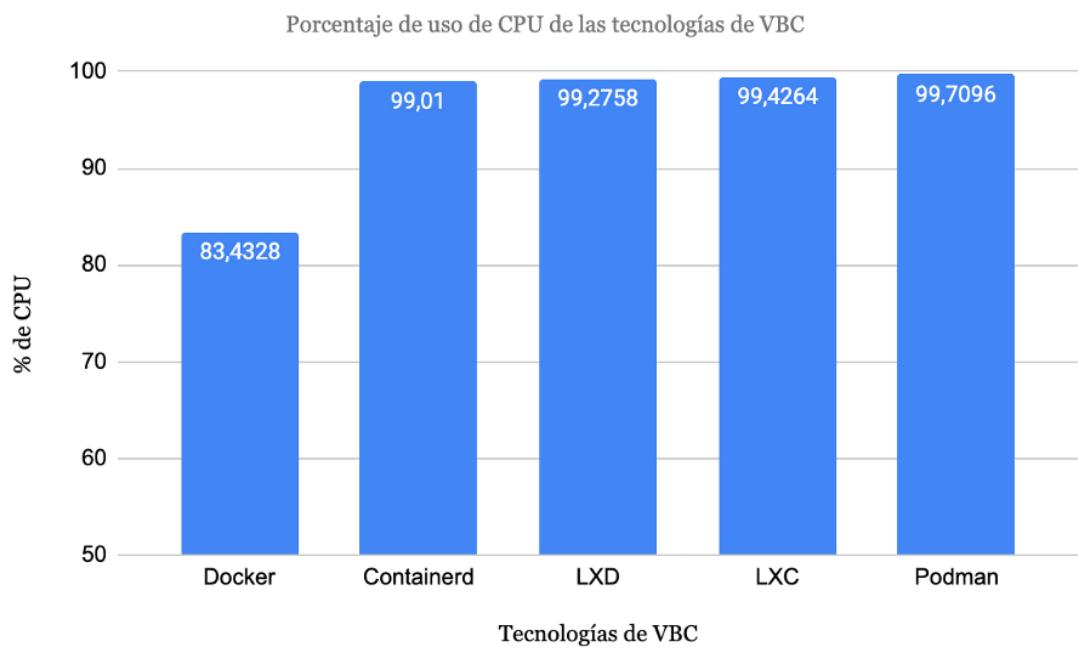


Figura 16.1: Métricas de uso de CPU

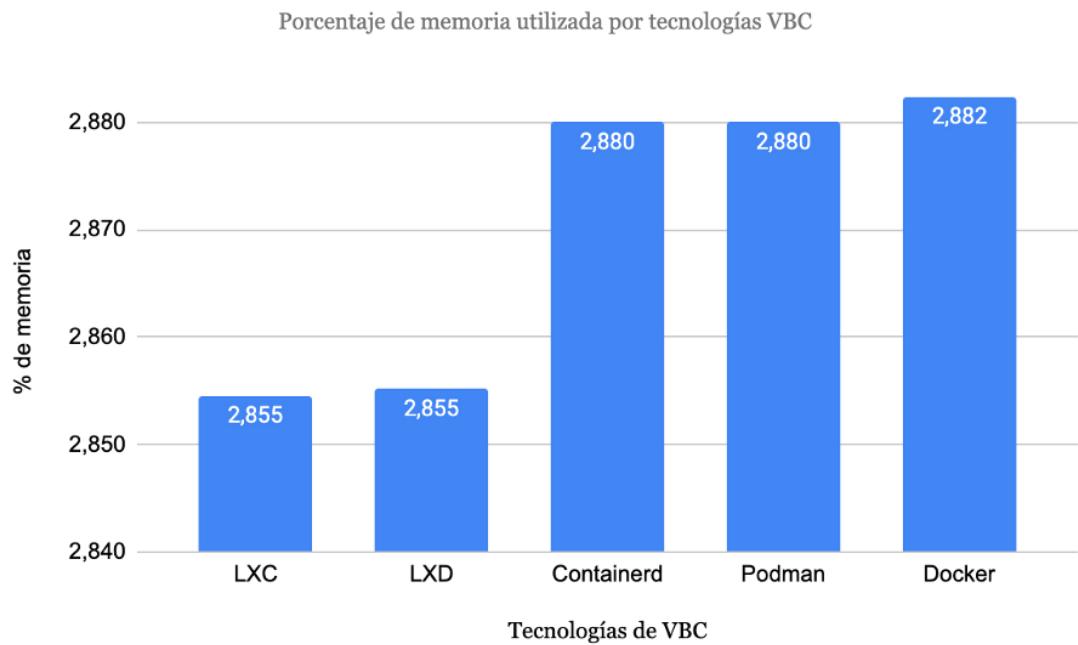


Figura 16.2: Métricas de uso de RAM

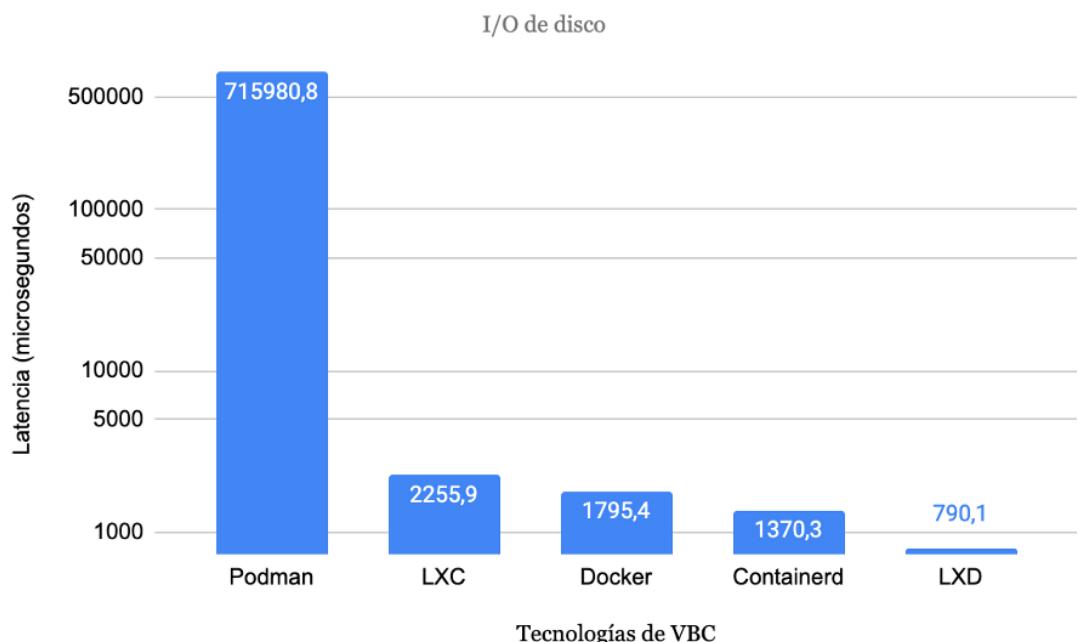


Figura 16.3: Métricas de entrada/salida

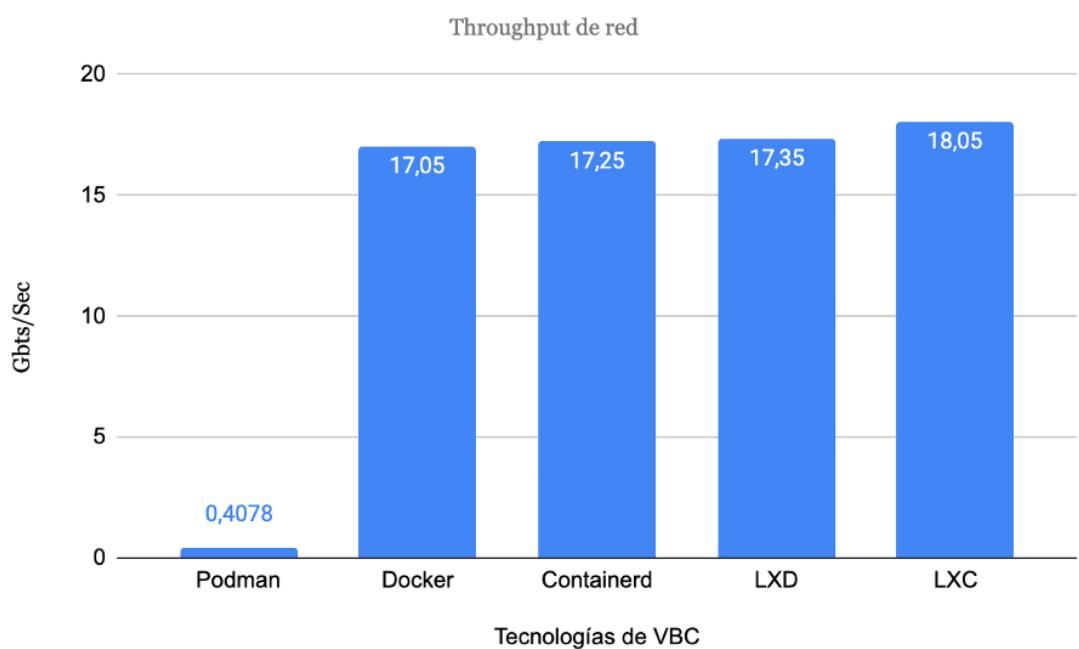


Figura 16.4: Métricas de throughput

16.5. 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.

17 Análisis de Decisiones y Resolución

17.1. 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.

17.2. Resultados de la evaluación

Criterios	VBC	Tipo de licencia		Posibilidad de orquestación	Compatibilidad d con imágenes de Docker Hub	Soporte para redes personalizadas	Persistencia de datos/volumenes	Documentación	Soporte al proyecto	Popularidad	Consumo de recursos	Compatibilidad de orquestación	Costo de implementación y operación en ambientes productivos	Total	
		5	5												
Valoración	5														
Docker	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	5	5	5	69900	4	5	0	195	
		Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	5	5	5	27200	5	2	3	196	
Podman	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	5	5	5						150
Udocker	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	NO	SI	2	3	4	4	1500	4	3	2	124	
Wasm	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	NO	SI	1	4	4	4	7900	5	3	1	170	
LXC	SI	GPLv2+, LGPLv2.1+	5	SI	NO	5	4	4	5	4900	4	3	2	213	
Containerd	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	4	4	5	18800	5	5	5	189	
LXD	SI	AGPL-3.0 (comunitaria)	5	SI	SI	4	5	5	5	4500	3	2	2	148	
Rkt	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	3	4	1	8800	2	3	1	165	
Singularity	SI	BSD 3-Clause (permisiva)	5	SI	SI	2	4	4	5	856	3	1	1	181	
runC	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	4	3	5	12400	5	4	1	196	
CRI-O	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	5	4	4	5	5400	3	5	3	144	
Hyper-V containers	SI	Licencia Windows (Propietaria)	1	SI	SI	3	4	4	4	0	2	3	0	154	
OpenVZ	SI	GPL v2 (permisiva)	5	SI	SI	4	3	3	4	43	4	1	2	104	
Linux VServer	SI	GPL v2 (permisiva)	5	NO	NO	3	2	1	2	17	4	1	2	172	
Google gVisor	SI	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	4	3	4	16600	2	4	2	142	
Kata Containers	NO	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	4	3	5	6300	4	3	1	146	
Firecracker	NO	Apache 2.0 (permisiva)	4	SI	SI	4	4	3	5	28200	5	2	1	160	
Sarus	SI	BSD 3-Clause (permisiva)	5	SI	SI	2	4	4	3	138	3	2	1		

Cuadro 17.1: Análisis de Decisiones y Resolución (DAR) aplicado a la selección de VBC

17.3. Criterios de evaluación

17.3.1. 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).

17.3.2. 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.

17.3.3. 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.

17.3.4. Compatibilidad con imágenes de Docker Hub

Evalúa 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.

17.3.5. 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.

17.3.6. 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.

17.3.7. 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.

17.3.8. 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.

17.3.9. 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.

17.3.10. 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.

17.3.11. 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.

17.3.12. 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.

17.4. 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.

18 Cumplimiento de objetivos

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

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

Figura A.1: Ficha técnica del recurso tecnológico

Ficha técnica de servicios

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

Figura A.2: Ficha técnica de servicios

Apéndice B

Búsquedas en bases de datos

Búsqueda de artículos sin criterios de inclusión/exclusión

The screenshot shows the ACM Digital Library search interface. The search query in the bar is '(Title:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\"))'. The results page displays 18 items, with the first result being a research article titled 'Design and Implementation of a University Private Cloud Computing Platform Based on Application Virtualization' from May 2024.

Search Results

(Title:(\"Container-based virtualization\" OR \"Application virtualization\"))

Advanced Search

Publication Date: 2010 - 2025

People: Authors, Institutions

Publications: All Publications, Content Type, Publisher, Proceedings Series, ACM SIG Sponsors

RESULTS PEOPLE Showing 1 - 18 of 18 Results

per page: 10 20 50 Recency

RESEARCH-ARTICLE May 2024 Design and Implementation of a University Private Cloud Computing Platform Based on Application Virtualization

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 results are paginated from 1 to 20 of 93.

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 "EXTENSIONS". 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 results are paginated from 1 to 20 of 78.

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

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

IEEE.org | IEEE Xplore | IEEE SA | IEEE Spectrum | More Sites

Subscribe | Donate | Cert | Create Account | Personal Sign In

IEEE Xplore® Browse ▾ My Settings ▾ Help ▾ Institutional Sign In

All ADVANCED SEARCH

Search within results

Items Per Page ▾ Export Set Search Alerts Search History

Showing 1-25 of 28 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": "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")) X

Conferences (23) Journals (3) Books (1) Magazines (1)

Select All on Page Sort By Relevance ▾

Dealing with Scalability of Laboratory Sessions in Computer Science University Courses Nenad Petrovic; Valentina Nejkovic; Milorad Totic
2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR)
Year: 2018 | Conference Paper | Publisher: IEEE

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

Show
 All Results
 Open Access Only

Year
 Range Single Year

Abstract HTML

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

Showing 1 of 1 result for ("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")))

Conferences (1)

Performance Evaluation of SDN-VNF in Virtual Machine and Container

Dewang Gedla; Levi Perigo
2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)
Year: 2018 | Conference Paper | Publisher: IEEE
Cited by: Papers (25)

Show
 All Results
 Open Access Only

Sort By: Relevance

Export | Set Search Alerts | 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

Showing 1-25 of 397 results for ("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")))

Conferences (342) Journals (37) Magazines (14) Books (2)

Early Access Articles (2)

Is container-based technology a winner for high performance scientific applications?

Theodora Adufui; Jieun Choi; Yoonhee Kim
2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)
Year: 2015 | Conference Paper | Publisher: IEEE
Cited by: Papers (38)

Show
 All Results
 Open Access Only

Sort By: Relevance

Performance evaluation of a lightweight virtualization solution for HPC I/O scenarios

David Beserra; Edward David Moreno; Patricia Takako Endo; Jymmy Barreto
2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)
Year: 2016 | Conference Paper | Publisher: IEEE

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

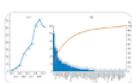
Showing 1–20 of 643 results Sort by (updates page) Relevance ▾

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

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

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](#)

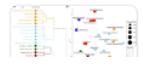


Figura B.8: Búsqueda de artículos de investigación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:40 pm

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

[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

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]
- 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 ⓘ Open access

Influence of Applicant Interview Format Choice on Demographics and Outcomes from the Residency Match
Journal of Surgical Education, April 2024
Saeid 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

The screenshot shows a search results page for ScienceDirect. The search term used was "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization" AND ("Research" OR "Research Group" OR "Review"). The results are sorted by relevance. There are 160 results displayed.

Refine by:

- Years: 2025 (8), 2024 (29), 2023 (80)
- Article type: Review articles (12), Research articles (118), Book chapters (1), Conference abstracts (3)
- Publication title: Future Generation Computer Systems (11), SoftwareX (8), Computers & Security (5)
- Subject areas: Computer Science (78), Medicine and Dentistry (35), Engineering (27)

Results:

- Reducing cold start delay in serverless computing using lightweight virtual machines** (Research article, Journal of Network and Computer Applications, December 2024, Amirmahmood Karimzadeh, Alireza Shomeli-Sendi)
- Auto-scaling techniques in container-based cloud and edge/fog computing: Taxonomy and survey** (Review article, Computer Communications, 1 September 2023, Javad Dogni, Reza Norvar, Farshad Khunjah)
- CONSERVE: A framework for the selection of techniques for monitoring containers security** (Research article, Journal of Systems and Software, April 2022, Rudi Jolak, Thomas Rosenstatter, ... Riccardo Scandariato, View PDF)
- A performance comparison of container-based technologies for the Cloud** (Future Generation Computer Systems, March 2017, Zhonibek Kozhirboev, Richard O. Sinnott)
- CEVMI: A container-based virtualization method for instruments** (Research article, Future Generation Computer Systems, March 2017, Zhonibek Kozhirboev, Richard O. Sinnott)

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

The screenshot shows a search results page for ScienceDirect. The search term used was "Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization" AND ("Industry" OR "IT Services" OR "Techn"). The results are sorted by relevance. There are 172 results displayed.

Refine by:

- Years: 2025 (8), 2024 (19), 2023 (22)
- Article type: Review articles (11), Research articles (138), Book chapters (10), Conference abstracts (4)
- Publication title: Future Generation Computer Systems (27), Journal of Network and Computer Applications (11), Procedia Computer Science (8)
- Subject areas: Computer Science (122), Engineering (56)

Results:

- Reducing cold start delay in serverless computing using lightweight virtual machines** (Research article, Journal of Network and Computer Applications, December 2024, Amirmahmood Karimzadeh, Alireza Shomeli-Sendi)
- Auto-scaling techniques in container-based cloud and edge/fog computing: Taxonomy and survey** (Review article, Computer Communications, 1 September 2023, Javad Dogni, Reza Norvar, Farshad Khunjah)
- CONSERVE: A framework for the selection of techniques for monitoring containers security** (Research article, Journal of Systems and Software, April 2022, Rudi Jolak, Thomas Rosenstatter, ... Riccardo Scandariato, View PDF)
- A performance comparison of container-based technologies for the Cloud** (Future Generation Computer Systems, March 2017, Zhonibek Kozhirboev, Richard O. Sinnott)
- Analysis of SR-IOV in Docker containers using RTT measurements** (Research article, Computer Communications, 1 December 2024, Assis T. de Oliveira Filho, Eduardo Freitas, ... Djamel F. H. Sodok)
- 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 are also 'Advanced search' and a magnifying glass icon. 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 is a 'Modify your search' section with a dropdown for 'Anywhere' and a search input field containing '("Application virtualization" OR'. A 'Search' button is located at the bottom of this section. The main results area is titled 'Articles 162'. It displays two search results:

- Expanding higher education: institutional responses in Australia from the post-war era to the 1970s** by Hannah Forsyth. This is a Paedagogica Historica article, Volume 51, 2015 - Issue 3. It was published online on 16 Jul 2014, has 855 views, and 10 citations. It 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. This is a Comparative Education article, Volume 37, 2001 - Issue 3. It includes 'Abstract' and 'Full Text' links.

At the top of the results page, it says 'Showing 1-10 of 162 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"]'

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 for the query "Title:('Container-based virtualization' OR 'Application virtualization' OR 'Docker' OR 'Lightweight virtualization') AND (Title:('education') OR Title:('education system') OR Title:('education development') OR Title:('higher education')) OR (((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 (((Keywords:('application virtualization') OR (Keywords:('docker')) OR (Keywords:('lightweight virtualization')) AND ((Keywords:('education') OR (Keywords:('education system')) OR (Keywords:('education development')) OR (Keywords:('higher education')))) AND (E-Publication Date: (01/01/2022 TO 12/31/2024)))

Applied Filters:

- Research Article
- 2022 - 2024

Publication Date: 2022 - 2024

People: Authors, Institutions

Publications: 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

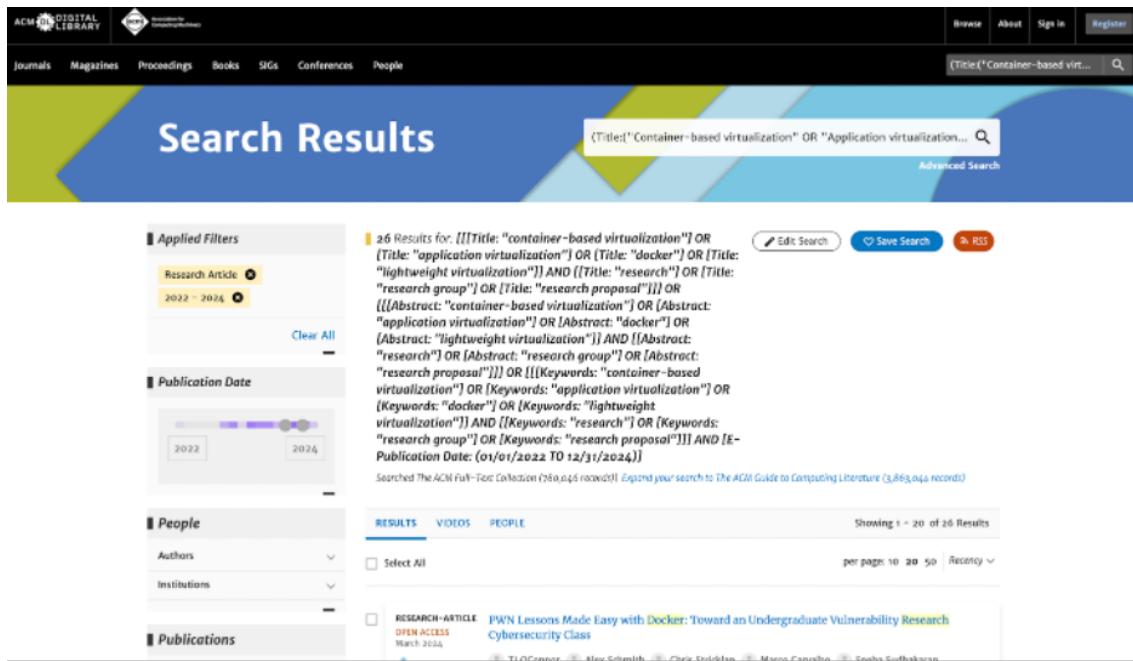


Figura B.17: Búsqueda de artículos de investigación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:19 pm

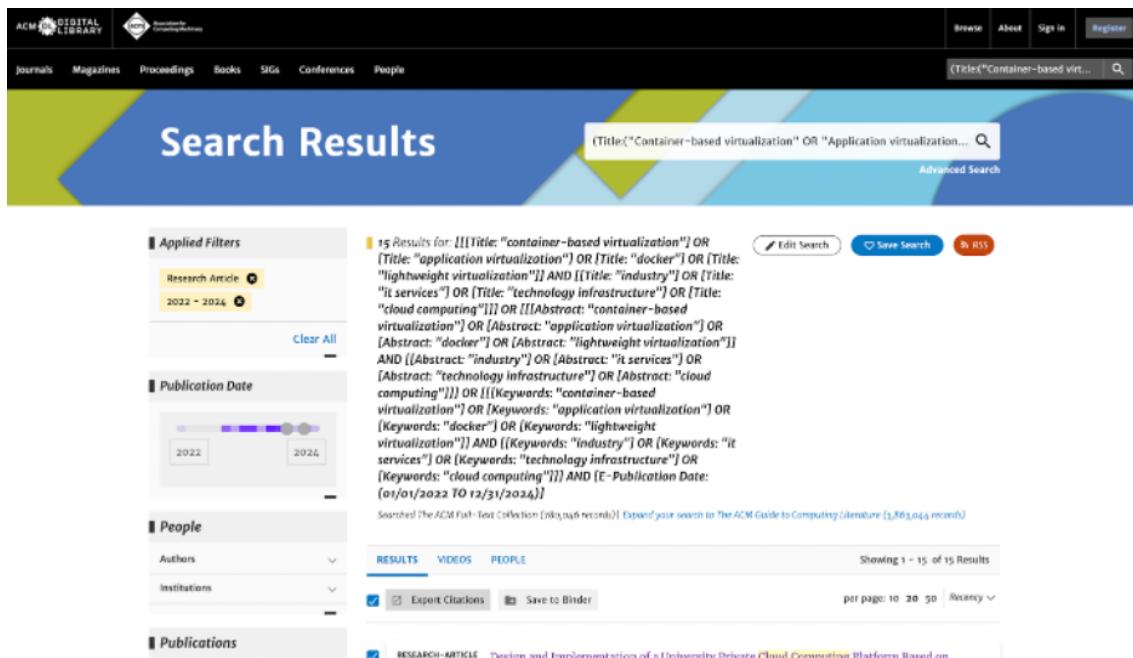


Figura B.18: Búsqueda de artículos de extensión en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:20 pm

IEEE.org | IEEE Xplore | IEEE SA | IEEE Spectrum | More Sites

Subscribe | Donate | Cart | Create Account | Personal Sign In

IEEE Xplore® Browse ▾ My Settings ▾ Help ▾ Institutional Sign In

All ADVANCED SEARCH

Search within results Items Per Page ▾ Export Set Search Alerts Search History

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" OR "Author Keywords": "Education" OR "Author Keywords": "Education System" OR "Author Keywords": "Education Development" OR "Author Keywords": "Higher Education")

Filters Applied: Conferences × Journals × 2022 - 2024 ×

Books (1)

Need access to IEEE Xplore for your organization?

CONTACT IEEE TO SUBSCRIBE →

Show

All Results Open Access Only

Year

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: IFFF

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

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

Article (68) Research article (57) 2022-2024 English Computer science
 Engineering

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
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
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 [Full access](#)
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

[Set search alert](#)

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)

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

[sorted by relevance | date](#)

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](#)

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

[Personalize](#) [▼](#)

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 [View PDF](#) [Abstract](#) [Figures](#) [Export](#)

Journal of Network and Computer Applications, December 2024
Amin Mohammad Karamzadah, Alireza Shameli-Sendi

2 Research article Open access CONSERVE: A framework for the selection of techniques for monitoring containers security [View PDF](#) [Abstract](#) [Figures](#) [Export](#)

Journal of Systems and Software, April 2022
Rodrigo Jolak, Thomas Rosenstatter, ... Riccardo Scandariato

3 Research article Open access The Automatic Context Measurement Tool (ACMT) to Compile Participant-Specific Built and Social Environment Measures for Health Research: Development and Usability Study [View PDF](#) [Abstract](#) [Figures](#) [Export](#)

JMIR Formative Research, 2024
Weipeng Zhou, Amy Youngblood, ... Stephen J Mooney

4 Research article Open access LSTM-AI: A deep learning ensemble for accurate MS lesion segmentation [View PDF](#) [Abstract](#) [Figures](#) [Export](#)

NeuroImage: Clinical, 2024
Tun Wiltgen, 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 about access 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 [Clear all filters](#)

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

Subject

Journal

Publication date

Modify your search

[Advanced search](#) [Publication search results](#)

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 [Order by Relevance](#) [10 per page](#)

Lightweight Cloud-Based Solution for Digital Education and Assessment [View](#)
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 [View](#)
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 Samtanvi, 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

Criterios	VBC	Tipo de licencia	Posibilidad de orquestación	Compatibilidad con imágenes de Docker Hub	Soporte para redes personalizadas	Persistencia de datos/volumenes	Documentación	Soporte al proyecto	Popularidad	Consumo de recursos	Compatibilidad de orquestación	Costo de implementación y operación en ambientes productivos
Valoración	5	5	4	3	2	3	5	5	3	3	5	5

Figura B.30: Plantilla del análisis DAR

Apéndice C

Eventos de difusión

Seminario GRID 2024-II

Seminario GRID 2025-I

ACOFI 2025

CEIFI 2025

Artículo de revista