

# 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](http://www.uniquindio.edu.co)

*Página en blanco intencionalmente*

*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

*Página en blanco intencionalmente*

# 1 Índice general

|   |          |
|---|----------|
| <b>Dedicatoria</b>  | <b>2</b> |
| 9.1. Objetivo general . . . . .   | 20       |
| Objetivo general . . . . .  | 20       |
| 9.2. Objetivos específicos . . . . .  | 20       |
| Objetivos específicos . . . . .   | 20       |
| 14.1. Caracterización del GRID . . . . .  | 27       |
| 14.2. Revisión de la literatura . . . . .   | 27       |
| 14.3. Identificación y caracterización de tecnologías VBC . . . . .                     | 27       |
| 14.4. Benchmarking de tecnologías VBC . . . . .   | 28       |
| 14.5. Análisis de Decisión y Resolución (DAR) . . . . .                                 | 28       |
| 14.6. Diseño de la solución arquitectónica . . . . .                                    | 28       |
| 14.7. Implementación de la solución . . . . .   | 28       |
| 14.8. Validación de la solución . . . . .   | 29       |
| 15.1. Análisis de stakeholders del GRID . . . . .                                       | 30       |
| 15.2. Priorización de stakeholders . . . . .  | 31       |
| 15.3. Integrantes y áreas de trabajo del GRID . . . . .                                 | 31       |
| 15.4. Misión del GRID . . . . .   | 33       |
| 15.5. Visión del GRID . . . . .   | 34       |
| 15.6. Impacto del proyecto en el GRID . . . . .   | 35       |
| 15.7. Caracterización de la infraestructura tecnológica del GRID . . . . .              | 35       |
| 15.8. Caracterización de servicios del GRID . . . . .                                   | 49       |
| 15.8.1. Servicios actuales . . . . .  | 50       |
| 15.8.2. Servicios esperados . . . . .   | 50       |
| 15.9. Descripción de la oportunidad . . . . .   | 51       |
| 15.10. Resumen de la entrevista con el cliente . . . . .                                | 52       |
| Construcción de la bitácora . . . . .   | 54       |
| 15.10.1. Planeación . . . . .   | 54       |
| 15.11. Búsqueda de estudios . . . . .   | 55       |
| 15.11.1. Estrategia de búsqueda . . . . .   | 56       |
| Búsqueda en bases de datos . . . . .  | 56       |
| Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión . . . . . | 62       |
| Eliminación de duplicados . . . . .   | 63       |
| Priorización de estudios . . . . .  | 63       |
| Estrategia de búsqueda usando bola de nieve . . . . .                                   | 64       |

|  |    |
|--|----|
| Diagrama de búsqueda . . . . .                                     | 65 |
| 15.11.2 Usando cadenas de búsqueda . . . . .                       | 65 |
| 15.11.3 Usando bola de nieve . . . . .                             | 66 |
| 15.12 Identificación de estudios . . . . .                         | 67 |
| 15.12.1 Artículos por año y métricas . . . . .                     | 67 |
| 15.13 Información de la herramienta . . . . .                      | 69 |
| 15.14 Nichos de mercado . . . . .                                  | 69 |
| 15.14.1 Docker . . . . .   | 69 |
| 15.14.2 Podman . . . . .   | 69 |
| 15.14.3 Udocker . . . . .  | 69 |
| 15.14.4 Wasm (WebAssembly) . . . . .                               | 70 |
| 15.14.5 LXC (Linux Containers) . . . . .                           | 70 |
| 15.14.6 Containerd . . . . .                                       | 70 |
| 15.14.7 LXD . . . . .  | 70 |
| 15.14.8 Rkt . . . . .  | 70 |
| 15.14.9 Singularity . . . . .                                      | 71 |
| 15.14.10 unC . . . . .   | 71 |
| 15.14.11 CRI-O . . . . .   | 71 |
| 15.14.12 Hyper-V Containers . . . . .                              | 71 |
| 15.14.13 OpenVZ . . . . .  | 71 |
| 15.14.14 Linux VServer . . . . .                                   | 72 |
| 15.14.15 Google gVisor . . . . .                                   | 72 |
| 15.14.16 Kata Containers . . . . .                                 | 72 |
| 15.14.17 Firecracker . . . . .                                     | 72 |
| 15.14.18 Sarus . . . . .   | 72 |
| 16.1. Definición de las pruebas . . . . .                          | 80 |
| 16.2. Construcción de las pruebas . . . . .                        | 80 |
| 16.3. Resultados de las pruebas . . . . .                          | 81 |
| 16.4. Métricas de rendimiento . . . . .                            | 81 |
| 16.5. Análisis de los resultados . . . . .                         | 84 |
| 17.1. Metodología de evaluación . . . . .                          | 85 |
| 1. Metodología de evaluación . . . . .                             | 85 |
| 17.2. Resultados de la evaluación . . . . .                        | 85 |
| 2. Resultados de la evaluación . . . . .                           | 85 |
| 17.3. Criterios de evaluación . . . . .                            | 86 |
| 3. Criterios de evaluación . . . . .                               | 86 |
| 17.3.1. VBC (¿Es una tecnología basada en contenedores?) . . . . . | 86 |

|  |            |
|--|------------|
| 17.3.2. Tipo de licencia . . . . .   | 86         |
| 17.3.3. Posibilidad de orquestación . . . . .                                | 86         |
| 17.3.4. Compatibilidad con imágenes de Docker Hub . . . . .                  | 86         |
| 17.3.5. Soporte para redes personalizadas . . . . .                          | 86         |
| 17.3.6. Persistencia de datos / volúmenes . . . . .                          | 86         |
| 17.3.7. Documentación . . . . .  | 87         |
| 17.3.8. Soporte al proyecto . . . . .  | 87         |
| 17.3.9. Popularidad . . . . .  | 87         |
| 17.3.10. Consumo de recursos . . . . .                                       | 87         |
| 17.3.11. Compatibilidad de orquestación . . . . .                            | 87         |
| 17.3.12. Costo de implementación y operación en ambientes productivos        | 87         |
| 17.4. Tecnología VBC ganadora . . . . .                                      | 88         |
| 4. Tecnología VBC ganadora . . . . .   | 88         |
| <b>Referencias</b>   | <b>90</b>  |
| <b>A. Fichas técnicas y búsqueda en bases de datos</b>                       | <b>96</b>  |
| A.1. Ficha técnica del recurso tecnológico . . . . .                         | 96         |
| <b>B. Búsquedas en bases de datos</b>  | <b>99</b>  |
| B.1. Búsqueda de artículos sin criterios de inclusión/exclusión . . . . .    | 99         |
| B.2. Búsqueda de artículos usando criterios de inclusión/exclusión . . . . . | 109        |
| <b>C. Plantilla del análisis DAR</b>   | <b>119</b> |
| C.1. Plantilla análisis DAR . . . . .  | 119        |
| <b>D. Eventos de difusión</b>  | <b>120</b> |
| D.1. Seminario GRID 2024-II . . . . .  | 120        |
| D.2. Seminario GRID 2025-I . . . . .   | 120        |
| D.3. ACOFI 2025 . . . . .  | 120        |
| D.4. CEIFI 2025 . . . . .  | 120        |
| D.5. Artículo de revista . . . . .   | 120        |
| D.5.1. Páginas del artículo JISA . . . . .                                   | 120        |

## 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 . . . . .   | 31  |
| 15.2. Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión . . . . .   | 62  |
| 15.3. Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión . . . . .   | 63  |
| 15.4. Artículos por métricas y año . . . . .  | 67  |
| 15.5. Artículos por tipo . . . . .  | 67  |
| 15.7. Diagrama de red de los artículos . . . . .  | 68  |
| 15.6. Estrategia de búsqueda de artículos . . . . .   | 68  |
| 15.8. Cuadrante de Gartner de cada VBC . . . . .  | 77  |
| 16.1. Métricas de uso de CPU . . . . .  | 82  |
| 16.2. Métricas de uso de RAM . . . . .  | 82  |
| 16.3. Métricas de entrada/salida . . . . .  | 83  |
| 16.4. Métricas de throughput . . . . .  | 83  |
| A.1. Ficha técnica del recurso tecnológico . . . . .  | 97  |
| A.2. Ficha técnica de servicios . . . . .   | 98  |
| B.1. Búsqueda de artículos de educación en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:13 pm . . . . .           | 99  |
| B.2. Búsqueda de artículos de investigación en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 8:23 pm . . . . .       | 100 |
| B.3. Búsqueda de artículos de extensión en ACM sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:20 pm . . . . .           | 100 |
| B.4. Búsqueda de artículos de educación en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 7/03/25 8:50 pm . . . . .           | 101 |
| B.5. Búsqueda de artículos de investigación en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 7/03/25 8:46 pm . . . . .       | 102 |
| B.6. Búsqueda de artículos de extensión en IEEE sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 8:54 pm . . . . .          | 102 |
| B.7. Búsqueda de artículos de educación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 12/03/25 9:58 pm . . . . .      | 103 |
| B.8. Búsqueda de artículos de investigación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:40 pm . . . . . | 104 |
| B.9. Búsqueda de artículos de extensión en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:48 pm . . . . .     | 104 |

|  |     |
|--|-----|
| B.10.Búsqueda de artículos de educación en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:03 pm . . . . .       | 105 |
| B.11.Búsqueda de artículos de investigación en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:43 pm . . . . .   | 106 |
| B.12.Búsqueda de artículos de extensión en Science Direct sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 1:48 pm . . . . .       | 106 |
| B.13.Búsqueda de artículos de educación en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:21 pm . . . . .     | 107 |
| B.14.Búsqueda de artículos de investigación en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:31 pm . . . . . | 108 |
| B.15.Búsqueda de artículos de extensión en Taylor & Francis sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 9:34 pm . . . . .     | 108 |
| B.16.Búsqueda de artículos de educación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:15 pm . . . . .                  | 109 |
| B.17.Búsqueda de artículos de investigación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:19 pm . . . . .              | 110 |
| B.18.Búsqueda de artículos de extensión en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:20 pm . . . . .                  | 110 |
| B.19.Búsqueda de artículos de educación en IEEE con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:27 pm . . . . .                 | 111 |
| B.20.Búsqueda de artículos de extensión en IEEE con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:37 pm . . . . .                 | 112 |
| B.21.Búsqueda de artículos de educación en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 2:29 pm . . . . .             | 112 |
| B.22.Búsqueda de artículos de investigación en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 11:05 am . . . . .        | 113 |
| B.23.Búsqueda de artículos de extensión en Springer con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 16/03/25 11:07 am . . . . .            | 114 |
| B.24.Búsqueda de artículos de educación en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 2:59 am . . . . .       | 114 |
| B.25.Búsqueda de artículos de investigación en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 3:01 am . . . . .   | 115 |
| B.26.Búsqueda de artículos de extensión en Science Direct con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 3:07 am . . . . .       | 116 |
| B.27.Búsqueda de artículos de educación en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:46 am . . . . .     | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| B.28.Búsqueda de artículos de investigación en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:49 am . . . . . | 117 |
| B.29.Búsqueda de artículos de extensión en Taylor & Francis con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 4:50 am . . . . .     | 118 |
| C.1. Plantilla del análisis DAR . . . . .  | 119 |
| D.1. Artículo JISA — Página 1 . . . . .  | 121 |
| D.2. Artículo JISA — Página 2 . . . . .  | 122 |
| D.3. Artículo JISA — Página 3 . . . . .  | 123 |
| D.4. Artículo JISA — Página 4 . . . . .  | 124 |
| D.5. Artículo JISA — Página 5 . . . . .  | 125 |
| D.6. Artículo JISA — Página 6 . . . . .  | 126 |
| D.7. Artículo JISA — Página 7 . . . . .  | 127 |
| D.8. Artículo JISA — Página 8 . . . . .  | 128 |
| D.9. Artículo JISA — Página 9 . . . . .  | 129 |
| D.10. Artículo JISA — Página 10 . . . . .  | 130 |
| D.11. Artículo JISA — Página 11 . . . . .  | 131 |
| D.12. Artículo JISA — Página 12 . . . . .  | 132 |
| D.13. Artículo JISA — Página 13 . . . . .  | 133 |
| D.14. Artículo JISA — Página 14 . . . . .  | 134 |
| D.15. Artículo JISA — Página 15 . . . . .  | 135 |
| D.16. Artículo JISA — Página 16 . . . . .  | 136 |
| D.17. Artículo JISA — Página 17 . . . . .  | 137 |
| D.18. Artículo JISA — Página 18 . . . . .  | 138 |
| D.19. Artículo JISA — Página 19 . . . . .  | 139 |
| D.20. Artículo JISA — Página 20 . . . . .  | 140 |
| D.21. Artículo JISA — Página 21 . . . . .  | 141 |
| D.22. Artículo JISA — Página 22 . . . . .  | 142 |
| D.23. Artículo JISA — Página 23 . . . . .  | 143 |
| D.24. Artículo JISA — Página 24 . . . . .  | 144 |
| D.25. Artículo JISA — Página 25 . . . . .  | 145 |
| D.26. Artículo JISA — Página 26 . . . . .  | 146 |
| D.27. Artículo JISA — Página 27 . . . . .  | 147 |
| D.28. Artículo JISA — Página 28 . . . . .  | 148 |
| D.29. Artículo JISA — Página 29 . . . . .  | 149 |
| D.30. Artículo JISA — Página 30 . . . . .  | 150 |
| D.31. Artículo JISA — Página 31 . . . . .  | 151 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| D.32.Artículo JISA — Página 32 | 152 |
| D.33.Artículo JISA — Página 33 | 153 |
| D.34.Artículo JISA — Página 34 | 154 |

# 5 Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| 15.1. Análisis de stakeholders . . . . .  | 32 |
| 15.2. Ficha técnica – Torre HP . . . . .  | 36 |
| 15.3. Caracterización torre 2 . . . . .   | 37 |
| 15.4. Caracterización torre 3 . . . . .   | 38 |
| 15.5. Caracterización torre 4 . . . . .   | 39 |
| 15.6. Caracterización torre 5 . . . . .   | 40 |
| 15.7. Caracterización torre 6 . . . . .   | 41 |
| 15.8. Caracterización torre 7 . . . . .   | 42 |
| 15.9. Caracterización rack 1 . . . . .  | 43 |
| 15.10Caracterización rack 2 . . . . .   | 44 |
| 15.11Caracterización rack 3 . . . . .   | 45 |
| 15.12Caracterización rack 4 . . . . .   | 46 |
| 15.13Caracterización rack 5 . . . . .   | 47 |
| 15.14Caracterización NAS 1 . . . . .  | 48 |
| 15.15Caracterización firewall 1 . . . . .   | 49 |
| 15.16Caracterización de los servicios actuales del GRID . . . . .                                 | 50 |
| 15.17Caracterización de los servicios esperados del GRID . . . . .                                | 51 |
| 15.18Definición de metas del SMS . . . . .  | 54 |
| 15.19Definición de preguntas de investigación del SMS . . . . .                                   | 55 |
| 15.20Definición de métricas del SMS . . . . .   | 55 |
| 15.21Modelo PICOC . . . . .   | 56 |
| 15.22Palabras clave identificadas usando el modelo PICOC . . . . .                                | 56 |
| 15.23Palabras clave para la búsqueda en base de datos . . . . .                                   | 56 |
| 15.24Criterios de Inclusión/Exclusión . . . . .   | 57 |
| 15.25Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión . . . . .      | 61 |
| 15.26Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión . . . . .      | 62 |
| 15.27Diagrama de la cadena de búsqueda . . . . .  | 65 |
| 15.28Diagrama de la búsqueda en bola de nieve . . . . .   | 66 |
| 15.29Comparativa de tecnologías de contenerización, licencias, términos de uso y costos . . . . . | 73 |
| 15.30Interfaz de uso de cada VBC . . . . .  | 74 |
| 15.31Integración cloud de cada VBC . . . . .  | 75 |
| 15.32Tabla de medición para el cuadrante gartner . . . . .  | 76 |
| 15.33Entornos de ejecución de cada VBC . . . . .  | 78 |

|   |    |
|---|----|
| 15.34Tabla de matriz DOFA para el cuadrante gartner . . . . .                               | 79 |
| 15.35Enlaces a la documentación de tecnologías de contenerización . . . . .                 | 79 |
| 17.1. Análisis de Decisiones y Resolución (DAR) aplicado a la selección de<br>VBC . . . . . | 85 |

## 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 soporta. 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**)<sup>1</sup>, se ha ido posicionando como una alternativa moderna a las máquinas virtuales.

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

---

<sup>1</sup>Las 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. Revisión de la literatura

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.

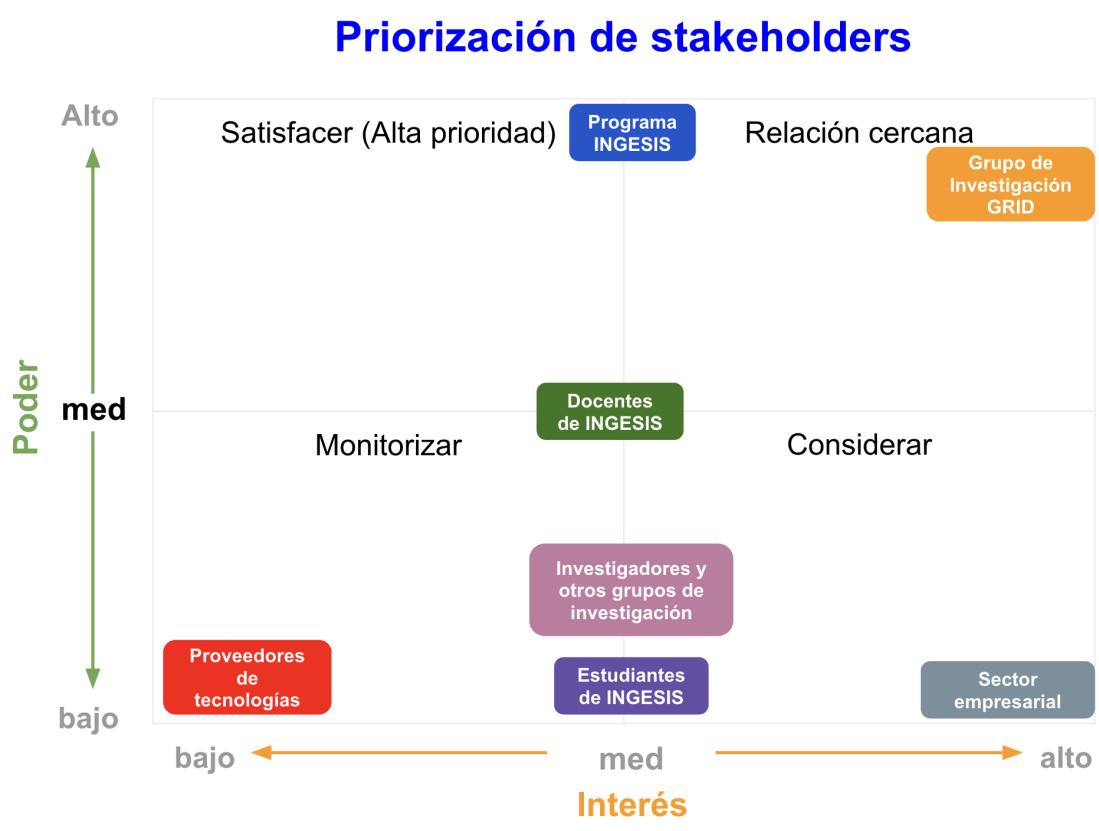


Figura 15.1: Priorización de stakeholders del proyecto

## 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.

## 15.4. 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.

## 15.5. Visión del GRID

La misión de la Universidad del Quindío se complementa con su visión institucional, la cual también es adoptada por el GRID. A continuación se presenta la 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.

## 15.6. Impacto del proyecto en el GRID

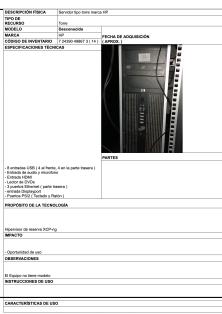
El proyecto tiene como objetivo apoyar los procesos de **docencia, investigación y extensión** mediante la especificación de una arquitectura de tecnologías de virtualización basada en contenedores (VBC).

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.

## 15.7. 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

Cuadro 15.2: Ficha técnica – Torre HP

|  |  |
|--|--|
| <b>DESCRIPCIÓN FÍSICA:</b> Servidor tipo torre marca HP  |  |
| <b>TIPO DE RECURSO:</b> Torre  |  |
| <b>MODELO:</b> Desconocido   |  |
| <b>MARCA:</b> HP   |  |
| <b>CÓDIGO DE INVENTARIO:</b> 7 24390 49861   |  |
| 1 (12)   |  |
| <b>FECHA DE ADQUISICIÓN (APROX.):</b>  |  |
| <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>   |  |
| 8 entradas USB (4 al frente, 4 en la parte trasera), Entrada de audio y micrófono, Entrada HDMI, Lector de DVDs, 3 puertos Ethernet (parte trasera), Entrada DisplayPort, Puertos PS/2 (Teclado y Ratón) |  |
| <b>PROPÓSITO:</b> Servidor de reserva  |  |
| <b>IMPACTO:</b> Oportunidad de uso   |  |
| <b>OBSERVACIONES:</b> El equipo no tiene modelo  |  |

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

Cuadro 15.3: Caracterización torre 2

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

Cuadro 15.4: Caracterización torre 3

|                                   |  |  |  |  |  |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| <b>DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>         | Servidor tipo torre marca HP   |  |  |  |  |
| <b>TIPO DE RECURSO</b>            | Torre  |  |  |  |  |
| <b>MODELO</b>                     | <b>Desconocido</b>   | <b>FECHA DE ADQUISICIÓN ( APROX. )</b> |  |  |  |
| <b>MARCA</b>                      | HP   |  |  |  |  |
| <b>CÓDIGO DE INVENTARIO</b>       | 7 24390 49879 4 ( 15 )   |  |  |  |  |
| <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 8 entradas USB ( 4 al frente, 4 en la parte trasera )</li> <li>- Entrada de audio y microfono</li> <li>- Entrada HDMI</li> <li>- Lector de DVDs</li> <li>- 3 puertos Ethernet ( parte trasera )</li> <li>- entrada Displayport</li> <li>- Puertos PS/2 ( Teclado y Ratón )</li> </ul> |  |  |  |  |
|                                   | <b>PARTES</b>  |  |  |  |  |
|                                   |   |  |  |  |  |
| <b>PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA</b> | Servidor de reserva ( Todavia no hay un uso definido )   |  |  |  |  |
| <b>IMPACTO</b>                    |  |  |  |  |  |
|                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oportunidad de uso</li> </ul>   |  |  |  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>              | El Equipo no tiene modelo  |  |  |  |  |
| <b>INSTRUCCIONES DE USO</b>       |  |  |  |  |  |
| <b>CARACTERÍSTICAS DE USO</b>     |  |  |  |  |  |
|                                   |  |  |  |  |  |

Cuadro 15.5: Caracterización torre 4

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

Cuadro 15.6: Caracterización torre 5

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

Cuadro 15.7: Caracterización torre 6

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

Cuadro 15.8: Caracterización torre 7

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

Cuadro 15.9: Caracterización rack 1

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

Cuadro 15.10: Caracterización rack 2

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

Cuadro 15.11: Caracterización rack 3

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

Cuadro 15.12: Caracterización rack 4

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

Cuadro 15.13: Caracterización rack 5

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

|  |          |                                |  |
|--|----------|--------------------------------|--|
| <b>TIPO DE RECURSO</b>   | NAS      | <b>FECHA DE ADQUI (APROX.)</b> |  |
| <b>MODELO</b>  | TS-832PX |                                |  |
| <b>MARCA</b>   | QNAP     |                                |  |
| <b>CÓDIGO DE INVEN</b> N/A   |          |                                |  |
| <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>   |          |                                |  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Procesador: Annapurna Labs Alpine AL-324</li><li>- RAM: 4 GB DDR4 (expandible a 16 GB)</li><li>- Bahías: 8 bahías para discos duros SATA d</li><li>- Ruido: Operación silenciosa con ventiladore</li><li>- Consumo: 50.8 W en funcionamiento, 27 W</li><li>- Puertos de Red: 2 x RJ45 2.5GbE, 2 x 10G</li><li>- Puertos USB: 1 x USB 3.2 Gen 1 frontal, 2 x</li><li>- Expansión: Ranuras PCIe para tarjetas de e</li></ul> |          |                                |  |
|   |          |                                |  |
| <b>PARTES</b>  |          |                                |  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Carcasa negra</li><li>- 8 unidades de almacenamiento</li></ul>   |          |                                |  |
| <b>PROPÓSITO DE LA TECNOLOGÍA</b>  |          |                                |  |
| Proporcionar almacenamiento compartido y redundante a los usuarios y servidores dentro de una red  |          |                                |  |
| <b>IMPACTO</b>   |          |                                |  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Proporciona almacenamiento y redundancia ( si la NAS falla, no hay disponibilidad de backups ni acceso a los archivos almacenados )</li></ul>  |          |                                |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |          |                                |  |
|  |          |                                |  |
| <b>INSTRUCCIONES DE USO</b>  |          |                                |  |
|  |          |                                |  |
| <b>CARACTERÍSTICAS DE USO</b>  |          |                                |  |
|  |          |                                |  |

Cuadro 15.14: Caracterización NAS 1

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

Cuadro 15.15: Caracterización firewall 1

## 15.8. 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:

### **15.8.1. Servicios actuales**

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

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

Cuadro 15.16: Caracterización de los servicios actuales del GRID

### **15.8.2. Servicios esperados**

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

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

Cuadro 15.17: Caracterización de los servicios esperados del GRID

## 15.9. 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 VBC 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.

## 15.10. 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

### 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.

### 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.

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

Las tecnologías de VBC pueden aportar al cumplimiento de la misión institucional. Actualmente se utiliza Docker por ser un estándar de facto, no por una eva-

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

### **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 VBC que sirva a estudiantes y docentes para comprender el estado y las tendencias de estas tecnologías.

### **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.

### **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.

### **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.

### **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:

### 15.10.1. 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.

#### 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

## 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

## 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

## 15.11. Búsqueda de estudios

Esta etapa comprendió las siguientes secciones:

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

### **15.11.1. 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<br>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<br>Dominios de TI<br>Educación<br>Investigación<br>Extensión | Identificación<br>Clasificación | Tasa de éxito<br>Evidencia de uso | Clasificación de<br>trabajos<br>relacionados con<br>VBC en cada<br>dominio de TI | Docencia<br>Investigación<br>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             | <b>6530</b> |

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

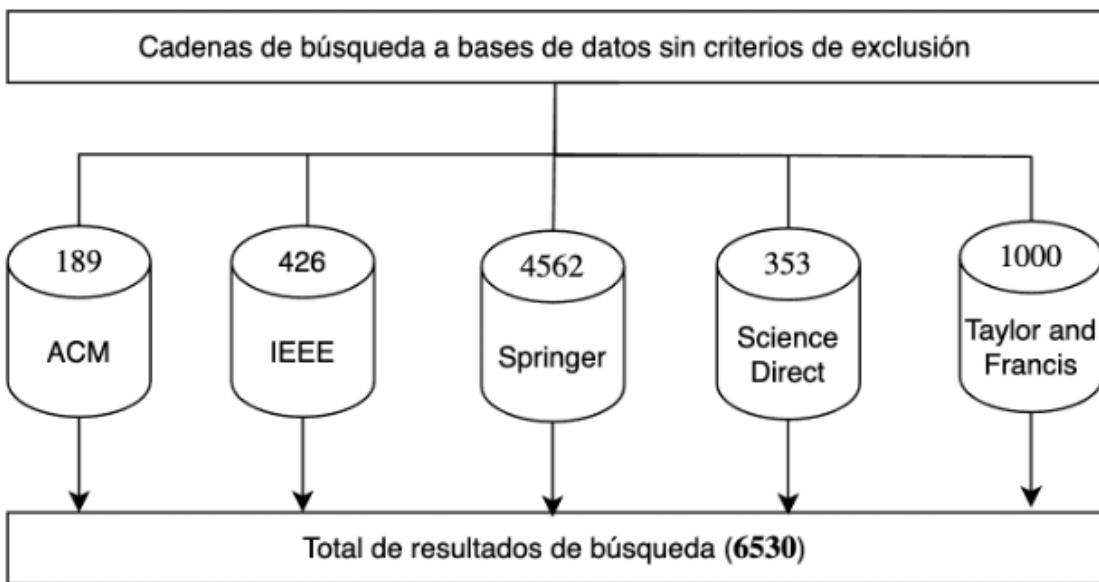


Figura 15.2: Resumen de la búsqueda en bases de datos sin criterios de inclusión/exclusión

### 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             | <b>6530</b> |
| Aplicando criterios de exclusión            | 48  | 134  | 592      | 46             | 156              | <b>976</b>  |

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

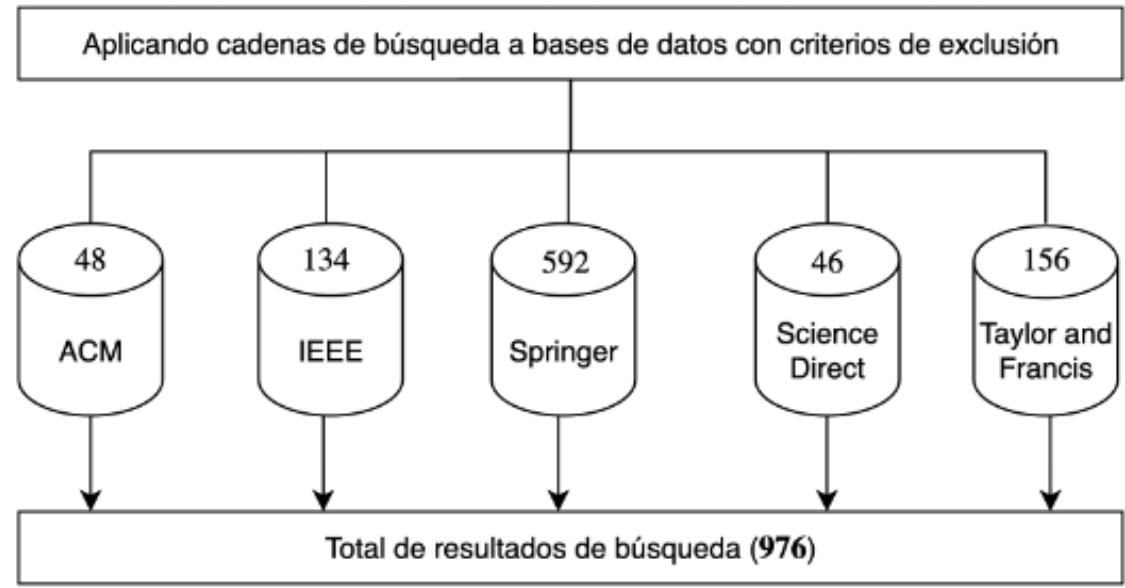


Figura 15.3: Resumen de la búsqueda en bases de datos con criterios de inclusión/exclusión

### 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**.

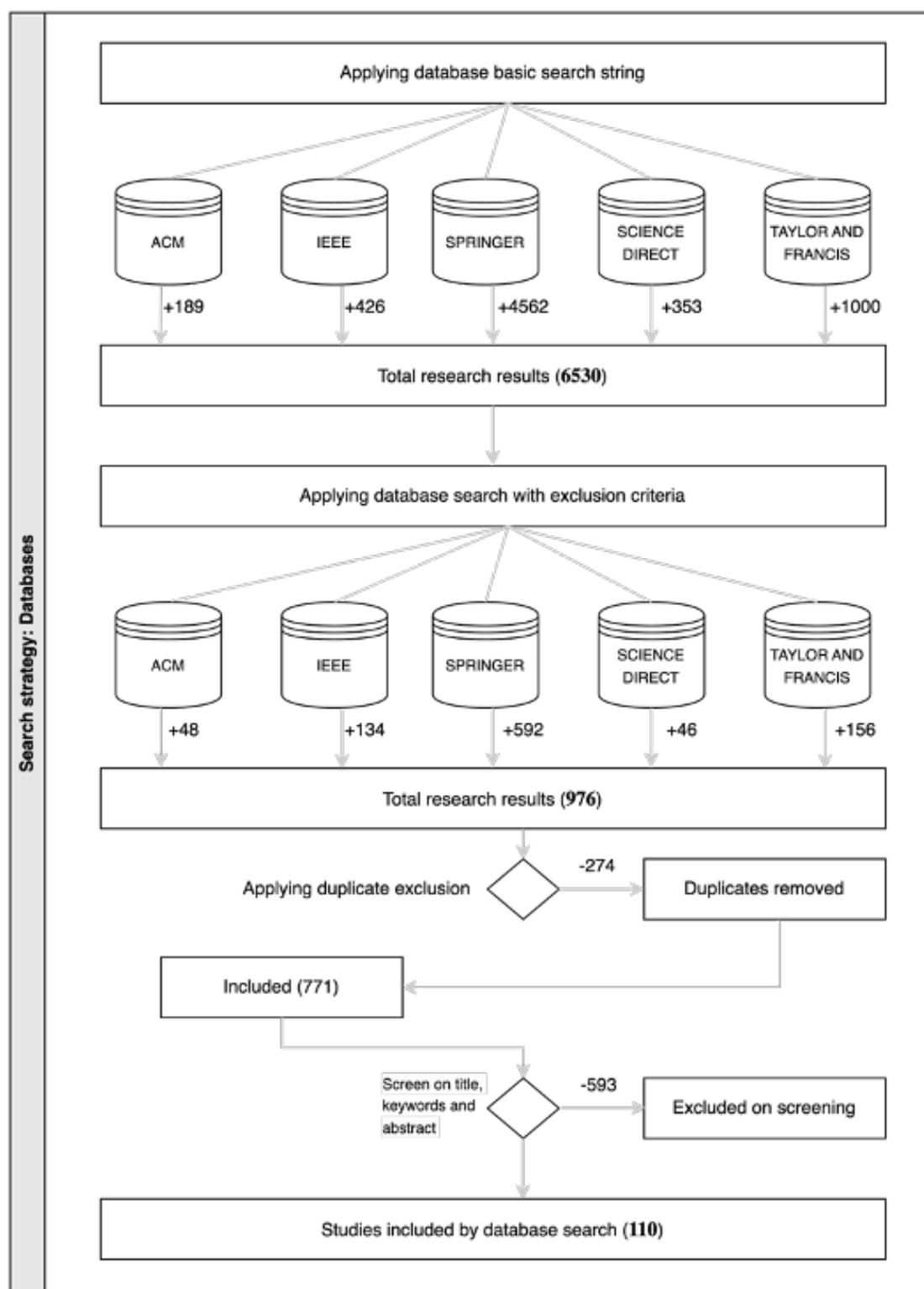
Sobre esta base, se aplicó la estrategia de *bola de nieve* en ambas direcciones: hacia adelante y hacia atrás. Como resultado, se obtuvieron **87 artículos** mediante la técnica hacia atrás y **495 artículos** mediante la técnica hacia adelante.

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.

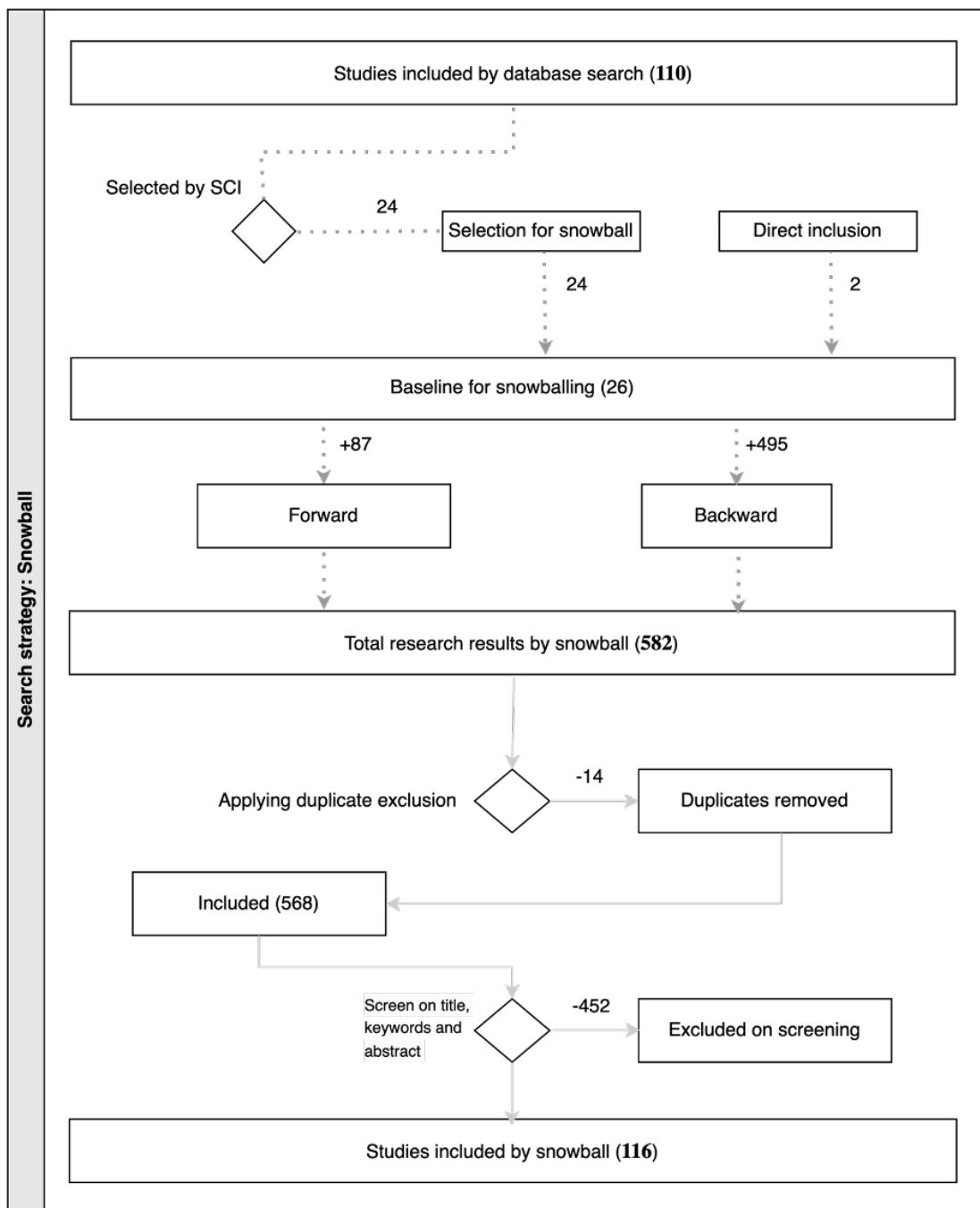
## 6 Diagrama de búsqueda

### 15.11.2. Usando cadenas de búsqueda



Cuadro 15.27: Diagrama de la cadena de búsqueda

### 15.11.3. Usando bola de nieve



Cuadro 15.28: Diagrama de la búsqueda en bola de nieve

## 15.12. Identificación de estudios

### 15.12.1. Artículos por año y métricas

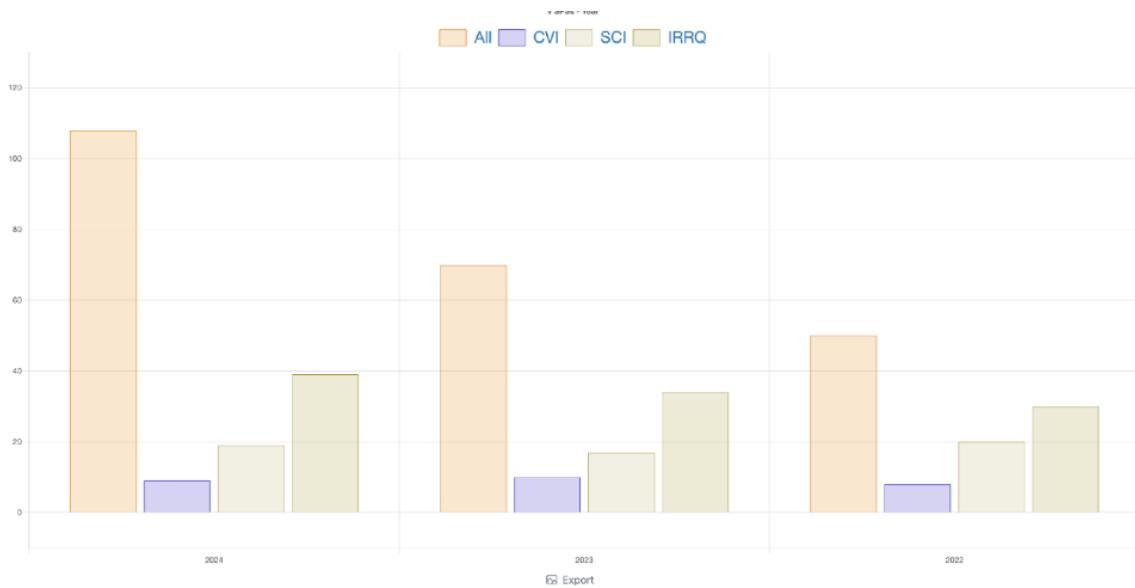


Figura 15.4: Artículos por métricas y año

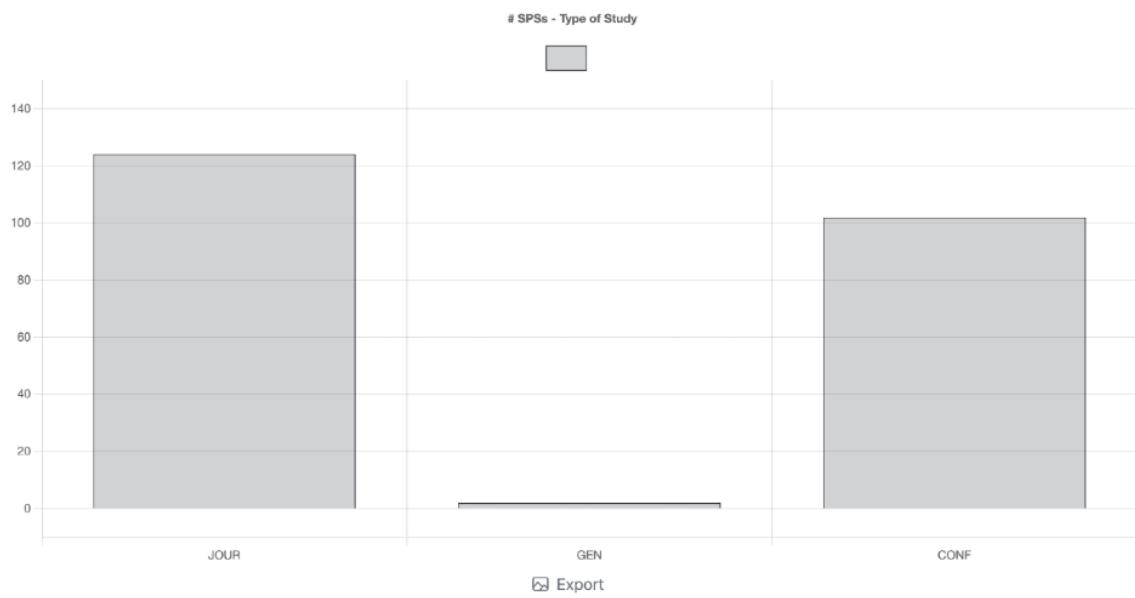


Figura 15.5: Artículos por tipo

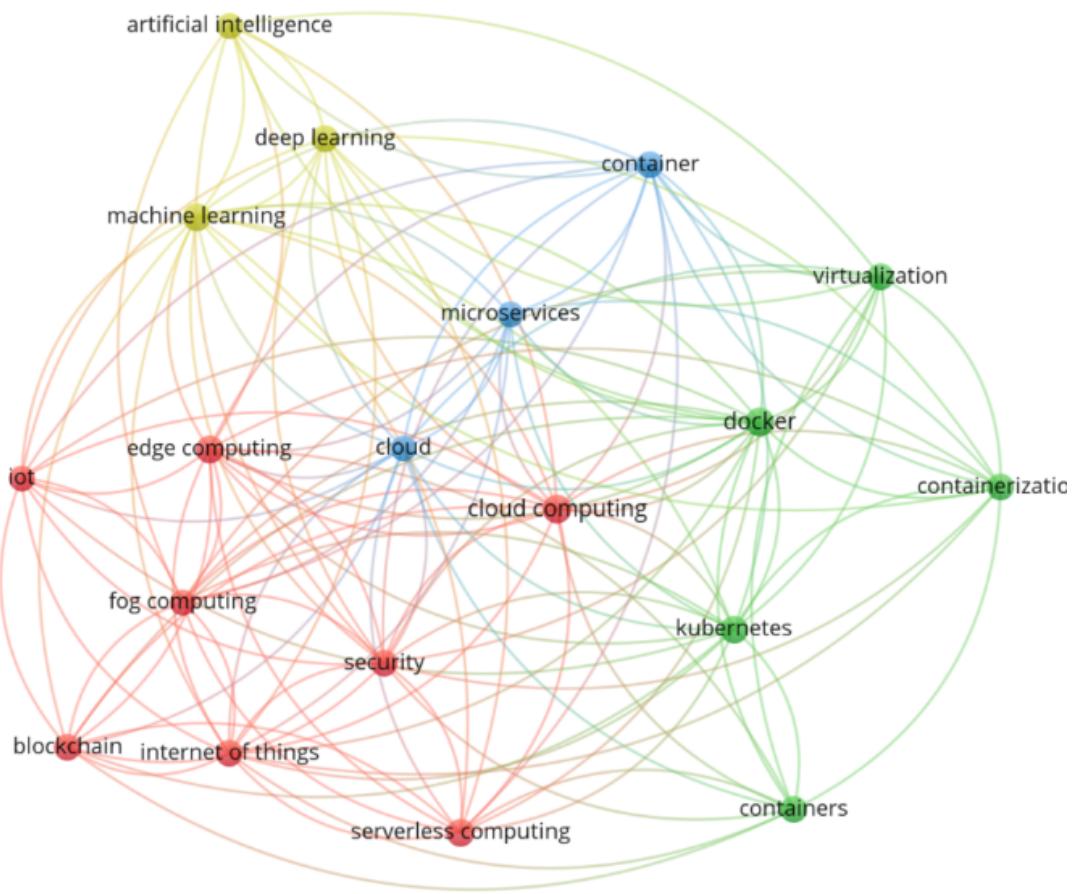


Figura 15.7: Diagrama de red de los artículos



Figura 15.6: Estrategia de búsqueda de artículos

## 15.13. 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**.

## 15.14. Nichos de mercado

### 15.14.1. 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).

### 15.14.2. 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).

### 15.14.3. 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).

#### **15.14.4. 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).

#### **15.14.5. 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).

#### **15.14.6. 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).

#### **15.14.7. 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).

#### **15.14.8. 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).

### **15.14.9. 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).

### **15.14.10. 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).

### **15.14.11. 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).

### **15.14.12. 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).

### **15.14.13. 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).

#### **15.14.14. 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).

#### **15.14.15. 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).

#### **15.14.16. 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).

#### **15.14.17. 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).

#### **15.14.18. 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<br>(permisiva)         | link            | Desde los 11 a 24 dólares                     |
| Podman             | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| Udocker            | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| Wasm               | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| LXC                | GNU LGPLv2.1+                     | link            | Gratis  |
| Containerd         | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| LXD                | AGPL-3.0 license                  | link            | Gratis  |
| Rkt                | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Descontinuado                                 |
| Singularity        | BSD 3-Clause<br>(permisiva)       | link            | Singularity CE<br>(Gratis), PRO<br>(\$30/año) |
| runC               | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| CRI-O              | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| Hyper-V containers | Licencia Windows<br>(Propietaria) | link            | Windows Server<br>2025 (\$1,176<br>USD)       |
| OpenVZ             | GPL v2<br>(permisiva)             | link            | Gratis  |
| Linux VServer      | GPL v2<br>(permisiva)             | link            | Gratis  |
| Google gVisor      | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| Kata Containers    | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| Firecracker        | Apache 2.0<br>(permisiva)         | link            | Gratis  |
| Sarus              | BSD 3-Clause<br>(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             | <a href="#">link</a>      |
| Podman             | <a href="#">link</a>      |
| Udocker            | <a href="#">link</a>      |
| Wasm (WebAssembly) | <a href="#">link</a>      |
| LXC                | <a href="#">link</a>      |
| Containerd         | <a href="#">link</a>      |
| LXD                | <a href="#">link</a>      |
| Rkt                | <a href="#">link</a>      |
| Singularity        | <a href="#">link</a>      |
| runC               | <a href="#">link</a>      |
| CRI-O              | <a href="#">link</a>      |
| Hyper-V containers | <a href="#">link</a>      |
| OpenVZ             | <a href="#">link</a>      |
| Linux VServer      | <a href="#">link</a>      |
| Google gVisor      | <a href="#">link</a>      |
| Kata Containers    | <a href="#">link</a>      |
| Firecracker        | <a href="#">link</a>      |
| Sarus              | <a href="#">link</a>      |

Cuadro 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:

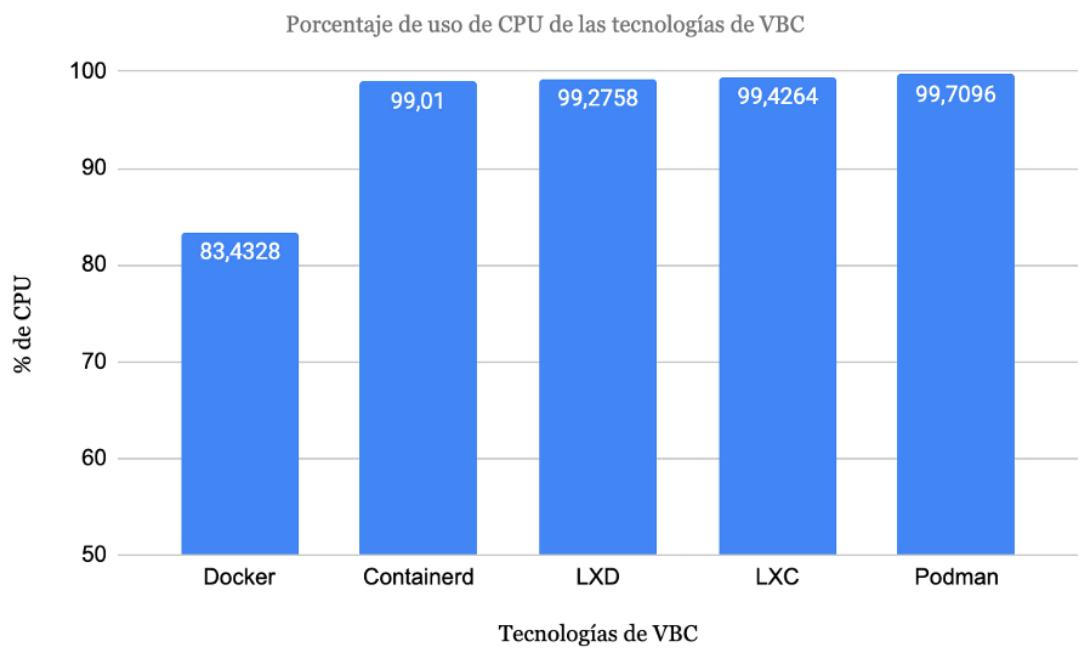


Figura 16.1: Métricas de uso de CPU

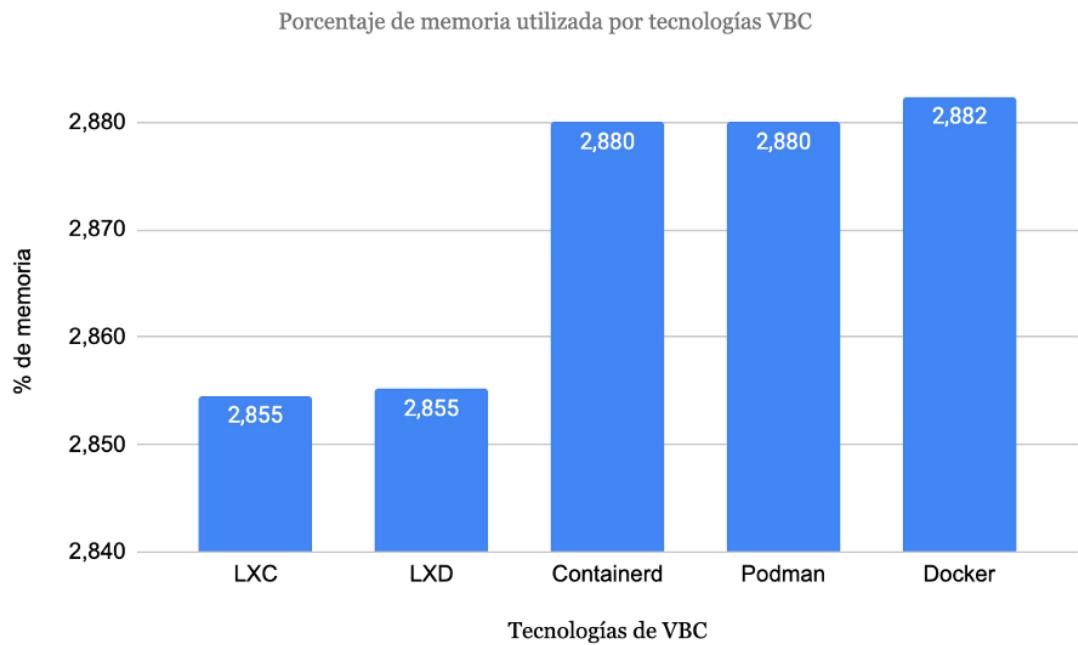


Figura 16.2: Métricas de uso de RAM

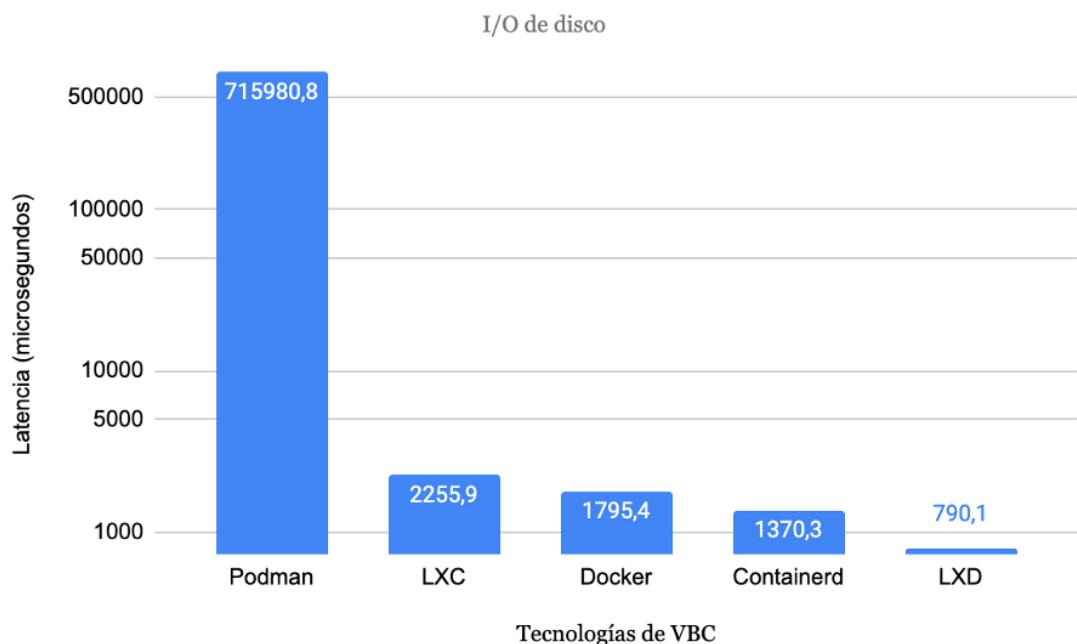


Figura 16.3: Métricas de entrada/salida

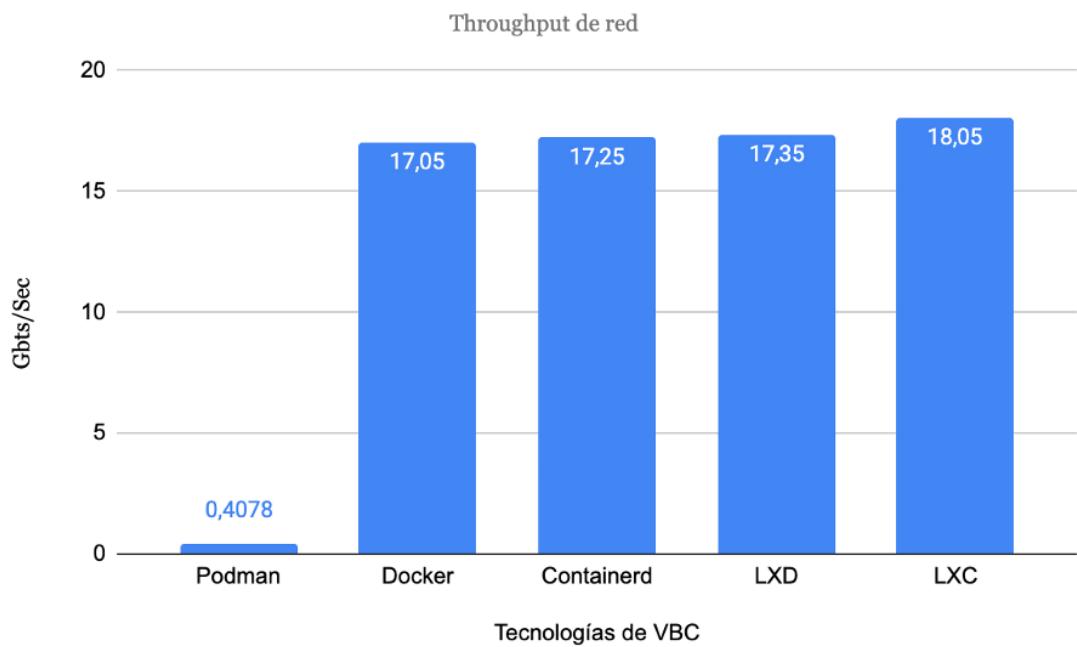


Figura 16.4: Métricas de throughput

## 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 (deben licenciar)     | 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



UNIVERSIDAD  
DEL QUINDÍO •

Res.MEN 014915 - 02 AGO 2022  
RENOVACIÓN ACREDITACIÓN

## Referencias



**UNIQUINDÍO**  
en conexión territorial

[www.uniquindio.edu.co](http://www.uniquindio.edu.co)

- 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., Titzer, 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**

### **A.1. Ficha técnica del recurso tecnológico**

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

Figura A.1: Ficha técnica del recurso tecnológico

## Ficha técnica de servicios

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

Figura A.2: Ficha técnica de servicios

# Apéndice B

## Búsquedas en bases de datos

### B.1. Búsqueda de artículos sin criterios de inclusión/exclusión

The screenshot shows the ACM Digital Library search results page. At the top, there are navigation links for Journals, Magazines, Proceedings, Books, SIGs, Conferences, and People. The search bar contains the query '(Title:"Container-based virtualization" OR "Application virtualization...")'. Below the search bar are buttons for 'Edit Search', 'Save Search', and 'RSS'. The main title 'Search Results' is displayed above a list of 18 results. On the left, there are filters for Publication Date (2010-2025), People (Authors, Institutions), and Publications (All Publications, Content Type, Publisher, Proceedings Series, ACM SIG Sponsors). The results list includes a research article titled 'Design and Implementation of a University Private Cloud Computing Platform Based on Application Virtualization' by May 2024.

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

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

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

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

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

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

The screenshot shows the IEEE Xplore search interface. At the top, there are links for IEEE.org, IEEE Xplore, IEEE SA, IEEE Spectrum, More Sites, and options to Subscribe, Donate, Create Account, and Personal Sign In. The IEEE logo is also present. Below the header is a search bar with dropdown menus for 'All' and 'Advanced Search'. The search results are displayed as a grid of items. The first item is titled 'Dealing with Scalability of Laboratory Sessions in Computer Science University Courses' by Nenad Petrovic, Valentina Nejkovic, and Milorad Totic, from the 2018 26th Telecommunications Forum (TELFOR). The second item is 'Enhancing IT Education Through Docker Integration' by Dmitrii Sedov and Andrei Lazarev, from the 2024 4th International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE). On the left side, there are filters for 'Show' (All Results selected), 'Year' (Range selected), and sorting options ('Sort By Relevance'). A sidebar on the left encourages users to contact IEEE to subscribe.

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

The screenshot shows the IEEE Xplore search interface. The search bar at the top contains the query "Container-based virtualization". Below the search bar, there are several buttons: "All", "Search", "Advanced Search", "Export", "Set Search Alerts", and "Search History". The main results area displays one result titled "Performance Evaluation of SDN-VNF in Virtual Machine and Container" by Dewang Gedia and Levi Perigo, from the 2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). The result includes options to "Select All on Page", "Sort By Relevance", and download links. On the left, there is a sidebar with a "Need access to IEEE Xplore for your organization?" section, a "Show" filter (set to "All Results"), and a "Year" filter (set to "Range").

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

This screenshot shows the same IEEE Xplore search interface as Figure B.5, but with more extensive search criteria applied. The search bar now includes additional terms: "OR "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")) X". The results page shows 1-25 of 397 results, with filters for "Conferences" (342), "Journals" (37), "Magazines" (14), and "Books" (2). The main result listed is "Is container-based technology a winner for high performance scientific applications?" by Theodore Adufu, Jieun Choi, and Yoonhee Kim, from the 2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS).

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

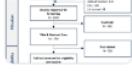
Showing 1–20 of 643 results  Sort by (updates page) Relevance ▾

**Content type**

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

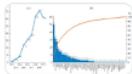
**Date published**

- 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](#)

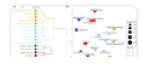


Figura B.8: Búsqueda de artículos de investigación en Springer sin criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 13/03/25 12:40 pm

**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]Show more
- Publication title
  - Procedia Computer Science [2]
  - JMIR Medical Education [2]
  - Computers in Biology and Medicine [1]Show more
- Subject areas
  - Medicine and Dentistry [10]
  - Computer Science [6]
  - Nursing and Health Professions [6]Show more

**Short communication**

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

**Research article** • Open access

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

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

**Research article**

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

**Research article** • Open access

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

**Review article**

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

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

 ScienceDirect  
Journals & Books  Help  My account  Sign in  
  
Find articles with these terms   
  
Title, abstract, keywords: ("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND ("Research" OR "Research Group" OR "Review article")  
  
Title, abstract, keywords: ("Container-based virtualization" OR "Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization") AND ("Research" OR "Research Group" OR "Review article")  
  
  
160 results sorted by relevance | date  
  
Refine by:  
Years  
 2025 (10)  
 2024 (29)  
 2023 (39)  
[Show more](#) ▾  
  
Article type   
 Review articles (12)  
 Research articles (118)  
 Book chapters (1)  
 Conference abstracts (8)  
[Show more](#) ▾  
  
Publication title  
 Future Generation Computer Systems (11)  
 SoftwareX (8)  
 Computers & Security (5)  
[Show more](#) ▾  
  
Subject areas  
 Computer Science (78)  
 Medicine and Dentistry (35)  
 Engineering (27)  
  
Research article  
Reducing cold start delay in serverless computing using lightweight virtual machines  
Journal of Network and Computer Applications, December 2024  
Amirmohammed Karimzadeh, Alireza Shomeli-Sendi  
  
Review article  
Auto-scaling techniques in container-based cloud and edge/fog computing: Taxonomy and survey  
Computer Communications, 1 September 2023  
Javad Degani, Reza Nemvar, Ferehad Khunjush  
  
Research article   
Want a richer search experience?  
Sign in for article previews, additional search fields & filters, and multiple article download & export options.  
  
 Sign in   
  
Research article   
CONSERVE: A framework for the selection of techniques for monitoring containers security  
Journal of Systems and Software, April 2022  
Rod Jolek, Thomas Rosenthaler, ... Riccardo Scandariotto  
 View PDF  
  
Research article  
A performance comparison of container-based technologies for the Cloud  
Future Generation Computer Systems, March 2017  
ZhoniBek Kozhirboyev, Richard O. Simon  
  
Research article  
CBVMI: A container-based virtualization method for instruments

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



**ScienceDirect**

Find articles with these terms  Search

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

[Advanced search](#)

172 results sorted by relevance | date

Refine by:

Years

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

Show more ▾

Article type: ①

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

Show more ▾

Publication title

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

Show more ▾

Subject areas

Computer Science [122]  
 Engineering [60]

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

Review article  
Auto-scaling techniques in container-based cloud and edge/fog computing: Taxonomy and survey  
Computer Communications, 1 September 2023  
Javed Dogani, Reza Nemvar, Ferehad Khunjush

Want a richer search experience?  
Sign in for article previews, additional search fields & filters, and multiple article download & export options.  
[Sign in](#) >

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

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

Research article  
Latency and quality-aware task offloading in multi-node next generation RANs  
Computer Communications, 15 February 2022

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, a sidebar titled 'Filters' includes sections for 'Only show content I have full access to', 'Only show Open Access', 'Article Type', 'Subject', 'Journal', and 'Publication date'. Below these is a 'Modify your search' section with a dropdown for 'Anywhere' containing the query, a '+' button, and a 'Search' button. The main content area is titled 'Search results' and displays '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"]'. It shows two article thumbnails: one by Hannah Forsyth titled 'Expanding higher education: institutional responses in Australia from the post-war era to the 1970s' and another by Hubert O. Quist titled 'Cultural Issues in Secondary Education Development in West Africa: Away from colonial survivals, towards neocolonial influences?'. Both articles are from 'Paedagogica Historica, Volume 51, 2015 - Issue 3'.

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

## B.2. Búsqueda de artículos usando criterios de inclusión/exclusión

The screenshot shows the ACM Digital Library search interface. The search query in the top bar is '(Title:"Container-based virt... OR "Application virtualization...")'. The search results are titled 'Search Results' and show a summary of the search criteria: '7 Results for: ((Title: "container-based virtualization") OR [Title: "application virtualization"] OR [Title: "docker"] OR [Title: "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: "container-based virtualization") 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)])'. The results are filtered by 'Research Article' and the date range '2022 - 2024'. The results section includes tabs for 'RESULTS' (selected) and 'PEOPLE', showing 7 results per page.

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

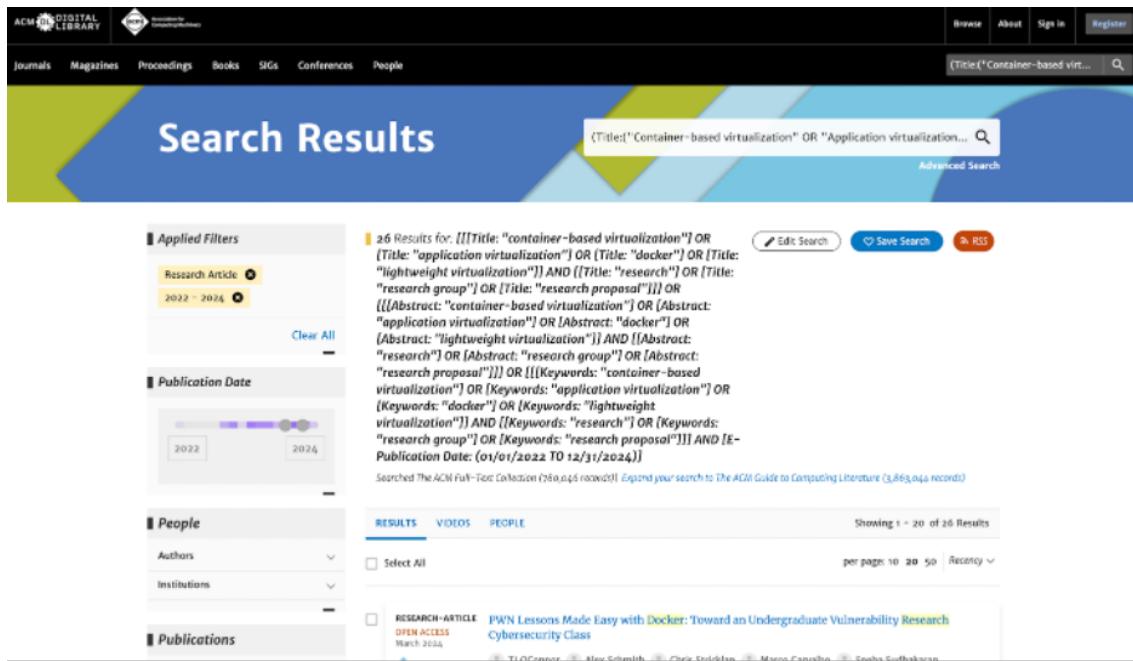


Figura B.17: Búsqueda de artículos de investigación en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:19 pm

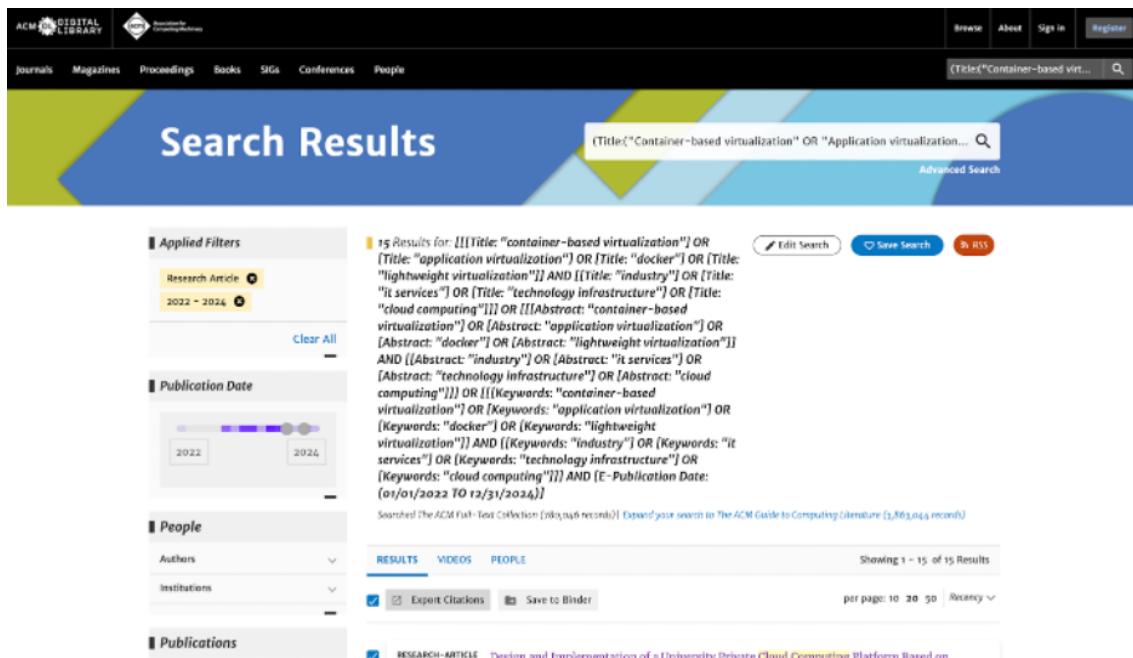


Figura B.18: Búsqueda de artículos de extensión en ACM con criterios de inclusión/exclusión Fecha de acceso: 20/03/25 1:20 pm

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 ➔**

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

Show   
 All Results  
 Open Access Only

**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...  
S. 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

Sort by (updates page)

**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) 2022  
 End year (YYYY) 2024  
[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...

Ishtiaq Ahamed in [SN Computer Science](#)




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

**ScienceDirect**

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

Find articles with these terms  [Search](#)

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

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

**Refine by:** [Set search alert](#)

Subscribed journals

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

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

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

Show more [▼](#)

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

[Personalize >](#)

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

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

[FEEDBACK](#)

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

Find articles with these terms

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

53 results  Set search alert

Refine by:  Subscribed journals

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

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

Show less ^

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

Show more ^

Download selected articles  sorted by relevance | date

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

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

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

4  Research article  Open access  
LST-AI: A deep learning ensemble for accurate MS lesion segmentation  
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 that access is provided by Universidad del Quindío. There are also links for Login | Register and a shopping cart icon.

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

Search term: ("Application virtualization" OR "Docker" OR "Lightweight Virtualization" OR "Docker Container")

[Advanced search](#)

**Filters**

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

**Selected filters**

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

**Subject**

**Journal**

**Publication date**

**Modify your search**

[Save this search](#) [Export 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]

| Articles  | 25   |
|---|--|
| <a href="#">Download citations</a> <a href="#">Download PDFs</a>  | <a href="#">Order by Relevance</a> <a href="#">10 per page</a> |
| <p><b>Lightweight Cloud-Based Solution for Digital Education and Assessment</b> <a href="#">View details</a></p> <p>J. Geetha, D. S. Jayalakshmi, E. Nareesh &amp; N. Sreenivas</p> <p>Science &amp; Technology Libraries, Volume 43, 2024 - Issue 3</p> <p>Article   Published Online: 05 Sep 2023   Views: 950   Citations: 1</p> <p>Abstract ▾ Full Text ▾</p> |  |
| <p><b>Synthesis of Novel Benzoxazole Derivatives: Exploration of Their Possible Pharmacological Profiles with Computational Studies</b> <a href="#">View details</a></p> <p>Shahnazar Ali, PoojaKumari Omprakash, Anand Kumar Tengli, Bijo Mathew, Basavaraj M V, Praveen Parkali, Chandan R S &amp; Arun Kumar S</p>   |  |

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

Download citations  Download PDFs

Order by Relevance 10 per page

**Articles**  
97

**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

# Apéndice C

## Plantilla del análisis DAR

### C.1. 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 C.1: Plantilla del análisis DAR

# **Apéndice D**

## **Eventos de difusión**

**D.1. Seminario GRID 2024-II**

**D.2. Seminario GRID 2025-I**

**D.3. ACOFI 2025**

**D.4. CEIFI 2025**

**D.5. Artículo de revista**

En esta sección se presenta el artículo de revista publicado en Journal of Information Systems and Applications (JISA) como resultado de la investigación desarrollada en este trabajo.

**D.5.1. Páginas del artículo JISA**

# Literature Review on Container-Based Virtualization Technologies

José A. Arias-Pinzón   [ Universidad del Quindío | josea.ariasp@uqvirtual.edu.co ]  
Anobis H. Correa-Urbano  [ Universidad del Quindío | anobish.correau@uqvirtual.edu.co ]  
Luis E. Sepulveda-Rodríguez  [ Universidad del Quindío | lesepulveda@uniquindio.edu.co ]  
Christian A. Candela-Uribe  [ Universidad del Quindío | christiancandela@uniquindio.edu.co ]

✉ Facultad de ingeniería, Universidad del Quindío, Carrera 15 #12N, Armenia, Quindío, 630001, Colombia.

Received: DD Month YYYY • Accepted: DD Month YYYY • Published: DD Month YYYY

**Abstract** Cloud computing, based on virtualization and containers, enables scalable and flexible IT solutions. Technologies such as Docker and Kubernetes dominate application management and orchestration, respectively; however, their widespread adoption has prompted the exploration of alternative approaches. This study aims to systematically map the current landscape of containerization technologies and assess their impact on both industry and academia. A Systematic Mapping Study (SMS) was conducted to review and classify existing research, identifying trends, applications, and gaps. The results indicate that containerization has expanded across diverse IT domains and academic contexts, facilitating research, education, and collaboration, while highlighting areas for future innovation.

**Keywords:** Container, Docker, Kubernetes, Cloud computing

## 1 Introduction

Cloud computing has consolidated itself as one of the most influential trends in the contemporary technological landscape, advocating for scalable and resilient solutions [Segun-Falade et al., 2024]. This form of delivering computing services is supported by various technologies, among which full virtualization and containers stand out. Full virtualization enables the creation of isolated and robust environments, while containers provide a lightweight and portable way to package applications and their dependencies [Almoudane, 2025]. With the growth of cloud computing, container-based virtualization technologies have gained significant relevance [Kozhirbayev and Sinnott, 2017]. These technologies allow organizations to deploy, manage, and scale applications in a flexible manner, simplifying resource utilization and facilitating continuous integration and agile development [Clement, 2025]. Tools such as Docker and Kubernetes have emerged as leaders in this field, offering robust solutions for container management and application orchestration in distributed environments.

In addition to the above, Docker is considered a *de facto* standard in the industry for the creation and management of containers; nevertheless, its features may not fit all use cases [Baresi et al., 2024b]. It is due to this that the need arises to explore the literature in order to identify alternatives and complements in the container ecosystem. To delimit the research and explore possible use cases, IT domains were defined, ranging from software development, IT infrastructure, HPC, security, among others, and to interpret their relationship with lightweight virtualization technologies.

On the other hand, and from an academic perspective, the use of these technologies has been extrapolated to areas such as education, research, and outreach. In these contexts, container-based virtualization technologies could offer sig-

nificant benefits, such as the creation of personalized learning environments, the facilitation of collaboration among researchers, and the provision of accessible computational resources for industry projects. In the university setting, outreach refers to the extension of academic knowledge and resources to society, fostering engagement and collaboration beyond the campus.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 outlines the motivation for this study. Section 3 presents the related work. Section 4 describes the method employed to conduct the SMS. Section 6 provides an taxonomic structure about Container-based virtualization. Section 5 addresses the threats to validity, and finally, Section 7 presents the conclusions.

## 2 Motivation

According Hassan et al. [2022], Cloud computing has introduced a wide range of widely adopted solutions; however, as stated in Waseem et al. [2024], Vhatkar and Bhole [2022] and Kithulwatta et al. [2022a] fragmentation in the literature and a lack of systematization still persist, mainly due to the high volume of information, which makes it difficult to identify clear patterns of use, benefits, and limitations across different application domains. This work is motivated by the need to obtain a structured perspective that enables the recognition of how these technologies are being adopted in industrial and academic contexts, as well as the factors that condition their use. The expected results aim to provide a comprehensive map of trends, approaches, and emerging practices that may serve as a guide for researchers and professionals in technological decision-making. In particular, the intention is to identify studies related to Container-Based Virtualization (**CBV**) in different IT domains, as well as those directly

Figura D.1: Artículo JISA — Página 1

connected to the academic field, especially in the areas of education, research, and outreach. This classification seeks to bring clarity to the current landscape while simultaneously encouraging the exploration of new research lines and practical applications in multiple scenarios.

### 3 Related works

Although there are evident attempts to structure knowledge in the area of container-based virtualization technologies, preliminary literature searches did not reveal a systematic review that allows the identification of the most relevant technologies according to their use case, nor a categorization in education, research, and outreach. In this regard, some related works that address relevant aspects of container-based virtualization are presented below.

- Bentaleb et al. in 2022 Bentaleb et al. [2022b] present a comprehensive review of virtualization and containerization technologies focused on intensive scientific applications. The study analyzes existing taxonomies of containerization technologies and proposes a new one that integrates and complements the previous approaches.
- Kaiser et al. in 2022 Kaiser et al. [2022b] conduct an exhaustive analysis of container technologies compatible with the ARM architecture, highlighting their energy consumption and high performance as key factors for their adoption in containerization. The study compares various container technologies, including orchestrators and runtimes, evaluating their advantages and disadvantages with respect to Docker.
- Sepúlveda et al. in 2022 Sepúlveda-Rodríguez et al. [2022] present a review of the state of the art on taxonomic models of virtualization technologies, motivated by the dispersion of approaches and the lack of uniformity in the classification of these technologies.
- Kaiser et al. in 2023 Kaiser et al. [2023b] explore the use of container technologies on edge devices based on ARM architectures, assessing their performance, feasibility, and suitability in edge computing scenarios.
- Naydenov et al. in 2023 Naydenov and Ruseva [2023a] carry out a systematic mapping of the literature on architectures, models, and methods of container orchestration in cloud computing environments. The study aims to identify and classify existing works, proposing a categorization scheme to organize knowledge in this area.
- Malhotra et al. in 2024 Malhotra et al. [2024b] conduct a systematic literature review on virtualization technologies, focusing on the phases of container maintenance, including container image detection, container scheduling, container security measures, and container performance evaluation.

### 4 Review Method

With the aim of conducting a systematic literature review on container-based virtualization technologies, a structured process was followed that includes the methodological guide-

lines defined in Runeson and Höst [2009] and Kitchenham et al. [2010]. The application of these guidelines can be observed in the work of Sepúlveda et al. Sepúlveda-Rodríguez et al. [2021]. According to Mourao et al. [2017] and Nguyen et al. [2015], it is possible to conduct a systematic review by combining search strategies. In this way, a hybrid approach was used, combining manual and automated searches.

Furthermore, in order to ensure transparency and reproducibility of the study, the tool *SMS-Builder* Candela-Uribe et al. [2022] was used, which enables the identification and classification of studies, as well as data extraction and quality assessment.

The systematic review process was divided into six stages: 1) planning, 2) study search, 3) quality assessment, 4) data extraction, 5) analysis and classification of studies, and 6) results. In this context, *SMS-Builder* was used to keep track of stages Research Question, Metrics, Research Topics, and Inclusion and Exclusion Criteria. Below, each of the stages of the **SMS** (*Systematic Mapping Study*) is described. See Figure 1.

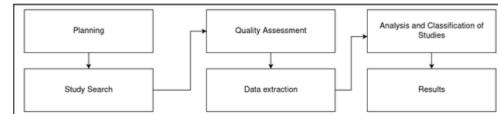


Figure 1. Stages of the SMS Construction Process

#### 4.1 Planning

In this stage, the general purpose of the research was established and the goals were defined, along with the research questions, metrics, classification criteria, inclusion/exclusion criteria, and quality criteria of the studies. See Figure 2.

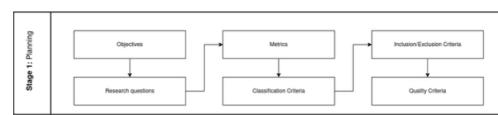


Figure 2. Composition of the planning stage

##### 4.1.1 Study goals

Taking into account the aspects described in the motivation section, two general goals were defined for the systematic literature review, which are presented in Table 1.

##### 4.1.2 Research Question

For the construction of the research questions (RQ), the GQM (*Goal Question Metric*) Needleman [2002] and the PICOC model Petticrew and Roberts [2008] were employed. This model establishes aspects such as "Population," "Intervention," "Comparison," "Outcome," and "Context," which serve to frame the work to be conducted. See Table 3.

Taking into account the information provided by the PICOC model, two RQs were defined. See Table 2.

| Goal | Description  |
|------|--|
| M1   | Identify studies related to CBV in teaching, research, and outreach projects.  |
| M2   | Classify studies related to CBV in the domains of software development, computational thinking, parallel computing, data analysis, artificial intelligence, computer networks, IT infrastructure, HPC, among others. |

**Table 1.** Goals of the study

#### 4.1.3 Metrics

The study metrics were established through a quantitative approach, according to the classification structure. Details of these metrics are presented in Table 5. The defined criteria limited the validity of the documents to a three-year period, in order to ensure the timeliness of the study. Likewise, the type of source was restricted to primary studies, with the aim of ensuring greater rigor through peer review.

| Metric | Description                                     |
|--------|---|
| M1     | Number of studies identified in each IT domain. |
| M2     | Number of studies included in education.        |
| M3     | Number of studies included in research.         |
| M4     | Number of studies included in extension.        |

**Table 5.** Metrics defined for the analysis

A three-year period, between 2022 and 2024, was established to ensure the timeliness of the studies. Furthermore, the selection was restricted to journal articles in order to promote greater rigor through peer review. The studies had to be written in English and fall within the areas of *Computer Science, Management, Information Technology and Management, or Engineering* to preserve sample quality. Finally, studies unrelated to CBV, not peer-reviewed, or unavailable online were excluded.

| Aspect       | Description   |
|--------------|---|
| Population   | Works related to container-based virtualization (CBV) applied in various IT domains with an emphasis on education, research, and outreach.  |
| Intervention | Identification and classification of CBV works in the established IT domains.   |
| Comparison   | 1. Projects that have used CBV are compared to determine which ones have had the highest success rate, as reported by the authors in each IT domain.<br>2. The impact of CBV on teaching, research, and outreach projects is analyzed in comparison with other technological solutions. |
| Outcome      | Classification structure of works related to CBV in each IT domain that have impacted teaching, research, and outreach projects.  |
| Context      | Teaching, research, and outreach with the adoption of IT domains in the form of CBV.  |

**Table 3.** Aspects of the PICOC model

#### 4.1.4 Research Topics

The research questions and the PICOC model served as the baseline to define the topics considered relevant in the study. These topics are: *Container-based virtualization, Education, Research, and Industry*. The definition of the research topics was carried out with reference to the IT domains deemed relevant to the study.

#### 4.1.5 Inclusion and Exclusion Criteria

The inclusion and exclusion criteria were defined to ensure that the selected studies were relevant to the research questions and the study objectives. The criteria are presented in Table 4.

#### 4.1.6 Quality Criteria

To conclude the planning stage, three quality criteria were defined.

The first quality criterion is an adaptation of the CVI (*Content Value Index*) Almanasreh et al. [2019]; YAGHMAEI [2003]. In this case, the articles were assessed to determine whether they met the defined inclusion and exclusion criteria and whether they were relevant to the research questions. A quantitative scale from 0 to 5 was used, where 0 indicates a low relationship with the SMS goals and 5 indicates a high relationship. See Equation 1. In this equation,  $K$  is the odd number of evaluators and  $f(n)$  is the frequency of responses for each value of the scale.

$$CVI = \frac{\sum_{n=1}^k f(n)}{k} \quad (1)$$

The second quality criterion is the number of citations of each study according to its publication date ( $A$ ), termed SCI (*Scientific Citation Index*). See Equation 2. In this equation,  $C$  is the number of citations between 2022 and 2024, and  $A$  is the time since publication. Thus, an article published in 2024 with the same number of citations as one published in 2022 will have a higher SCI.

$$SCI = \frac{C}{A} \quad (2)$$

The third quality criterion corresponds to the relationship of the studies to the research questions. This criterion is termed IRRQ (*Index of Relationship to Research Questions*). See Equation 3.

$$IRRQ = \frac{N}{2} \quad (3)$$

Here,  $N$  corresponds to the number of research questions that the study addresses. This value is divided by 2 because

| Goal | Question | Description   | Motivation   |
|------|----------|---|--|
| G1   | Q1       | Which studies related to container-based virtualization (CBV) technologies could positively impact teaching, research, and outreach projects?   | The transversality offered by CBV, thanks to its environment reproducibility, allows stimulating different facets of society. Its nature facilitates the transfer of IT solutions across different environments, enabling an innovation in any social domain to directly impact another. |
| G2   | Q2       | Which are the main studies related to container-based virtualization (CBV) technologies that could contribute to the various IT domains, including software development, computational thinking, parallel computing, data analysis, artificial intelligence, computer networks, IT infrastructure, HPC, among others? | The aim is to provide a solid foundation for researchers, educators, and professionals interested in understanding the current state of the art regarding CBV, as well as the scope and applications of these works without the need for an in-depth analysis.                           |

Table 2. Research questions and their motivation

| Category            | Inclusion   | Exclusion  |
|---------------------|---|--|
| Fields              | Abstract  | —  |
| Type of publication | Articles published in scientific or academic journals and conference proceedings    | Theses and book chapters   |
| Area/Discipline     | IT Management, Computer Science, Information Technology and Management, Engineering | Areas unrelated to virtualization, Computer Science, and Information Technology and Management |
| Period              | Between 2022 and 2024   | Before 2022  |
| Language            | English   | —  |

Table 4. Inclusion and exclusion criteria

that is the total number of research questions defined during the planning stage.

## 4.2 Stage 2: Study Search

This stage presents the search strategy employed in the systematic literature review. The strategy is described in detail in subsections 4.2.1 – 4.2.4. See Figure 3.

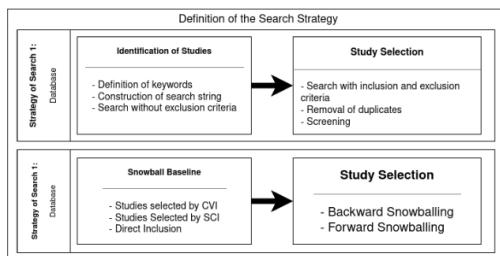


Figure 3. Composition of the study search stage

### 4.2.1 Defining the Search Strategy

To conduct this literature review, a hybrid approach was employed with the purpose of expanding the volume of indexed articles and diversifying their sources beyond those provided by the databases. In this context, two search strategies were combined. The first corresponds to the database search, which involves executing an automated search string in academic repositories Jalali and Wohlin [2012]. The second strategy, known as snowballing, consists of manually searching for articles based on a seed set, using both their references and the citations that mention them. This strategy assumes that relevant studies cite other equally relevant studies and, therefore, enables the identification of works that are not indexed in academic databases Jalali and Wohlin [2012]; Goodman [1961].

#### 4.2.2 Search Strategy 1: Databases

This strategy is divided into two components. The first, called “Study Identification,” focuses on defining the keywords to construct the search strings that complete the queries in academic databases. The second component, called “Study Selection,” focuses on applying various criteria

to refine the search results and thereby maximize the value of the systematic literature review.

- **Study Identification:** To ensure the feasibility of the study and by agreement of the authors, the search was limited to five academic databases: *ACM, IEEE Xplore, Springer, Science Direct, and Taylor and Francis*. At this stage, it was necessary to establish the previously defined keywords and construct specific search strings for each database. For this purpose, the PICOC model was again used as a methodological guide to identify key terms or complete phrases related to **CBV**. Synonyms were incorporated into the construction of these strings to broaden the scope of results. See Table 6.

| Aspect       | Description   |
|--------------|---|
| Population   | CBV, IT Domains, Education, Research, Extension         |
| Intervention | Identification, Classification                          |
| Comparison   | Success rate, Evidence of use                           |
| Output       | Classification of CBV-related studies in each IT domain |
| Context      | Teaching, Research, Extension                           |

Table 6. Keywords identified using the PICOC model

The main keywords identified were: *Container-based virtualization, Education, Research, Industry*. To broaden and refine the results, Boolean operators such as *AND* and *OR* were used. Additionally, quotation marks were employed for exact phrase searches, and parentheses were used to group related terms. The set of keywords selected to construct the search strings is presented in Table 7.

To direct the search towards the intersection of IT domains and **CBV**, the Boolean operator *AND* was applied. Once the keywords were identified, the search strings were constructed for each database through an iterative process. This process consisted of applying a heuristic approach to keywords, synonyms, and related concepts, using conjunctions and disjunctions according to the specific rules of each database. Consequently, the search strings vary depending on the criteria of each repository. The search strings are available in the Docker Hub repository and on the web page referenced in the section 4.6.3. Once the search strings were constructed, they were executed in each database. Table 8 presents the set of results obtained. A total of **6,530** preliminary articles were identified, with *Springer* contributing the largest number, totaling **4,562** articles, equivalent to **69.8%** of the total.

| Keyword                        | Synonyms   |
|--------------------------------|--|
| 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        |

Table 7. Keywords for database search

- **Study Selection:** To refine the results obtained, the inclusion and exclusion criteria established in the planning stage were applied. Table 9 shows the outcome of

this step. As a result, the number of articles was reduced to **976**. Among them, Springer remained the database with the highest contribution, with **592** articles (**60.65%** of the total). Subsequently, **274** duplicate articles were identified and removed, leaving a total of **771** unique articles. A *Screening* process was then applied to this new set, which involved reviewing the title, abstract, and keywords of each article to verify their relevance and alignment with the study objectives. This analysis allowed for the exclusion of **593** articles that did not contribute value to the research, resulting in a total of **110** selected studies. With this step, the database search strategy concludes. Figure 4 summarizes the methodology applied in this process.

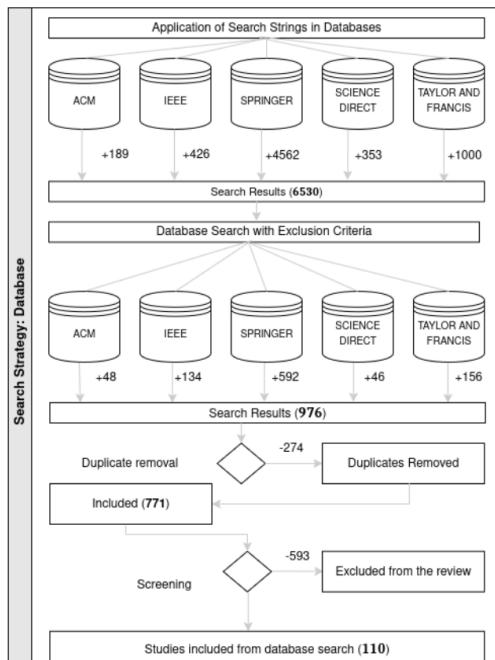


Figure 4. Summary of activities and results obtained in the database search strategy

#### 4.2.3 Search Strategy 2: Snowballing

The snowballing search strategy began with the identification of the base set of articles. This base set is obtained from Search Strategy 1. The procedure consisted of two phases: in the first phase, the references of each article were reviewed to identify new works (backward snowballing); in the second phase, the articles citing the base set were analyzed (forward snowballing), which required the use of databases providing this information. In both phases, the inclusion and exclusion criteria established during the planning stage were applied Wohlin [2014].

| Criterion                          | ACM   | IEEE  | Science Direct | Springer | Taylor and Francis |
|------------------------------------|-------|-------|----------------|----------|--------------------|
| Search results using keywords only | 189   | 426   | 4562           | 353      | 1000               |
| Contribution percentage            | 2.89% | 6.52% | 69.86%         | 5.4%     | 15.31%             |

**Table 8.** Search results per database using keywords

| Criterion                                   | ACM   | IEEE   | Science Direct | Springer | Taylor and Francis |
|---|-------|--------|----------------|----------|--------------------|
| Search results after applying keywords only | 48    | 134    | 46             | 592      | 156                |
| Contribution percentage                     | 4.91% | 13.72% | 4.71%          | 60.65%   | 15.98%             |

**Table 9.** Search results per database using keywords after applying inclusion/exclusion criteria

The first phase, called *Base Line Construction*, aims to establish the articles on which a citation and reference analysis will be performed. To form this initial set of studies, several criteria were applied, including the CVI (*Content Value Index*), the SCI (*Study Citation Index*), and the direct inclusion criterion. The second phase, called *Study Selection*, focuses on the analysis of references (*Backward Snowballing*) and citations (*Forward Snowballing*) corresponding to each article.

The base line construction started from the **110** articles obtained in the database search strategy. From this set, **25** articles were selected using the SCI quality criterion. The choice of this criterion is based on the fact that it does not depend on the authors' assessment, but rather on the number of citations received by each article, which constitutes an objective indicator of academic relevance. The result of this process was a total of **25** articles selected for the base line. The selection was made through a citation frequency analysis, from which the first quartile (**Q1**) corresponding to the most cited articles was extracted. As part of the SMS process, studies can also be incorporated through direct inclusion. This procedure consists of adding an article previously known by the authors, without it coming directly from a database. This approach provides flexibility to the search process as it allows integrating works considered relevant by the authors for the research objective. In this case, one article was incorporated through direct inclusion, bringing the total to **26** articles in the base line.

After the base line construction, the reference analysis was performed, which allowed identifying a total of **495** new articles. The forward search process was conducted using Google Scholar, which provides information on the number of citations for each article, following the practices described in Ali et al. [2019]. Regarding the backward search, **87** additional articles were obtained.

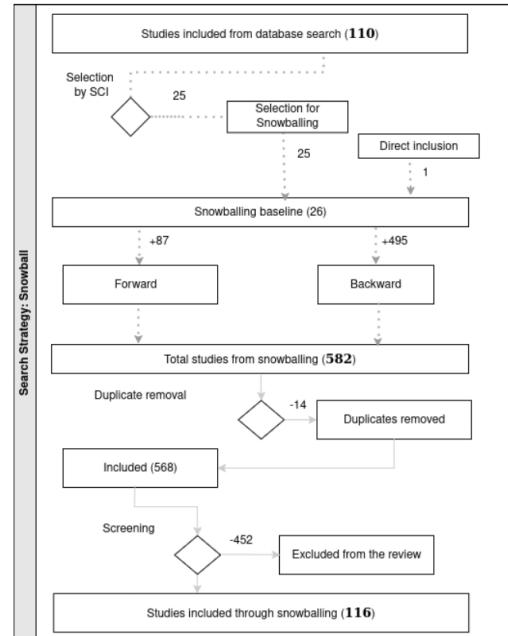
**14** duplicate articles were removed from the backward and forward search results. Subsequently, the *Screening* process was applied again, which, as in the previous phase, consisted of reviewing the title, abstract, and keywords of each work. This procedure reduced the set to **116** articles selected through the snowballing search strategy. Figure 5 presents a summary of the process followed in this search strategy.

#### 4.2.4 Results of the Study Search

Finally, the search for articles resulted in **110** studies obtained through academic databases, **116** studies identified via snowballing, and **1** through direct inclusion (counted within the

snowballing), for a total of **226** studies identified. Table 10 presents a summary of these results.

| Strategy         | Studies    | %           |
|------------------|------------|-------------|
| Databases        | 110        | 48.67%      |
| Snowballing      | 115        | 50.88%      |
| Direct Inclusion | 1          | 0.44%       |
| <b>Total</b>     | <b>226</b> | <b>100%</b> |

**Table 10.** Results of the study search**Figure 5.** Summary of the Search Strategy – Snowballing

#### 4.3 Stage 3: Quality Assessment

According to Ali et al. [2019], incorporating a quality assessment in a systematic mapping study is not strictly necessary. However, such an evaluation brings the SMS closer to a systematic review Wohlin [2014]. Therefore, this study aims to verify the relevance of the identified works with respect to the SMS objectives through a quality assessment process.

The CVI (*Content Value Index*), SCI (*Study Citation Index*), and IRRQ (*Index of Relationship to Research Questions*), as defined in the planning phase, were employed to evaluate the quality of the studies.

#### 4.3.1 Content Validity Assessment

This evaluation consists of analyzing the content of the articles to determine their value within the research context. For this purpose, the CVI, defined during the planning phase, was employed. The studies were ranked according to this index, considering an odd number of evaluators. In this way, ties were avoided, as an odd number always ensures a majority decision. Furthermore, this procedure led to a frequency analysis to select the most significant quartile, namely, the one with the highest CVI.

The assessment was conducted in two rounds. The first was carried out during the selection process of the baseline in the snowballing strategy. Once the 226 studies included in the SMS were identified, a second evaluation was performed, the results of which are presented in Step 5: Study Classification.

#### 4.3.2 Index for Quality Assessment by Citation Count

This evaluation of the studies was conducted using the SCI index. Its calculation was performed with the support of the SMS-Builder software Candela-Uribe et al. [2020] and the citation data provided by Google Scholar. Subsequently, a frequency analysis was carried out to obtain the most significant quartile, corresponding to the studies with the highest SCI.

#### 4.3.3 Index for Assessing the Relationship of Studies to the Research Questions

This quality assessment employs the IRRQ index, as described in the planning phase (Section 4.1). In this regard, the studies were analyzed with the purpose of establishing their relationship to the classification topics, which have a direct correspondence with the research questions.

For this process, the SMS-Builder software Candela-Uribe et al. [2020] was used to determine the relationship between the studies and the research questions formulated in this SMS. Similarly, a frequency analysis was performed to select the most significant quartile, corresponding to the studies with the highest IRRQ.

### 4.4 Stage 4: Data Extraction

Upon completing the stages of study search and selection, as well as quality assessment, a total of 226 primary studies were identified. These were labeled with the prefix SPS (*Selected Primary Study*), followed by a consecutive number. The complete list can be found in Table 4.6.1.

### 4.5 Stage 5: Study Classification

The classification of the SPS was achieved using clustering topics, as presented in Table 11. This table summarizes the studies in terms of the research questions Q1 and Q2. It is

worth noting that a single SPS may be linked to multiple topics; for instance, SPS069 appears simultaneously under the topics of IT Infrastructure, Security, Cloud Computing, and Research. This characteristic highlights the direct connection of the studies with research questions Q1 and Q2.

Once the SPS were classified, they were assessed according to the inclusion and exclusion criteria, as well as the quality indices CVI, SCI, and IRRQ. These criteria were applied both for the analysis and the classification of the studies. The results of this evaluation are presented in Tables 12, 13, and 14.

### 4.6 Stage 6: Results

This section presents the results obtained from the execution of the SMS search protocol. First, a general description of the data corresponding to the SPS is provided, including their origin, year of publication, the search strategy employed, quality indices, as well as the relationship among the research questions, topics, and keywords. Second, the relationships of the studies with respect to the topics are presented. Finally, a word cloud generated from the keywords of the SPS is introduced.

It is important to highlight that the association of the studies with the topics was established through the classification process described in Section Study Classification. Similarly, the research questions are inherently linked, given that the topics are structurally integrated within them. In this context, the association between the main SMS keywords and the textual elements of each study—title, abstract, and keywords—was identified.

#### 4.6.1 Overview of the SPSs

The process of searching and selecting studies led to the identification of 226 primary studies, as presented in Table 4.6.1. These SPS originate from different digital sources and were located through various search strategies applied in this literature review.

Table 15 presents how different container-based virtualization technologies contribute to the academic dimensions of Education, Research, and Outreach. This analysis shows that Docker is the technology with the greatest presence across the three categories compared to other virtualization technologies, accounting for 100 SPS in the set of education, research, and outreach, which corresponds to 44.24% of the total. This finding reflects both the popularity and the level of adoption of Docker in the contemporary academic field. Complementarily, Table 16 shows the relationship between IT domains and the academic dimensions mentioned previously.

Figura D.7: Artículo JISA — Página 7

| ID     | Ref                        | ID     | Ref                      |
|--------|----------------------------|--------|--------------------------|
| SPS001 | Pastor-Galindo et al.      | SPS002 | Moysiadis et al.         |
| SPS003 | Malviya and Dwivedi        | SPS004 | Šimon et al.             |
| SPS005 | Yaory and Manuaba          | SPS006 | Kamieniarz and Mazurczyk |
| SPS007 | Voulgaris et al.           | SPS008 | Nakarmi et al.           |
| SPS009 | Chen et al.                | SPS010 | Betz et al.              |
| SPS011 | Xi et al.                  | SPS012 | Li et al.                |
| SPS013 | Madi and Esteves-Verissimo | SPS014 | Wang and Li              |
| SPS015 | Raj                        | SPS016 | Modey et al.             |
| SPS017 | Yang and Dai               | SPS018 | Wu et al.                |
| SPS019 | Bracke et al.              | SPS020 | Abas et al.              |
| SPS021 | Fischer et al.             | SPS022 | Li et al.                |
| SPS023 | Deng et al.                | SPS024 | Yin et al.               |
| SPS025 | Malhotra et al.            | SPS026 | Yuan and Liao            |
| SPS027 | González-Abad et al.       | SPS028 | Ruiz Ródenas et al.      |
| SPS029 | Ebrahimpour et al.         | SPS030 | Ye et al.                |
| SPS031 | Liagkou et al.             | SPS032 | Baresi et al.            |
| SPS033 | Ghorbian and Ghobaei-Arani | SPS034 | Aktolga et al.           |
| SPS035 | Joraviya et al.            | SPS036 | Nakakaze et al.          |
| SPS037 | Soderi et al.              | SPS038 | Qian                     |
| SPS039 | Galantino et al.           | SPS040 | Aldiabat et al.          |
| SPS041 | Kumar and Kaur             | SPS042 | Aung et al.              |
| SPS043 | Dimova et al.              | SPS044 | Azuma et al.             |
| SPS045 | Ndigande et al.            | SPS046 | Husain et al.            |
| SPS047 | Yarmilko et al.            | SPS048 | de Oliveira Filho et al. |
| SPS049 | Ajith et al.               | SPS050 | Timonen et al.           |
| SPS051 | Kotenko et al.             | SPS052 | Silva et al.             |
| SPS053 | Hettiarachchi et al.       | SPS054 | Fava et al.              |
| SPS055 | Savitha et al.             | SPS056 | Dogani et al.            |
| SPS057 | Purahong et al.            | SPS058 | Benzi et al.             |
| SPS059 | Chaurasia et al.           | SPS060 | Kaiser et al.            |
| SPS061 | Stojanović et al.          | SPS062 | Kanagachalam et al.      |
| SPS063 | Vaidya et al.              | SPS064 | Jolak et al.             |
| SPS065 | Hao et al.                 | SPS066 | Blanco et al.            |
| SPS067 | Wang et al.                | SPS068 | Naydenov and Ruseva      |
| SPS069 | Ganne                      | SPS070 | Raj et al.               |
| SPS071 | Rashid and Qasha           | SPS072 | Pavao et al.             |
| SPS073 | Zhang et al.               | SPS074 | Candemir and İncereis    |
| SPS075 | Choi et al.                | SPS076 | Pankowski and Powroźnik  |
| SPS077 | Moussa et al.              | SPS078 | Geng et al.              |
| SPS079 | Chen et al.                | SPS080 | Gao et al.               |
| SPS081 | Spahn et al.               | SPS082 | Zhang et al.             |
| SPS083 | Kaiser et al.              | SPS084 | Patra et al.             |
| SPS085 | Wu et al.                  | SPS086 | VS et al.                |

Continues on the next page

Figura D.8: Artículo JISA — Página 8

**Table 10 – continued**

| <b>ID</b> | <b>Ref</b>          | <b>ID</b> | <b>Ref</b>                 |
|-----------|---------------------|-----------|----------------------------|
| SPS087    | Waseem et al.       | SPS088    | Bentaleb et al.            |
| SPS089    | Malan               | SPS090    | Keller Tesser and Borin    |
| SPS091    | Kaur                | SPS092    | El Khairi et al.           |
| SPS093    | Choi et al.         | SPS094    | Aleyani et al.             |
| SPS095    | Joraviya et al.     | SPS096    | Nelson and Shoshitaishvili |
| SPS097    | Zhou et al.         | SPS098    | Bentaleb et al.            |
| SPS099    | Kim et al.          | SPS100    | Saxena et al.              |
| SPS101    | Yu et al.           | SPS102    | Horchulhack et al.         |
| SPS103    | Chamoli and Mittal  | SPS104    | Sobieraj and Kotyński      |
| SPS105    | Patra et al.        | SPS106    | Gharabeih et al.           |
| SPS107    | Dipta et al.        | SPS108    | Gu et al.                  |
| SPS109    | Jeon et al.         | SPS110    | Roy et al.                 |
| SPS111    | Karumudi et al.     | SPS112    | Barbie et al.              |
| SPS113    | Ramanathan et al.   | SPS114    | Lee et al.                 |
| SPS115    | Sedov and Lazarev   | SPS116    | Kostolny et al.            |
| SPS117    | Jang and Luo        | SPS118    | Flora and Antunes          |
| SPS119    | Ukene et al.        | SPS120    | Molnár et al.              |
| SPS121    | Dakić et al.        | SPS122    | Kaiser et al.              |
| SPS123    | Barletta et al.     | SPS124    | Rosa et al.                |
| SPS125    | Barros et al.       | SPS126    | Zeng et al.                |
| SPS127    | Gupta et al.        | SPS128    | Frasão et al.              |
| SPS129    | Gamess and Parajuli | SPS130    | Alif and Munggaran         |
| SPS131    | Moric et al.        | SPS132    | Eroshkin et al.            |
| SPS133    | Singh et al.        | SPS134    | Kuity and Peddoju          |
| SPS135    | Narasimhulu et al.  | SPS136    | Entrialgo et al.           |
| SPS137    | Dogani et al.       | SPS138    | Lee et al.                 |
| SPS139    | Ma et al.           | SPS140    | Kosińska et al.            |
| SPS141    | Zheng et al.        | SPS142    | Bellavista et al.          |
| SPS143    | Johansson et al.    | SPS144    | Carrión                    |
| SPS145    | Carrión             | SPS146    | Botez et al.               |
| SPS147    | Haq et al.          | SPS148    | Dubey et al.               |
| SPS149    | Bannon              | SPS150    | Abbadini et al.            |
| SPS151    | Geetha et al.       | SPS152    | Fernalld et al.            |
| SPS153    | Mills et al.        | SPS154    | Han et al.                 |
| SPS155    | Yang et al.         | SPS156    | Karmakar and Arri          |
| SPS157    | Mailewa et al.      | SPS158    | Barnawi et al.             |
| SPS159    | Pérez et al.        | SPS160    | Barletta et al.            |
| SPS161    | Zuppelli et al.     | SPS162    | Bhuiyan et al.             |
| SPS163    | Mondal et al.       | SPS164    | Mondal et al.              |
| SPS165    | Wong et al.         | SPS166    | Song et al.                |
| SPS167    | Bracke et al.       | SPS168    | Alamoush and Eichelberger  |
| SPS169    | Joshi et al.        | SPS170    | Kumar et al.               |
| SPS171    | Mthembu et al.      | SPS172    | Eng et al.                 |

Continues on the next page

Figura D.9: Artículo JISA — Página 9

**Table 10 – continued**

| <b>ID</b> | <b>Ref</b>                  | <b>ID</b> | <b>Ref</b>                   |
|-----------|-----------------------------|-----------|------------------------------|
| SPS173    | Kurniawan et al.            | SPS174    | Melo et al.                  |
| SPS175    | Widodo et al.               | SPS176    | Kithulwatta et al.           |
| SPS177    | Fu et al.                   | SPS178    | Abdulah et al.               |
| SPS179    | Jeong et al.                | SPS180    | Gackstatter et al.           |
| SPS181    | Ersted Rasmussen et al.     | SPS182    | Xie et al.                   |
| SPS183    | Lee et al.                  | SPS184    | Karamzadeh and Shameli-Sendi |
| SPS185    | Alyas et al.                | SPS186    | Mehran and Ulus              |
| SPS187    | Du et al.                   | SPS188    | Xu et al.                    |
| SPS189    | Al-Obaidi et al.            | SPS190    | Zehra et al.                 |
| SPS191    | Haq et al.                  | SPS192    | Saxena et al.                |
| SPS193    | Rajasekar et al.            | SPS194    | Thurimella et al.            |
| SPS195    | Al Qausar et al.            | SPS196    | Shrestha and Ray             |
| SPS197    | Agrawal and Singh           | SPS198    | Antonova et al.              |
| SPS199    | Burchart and Haake          | SPS200    | Mujkanovic et al.            |
| SPS201    | Hristev et al.              | SPS202    | Zhou et al.                  |
| SPS203    | Yang et al.                 | SPS204    | Jackson and Wurst            |
| SPS205    | Li et al.                   | SPS206    | Ashari et al.                |
| SPS207    | Dobslaw et al.              | SPS208    | Rosmaninho et al.            |
| SPS209    | Álvarez et al.              | SPS210    | Wang et al.                  |
| SPS211    | Amoiridis et al.            | SPS212    | Schmidt et al.               |
| SPS213    | Augustyn et al.             | SPS214    | Choi et al.                  |
| SPS215    | Rodriguez et al.            | SPS216    | Kunekar et al.               |
| SPS217    | Shakya and Tripathi         | SPS218    | Arifiansyah et al.           |
| SPS219    | Kwon et al.                 | SPS220    | Haresh et al.                |
| SPS221    | Malhotra et al.             | SPS222    | Kjorveziroski and Filiposka  |
| SPS223    | Kjorveziroski and Filiposka | SPS224    | Li et al.                    |
| SPS225    | Rosa et al.                 | SPS226    | Kim et al.                   |

Figura D.10: Artículo JISA — Página 10

This analysis reveals that the domain with the highest presence in the three categories is IT Infrastructure, with a total of **171 SPS** in education, research, and outreach, representing **75.66%** of the total. This finding highlights both the relevance and the degree of adoption of container-based virtualization technologies in the management and impact of IT infrastructures within the educational context.

On the other hand, Figure 6 shows the number of studies according to their origin. Regarding the source, **50.88%** of

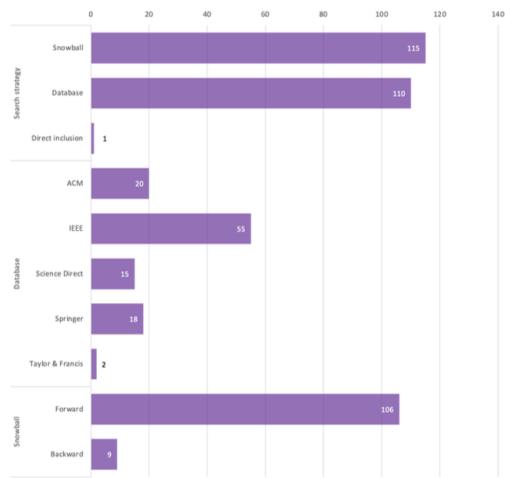


Figure 6. SPS by source and search strategy in databases

the SPS come from snowballing, followed by **48.67%** of the SPS originating from digital databases, and **0.44%** from direct inclusion. With respect to the database search strategy, Figure 6 also shows that of the **110 SPS** identified through this strategy, **68.18%** come from IEEE Xplore and ACM Digital Library, while the remaining **31.81%** are distributed among other sources. Concerning the snowballing strategy, Figure 6 indicates that of the **115 SPS** identified through this approach, **92.17%** originate from forward snowballing and the remaining **7.82%** from backward snowballing.

Figure 7 presents the distribution of container-based virtualization technologies identified in the SPS.

It can be observed that Docker stands out significantly with **94** studies, representing the technology with the highest adoption in the academic domain. In contrast, technologies such as Podman (7 SPS), LXC, and Containerd (both with 4 SPS) register a considerably lower presence. Other technologies, including runC, Singularity, and Google gVisor (3 SPS each), show a more limited participation, while solutions such as OpenVZ, Hyper-V containers, and Udocker appear in only 1 study.

These results highlight a marked concentration around Docker, reflecting not only its level of popularity and technological maturity but also its relevance as a reference tool in research related to container-based virtualization.

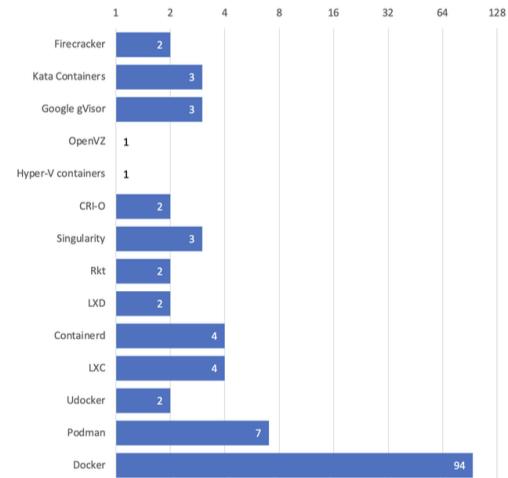


Figure 7. Container-based virtualization technologies contributed by each SPS

Figure 8 shows the distribution of container orchestrators identified in the analyzed SPS. It is evident that Kubernetes is, by a wide margin, the dominant technology, with **67** studies, reflecting its position as the *de facto* standard in container management and orchestration within the academic domain. In second place is Docker Swarm, with **9** studies, followed by Apache Mesos with **5**. Although these technologies provide relevant orchestration capabilities, they do not reach the adoption level of Kubernetes. Meanwhile, solutions such as OpenShift (2 SPS), Docker Compose (3 SPS), as well as OpenStack, Amazon ECS, and Amazon EKS (1 SPS each), show a reduced representation, indicating more specialized use or contexts limited to particular scenarios. Taken together, these results highlight the consolidation of Kubernetes as the reference platform for container orchestration, while the other alternatives play a complementary or niche role in the context of this SMS.

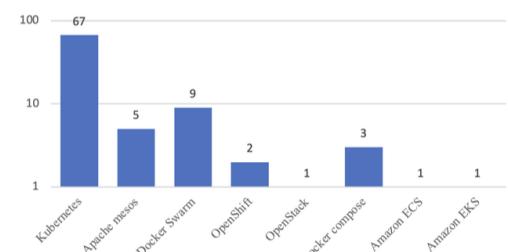
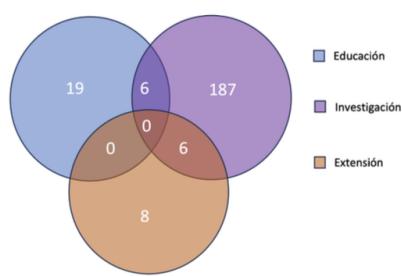


Figure 8. Orchestrator technologies contributed by each SPS

Figure 9 shows the interrelationship of the selected primary studies across the academic dimensions of Education, Research, and Extension. It can be observed that the largest concentration of studies is found in the Research dimension, with **187** exclusive SPS and **6** SPS shared with Education, evidencing the predominance of this dimension in the academic field. In turn, the Education dimension records **19** exclusive

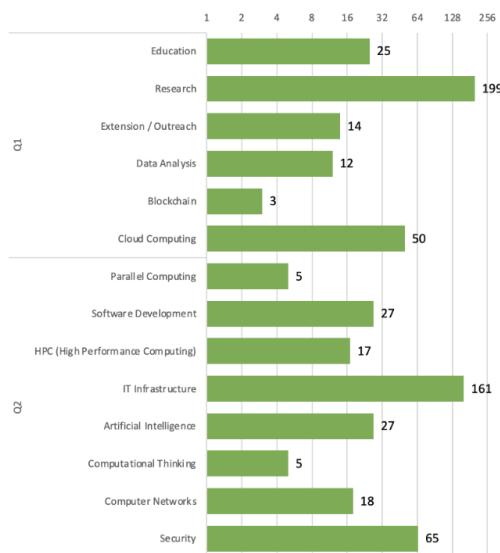
SPS and **6** shared with Research, while Extension presents **8** exclusive SPS and **6** shared with Research, but no simultaneous overlaps with Education.



**Figure 9.** Venn diagram of SPS in education, research, and extension

It is worth noting that no SPS were identified at the intersection of the three dimensions (Education, Research, and Extension), which reflects a fragmentation in academic production: studies tend to focus on a single dimension or on partial combinations, without comprehensively addressing the three approaches.

Figure 10 presents the topics defined during the planning stage for each research question, as well as the number of SPS related to each topic in a non-exclusive manner. It is important to highlight that an SPS can be associated with multiple topics simultaneously. In this regard, Figure 10 illustrates the three topics linked to Research Question 1, where the topic “Research” is the most frequent, with **83.61%**, in contrast to the least frequent topic, “Extension,” which accounts for **5.88%**. Figure 10 also depicts the 11



**Figure 10.** SPS by research questions and topics

topics associated with Research Question 2, where the topic

“IT Infrastructure” is the most frequent, with **41.28%**. By contrast, the least frequent topic is “Blockchain,” with only **0.76%**.

Considering that the research period spans from 2022 to 2024, Figure 11 shows a growth in the number of SPS published, rising from **49** in 2022 to **107** in 2024. The largest increase occurred in 2024, when the number of SPS rose from **70** in 2023 to **107** in 2024, representing a **52.85%** increase.

According to the SCI quality index, it remains stable and



**Figure 11.** SPS by year and quality indices

close to the average of **18**. However, it is worth noting a **15%** decline between 2022 and 2023; nevertheless, in 2024 an **11.76%** increase is observed compared to 2023. Regarding the CVI quality index, an overall upward trend is evident, rising from **7** in 2022 to **9** in 2024, which corresponds to a net growth of **28.57%**.

For its part, the IRRQ quality index shows a sustained trend with low dispersion, reflected in a standard deviation of **3.68**. It also exhibits continuous growth during the 2022–2024 period, increasing from **30** in 2022 to **34** in 2023, which represents a **13.3%** increase. Subsequently, in 2024 an additional **14.7%** increase is observed compared to 2023. Cumulatively, during the 2022–2024 period, the IRRQ index rises from **30** to **39**, which represents a total growth of **30%**.

Figure 12 shows the number of SPS classified according to the research questions and their respective topics, also including the quality indices. In this regard, this study indicates that for Research Question 1, the topic “Extension” has the fewest SPS, with a total of **8** SPS, equivalent to **7.33%**. In contrast, the “Research” topic is the most represented, with a total of **80** SPS, equivalent to **73.39%**. For Research Question 2, the topic “IT Infrastructure” registers the highest number of SPS, with **73** SPS, equivalent to **43.71%**, followed by the “Cloud Computing” topic, with **24** SPS, equivalent to **14.37%**.

Figure 13 shows a cross-analysis between the SPS, the main keywords, and their synonyms. Within the IT domain, the keyword “Container” stands out, allowing the identification of a total of **57** SPS. In the context of Education, Research, and Extension, only a few keywords were identified, with “Learning” and “Cybersecurity education” being the only ones present, each associated with **2** SPS.

**Table 11.** Classification of SPS studies by topic and year

| RQ        | Topics                 | 2022   | 2023   | 2024   |  |
|-----------|------------------------|--|--|--|--|
| <b>Q1</b> | Research               | SPS002, SPS003, SPS007, SPS013, SPS017, SPS023, SPS039, SPS041, SPS044, SPS053, SPS059, SPS062, SPS064, SPS069, SPS070, SPS071, SPS073, SPS077, SPS079, SPS080, SPS083, SPS085, SPS088, SPS092, SPS098, SPS099, SPS105, SPS137, SPS143, SPS144, SPS145, SPS146, SPS149, SPS154, SPS155, SPS157, SPS176, SPS177, SPS180, SPS182, SPS187, SPS191, SPS192 | SPS004, SPS012, SPS015, SPS027, SPS029, SPS034, SPS046, SPS047, SPS055, SPS056, SPS057, SPS060, SPS066, SPS067, SPS068, SPS075, SPS076, SPS081, SPS084, SPS086, SPS090, SPS093, SPS094, SPS097, SPS103, SPS117, SPS119, SPS126, SPS127, SPS134, SPS135, SPS138, SPS150, SPS153, SPS159, SPS165, SPS166, SPS167, SPS171, SPS173, SPS174, SPS175, SPS179, SPS183, SPS185, SPS189, SPS195, SPS200, SPS201, SPS203, SPS205, SPS208, SPS209, SPS212, SPS220, SPS221, SPS222, SPS223, SPS225, SPS226 | SPS001, SPS005, SPS006, SPS008, SPS009, SPS010, SPS011, SPS014, SPS016, SPS018, SPS019, SPS021, SPS022, SPS024, SPS025, SPS026, SPS028, SPS030, SPS032, SPS033, SPS035, SPS036, SPS040, SPS043, SPS045, SPS048, SPS049, SPS050, SPS051, SPS052, SPS054, SPS061, SPS065, SPS074, SPS082, SPS087, SPS091, SPS095, SPS100, SPS102, SPS104, SPS106, SPS107, SPS108, SPS109, SPS110, SPS111, SPS113, SPS118, SPS121, SPS122, SPS123, SPS124, SPS125, SPS128, SPS129, SPS130, SPS131, SPS132, SPS133, SPS136, SPS140, SPS141, SPS142, SPS147, SPS148, SPS151, SPS156, SPS158, SPS160, SPS161, SPS162, SPS164, SPS168, SPS169, SPS170, SPS172, SPS178, SPS184, SPS186, SPS188, SPS190, SPS193, SPS194, SPS196, SPS197, SPS198, SPS202, SPS210, SPS213, SPS214, SPS215, SPS216, SPS217, SPS219, SPS224 | SPS042, SPS089, SPS096, SPS115, SPS124, SPS139, SPS151, SPS163, SPS198, SPS199 |
|           | Education              | SPS038, SPS058, SPS101, SPS146, SPS187, SPS204   | SPS020, SPS072, SPS075, SPS116, SPS120, SPS152, SPS206, SPS207, SPS218   | SPS042, SPS089, SPS096, SPS115, SPS124, SPS139, SPS151, SPS163, SPS198, SPS199   |  |
|           | Outreach               | SPS002, SPS031, SPS037, SPS099   | SPS078, SPS112, SPS208, SPS220   | SPS010, SPS063, SPS114, SPS181, SPS211, SPS213   |  |
| <b>Q2</b> | Software development   | SPS002, SPS037, SPS038, SPS044, SPS053, SPS058, SPS098, SPS101   | SPS015, SPS078, SPS086, SPS120, SPS183, SPS195   | SPS008, SPS010, SPS022, SPS028, SPS042, SPS043, SPS096, SPS100, SPS118, SPS133, SPS172, SPS215, SPS224   |  |
|           | Computational thinking | SPS187   | SPS116   | SPS042, SPS115, SPS198   |  |

Figura D.13: Artículo JISA — Página 13

| RQ | Topics                  | 2022   | 2023   | 2024   |
|----|-------------------------|--|--|--|
|    | Parallel computing      | SPS017   | SPS020, SPS134, SPS223   |  |
|    | Data analysis           | SPS037, SPS071, SPS157   | SPS183, SPS209   | SPS001, SPS005, SPS028, SPS045, SPS061, SPS082, SPS129   |
|    | Artificial intelligence | SPS023, SPS037, SPS053, SPS059, SPS073, SPS077, SPS080, SPS149, SPS154, SPS177   | SPS027, SPS072, SPS078, SPS183, SPS209   | SPS011, SPS030, SPS040, SPS051, SPS082, SPS095, SPS142, SPS148, SPS161, SPS169, SPS170, SPS181   |
|    | Computer networks       | SPS105, SPS187   | SPS046, SPS094, SPS103, SPS159   | SPS010, SPS019, SPS048, SPS106, SPS110, SPS113, SPS132, SPS139, SPS164, SPS198, SPS216, SPS219   |
|    | IT infrastructure       | SPS003, SPS007, SPS017, SPS023, SPS031, SPS037, SPS038, SPS039, SPS062, SPS069, SPS070, SPS073, SPS077, SPS079, SPS083, SPS085, SPS088, SPS092, SPS099, SPS105, SPS137, SPS143, SPS144, SPS145, SPS146, SPS149, SPS154, SPS155, SPS176, SPS177, SPS180, SPS182, SPS187, SPS204 | SPS004, SPS012, SPS020, SPS027, SPS029, SPS034, SPS046, SPS047, SPS055, SPS056, SPS057, SPS060, SPS066, SPS067, SPS068, SPS075, SPS076, SPS078, SPS081, SPS084, SPS090, SPS094, SPS103, SPS112, SPS117, SPS119, SPS126, SPS134, SPS135, SPS150, SPS152, SPS159, SPS167, SPS171, SPS173, SPS174, SPS175, SPS179, SPS183, SPS185, SPS189, SPS200, SPS201, SPS205, SPS206, SPS207, SPS208, SPS212, SPS218, SPS220, SPS222, SPS223, SPS225 | SPS009, SPS011, SPS014, SPS018, SPS019, SPS021, SPS024, SPS025, SPS026, SPS030, SPS032, SPS033, SPS036, SPS048, SPS049, SPS051, SPS052, SPS054, SPS074, SPS082, SPS087, SPS089, SPS091, SPS095, SPS096, SPS100, SPS102, SPS104, SPS106, SPS107, SPS109, SPS110, SPS111, SPS115, SPS121, SPS122, SPS123, SPS124, SPS125, SPS129, SPS130, SPS131, SPS132, SPS136, SPS140, SPS148, SPS151, SPS156, SPS160, SPS163, SPS164, SPS168, SPS169, SPS170, SPS172, SPS178, SPS181, SPS184, SPS186, SPS188, SPS190, SPS196, SPS197, SPS198, SPS199, SPS210, SPS211, SPS213, SPS214, SPS215, SPS216, SPS217, SPS219, SPS224 |
|    | HPC                     | SPS017, SPS041, SPS062, SPS083, SPS098   | SPS027, SPS090, SPS134, SPS200   | SPS008, SPS014, SPS018, SPS114, SPS121, SPS129, SPS178, SPS194   |
|    | Blockchain              |  |  | SPS063   |

Figura D.14: Artículo JISA — Página 14

| RQ              | Topics   | 2022   | 2023   | 2024 |
|-----------------|--|--|--|------|
| Seguridad       | SPS013, SPS064, SPS069, SPS070, SPS079, SPS083, SPS092, SPS155, SPS157, SPS191, SPS192                                 | SPS034, SPS047, SPS081, SPS086, SPS093, SPS094, SPS097, SPS119, SPS126, SPS127, SPS138, SPS150, SPS153, SPS165, SPS166, SPS175, SPS183, SPS189, SPS203, SPS221, SPS226 | SPS001, SPS006, SPS009, SPS016, SPS022, SPS025, SPS035, SPS040, SPS043, SPS049, SPS050, SPS051, SPS065, SPS082, SPS108, SPS118, SPS125, SPS128, SPS129, SPS131, SPS141, SPS147, SPS156, SPS158, SPS160, SPS161, SPS162, SPS170, SPS188, SPS190, SPS193, SPS214, SPS219 |      |
| Cloud computing | SPS002, SPS003, SPS031, SPS069, SPS070, SPS071, SPS079, SPS080, SPS085, SPS099, SPS137, SPS143, SPS146, SPS149, SPS177 | SPS012, SPS015, SPS029, SPS055, SPS056, SPS084, SPS126, SPS173, SPS179, SPS185, SPS222   | SPS018, SPS019, SPS025, SPS026, SPS030, SPS032, SPS033, SPS043, SPS045, SPS087, SPS091, SPS109, SPS111, SPS136, SPS163, SPS193, SPS194, SPS197, SPS202, SPS210, SPS213, SPS214, SPS216, SPS217   |      |

**Table 12.** Studies with the highest CVI index, classified by topics

| RQ | Topics                 | 2022   | 2023                           | 2024   |
|----|------------------------|--|--------------------------------|--|
| Q1 | Research               | SPS003, SPS007, SPS083, SPS145, SPS146         | SPS068, SPS174                 | SPS032, SPS136, SPS151, SPS168                         |
|    | Education              | SPS038, SPS146                                 | SPS152, SPS206                 | SPS089, SPS115, SPS151                                 |
| Q2 | Software Development   | SPS038   |                                |  |
|    | Computational Thinking |  |                                | SPS115   |
|    | Data Analysis          | SPS037, SPS071, SPS157                         | SPS183, SPS209                 | SPS001, SPS005, SPS028, SPS045, SPS061, SPS082, SPS129 |
|    | IT Infrastructure      | SPS003, SPS007, SPS038, SPS083, SPS145, SPS146 | SPS068, SPS152, SPS174, SPS206 | SPS032, SPS089, SPS115, SPS136, SPS151, SPS168         |
|    | HPC                    | SPS083   |                                |  |
|    | Security               | SPS083   |                                |  |
|    | Cloud Computing        | SPS003, SPS146                                 |                                | SPS032, SPS136   |

Figura D.15: Artículo JISA — Página 15

**Table 13.** Studies with the Highest SCI Index, Categorized by Topic

| <b>RQ</b> | <b>Topics</b>           | <b>2022</b>  | <b>2023</b>                                    | <b>2024</b>  |
|-----------|-------------------------|--|--|--|
| <b>Q1</b> | Research                | SPS003, SPS044, SPS064, SPS083, SPS092, SPS137, SPS143, SPS145, SPS157, SPS176, SPS187, SPS192 | SPS027, SPS029, SPS126, SPS165, SPS173, SPS223 | SPS028, SPS032, SPS033, SPS054, SPS140, SPS197, SPS215 |
|           | Education               | SPS187   | SPS020, SPS072                                 |  |
| <b>Q2</b> | Software development    | SPS044   |  | SPS028, SPS215   |
|           | Computational thinking  | SPS187   |  |  |
|           | Parallel computing      |  | SPS020, SPS223                                 |  |
|           | Data analysis           | SPS157   |  | SPS028   |
|           | Artificial intelligence |  | SPS027, SPS072                                 |  |
|           | Computer networks       | SPS187   |  |  |
|           | IT infrastructure       | SPS003, SPS083, SPS092, SPS137, SPS143, SPS145, SPS176, SPS187                                 | SPS020, SPS027, SPS029, SPS126, SPS173, SPS223 | SPS032, SPS033, SPS054, SPS140, SPS197, SPS215         |
|           | HPC                     | SPS083   | SPS027   |  |
|           | Security                | SPS064, SPS083, SPS092, SPS157, SPS192   | SPS126, SPS165                                 |  |
|           | Cloud computing         | SPS003, SPS137, SPS143   | SPS029, SPS126, SPS173                         | SPS032, SPS033, SPS197                                 |

Figura D.16: Artículo JISA — Página 16

**Table 14.** Studies with the Highest IRRQ Index, Classified by Topic

| RQ | Topics                  | 2022   | 2023   | 2024   |
|----|-------------------------|--|--|--|
| Q1 | Research                | SPS002, SPS003, SPS007, SPS039, SPS044, SPS053, SPS059, SPS064, SPS070, SPS071, SPS073, SPS080, SPS083, SPS092, SPS137, SPS143, SPS145, SPS146, SPS155, SPS157, SPS176, SPS177, SPS187, SPS192 | SPS027, SPS029, SPS055, SPS066, SPS067, SPS068, SPS081, SPS093, SPS094, SPS117, SPS126, SPS134, SPS153, SPS165, SPS167, SPS173, SPS174, SPS183, SPS195, SPS205, SPS209, SPS221, SPS223, SPS226 | SPS005, SPS008, SPS010, SPS019, SPS021, SPS028, SPS030, SPS032, SPS033, SPS036, SPS045, SPS048, SPS054, SPS061, SPS082, SPS106, SPS107, SPS113, SPS129, SPS136, SPS140, SPS151, SPS168, SPS172, SPS178, SPS184, SPS197, SPS198, SPS214, SPS215, SPS216, SPS219 |
|    | Education               | SPS038, SPS058, SPS101, SPS146, SPS187, SPS204   | SPS020, SPS072, SPS116, SPS120, SPS152, SPS206, SPS207, SPS218   | SPS089, SPS096, SPS115, SPS151, SPS163, SPS198, SPS199   |
|    | Outreach                | SPS002, SPS031, SPS037   | SPS078, SPS112   | SPS010, SPS063, SPS114   |
| Q2 | Software development    | SPS002, SPS037, SPS038, SPS044, SPS053, SPS058, SPS101   | SPS078, SPS120, SPS183, SPS195   | SPS008, SPS010, SPS028, SPS096, SPS172, SPS215   |
|    | Computational thinking  | SPS187   | SPS116   | SPS115, SPS198   |
|    | Parallel computing      |  | SPS020, SPS134, SPS223   |  |
|    | Data analysis           | SPS037, SPS071, SPS157   | SPS183, SPS209   | SPS005, SPS028, SPS045, SPS061, SPS082, SPS129   |
|    | Artificial Intelligence | SPS073   | SPS209   | SPS082   |
|    | Computer networks       | SPS187   | SPS094   | SPS010, SPS019, SPS048, SPS106, SPS113, SPS198, SPS216, SPS219   |
|    | IT infrastructure       | SPS003, SPS007, SPS031, SPS037, SPS038, SPS039, SPS070, SPS073, SPS083, SPS092, SPS137, SPS143, SPS145, SPS146, SPS155, SPS176, SPS177, SPS187, SPS204   | SPS020, SPS027, SPS029, SPS055, SPS066, SPS067, SPS068, SPS078, SPS081, SPS094, SPS112, SPS117, SPS126, SPS134, SPS152, SPS167, SPS173, SPS174, SPS183, SPS205, SPS206, SPS207, SPS218, SPS223 | SPS019, SPS021, SPS030, SPS032, SPS033, SPS036, SPS048, SPS054, SPS082, SPS089, SPS096, SPS106, SPS107, SPS115, SPS129, SPS136, SPS140, SPS151, SPS163, SPS168, SPS172, SPS178, SPS184, SPS197, SPS198, SPS199, SPS214, SPS215, SPS216, SPS219                 |
|    | HPC                     | SPS083   | SPS027, SPS134   | SPS008, SPS114, SPS129, SPS178   |
|    | Security                | SPS064, SPS070, SPS083, SPS092, SPS155, SPS157, SPS192   | SPS081, SPS093, SPS094, SPS126, SPS153, SPS165, SPS183, SPS221, SPS226   | SPS082, SPS129, SPS214, SPS219   |
|    | Cloud computing         | SPS002, SPS003, SPS031, SPS070, SPS071, SPS080, SPS137, SPS143, SPS146, SPS177   | SPS029, SPS055, SPS126, SPS173   | SPS019, SPS030, SPS032, SPS033, SPS045, SPS136, SPS163, SPS197, SPS214, SPS216   |

Figura D.17: Artículo JISA — Página 17

**Table 15.** Classification of SPS studies by technology of VBC and academic dimension

| Topics             | Education  | Research  | Outreach   |
|--------------------|--|---|--|
| CRI-O              |  | SPS068, SPS083  |  |
| Containerd         |  | SPS066, SPS068, SPS083,<br>SPS223   |  |
| Docker             | SPS020, SPS038, SPS042,<br>SPS058, SPS072, SPS089,<br>SPS096, SPS101, SPS115,<br>SPS116, SPS120, SPS124,<br>SPS152, SPS187, SPS198,<br>SPS199, SPS204, SPS206,<br>SPS207, SPS218 | SPS002, SPS004, SPS005,<br>SPS007, SPS008, SPS011,<br>SPS017, SPS021, SPS030,<br>SPS039, SPS040, SPS041,<br>SPS043, SPS044, SPS045,<br>SPS046, SPS048, SPS049,<br>SPS051, SPS053, SPS054,<br>SPS055, SPS059, SPS060,<br>SPS061, SPS065, SPS066,<br>SPS071, SPS074, SPS079,<br>SPS080, SPS081, SPS083,<br>SPS093, SPS097, SPS099,<br>SPS100, SPS102, SPS103,<br>SPS104, SPS105, SPS106,<br>SPS107, SPS119, SPS122,<br>SPS124, SPS126, SPS129,<br>SPS133, SPS153, SPS155,<br>SPS172, SPS173, SPS174,<br>SPS176, SPS177, SPS180,<br>SPS182, SPS187, SPS188,<br>SPS191, SPS192, SPS197,<br>SPS198, SPS205, SPS209,<br>SPS216, SPS219, SPS220,<br>SPS221, SPS225, SPS226 | SPS002, SPS037, SPS063,<br>SPS078, SPS099, SPS112,<br>SPS114, SPS220 |
| Firecracker        |  | SPS107, SPS205  |  |
| Google gVisor      |  | SPS107, SPS184, SPS205  |  |
| Hyper-V containers |  | SPS068  |  |
| Kata Containers    |  | SPS184, SPS205, SPS224  |  |
| LXC                |  | SPS066, SPS068, SPS083,<br>SPS157   |  |
| LXD                |  | SPS068, SPS083  |  |
| OpenVZ             |  | SPS083  |  |
| Podman             |  | SPS007, SPS046, SPS060,<br>SPS068, SPS083, SPS129,<br>SPS174  |  |
| Rkt                |  | SPS068, SPS083  |  |

Figura D.18: Artículo JISA — Página 18

| Topics      | Education | Research               | Outreach |
|-------------|-----------|------------------------|----------|
| Singularity |           | SPS041, SPS060, SPS068 |          |
| Udocker     |           | SPS027, SPS068         |          |

**Table 16.** Classification of SPS studies by IT domain and academic dimension

| Topics               | Education                                      | Research   | Outreach                       |
|----------------------|--|--|--------------------------------|
| Data analysis        |  | SPS001, SPS005, SPS028, SPS045, SPS061, SPS071, SPS082, SPS129, SPS157, SPS183, SPS209   | SPS037                         |
| Blockchain           |  |  | SPS063                         |
| Cloud computing      | SPS146, SPS163                                 | SPS002, SPS003, SPS012, SPS015, SPS018, SPS019, SPS025, SPS026, SPS029, SPS030, SPS032, SPS033, SPS043, SPS045, SPS055, SPS056, SPS069, SPS070, SPS071, SPS079, SPS080, SPS084, SPS085, SPS087, SPS091, SPS099, SPS109, SPS111, SPS126, SPS136, SPS137, SPS143, SPS146, SPS149, SPS173, SPS177, SPS179, SPS185, SPS193, SPS194, SPS197, SPS202, SPS210, SPS213, SPS214, SPS216, SPS217, SPS222 | SPS002, SPS031, SPS099, SPS213 |
| Parallel computing   | SPS020   | SPS017, SPS134, SPS223   |                                |
| Software development | SPS038, SPS042, SPS058, SPS096, SPS101, SPS120 | SPS002, SPS008, SPS010, SPS015, SPS022, SPS028, SPS043, SPS044, SPS053, SPS086, SPS098, SPS100, SPS118, SPS133, SPS172, SPS183, SPS195, SPS215, SPS224   | SPS002, SPS010, SPS037, SPS078 |
| HPC                  |  | SPS008, SPS014, SPS017, SPS018, SPS027, SPS041, SPS062, SPS083, SPS090, SPS098, SPS121, SPS129, SPS134, SPS178, SPS194, SPS200   | SPS114                         |

Figura D.19: Artículo JISA — Página 19

| Topics                  | Educación  | Research   | Outreach   |
|-------------------------|--|--|--|
| Artificial intelligence | SPS072   | SPS011, SPS023, SPS027, SPS030, SPS040, SPS051, SPS053, SPS059, SPS073, SPS077, SPS080, SPS082, SPS095, SPS142, SPS148, SPS149, SPS154, SPS161, SPS169, SPS170, SPS177, SPS183, SPS209   | SPS037, SPS078, SPS181   |
| Computational thinking  | SPS042, SPS115, SPS116, SPS187, SPS198   | SPS187, SPS198   |  |
| Computer networks       | SPS139, SPS187, SPS198   | SPS010, SPS019, SPS046, SPS048, SPS094, SPS103, SPS105, SPS106, SPS110, SPS113, SPS132, SPS159, SPS164, SPS187, SPS198, SPS216, SPS219   | SPS010   |
| Security                |  | SPS010, SPS019, SPS046, SPS048, SPS094, SPS103, SPS105, SPS106, SPS110, SPS113, SPS132, SPS159, SPS164, SPS187, SPS198, SPS216, SPS219   |  |
| IT infrastructure       | SPS020, SPS038, SPS075, SPS089, SPS096, SPS115, SPS124, SPS146, SPS151, SPS152, SPS163, SPS187, SPS198, SPS199, SPS204, SPS206, SPS207, SPS218 | SPS003, SPS004, SPS007, SPS009, SPS011, SPS012, SPS014, SPS017, SPS018, SPS019, SPS021, SPS023, SPS024, SPS025, SPS026, SPS027, SPS029, SPS030, SPS032, SPS033, SPS034, SPS036, SPS039, SPS046, SPS047, SPS048, SPS049, SPS051, SPS052, SPS054, SPS055, SPS056, SPS057, SPS060, SPS062, SPS066, SPS067, SPS068, SPS069, SPS070, SPS073, SPS074, SPS075, SPS076, SPS077, SPS079, SPS081, SPS082, SPS083, SPS084, SPS085, SPS087, SPS088, SPS090, SPS091, SPS092, SPS094, SPS095, SPS099, SPS100, SPS102, SPS103, SPS104, SPS105, SPS106, SPS107, SPS109, SPS110, SPS111, SPS117, SPS119, SPS121, SPS122, SPS123, SPS124, SPS125, SPS126, SPS129, SPS130, SPS131, SPS132, SPS134, SPS135, SPS136, SPS137, SPS140, SPS143, SPS144, SPS145, SPS146, SPS148, SPS149, SPS150 | SPS031, SPS037, SPS078, SPS099, SPS112, SPS181, SPS208, SPS211, SPS213, SPS220 |

Figura D.20: Artículo JISA — Página 20

| Topics | Educación | Research   | Outreach |
|--------|-----------|--|----------|
|        |           | SPS151, SPS154, SPS155,<br>SPS156, SPS159, SPS160,<br>SPS164, SPS167, SPS168,<br>SPS169, SPS170, SPS171,<br>SPS172, SPS173, SPS174,<br>SPS175, SPS176, SPS177,<br>SPS178, SPS179, SPS180,<br>SPS182, SPS183, SPS184,<br>SPS185, SPS186, SPS187,<br>SPS188, SPS189, SPS190,<br>SPS196, SPS197, SPS198,<br>SPS200, SPS201, SPS205,<br>SPS208, SPS210, SPS212,<br>SPS213, SPS214, SPS215,<br>SPS216, SPS217, SPS219,<br>SPS220, SPS222, SPS223,<br>SPS224, SPS225 |          |

Figura D.21: Artículo JISA — Página 21

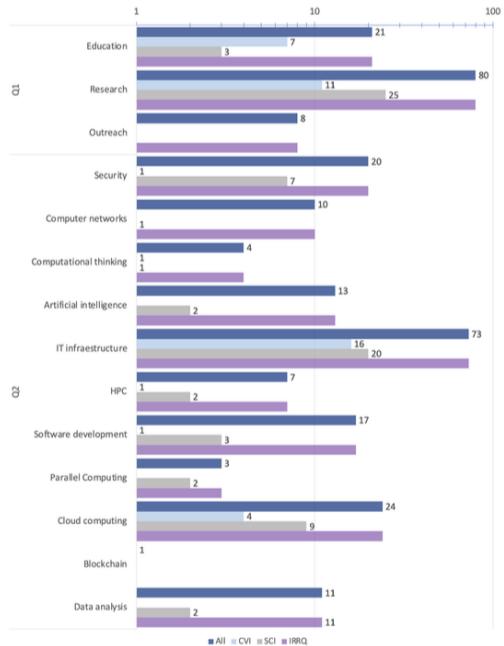
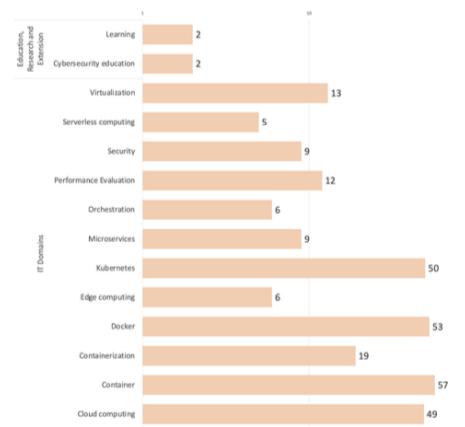


Figure 12. SPS by indices, topics, and research questions



#### 4.6.2 Word Cloud Visualization

Another result obtained from the 226 SPS is the word cloud from the systematic mapping. This type of chart identifies the terms and concepts that collectively appear most frequently across the set of studies. Figure 14 shows the word cloud generated using an online tool. This tool generated the word cloud with the keywords from the SPS that had a frequency greater than 1.



Figure 14. Word Cloud

Among the most frequent words are: Docker, Container, Kubernetes, Cloud Computing, representing **61.6%** of the total keywords. At a second level, the words Containerization, Container Orchestration, virtualization, and Microservices appear, representing **13.08%**. Finally, the third level is composed of the keywords: Performance evaluation, Edge computing, Machine learning, and Security, representing **9.09%**.

#### 4.6.3 Reproducibility of the review method

With the purpose of fostering the reproducibility of the review method, two verification mechanisms are provided that allow reviewers and readers to transparently access the information used in this work, built using the SMS-Builder tool Candela-Uribe et al. [2020]:

- 1) A public access link to the SMS-Builder instance that contains all the data from the systematic review process: <https://sms-vbc.iti.grid.uniquindio.edu.co/sms.xhtml>. The access credentials are “invitado” for both the username and the password.
- 2) A publicly accessible Docker image that integrates all the required documentation to build a container with the process data: <https://hub.docker.com/r/anubis1001/tg-vbc-sms-builder>.

## 5 Threats to Validity

Some of the main limitations of this study are related to the following aspects: 1) Bias in the study selection process, 2) Errors during the classification of studies, 3) Inaccuracy in the data extraction process, and 4) Errors in the application of the search protocol.

### 5.1 Bias in Study Selection

Bias in study selection was mitigated through seven measures. First, the steps for constructing an SMS were strictly followed as suggested in Runeson and Höst [2009] and Kitchenham et al. [2010], including the use of the GQM

and PICOC models. Second, five widely recognized electronic databases were used. Third, synonyms for the main search terms were included to ensure broad coverage, considering that this study incorporates research from different countries. Fourth, search strings were iteratively constructed using pilot searches, which allowed adjustments to maximize the number and quality of studies. Fifth, a hybrid search strategy combining database searches with the snowballing method was employed, increasing the number of relevant studies in the SMS. Sixth, alerts were created to identify primary studies using tools such as Endnote, Mendeley, and Google Scholar. Seventh, studies were quantified using three criteria: *a)* content validity evaluation (CVI), *b)* quality assessment based on citation counts (SCI), and *c)* assessment of the relationship of studies with the research questions (IRRQ). Therefore, studies not included in this SMS are considered to have a low impact on the results. The CVI and IRRQ indices present some limitations due to the subjectivity inherent in each evaluator's judgment. To mitigate this subjectivity, collaborative work was conducted among an odd number of evaluators (more than one).

## 5.2 Errors in Study Classification

Studies were classified according to the topics defined during the planning stage. These topics are closely related to the research questions and correspond to: *a)* VBC, *b)* IT domains, *c)* Education, *d)* Research, and *e)* Extension. Some SPS were classified under multiple topics due to their intrinsic thematic coverage. Finally, comparisons between studies and topics were carried out through peer review. Similar to the study selection process, collaborative work among reviewers, with an odd number greater than one, was conducted to reduce classification bias.

## 5.3 Inaccuracy in Data Extraction

For data extraction, the SMS-Builder software Candelaria-Uribe et al. [2020] was primarily used, facilitating the deductive extraction of data from the SPS according to the planning stage. In addition, peer review was conducted to minimize potential biases or errors in information extraction, as recommended in Kitchenham et al. [2010].

## 5.4 Errors in the Application of the Search Protocol

The search protocol was implemented with peer review to reduce possible errors in execution. The first evaluator followed the research protocol while a second reviewer inspected the work. To avoid manual data processing, SMS-Builder software Candelaria-Uribe et al. [2020] was used, thereby reducing the likelihood of errors during the application of the search protocol.

## 6 Taxonomic structure

The interest in identifying and classifying studies related to CBV technologies arises from the considerable volume of re-

search in this area. Each article may be associated with one or more domains within IT domains, and likewise, it may be linked to one or more domains within the academic dimension. This has led to the proposal of a concise taxonomic structure.

Through this taxonomy, a contribution is made to the documentary organization of these topics (see 15). The use of the taxonomy could facilitate decision-making regarding CBV.

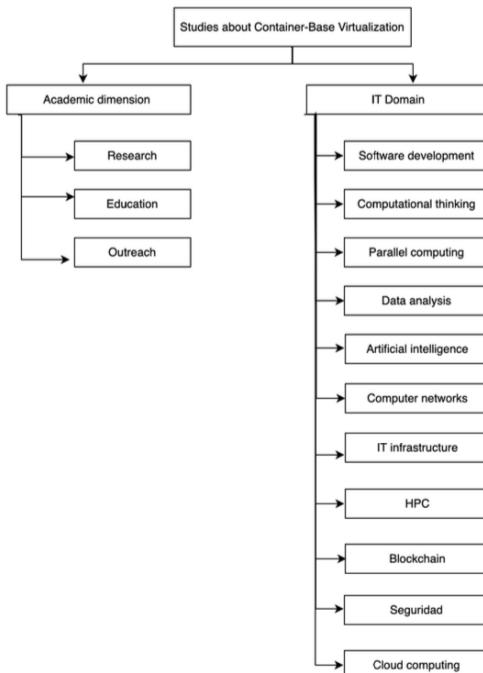


Figure 15. Taxonomic structure

## 7 Conclusion

This study presents a systematic mapping of the literature (SMS) on container-based virtualization technologies, mainly related to education, research, and outreach; additionally, IT domains that employ these technologies are also considered. The search period spans from 2022 to 2024.

The SMS identified 226 SPS that combined automated strategies to query academic databases and manual searches to identify studies based on citations and related references. Within the SMS, a classification scheme was defined according to specific topics established during the planning phase. This scheme provides a mapping of information into tables and statistical graphs, which help describe the data and its relationship to the research questions.

The systematic mapping revealed an increasing proliferation of studies related to container-based virtualization technologies, including across different areas and applications. This proliferation of studies could be counterproductive for

certain stakeholders when implementing architectures with these technologies. Such a situation may lead to literature saturation and hinder development, mainly due to the overwhelming volume of available information.

Therefore, upon completing the SMS, a taxonomic scheme was proposed based on the classification developed in this work. The purpose of this scheme is to facilitate the structuring of the body of knowledge in this area. Such structuring may contribute to decision-making, process adoption, or the implementation of technological tools with a focus on container-based virtualization.

Beyond the results obtained in this SMS, the studies were analyzed by exploring underlying information and trends. In doing so, a growing adoption of lightweight virtualization in the implementation of solutions was identified, with particular emphasis on cloud computing and orchestrators such as Kubernetes. This leadership is reinforced by the need of organizations to provide redundancy, reliability, and scalability in their applications and services.

As for future work, we aim to continue comparing some of the relevant technological tools for implementing test environments, analyzing their behavior in different scenarios.

## References

- Sherhan Upahm Abas, Fecir Duran, and Adem Tekerek. A raspberry pi based blockchain application on iot security. *Expert Systems with Applications*, 229:120486, 2023.
- Marco Abbadini, Michele Beretta, Dario Facchinetti, Gi-anluca Oldani, Matthew Rossi, and Stefano Paraboschi. Lightweight cloud application sandboxing. In *2023 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, pages 139–146. IEEE, 2023.
- Sameh Abdulah, Jorge Ejarque, Omar Marzouk, Hatem Ltaief, Ying Sun, Marc G Genton, Rosa M Badia, and David E Keyes. Portability and scalability evaluation of large-scale statistical modeling and prediction software through hpc-ready containers. *Future Generation Computer Systems*, 161:248–258, 2024.
- Shreyas Agrawal and Dhawan Singh. Study containerization technologies like docker and kubernetes and their role in modern cloud deployments. In *2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, pages 1–5. IEEE, 2024.
- Vishnu Ajith, Tom Cyriac, Chetan Chavda, Anum Tanveer Kiyani, Vijay Chennareddy, and Kamran Ali. Analyzing docker vulnerabilities through static and dynamic methods and enhancing iot security with aws iot core, cloudwatch, and guardduty. *IoT*, 5(3):592–607, 2024.
- Iltır Taha Aktolga, Elif Sena Kuru, Yigit Sever, and Pelin An-gin. Ai-driven container security approaches for 5g and beyond: A survey. *arXiv preprint arXiv:2302.13865*, 2023.
- Yousuf Al-Obaidi, Ioannis Sorokos, and Andreas Schmidt. Safetykube: Towards orchestration at the edge for critical production systems. 2023.
- Muhammad Juan Al Qausar, Haryono Soeparno, Ford Lum-ban Gaol, and Yulyani Arifin. Software metrics for container-based applications: Systematic literature review. In *2023 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, pages 125–130. IEEE, 2023.
- Ahmad Alamoush and Holger Eichelberger. Open source container orchestration for industry 4.0—requirements and systematic feature analysis. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, 26(5):527–550, 2024.
- Maram Aldiabat, Qussai M Yaseen, and Qusai Abu Ein. An efficient random forest classifier for detecting malicious docker images in docker hub repository. *IEEE Access*, 2024.
- Abdullah Alelyani, Amitava Datta, and Ghulam Mubashar Hassan. Dascheduler: Dependency-aware scheduling algorithm for containerized dependent jobs. *Journal of Grid Computing*, 21(3):46, 2023.
- Abdulrazzaq Qasem Ali, Abu Bakar Md. Sultan, Abdul Azim Abd Ghani, and Hazura Zulzalil. A systematic mapping study on the customization solutions of software as a service applications. *IEEE Access*, 7:88196–88217, 2019.
- Rayhan Gusty Alif and Lulu Chaerani Munggaran. Implementation of gitops in containerized infrastructure. *Rabit: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab*, 9(1):154–161, 2024.
- Enas Almanasreh, Rebekah Moles, and Timothy F Chen. Evaluation of methods used for estimating content validity. *Research in social and administrative pharmacy*, 15(2):214–221, 2019.
- Mohamed Almoudane. A comprehensive study on virtualization techniques and their role in cloud computing, 05 2025.
- Guillermo Chinarro Álvarez, César Alejandro Achig Ramírez, Javier Andión, Juan C Dueñas, et al. Toward an integrated and supported machine learning process. In *2023 7th International Young Engineers Forum (YEF-ECE)*, pages 37–42. IEEE, 2023.
- Tahir Alyas, Nadia Tabassum, Muhammad Waseem Iqbal, Abdullah S Alshahrani, Ahmed Alghamdi, and Syed Khurram Shahzad. Resource based automatic calibration system (rbacs) using kubernetes framework. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 35(1), 2023.
- Vassileios Amoiridis, Ulf Behrens, Andrea Bocci, James Branson, Philipp Brummer, Eric Cano, Sergio Cittolin, Joao Da Silva Almeida Da Quintanilha, Georgiana-Lavinia Darlea, Christian Deldicque, et al. Towards a container-based architecture for cms data acquisition. In *EPJ Web of Conferences*, volume 295, page 02031. EDP Sciences, 2024.
- VM Antonova, MA Egorov, VP Blinov, EE Malikova, and AY Malikov. Studying the principles of infocommunication network virtualisation using the docker platform. In *2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*, pages 1–5. IEEE, 2024.
- Fitra Arifiansyah et al. Utilization of virtual reality for docker learning. In *2023 IEEE International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*, pages 244–249. IEEE, 2023.
- Muhammad Fikri Ashari, Adhitya Bhawiyuga, and Achmad

Figura D.24: Artículo JISA — Página 24

- Basuki. The development of hands-on lab platform using container-based virtualization technology. In *Proceedings of the 8th International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology*, pages 304–310, 2023.
- Dariusz R Augustyn, Łukasz Wycislik, and Mateusz Sojka. Tuning a kubernetes horizontal pod autoscaler for meeting performance and load demands in cloud deployments. *Applied Sciences*, 14(2):646, 2024.
- Lynn Htet Aung, Soe Thandar Aung, Nobuo Funabiki, Htoo Htoo Sandi Kyaw, and Wen-Chung Kao. An implementation of web-based answer platform in the flutter programming learning assistant system using docker compose. *Electronics*, 13(24):4878, 2024.
- Hideaki Azuma, Shinsuke Matsumoto, Yasutaka Kamei, and Shinji Kusumoto. An empirical study on self-admitted technical debt in dockerfiles. *Empirical Software Engineering*, 27(2):49, 2022.
- Ryan Bannon. *Leveraging machine learning to reduce cold start latency of containers in serverless computing*. PhD thesis, Dublin, National College of Ireland, 2022.
- Alexander Barbie, Wilhelm Hasselbring, and Malte Hansen. Enabling automated integration testing of smart farming applications via digital twin prototypes. In *2023 IEEE Smart World Congress (SWC)*, pages 1–8. IEEE, 2023.
- Luciano Baresi, Giovanni Quattrocihi, and Nicholas Rasi. A qualitative and quantitative analysis of container engines. *Journal of Systems and Software*, 210:111965, 2024a.
- Luciano Baresi, Giovanni Quattrocihi, and Nicholas Rasi. A qualitative and quantitative analysis of container engines. *Journal of Systems and Software*, 210:111965, 2024b. ISSN 0164-1212. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121224000086>.
- Marco Barletta, Marcello Cinque, Catello Di Martino, Zbigniew T Kalbarczyk, and Ravishankar K Iyer. Mutiny! how does kubernetes fail, and what can we do about it? In *2024 54th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)*, pages 1–14. IEEE, 2024a.
- Marco Barletta, Luigi De Simone, Raffaele Della Corte, and Catello Di Martino. Failover timing analysis in orchestrating container-based critical applications. In *2024 19th European Dependable Computing Conference (EDCC)*, pages 81–84. IEEE, 2024b.
- Nada Barnawi, Razan AlTooq, and Mohammed Almukaynizi. Mitigating container escape threats through effective countermeasures: A survey. In *Proceedings of the 10th World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Sciences (EECSS'24)*, 2024.
- Pedro HSS Barros, Marcelo QA Oliveira, Omid Orang, Felipe AR da Silva, Fabricio J Erazo-Costa, Allana Tavares Bastos, Petrônio CL Silva, Glauber Soares dos Santos, Antonio AF Loureiro, Martín Gómez Ravetti, et al. Flautim: A federated learning platform using k8s and flower. In *Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web (Web-Media)*, pages 87–90. SBC, 2024.
- Paolo Bellavista, Simon Dahdal, Luca Foschini, Davide Tazzioli, Mauro Tortonesi, and Riccardo Venanzi. Kubernetes enhanced stateful service migration for ml-driven applications in industry 4.0 scenarios. In *2024 IEEE Annual Congress on Artificial Intelligence of Things (AIoT)*, pages 25–31. IEEE, 2024.
- Ouafa Bentaleb, Adam SZ Belloum, Abderrazak Sebaa, and Aouaouche El-Maouhab. Containerization technologies: Taxonomies, applications and challenges. *The Journal of Supercomputing*, 78(1):1144–1181, 2022a.
- Ouafa Bentaleb, Adam S.Z. Belloum, Abderrazak Sebaa, and Aouaouche El-Maouhab. Containerization technologies: taxonomies, applications and challenges. *Journal of Supercomputing*, 78(1):1144–1181, 2022b. ISSN 15730484. URL <https://doi.org/10.1007/s11227-021-03914-1>.
- Ouafa Bentaleb, Abderrazak Sebaa, S Kalli, and Adam SZ Belloum. Deployment of a programming framework based on microservices and containers with application to the astrophysical domain. *Astronomy and Computing*, 41:100655, 2022c.
- Matteo Benzi, Giovanni Lagorio, and Marina Ribaudo. Automatic challenge generation for hands-on cybersecurity training. In *2022 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW)*, pages 496–503. IEEE, 2022.
- Tobias Betz, Long Wen, Fengjunjie Pan, Gemb Kaljavesi, Alexander Zuepke, Andrea Bastoni, Marco Caccamo, Alois Knoll, and Johannes Betz. A containerized microservice architecture for a ros 2 autonomous driving software: An end-to-end latency evaluation. In *2024 IEEE 30th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA)*, pages 57–66. IEEE, 2024.
- Md Olid Hasan Bhuiyan, Souvik Das, Shafayat H Majumder, Suryadipta Majumdar, and Md Shohrab Hossain. On detecting malicious code injection by monitoring multi-level container activities. In *CLOSER*, pages 15–26, 2024.
- David Fernández Blanco, Frédéric Le Mouél, Trista Lin, and Amir Rekik. Can software containerisation fit the car on-board systems? In *2023 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, pages 123–130. IEEE, 2023.
- Robert Botez, Cărălin-Marian Petruți, Iustin-Alexandru Ivaniciu, and Virgil Dobrota. Kubernetes-based load balancer as a service for private cloud infrastructures. In *2022 14th International Conference on Communications (COMM)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- Vincent Bracke, Gillis Werrebrouck, José Santos, Tim Wauters, Filip De Turck, and Bruno Volckaert. Online dynamic container rescheduling for improved application service time. *Journal of Network and Systems Management*, 31(4):80, 2023.
- Vincent Bracke, José Santos, Tim Wauters, Filip De Turck, and Bruno Volckaert. A multiobjective metaheuristic-based container consolidation model for cloud application performance improvement. *Journal of Network and Systems Management*, 32(3):61, 2024.
- Marc Burchart and Joerg M Haake. Supporting collaborative writing tasks in large-scale distance education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17:1051–1068,

Figura D.25: Artículo JISA — Página 25

- 2024.
- C.A. Candela-Uribe, L.E. Sepúlveda-Rodríguez, J.C. Chavarro-Porras, J.A. Sanabria-Ordoñez, J.L. Garrido, C. Rodríguez-Domínguez, and G. Guerrero-Contreras. SMS-Builder Project. <https://github.com/grid-uq/sms-builder>, 2020. Accessed: 2025-08-11.
- Christian A. Candela-Uribe, Luis E. Sepúlveda-Rodríguez, Julio C. Chavarro-Porras, John A. Sanabria-Ordoñez, José Luis Garrido, Carlos Rodríguez-Domínguez, and Gabriel Guerrero-Contreras. SMS-Builder: An adaptive software tool for building systematic mapping studies. *SoftwareX*, 17:100935, 2022. ISSN 23527110. URL <https://doi.org/10.1016/j.softx.2021.100935>.
- Ali İhsan Candemir and Nilgün İncereis. Comparative analysis of transaction performance in different virtualization environments. *Acta Infologica*, 8(2):176–187, 2024.
- Carmen Carrión. Kubernetes scheduling: Taxonomy, ongoing issues and challenges. *ACM Computing Surveys*, 55(7):1–37, 2022a.
- Carmen Carrión. Kubernetes as a standard container orchestrator-a bibliometric analysis. *Journal of Grid Computing*, 20(4):42, 2022b.
- Sushant Chamoli and Varsha Mittal. Docker networking: A security review. In *2023 7th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, pages 624–629. IEEE, 2023.
- Pravar Chaurasia, Shubha Brata Nath, Sourav Kanti Addya, and Soumya K Ghosh. Automating the selection of container orchestrators for service deployment. In *2022 14th International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS)*, pages 739–743. IEEE, 2022.
- Chen Chen, Wei Shen, and Honghai Liu. Construction of cloud computing password application system based on docker technology. In *2022 International Conference on Artificial Intelligence of Things and Crowdsensing (AIoTCs)*, pages 175–179. IEEE, 2022.
- Kai Chen, Yufei Zhao, Jing Guo, Zhimin Gu, Longxi Han, and Keyi Tang. A container escape detection method based on a dependency graph. *Electronics*, 13(23):4773, 2024.
- Dongmin Choi, Hyunmin Seo, Kwanwoo Kim, Myoungsung You, Seungwon Shin, and Jinwoo Kim. Uncovering threats in container systems: A study on misconfigured container components in the wild. *IEEE Access*, 2024.
- Kihan Choi, Hyungseok Seo, Hyuck Han, Minsoo Ryu, and Sooyong Kang. Credscache: Making overlays scalable for containerized services. *Future Generation Computer Systems*, 147:44–58, 2023a.
- Young-Don Choi, Binata Roy, Jared Nguyen, Raza Ahmad, Iman Maghami, Ayman Nassar, Zhiyu Li, Anthony M Castrovilli, Tanu Malik, Shaowen Wang, et al. Comparing containerization-based approaches for reproducible computational modeling of environmental systems. *Environmental Modelling & Software*, 167:105760, 2023b.
- Mateo Clement. Role of cloud-native technologies in agile software development. 01 2025.
- Vedran Dakić, Mario Kovač, and Jurica Slovinac. Evolving high-performance computing data centers with kubernetes, performance analysis, and dynamic workload placement based on machine learning scheduling. *Electronics*, 13(13):2651, 2024.
- Assis T de Oliveira Filho, Eduardo Freitas, Pedro RX do Carmo, Eduardo Souto, Judith Kelner, and Djamel FH Sadok. Analysis of sr-iov in docker containers using rtt measurements. *Computer Communications*, 228:107961, 2024.
- Qiqing Deng, Xinrui Tan, Jing Yang, Chao Zheng, Liming Wang, and Zhen Xu. A secure container placement strategy using deep reinforcement learning in cloud. In *2022 IEEE 25th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, pages 1299–1304. IEEE, 2022.
- Tanja Dimova, Igor Kalendar, Daniel Denkovski, Danijela Efnusheva, and Marija Kalendar. An innovative approach of api automation testing implemented on cloud environments using container management services. 2024.
- Debopriya Roy Dipta, Thore Tiemann, Berk Gulmezoglu, Eduard Marin, and Thomas Eisenbarth. Dynamic frequency-based fingerprinting attacks against modern sandbox environments. In *2024 IEEE 9th European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)*, pages 327–344. IEEE, 2024.
- Felix Dobslaw, Kristian Angelin, Lena-Maria Öberg, and Awais Ahmad. The gap between higher education and the software industry—a case study on technology differences. In *Proceedings of the 5th European Conference on Software Engineering Education*, pages 11–21, 2023.
- Javad Dogani, Farshad Khunjush, and Mehdi Seydali. K-agreed: A container autoscaling technique for cloud-based web applications in kubernetes using attention-based gru encoder-decoder. *Journal of Grid Computing*, 20(4):40, 2022.
- Javad Dogani, Reza Namvar, and Farshad Khunjush. Auto-scaling techniques in container-based cloud and edge/fog computing: Taxonomy and survey. *Computer Communications*, 209:120–150, 2023.
- Wenliang Du, Honghao Zeng, and Kyungrok Won. Seed emulator: An internet emulator for research and education. In *Proceedings of the 21st ACM workshop on hot topics in networks*, pages 101–107, 2022.
- Anuj Dubey, Charu Priya Singh, and Deepak Nadig. Leveraging large language models for intent-based generation of cloud-native configurations. In *2024 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, pages 1–6. IEEE, 2024.
- Hossein Ebrahimpour, Mehrdad Ashtiani, Fatemeh Bakhshi, and Ghazaleh Bakhtiariazad. A heuristic-based package-aware function scheduling approach for creating a trade-off between cold start time and cost in faas computing environments. *The Journal of Supercomputing*, 79(11):12142–12190, 2023.
- Asbat El Khairi, Marco Caselli, Christian Knierim, Andreas Peter, and Andrea Continella. Contextualizing system calls in containers for anomaly-based intrusion detection. In *Proceedings of the 2022 on Cloud Computing Security Workshop*, pages 9–21, 2022.
- Kalvin Eng, Abram Hindle, and Eleni Stroulia. Patterns of multi-container composition for service orchestration with

Figura D.26: Artículo JISA — Página 26

- docker compose. *Empirical Software Engineering*, 29(3): 65, 2024.
- Joaquín Entralgo, Manuel García, Javier García, José María López, and José Luis Díaz. Joint autoscaling of containers and virtual machines for cost optimization in container clusters. *Journal of Grid Computing*, 22(1):17, 2024.
- Ivan Eroshkin, Lukas Vojtech, and Marek Neruda. Improving quality of 5g/6g/xg network through reliability estimation in kubernetes. In *European Wireless 2024; 29th European Wireless Conference*, pages 77–84. VDE, 2024.
- M Ersted Rasmussen, C Dueholm Vestergaard, J Folsted Kallehauge, J Ren, M Haislund Guldberg, O Nørrevang, et al. Raddeploy: A framework for integrating in-house developed software and artificial intelligence models seamlessly into radiotherapy workflows. *phys imaging radiat oncol 2024*; 31, 2024.
- Felipe Bedinotto Fava, Luiz Felipe Laviola Leite, Luís Fernando Alves Da Silva, Pedro Ramires Da Silva Amalfi Costa, Angelo Gaspar Diniz Nogueira, Amanda Fagundes Gobus Lopes, Claudio Schepke, Diego Luis Kreutz, and Rodrigo Brändao Mansilha. Assessing the performance of docker in docker containers for microservice-based architectures. In *2024 32nd Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP)*, pages 137–142. IEEE, 2024.
- Kourtnee Fernalld, TJ OConnor, Sneha Sudhakaran, and Nasheen Nur. Lightweight symphony: Towards reducing computer science student anxiety with standardized docker environments. In *Proceedings of the 24th Annual Conference on Information Technology Education*, pages 15–21, 2023.
- Tim Fischer, Denis Hirn, and Gökhan Kul. A reproducible tutorial on reproducibility in database systems research. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 17(12):4221–4224, 2024.
- Jose Flora and Nuno Antunes. Evaluating intrusion detection for microservice applications: Benchmark, dataset, and case studies. *Journal of Systems and Software*, 216: 112142, 2024.
- Anderson Frasão, Tiago Heinrich, Vinicius Fulber-Garcia, Newton C Will, Rafael R Obelheiro, and Carlos A Maziero. I see syscalls by the seashore: An anomaly-based ids for containers leveraging sysdig data. In *2024 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 1–6. IEEE, 2024.
- Yuqi Fu, Naseem Machlovi, Ying Mao, Jiayin Wang, Long Cheng, and Qingzhi Liu. Performance evaluation of resource management schemes for cloud native platforms with computing containers. In *2022 IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC)*, pages 414–415. IEEE, 2022.
- Philipp Gackstatter, Pantelis A Frangoudis, and Schahram Dustdar. Pushing serverless to the edge with webassembly runtimes. In *2022 22nd IEEE International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGrid)*, pages 140–149. IEEE, 2022.
- Stefano Galantino, Fulvio Risso, Andrea Cazzaniga, Fabrizio Garrone, Roberta Terruggia, and Riccardo Lazzari. An edge-based architecture for phasor measurements in smart grids. In *2022 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- Eric Gamess and Mausam Parajuli. Image-processing workloads and ddos attack resilience: Evaluating docker and podman containers on raspberry pi and odroid. In *Proceedings of the 2024 ACM Southeast Conference*, pages 138–147, 2024.
- Avinash Ganne. Cloud data security methods: Kubernetes vs docker swarm. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology*, 4(11):1–6, 2022.
- Pengxiang Gao, Rui Wan, Chen Wang, and Yunchang Cheng. Container load prediction algorithm based on arima model and bp neural network. In *2022 IEEE 6th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, pages 334–337. IEEE, 2022.
- J Geetha, DS Jayalakshmi, E Naresh, and N Sreenivasa. Lightweight cloud-based solution for digital education and assessment. *Science & Technology Libraries*, 43(3):274–286, 2024.
- Jipu Geng, Xiaoyan Zheng, Xiaohan Lai, Lei Zhao, and Yibai Xu. Construction and implementation of electric power deep learning computing service platform. In *2023 4th International Conference on Computer Engineering and Intelligent Control (ICCEIC)*, pages 492–495. IEEE, 2023.
- Taha Gharaibeh, Steven Seiden, Mohamed Abouelsaoud, Elias Bou-Harb, and Ibrahim Baggili. Don't, stop, drop, pause: Forensics of container checkpoints (conpoint). In *Proceedings of the 19th International Conference on Availability, Reliability and Security*, pages 1–11, 2024.
- Mohsen Ghorbani and Mostafa Ghobaei-Arani. A survey on the cold start latency approaches in serverless computing: an optimization-based perspective. *Computing*, 106(11): 3755–3809, 2024.
- Jose González-Abad, Alvaro Lopez Garcia, and Valentín Y Kozlov. A container-based workflow for distributed training of deep learning algorithms in hpc clusters. *Cluster Computing*, 26(5):2815–2834, 2023.
- Leo A Goodman. Snowball sampling. *The annals of mathematical statistics*, pages 148–170, 1961.
- Yue Gu, Xin Tan, Yuan Zhang, Siyan Gao, and Min Yang. Epscan: Automated detection of excessive rbac permissions in kubernetes applications. In *2025 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, pages 3199–3217. IEEE, 2025.
- Chakshu Gupta, Thijss Van Ede, and Andrea Continella. Honeykube: Designing and deploying a microservices-based web honeypot. In *2023 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW)*, pages 1–11. IEEE, 2023.
- Siqi Han, Wanting Li, En Zhang, Jilin Shi, Wei Wang, and Xuesong Lu. Mladder: An online training system for machine learning and data science education. In *Proceedings of the 31st ACM International Conference on Information & Knowledge Management*, pages 4862–4866, 2022.
- Yu Hao, Xu Zhang, and Dongbin Wang. Cped: a container escape detection system based on cni plugin. In *2024 IEEE 23rd International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, pages 242–253. IEEE, 2024.
- Md Sadun Haq, Ali Şaman Tosun, and Turgay Korkmaz. Se-

Figura D.27: Artículo JISA — Página 27

- curity analysis of docker containers for arm architecture. In *2022 IEEE/ACM 7th Symposium on Edge Computing (SEC)*, pages 224–236. IEEE, 2022.
- Md Sadun Haq, Ali Şaman Tosun, and Turgay Korkmaz. Lucid: A framework for reducing false positives and inconsistencies among container scanning tools. *IEEE Access*, 2025.
- S Haresh et al. Virtualization using docker container for reproducible desktop environment. In *2023 Intelligent Computing and Control for Engineering and Business Systems (ICCEBS)*, pages 1–4. IEEE, 2023.
- Arooj Hassan, Sabeen Hussain Bhatti, Sobia Shuaat, and Yujong Hwang. To adopt or not to adopt? the determinants of cloud computing adoption in information technology sector. *Decision Analytics Journal*, 5:100138, 2022. ISSN 2772-6622. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772662222000698>.
- Lasal Sandeepa Hettiarachchi, Senura Vihan Jayadeva, Rusiru Abhisheak Vikum Bandara, Dilmi Palliyaguruge, Udara Srimath S Samarutunge Arachchilage, and Dharshana Kasthurirathna. Artificial intelligence-based centralized resource management application for distributed systems. In *2022 13th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- Pedro Horchulhack, Eduardo K Viegas, Altair O Santin, Felipe V Ramos, and Pietro Tedeschi. Detection of quality of service degradation on multi-tenant containerized services. *Journal of Network and Computer Applications*, 224:103839, 2024.
- Rosen Hristev, Magdalena Veselinova, and Kristiyan Kolev. System architecture for automated backup and recovery of disk volumes in containers.
- Husain Husain, Khairan Marzuki, Lalu Zazuli Azhar Maredi, et al. Analysis and implementation of comparison between podman and docker in container management. *International Journal of Electronics and Communications Systems*, 3(2):57–67, 2023.
- Stoney Jackson and Karl R Wurst. Teaching with vs code dev-containers: Conference workshop. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 37(8):81–82, 2022.
- Samireh Jalali and Claes Wohlin. Systematic literature studies: database searches vs. backward snowballing. In *Proceedings of the ACM-IEEE international symposium on Empirical software engineering and measurement*, pages 29–38, 2012.
- Hung-Chin Jang and Shih-Yu Luo. Enhancing node fault tolerance through high-availability clusters in kubernetes. In *2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Communications, Internet of Things and Big Data (ICEIB)*, pages 30–35. IEEE, 2023.
- Jueun Jeon, Sihyun Park, Byeonghui Jeong, and Young-Sik Jeong. Efficient container scheduling with hybrid deep learning model for improved service reliability in cloud computing. *IEEE Access*, 12:65166–65177, 2024.
- Byeonghui Jeong, Jueun Jeon, and Young-Sik Jeong. Proactive resource autoscaling scheme based on scinet for high-performance cloud computing. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 11(4):3497–3509, 2023.
- Bjarne Johansson, Mats Rågberger, Thomas Nolte, and Alessandro V Papadopoulos. Kubernetes orchestration of high availability distributed control systems. In *2022 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pages 1–8. IEEE, 2022.
- Rodi Jolak, Thomas Rosenstatter, Mazen Mohamad, Kim Strandberg, Behrooz Sangcholie, Nasser Nowdehi, and Riccardo Scandariato. Conserve: A framework for the selection of techniques for monitoring containers security. *Journal of Systems and Software*, 186:111158, 2022.
- Nidhi Joraviya, Bhavesh N Gohil, and Uday Pratap Rao. Ab-hids: An anomaly-based host intrusion detection system using frequency of n-gram system call features and ensemble learning for containerized environment. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 36(23):e8249, 2024a.
- Nidhi Joraviya, Bhavesh N Gohil, and Uday Pratap Rao. Di-hids: deep learning-based host intrusion detection system using system calls-to-image for containerized cloud environment: N. joraviya et al. *The Journal of Supercomputing*, 80(9):12218–12246, 2024b.
- Suyash Joshi, Basit Hasan, and R Brindha. Optimal declarative orchestration of full lifecycle of machine learning models for cloud native. In *2024 3rd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC)*, pages 578–582. IEEE, 2024.
- Shahidullah Kaiser, Md Sadun Haq, Ali Şaman Tosun, and Turgay Korkmaz. Container technologies for arm architecture: A comprehensive survey of the state-of-the-art. *IEEE Access*, 10:84853–84881, 2022a.
- Shahidullah Kaiser, Md Sadun Haq, Ali Saman Tosun, and Turgay Korkmaz. Container Technologies for ARM Architecture: A Comprehensive Survey of the State-of-the-Art. *IEEE Access*, 10:84853–84881, 2022b. ISSN 21693536. .
- Shahidullah Kaiser, Ali şaman Tosun, and Turgay Korkmaz. Benchmarking container technologies on arm-based edge devices. *IEEE access*, 11:107331–107347, 2023a.
- Shahidullah Kaiser, Ali Saman Tosun, and Turgay Korkmaz. Benchmarking Container Technologies on ARM-Based Edge Devices. *IEEE Access*, 11:107331–107347, jan 2023b. ISSN 2169-3536. . URL <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3270333>.
- Shahidullah Kaiser, Ali Saman Tosun, and Turgay Korkmaz. Exploring the viability of unikernels for arm-powered edge computing. *arXiv preprint arXiv:2412.03030*, 2024.
- Kacper Kamieniarz and Wojciech Mazurczyk. A comparative study on the security of kubernetes deployments. In *2024 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, pages 0718–0723. IEEE, 2024.
- Srinidhi Kanagalachalam, Khikmatullo Tulkinbekov, and Deok-Hwan Kim. Blosm: Blockchain-based service migration for connected cars in embedded edge environment. *Electronics*, 11(3):341, 2022.
- Amirmohammad Karamzadeh and Alireza Shameli-Sendi. Reducing cold start delay in serverless computing using lightweight virtual machines. *Journal of Network and Computer Applications*, 232:104030, 2024.
- Gobinda Karmakar and Harwant Singh Arri. Mathematical approaches to securing kubernetes: Analyzing log data

Figura D.28: Artículo JISA — Página 28

- volume in a complex landscape.
- Madhavi Karumudi et al. Efficient workload portability and optimized resource utilization using containerization in a multi-cloud environment. In *2024 5th International Conference on Data Intelligence and Cognitive Informatics (ICDICI)*, pages 823–828. IEEE, 2024.
- Tanvir Kaur. Containers in multi-cloud environments: Benefits, challenges, and best practices. 2024.
- Rafael Keller Tesser and Edson Borin. Containers in hpc: a survey. *The Journal of Supercomputing*, 79(5):5759–5827, 2023.
- Byoung Soo Kim, Sang Hyeop Lee, Ye Rim Lee, Yong Hyun Park, and Jongpil Jeong. Design and implementation of cloud docker application architecture based on machine learning in container management for smart manufacturing. *Applied Sciences*, 12(13):6737, 2022.
- Taeyoung Kim, Seonhye Park, and Hyoungshick Kim. Why johnny can't use secure docker images: Investigating the usability challenges in using docker image vulnerability scanners through heuristic evaluation. In *Proceedings of the 26th International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses*, pages 669–685, 2023.
- Barbara Kitchenham, Rialette Pretorius, David Budgen, O. Pearl Brereton, Mark Turner, Mahmood Niazi, and Stephen Linkman. Systematic literature reviews in software engineering-A tertiary study. *Information and Software Technology*, 52(8):792–805, 2010. ISSN 09505849.
- W. M. C. J. T. Kithulwatta, K. P. N. Jayasena, Banage T. G. S. Kumara, and R. M. K. Tharanga Rathnayaka. Integration with docker container technologies for distributed and microservices applications: A state-of-the-art review. *International Journal of Systems and Service-Oriented Engineering*, 12(1), 2022a. URL <https://doi.org/10.4018/IJSSOE.297136>.
- WMCJT Kithulwatta, KPN Jayasena, BTGS Kumara, and RMKT Rathnayaka. Performance evaluation of docker-based apache and nginx web server. In *2022 3rd International Conference for Emerging Technology (INCET)*, pages 1–6. IEEE, 2022b.
- Vojdan Kjorveziroski and Sonja Filiposka. Webassembly orchestration in the context of serverless computing. *Journal of Network and Systems Management*, 31(3):62, 2023a.
- Vojdan Kjorveziroski and Sonja Filiposka. Webassembly as an enabler for next generation serverless computing. *Journal of Grid Computing*, 21(3):34, 2023b.
- Joanna Kosifiska, Grzegorz Brotoń, and Maciej Tobiasz. Knowledge representation of the state of a cloud-native application. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, 26(1):21–32, 2024.
- Jozef Kostolny, Veronika Karcolova, Monika Vaclavkova, and Linda Blahova. Enhancing learning outcomes with interactive courses. In *2023 21st International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, pages 324–329. IEEE, 2023.
- Igor V Kotenko, Maxim V Melnik, and Georgii T Abramenko. Anomaly detection in container systems: Using histograms of normal processes and an autoencoder. In *2024 IEEE 25th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM)*, pages 1930–1934. IEEE, 2024.
- Zhanibek Kozhirbayev and Richard O. Sinnott. A performance comparison of container-based technologies for the cloud. *Future Generation Computer Systems*, 68:175–182, 2017. ISSN 0167-739X. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X16303041>.
- Animesh Kuity and Sateesh K Peddoju. Investigating performance metrics for container-based hpc environments using x86 and openpower systems. *Journal of Cloud Computing*, 12(1):178, 2023.
- Bablu Kumar, Anshul Verma, and Pradeepika Verma. Optimizing resource allocation using proactive scaling with predictive models and custom resources. *Computers and Electrical Engineering*, 118:109419, 2024.
- Mandeep Kumar and Gagandeep Kaur. An empirical study of containerized mpi and gui application on hpc in the cloud. In *2022 2nd International Conference on Innovative Sustainable Computational Technologies (CISCT)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- Pankaj Kunekar, Nidhi Bhavsar, Kriti Das, and Sachin Bhavsar. Use of docker containerization and load balancer to scale a flask application. In *2024 4th International Conference on Soft Computing for Security Applications (ICSCSA)*, pages 534–541, 2024.
- Arya Putra Kurniawan, Muhammad Nasry Ashar, Fajrul Hidayat, Salsabila Salsabila, Pramudya Tiandana Wisnu Gautama, Ary Mazharuddin Shiddiqi, and Hudan Studiawan. Performance evaluation for deploying dockerized web application on aws, gcp, and azure. In *2023 IEEE International Conference on Control, Electronics and Computer Technology (ICCECT)*, pages 346–350. IEEE, 2023.
- Soonhong Kwon, Wooyoung Son, and Jong-Hyouk Lee. Vdirs: Vulnerable docker image response system. In *Proceedings of the 2023 International Conference on Intelligent Computing and Its Emerging Applications*, pages 78–83, 2023.
- Hoo-Ki Lee, Sung-Hwa Han, and Daesung Lee. Kernel-based container file access control architecture to protect important application information. *Electronics*, 12(1):52, 2022.
- Si Woo Lee, Yeong Gwang Choi, and Jae Wook Jeon. Enhancing autonomous driving systems through ros2 and aws cloud: V2i interaction and hpc data processing. In *2024 IEEE 33rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pages 1–6. IEEE, 2024.
- Wonjun Lee, Yung Ryn Choe, and Raiat Subhra Ghosh. Recurrent neural network and convolutional neural network for detection of denial of service attack in microservices. In *2023 International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, pages 1451–1456. IEEE, 2023.
- Bin Li, Yuzhuo Zhan, and Shenghan Ren. A fast cold-start solution: container space reuse based on resource isolation. *Electronics*, 12(11):2515, 2023a.
- Guoqing Li, Keichi Takahashi, Kohei Ichikawa, Hajimu Iida, Chawanat Nakasan, Pattara Leelaprute, Pree Thiengburanathum, and Passakorn Phannachitta. The convergence

Figura D.29: Artículo JISA — Página 29

- of container and traditional virtualization: Strengths and limitations. *SN Computer Science*, 4(4):387, 2023b.
- Mingyang Li, Hongchao Hu, and Wenyan Liu. A secure container placement algorithm based on microservice invocation criticality. In *2024 IEEE 2nd International Conference on Control, Electronics and Computer Technology (ICCECT)*, pages 234–240. IEEE, 2024a.
- Zhexiong Li, Deze Zeng, and Ranzhao Chen. Webassembly or container? joint optimization of microservice consolidation and deployment towards cost efficient edge-end consortium. In *2024 IEEE/ACM 32nd International Symposium on Quality of Service (IWQoS)*, pages 1–10. IEEE, 2024b.
- Vasiliki Liagkou, George Fragiadakis, Evangelia Filippoupolou, Christos Michalakelis, Thomas Kamalakis, and Mara Nikolaidou. A pricing model for container-as-a-service, based on hedonic indices. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 115:102441, 2022.
- Tie Ma, Long Luo, Hongfang Yu, Xi Chen, Jingzhao Xie, Chongxi Ma, Yunhan Xie, Gang Sun, Tianxi Wei, Li Chen, et al. Klonet: an {Easy-to-Use} and scalable platform for computer networks education. In *21st USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 24)*, pages 2025–2046, 2024.
- Taous Madi and Paulo Esteves-Verissimo. A fault and intrusion tolerance framework for containerized environments: A specification-based error detection approach. In *2022 International Workshop on Secure and Reliable Microservices and Containers (SRMC)*, pages 1–8. IEEE, 2022.
- Akalanka Mailewa, Susan Mengel, Lisa Gittner, and Hafiz Khan. Mechanisms and techniques to enhance the security of big data analytic framework with mongodb and linux containers. *Array*, 15:100236, 2022.
- David J Malan. Containerizing cs50: Standardizing students' programming environments. In *Proceedings of the 2024 on Innovation and Technology in Computer Science Education V. I*, pages 534–540. 2024.
- Ruchika Malhotra, Anjali Bansal, and Marouane Kessentini. Vulnerability analysis of docker hub official images and verified images. In *2023 IEEE International Conference on Service-Oriented System Engineering (SOSE)*, pages 150–155. IEEE, 2023.
- Ruchika Malhotra, Anjali Bansal, and Marouane Kessentini. A systematic literature review on maintenance of software containers. *ACM Computing Surveys*, 56(8):1–38, 2024a.
- Ruchika Malhotra, Anjali Bansal, and Marouane Kessentini. A Systematic Literature Review on Maintenance of Software Containers. *ACM Computing Surveys*, 56(8), 2024b. ISSN 15577341.
- Anshita Malviya and Rajendra Kumar Dwivedi. A comparative analysis of container orchestration tools in cloud computing. In *2022 9th International conference on computing for sustainable global development (INDIACom)*, pages 698–703. IEEE, 2022.
- Ali Mehran and Dogan Ulus. Runtime verification containers for publish/subscribe networks. *arXiv preprint arXiv:2408.06380*, 2024.
- Pedro Melo, Lucas Gama, Jamilson Dantas, David Beserra, and Jean Araujo. Performance evaluation of container management tasks in os-level virtualization platforms. In *2023 IEEE International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*, pages 1–6. IEEE, 2023.
- Alan Mills, Jonathan White, and Phil Legg. Longitudinal risk-based security assessment of docker software container images. *Computers & Security*, 135:103478, 2023.
- Prince Modey, Emmanuel Freeman, Stanley Opoku-Yeboah, and Ebenezer Avulekpor. A hybrid security algorithm in container-based virtualization environments using residue number systems. In *2024 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)*, pages 107–112. IEEE, 2024.
- György Molnár, Cserkó József, and Karl Éva. Evaluation and technological solutions for a dynamic, unified cloud programming development environment: Ease of use and applicable system for uniformized practices and assessments. In *2023 IEEE 21st World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, pages 000237–000240. IEEE, 2023.
- Subrota Kumar Mondal, Xiaohai Wu, and Rui Pan. On rapid application deployment with kubernetes. In *Proceedings of the 2024 4th International Conference on Artificial Intelligence, Automation and Algorithms*, pages 76–80, 2024a.
- Subrota Kumar Mondal, Zhen Zheng, and Yuning Cheng. On the optimization of kubernetes toward the enhancement of cloud computing. *Mathematics*, 12(16):2476, 2024b.
- Zlatan Moric, Vedran Dakic, and Matej Kulic. Implementing a security framework for container orchestration. In *2024 IEEE 11th International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)*, pages 200–206. IEEE, 2024.
- Erica Mourao, Marcos Kalinowski, Leonardo Murta, Emilia Mendes, and Claes Wohlin. Investigating the Use of a Hybrid Search Strategy for Systematic Reviews. *International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, 2017-November:193–198, 2017. ISSN 19493789.
- Walid Moussa, Mona Nashaat, Walaa Saber, and Rawya Rizk. Comprehensive study on machine learning-based container scheduling in cloud. In *International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications*, pages 581–592. Springer, 2022.
- Vasileios Moysiadis, Konstantinos Tsakos, Panagiotis Sari-giannidis, Euripides GM Petrakis, Achilles D Boursianis, and Sotirios K Goudos. A cloud computing web-based application for smart farming based on microservices architecture. In *2022 11th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, pages 1–5. IEEE, 2022.
- Sabelo Justice Mthembu, Ijeoma Noella Ezeji, and Matthew Adigun. Orchestration tools for efficient deployment of iot applications in fog computing: A systematic review. In *International Conference on Artificial Intelligence and its Applications*, pages 146–151, 2023.
- Nina Mujkanovic, Juan J Durillo, Nicolay Hammer, and Tiziano Müller. Survey of adaptive containerization architectures for hpc. In *Proceedings of the SC'23 Workshops of the International Conference on High Performance Com-*

Figura D.30: Artículo JISA — Página 30

- puting, Network, Storage, and Analysis*, pages 165–176, 2023.
- Otoya Nakakaze, István Koren, Florian Brillowski, and Ralf Klammer. Adaptive retrofitting for industrial machines: utilizing webassembly and peer-to-peer connectivity on the edge. *World Wide Web*, 27(1):7, 2024.
- Aakash Nakarmi, Harshil Kesharwani, Tamoshree Mallick, Sushant Jhingran, and Gaurav Raj. A comprehensive study on optimization techniques for microservices deployment. In *2024 Sixth International Conference on Computational Intelligence and Communication Technologies (CCICT)*, pages 133–140. IEEE, 2024.
- Modugula Narasimhulu, Darapureddy Veera Mounika, Puttagunta Varshini, TK Rama Krishna Rao, et al. Investigating the impact of containerization on the deployment process in devops. In *2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)*, pages 679–685. IEEE, 2023.
- Nikolas Naydenov and Stela Ruseva. Cloud Container Orchestration Architectures, Models and Methods: a Systematic Mapping Study. In *2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023*, pages 1–8, mar 2023a. ISBN 9781665475464. .
- Nikolas Naydenov and Stela Ruseva. Cloud container orchestration architectures, models and methods: a systematic mapping study. In *2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, pages 1–8. IEEE, 2023b.
- Alain P Ndigande, Ismail Ari, and Sedat Ozer. Analysis and comparison of dockerized and standalone apache spark configurations for efficient distributed data processing. In *2024 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, pages 1–5. IEEE, 2024.
- Ian G. Needleman. A guide to systematic reviews. *Journal of Clinical Periodontology*, 29(SUPPL. 3):6–9, 2002. ISSN 03036979. .
- Connor Nelson and Yan Shoshitaishvili. Dojo: applied cybersecurity education in the browser. In *Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1*, pages 930–936, 2024.
- Phu H. Nguyen, Max Kramer, Jacques Klein, and Yves Le Traon. An extensive systematic review on the Model-Driven Development of secure systems. *Information and Software Technology*, 68:62–81, 2015. ISSN 09505849. .
- Adam Pankowski and Paweł Powroźnik. Comparison of application container orchestration platforms. *Journal of Computer Sciences Institute*, 29:383–390, 2023.
- Javier Pastor-Galindo, Hông-ÂN Sandlin, Félix Gómez Már-mol, Gérôme Bovet, and Gregorio Martínez Pérez. A big data architecture for early identification and categorization of dark web sites. *Future Generation Computer Systems*, 157:67–81, 2024.
- Manoj Kumar Patra, Anisha Kumari, Bibhudatta Sahoo, and Ashok Kumar Turuk. Docker security: Threat model and best practices to secure a docker container. In *2022 IEEE 2nd International Symposium on Sustainable Energy, Signal Processing and Cyber Security (iSSSC)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- Manoj Kumar Patra, Bibhudatta Sahoo, and Ashok Kumar Turuk. Container as a service in the cloud: An approach to secure hybrid virtualization. In *Recent Trends and Best Practices in Industry 4.0*, pages 59–76. River Publishers, 2023.
- Adrien Pavao, Isabelle Guyon, Anne-Catherine Letournel, Dinh-Tuan Tran, Xavier Baro, Hugo Jair Escalante, Sergio Escalera, Tyler Thomas, and Zhen Xu. Codalab competitions: An open source platform to organize scientific challenges. *Journal of Machine Learning Research*, 24 (198):1–6, 2023.
- Ricardo Pérez, Marco Rivera, Yamisleydi Salgueiro, Carlos R Baier, and Patrick Wheeler. Moving microgrid hierarchical control to an sdn-based kubernetes cluster: A framework for reliable and flexible energy distribution. *Sensors*, 23(7):3395, 2023.
- Mark Petticrew and Helen Roberts. *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. John Wiley & Sons, 2008.
- B Purahong, J Sithiyopasakul, P Sithiyopasakul, A Lasakul, and C Benjangkaprasert. Automated resource management system based upon container orchestration tools comparison. *Journal of Advances in Information Technology*, 14(3), 2023.
- Cheng Qian. An accurate financial aid system for university students built on a cloud platform. In *2022 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKES)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- Pallav Raj, Ravi Shankar Kumar, and Avneesh Kumar. Cloud security. In *2022 4th International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)*, pages 1890–1894. IEEE, 2022.
- Vinay Raj. A framework for migration of microservices based applications to serverless platform with efficient cold start latency. *Authorea Preprints*, 2023.
- V Rajasekar, M Saračević, D Karabačević, D Stanujkić, A Hasić, M Azizović, and S Thirumalai. Security-enhanced qos-aware autoscaling of kubernetes pods using horizontal pod autoscaler (hpa). *Journal of intelligent management decision*, 3(3):175–186, 2024.
- Shunmugapriya Ramanathan, Abhishek Bhattacharya, Koteswararao Kondepudi, and Andrea Fumagalli. Enabling containerized central unit live migration in 5g radio access network: An experimental study. *Journal of Network and Computer Applications*, 221:103767, 2024.
- Shaimaa Fahad Rashid and Rawaa Putros Qasha. Cloud-based big data approach for managing multi-types data of cultural heritage. In *2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- Guillermo Rodriguez, Virginia Yannibelli, Fabio G Rocha, Dawitt Barbara, Igor M Azevedo, and Pablo M Menezes. Understanding and addressing the allocation of microservices into containers: A review. *IETE Journal of Research*, 70(4):3887–3900, 2024.
- Giovanni Rosa, Simone Scalabrino, Gabriele Bavota, and Rocco Oliveto. What quality aspects influence the adoption of docker images? *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 32(6):1–30, 2023.
- Giovanni Rosa, Federico Zappone, Simone Scalabrino, and

Figura D.31: Artículo JISA — Página 31

- Rocco Oliveto. Fixing dockerfile smells: an empirical study. *Empirical Software Engineering*, 29(5):108, 2024.
- Rodrigo Rosmaninho, Duarte Raposo, Pedro Rito, and Susana Sargent. Time constraints on vehicular edge computing: A performance analysis. In *NOMS 2023-2023 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, pages 1–7. IEEE, 2023.
- Swarnabha Roy, Reece Dobson, Jack Campbell, and Stavros Kalafatis. Efficient resource allocation for multi-robot collaboration via traffic-aware pod autoscaling. In *2024 7th Conference on Cloud and Internet of Things (CIoT)*, pages 1–8. IEEE, 2024.
- José Manuel Ruiz Ródenas, Javier Pastor-Galindo, and Félix Gómez Mármo. A general and modular framework for dark web analysis. *Cluster Computing*, 27(4):4687–4703, 2024.
- Per Runeson and Martin Höst. Tutorial: Case studies in software engineering. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 32 LNBIP:441–442, 2009. ISSN 18651348. .
- S Savitha, C Sangana, K Devendran, L Pravin, M Rajkumar, and C Nirmal. Auto scaling infrastructure with monitoring tools using linux server on cloud. In *2023 7th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, pages 45–52. IEEE, 2023.
- Adarsh Saxena, Sudhakar Singh, Shiv Prakash, Nand Lal Yadav, Tiansheng Yang, Raikumar Singh Rathore, and Shreya Singh. Design and implementation of flutter based multi-platform docker controller app. In *2024 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*, pages 1–6. IEEE, 2024.
- Vivek Saxena, Deepika Saxena, and Uday Pratap Singh. Security enhancement using image verification method to secure docker containers. In *Proceedings of the 4th International Conference on Information Management & Machine Intelligence*, pages 1–5, 2022.
- Henri Schmidt, Zeineb Rejiba, Raphael Eidenbenz, and Klaus-Tycho Förster. Transparent fault tolerance for stateful applications in kubernetes with checkpoint/restore. In *2023 42nd International Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS)*, pages 129–139. IEEE, 2023.
- Dmitrii Sedov and Andrei Lazarev. Enhancing it education through docker integration. In *2024 4th International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE)*, pages 252–255. IEEE, 2024.
- Segun-Falade, Osundare, Kedi, Okeleke, Tochukwu Ijomah, P. Abdul-Azeez, and Abdul-Azeez. Assessing the transformative impact of cloud computing on software deployment and management. pages 2062–2082, 08 2024. .
- Luis E. Sepúlveda-Rodríguez, José Luis Garrido, Julio C. Chavarro-Porras, John A. Sanabria-Ordoñez, Christian A. Candela-Uribe, Carlos Rodríguez-Domínguez, and Gabriel Guerrero-Contreras. Study-based Systematic Mapping Analysis of Cloud Technologies for Leveraging IT Resource and Service Management: The Case Study of the Science Gateway Approach. *Journal of Grid Computing*, 19(4):1–28, 2021. ISSN 15729184. .
- Luis E. Sepúlveda-Rodríguez, Julio C. Chavarro-Porras, John A. Sanabria-Ordoñez, Harold E. Castro, and Jeanna Matthews. A Survey of Virtualization Technologies: Towards a New Taxonomic Proposal. *Ingenieria e Investigacion*, 42(3), 2022. ISSN 22488723. . URL <https://openurl-ebsco-com.crai.referencistas.com/contentitem/edsdia:edsdia.ARTO001545825?sid=ebsco:plink:crawler&id=ebsco:edsdia:edsdia.ARTO001545825&crl=c>.
- Santosh Shakya and Priyanka Tripathi. Using light weight container a mesh based dynamic allocation task scheduling algorithm for cloud with iot network. *International Journal of Information Technology*, 16(5):2847–2861, 2024.
- Raju Shrestha and Akash Ray. Streamlining application deployment: A ci/cd pipeline for kubernetes. In *2024 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E)*, pages 253–255. IEEE, 2024.
- Sérgio N Silva, Mateus AS de S Goldbarg, Lucileide MD da Silva, and Marcelo AC Fernandes. Application of fuzzy logic for horizontal scaling in kubernetes environments within the context of edge computing. *Future Internet*, 16 (9):316, 2024.
- M Šimor, L Huraj, and N Búčik. A comparative analysis of high availability for linux container infrastructures. *future internet*, 15 (8), 2023.
- Kamred Udhām Singh, Ankit Kumar, Gaurav Kumar, Teekam Singh, Paras Kothari, and Anisha Sheikh. Increasing productivity in software development through the use of docker technology. In *International Conference on Universal Threats in Expert Applications and Solutions*, pages 157–165. Springer, 2024.
- Maciej Sobieraj and Daniel Kotyński. Docker performance evaluation across operating systems. *Applied Sciences*, 14 (15):6672, 2024.
- Mirco Soderi, Vignesh Kamath, Jeff Morgan, and John G Breslin. Advanced analytics as a service in smart factories. In *2022 IEEE 20th Jubilee World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, pages 000425–000430. IEEE, 2022.
- Somin Song, Sahil Suneja, Michael V Le, and Byungchul Tak. On the value of sequence-based system call filtering for container security. In *2023 IEEE 16th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*, pages 296–307. IEEE, 2023.
- Noah Spahn, Nils Hanke, Thorsten Holz, Christopher Kruegel, and Giovanni Vigna. Container orchestration honeypot: Observing attacks in the wild. In *Proceedings of the 26th International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses*, pages 381–396, 2023.
- Dragan Stojanović, Dušan Jovanović, and Natalija Stojanović. Big medical data analytics using apache spark framework. In *2024 11th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN)*, pages 1–5. IEEE, 2024.
- Vijay Thurimella, Philipp Raith, Rolando P Hong Enriquez, Anderson Andrei Da Silva, Gourav Rattihalli, Ada Gavrilovska, and Dejan Milojicic. Serverless computing for dynamic hpc workflows. In *SC24-W: Workshops of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*, pages 2096–2103. IEEE, 2024.

Figura D.32: Artículo JISA — Página 32

- Salla Timonen, Maha Sroor, Rahul Mohanani, and Tommi Mikkonen. Anomaly detection through container testing: A survey of company practices. In *International Conference on Product-Focused Software Process Improvement*, pages 363–378. Springer, 2023.
- Daniel Ukene, Hayden Wimmer, and Jongyeop Kim. Evaluating the performance of containerized webservers against web servers on virtual machines using bombardment and siege. In *2023 IEEE/ACIS 21st International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA)*, pages 144–152. IEEE, 2023.
- Rohan Vaidya, Atharv Tembhurnikar, Chinmay Mohite, Sumit Puri, Swapneel Kulkarni, and Amar Buchade. Blockchain-powered certificate authentication: Enhancing trust and transparency. In *2024 IEEE International Conference on Blockchain and Distributed Systems Security (ICBDS)*, pages 1–5. IEEE, 2024.
- Kapil Netaji Vhatkar and G.P. Bhole. A comprehensive survey on container resource allocation approaches in cloud computing: State-of-the-art and research challenges. *Web Intelligence*, 19(1):1–22, 2022.
- Konstantinos Voulgaris, Athanasios Kiourtis, Andreas Karabetian, Panagiotis Karamolegkos, Yannis Poulikis, Argyro Mavrogiorgou, and Dimosthenis Kyriazis. A comparison of container systems for machine learning scenarios: Docker and podman. In *2022 2nd international conference on computers and automation (compauto)*, pages 114–118. IEEE, 2022.
- Devi Priya VS, Sibi Chakkavarthy Sethuraman, and Muhammad Khurram Khan. Container security: precaution levels, mitigation strategies, and research perspectives. *Computers & Security*, 135:103490, 2023.
- Chang Wang, Zhiqiong Liu, Jin Liu, Wang Li, and Junxin Chen. Towards a container scheduling policy for alleviating total startup latency in serverless computing platform. In *Third international conference on algorithms, microchips, and network applications (AMNA 2024)*, volume 13171, pages 466–474. SPIE, 2024.
- Kun Wang, Song Wu, Kun Suo, Yijie Liu, Hang Huang, Zhuo Huang, and Hai Jin. Characterizing and optimizing kernel resource isolation for containers. *Future Generation Computer Systems*, 141:218–229, 2023.
- Wenzhuo Wang and Jian Li. A feasibility study on containerization of traditional embedded systems. In *2024 4th International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Communication (EIECC)*, pages 217–221. IEEE, 2024.
- Muhammad Waseem, Aakash Ahmad, Peng Liang, Muhammad Azeem Akbar, Arif Ali Khan, Iftikhar Ahmad, Manu Setälä, and Tommi Mikkonen. Containerization in multi-cloud environment: Roles, strategies, challenges, and solutions for effective implementation. *arXiv preprint*, March 2024. . URL <https://arxiv.org/abs/2403.12980>. Preprint accepted for publication in Journal of Systems and Software (2025). Submitted 1 Mar 2024; last revised 8 Jul 2025 (version v3).
- Muhammad Waseem, Aakash Ahmad, Peng Liang, Muhammad Azeem Akbar, Arif Ali Khan, Iftikhar Ahmad, Manu Setälä, and Tommi Mikkonen. Containerization in multi-cloud environment: roles, strategies, challenges, and solutions for effective implementation. *Journal of Systems and Software*, page 112558, 2025.
- Dibyo Widodo, Prima Kristalina, Moch Zen Samsono Hadi, and Aprilia Dewi Kurniawati. Performance evaluation of docker containers for disaster management dashboard web application. In *2023 International Electronics Symposium (IES)*, pages 551–556. IEEE, 2023.
- Claes Wohlin. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, EASE ’14, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery. ISBN 9781450324762. . URL <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>.
- Ann Yi Wong, Eiyas Getahun Chekole, Martín Ochoa, and Jianying Zhou. On the security of containers: Threat modeling, attack analysis, and mitigation strategies. *Computers & Security*, 128:103140, 2023.
- Gang Wu, Xiaozhen Li, and Chuan Li. A load balancing-based container migration mechanism in the smart grid cloud platform. In *2024 9th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, pages 1100–1104. IEEE, 2024.
- Song Wu, Zhiheng Tao, Hao Fan, Zhuo Huang, Xinmin Zhang, Hai Jin, Chen Yu, and Chun Cao. Container lifecycle-aware scheduling for serverless computing. *Software: Practice and Experience*, 52(2):337–352, 2022.
- Hajie Xi, Song Hu, He Zhang, Shuang Zhang, Jingnong Weng, and Jian Huang. A dynamic load balancing algorithm for stable pushing of docker images in nginx. In *2024 6th International Conference on Machine Learning, Big Data and Business Intelligence (MLBDI)*, pages 239–243. IEEE, 2024.
- Yulai Xie, Minpeng Jin, Zhuping Zou, Gongming Xu, Dan Feng, Wenmao Liu, and Darrell Long. Real-time prediction of docker container resource load based on a hybrid model of arima and triple exponential smoothing. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 10(2):1386–1401, 2020.
- Yijiang Xu, Muxian Zhou, Qing Gao, Shikun Zhang, and Zhonghai Wu. Swat4j: Generating system call allowlist for java container attack surface reduction. In *2024 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)*, pages 929–939. IEEE, 2024.
- FARIDEH YAGHMAEI. Content validity and its estimation. *JOURNAL OF MEDICAL EDUCATION*, 2003.
- Dali Yang and Wenbin Dai. A lightweight container design for microservice-based industrial edge applications. In *2022 IEEE 17th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pages 858–863. IEEE, 2022.
- Nanzi Yang, Wenbo Shen, Jinku Li, Xunqi Liu, Xin Guo, and Jianfeng Ma. Take over the whole cluster: Attacking kubernetes via excessive permissions of third-party applications. In *Proceedings of the 2023 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, pages 3048–3062, 2023.
- Yutian Yang, Wenbo Shen, Xun Xie, Kangjie Lu, Mingsen Wang, Tianyu Zhou, Chenggang Qin, Wang Yu, and Kui

Figura D.33: Artículo JISA — Página 33

- Ren. Making memory account accountable: Analyzing and detecting memory missing-account bugs for container platforms. In *Proceedings of the 38th Annual Computer Security Applications Conference*, pages 869–880, 2022.
- Ellyz Yaory and Ida Bagus Kerthyayana Manuaba. A comparative study of complex query performance on mysql and oracle databases for the oil and gas industry. In *2024 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, pages 1–6. IEEE, 2024.
- A Yarmilko, S Naumenko, et al. Analysis of information security issues in balancing multiple independent containers on a single server. In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems*, pages 450–461, 2023.
- Yuhan Ye, Dong Zhang, and Guo Feng. A patch-based network model for container workload forecasting. In *Proceedings of the 2024 International Conference on Cloud Computing and Big Data*, pages 272–277, 2024.
- Jinyong Yin, Yuechang Zhao, and Honghui Wang. A static task allocation and scheduling algorithm for kubernetes cluster. In *2024 IEEE 7th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICIS-CAE)*, pages 175–179. IEEE, 2024.
- Xiya Yu, Xuetao Zhang, Yuanyuan Shi, Changping Wu, and Xianhe Li. Design and implementation of vsto-based online compilation teaching system for c language. In *Proceedings of the 5th International Conference on Computer Science and Software Engineering*, pages 481–486, 2022.
- Haibin Yuan and Shengchen Liao. A time series-based approach to elastic kubernetes scaling. *Electronics*, 13(2): 285, 2024.
- Sehar Zehra, Hassan J Syed, Fahad Samad, Ummay Faseeha, Hamza Ahmed, and Muhammad K Khan. Securing the shared kernel: Exploring kernel isolation and emerging challenges in modern cloud computing. *IEEE Access*, 2024.
- Qingyang Zeng, Mohammad Kavousi, Yinhong Luo, Ling Jin, and Yan Chen. Full-stack vulnerability analysis of the cloud-native platform. *Computers & Security*, 129: 103173, 2023.
- Jiayin Zhang, Huiqun Yu, Guisheng Fan, and Zengpeng Li. Cold-start aware cloud-native service function chain caching in resource-constrained edge: A reinforcement learning approach. *Computer Communications*, 195:334–345, 2022.
- Qingman Zhang, Ju Ma, Xiufeng Zhang, and Yongjia Liu. Container security assessment and reinforcement technology integrating big data and intelligent algorithms. In *2024 3rd International Conference on Data Analytics, Computing and Artificial Intelligence (ICDACA)*, pages 622–626. IEEE, 2024.
- Tao Zheng, Rui Tang, Xingshu Chen, and Changxiang Shen. Kubefuzzer: Automating restful api vulnerability detection in kubernetes. *Computers, Materials & Continua*, 81 (1), 2024.
- Amelie Chi Zhou, Rongzheng Huang, Zhoubin Ke, Yusen Li, Yi Wang, and Rui Mao. Tackling cold start in serverless computing with multi-level container reuse. In *2024 IEEE international parallel and distributed processing symposium (IPDPS)*, pages 89–99. IEEE, 2024.
- Yu Zhou, Weilin Zhan, Zi Li, Tingting Han, Taolue Chen, and Harald Gall. Drive: Dockerfile rule mining and violation detection. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 33(2):1–23, 2023.
- Marco Zuppelli, Massimo Guarascio, Luca Caviglione, and Angelica Ligouri. No country for leaking containers: Detecting exfiltration of secrets through ai and syscalls. In *Proceedings of the 19th International Conference on Availability, Reliability and Security*, pages 1–8, 2024.

Figura D.34: Artículo JISA — Página 34