

Valencia-Arias, A., Echeverri Gutiérrez, C. A., Acosta Agudelo, L. C., & Echeverri Gutiérrez, M. S. (2024, mayo-agosto). Tendencias investigativas en el uso de Cloud Computing en contenerización entre 2015 y 2023. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (72), 306-344. <https://www.doi.org/10.35575/rvucn.n72a12>

Tendencias investigativas en el uso de *Cloud Computing* en contenerización entre 2015 y 2023

Research Trends in the Use of Cloud Computing in Containerization between 2015 and 2023

Alejandro Valencia-Arias

Doctor en Ingeniería, Industria y Organizaciones
Departamento Ciencias Administrativas, Institución Universitaria ITM
Medellín, Colombia

jhoanyvalencia@itm.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9434-6923>

CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001388809

Camilo Andrés Echeverri Gutiérrez

Candidato a Doctor en Estudios Organizacionales
AM&C Colombia SAS y CEO de Administrative Management Consultants LLC
Medellín, Colombia

presidencia@amyc.com.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0667-0913>

CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001559041

Leidy Catalina Acosta Agudelo

Candidata a Doctora en Estudios Organizacionales
AM&C Colombia SAS
Medellín, Colombia

comercial@amyc.com.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1538-1881>

CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000102690

Mauricio Stiven Echeverri Gutiérrez

Candidato a Doctor en Estudios Organizacionales
AM&C Colombia SAS
Medellín, Colombia

gerencia@amyc.com.co



Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0730-0121>

CvLAC:

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000158221

Recibido: 23 de noviembre de 2023

Evaluado: 29 de enero de 2024

Aprobado: 2 de febrero de 2024

Tipo de artículo: Revisión

Resumen

La creciente relevancia de la contenerización y la computación en la nube destaca la necesidad de investigar áreas emergentes para abordar desafíos cruciales en la gestión de recursos informáticos. El objetivo de este artículo es identificar tendencias investigativas en el uso de Cloud Computing en contenerización entre 2015 y 2023. La metodología planteó un enfoque exploratorio, a partir de un estudio bibliométrico, usando las bases de datos Scopus y Web of Science, por medio de las cuales se obtuvieron 136 documentos académicos, analizados a través de una serie de indicadores bibliométricos de estructura. El estudio reveló resultados significativos para la agenda investigativa, abordando áreas cruciales de contenerización y computación en la nube, como Docker, Kubernetes, Edge Computing y Máquinas Virtuales. Además, destacó líderes en investigación y países influyentes en la producción científica, donde Estados Unidos y Francia se destacan en estos campos. Se observa el surgimiento de temas emergentes, como Evaluación del Rendimiento y Orquestación de Contenedores, señalando áreas de crecimiento en la investigación.

Palabras clave: Cloud computing; Kubernetes; Orquestación de contenedores; Virtualización.

Abstract

The increasing relevance of containerization and cloud computing highlights the need to explore emerging areas to address critical challenges in resource management. This article aims to identify research trends in the use of Cloud Computing in Containerization between 2015 and 2023. The methodology employed an exploratory approach through bibliometric analysis using Scopus and Web of Science databases, resulting in 136 academic documents analyzed with bibliometric structural indicators. The study unveils significant findings for the research agenda, addressing crucial areas in containerization and cloud computing, including Docker, Kubernetes, Edge



Computing, and Virtual Machines. Furthermore, it highlights research leaders and influential countries, with the United States and France standing out in these fields. Emerging topics such as Performance Evaluation and Container Orchestration are observed, signifying areas of research growth.

Keywords: Cloud computing; Kubernetes; Container orchestration; Virtualization.

Introducción

La contenerización, representada por tecnologías como Kubernetes, ha ganado tracción significativa en los últimos años, proporcionando un método para encapsular aplicaciones y sus dependencias en unidades llamadas contenedores, ofreciendo portabilidad y eficiencia operativa. La contenerización se define como un enfoque de virtualización que encapsula aplicaciones y sus dependencias en contenedores ligeros y portátiles, lo que facilita su despliegue y ejecución de manera consistente en diversos entornos informáticos, como la nube y los dispositivos de borde; este enfoque permite una mayor agilidad en el desarrollo y despliegue de software, así como una gestión eficiente de recursos informáticos (Hanafy et al., 2019; Okwuide et al., 2020). En este orden, se ha investigado el desarrollo de un planificador basado en Kubernetes, llamado KEIDS, que se enfoca en el Internet de las cosas industrial, en el ecosistema de bordes y nubes (Kaur et al., 2019); dicho estudio destacó la importancia de la contenerización en este contexto y propuso soluciones innovadoras para la asignación de recursos.

Simultáneamente, la computación en la nube ha redefinido cómo las organizaciones almacenan, procesan y acceden a datos y aplicaciones; este paradigma permite el acceso a recursos informáticos virtualizados a través de internet, ofreciendo escalabilidad, flexibilidad y ahorro de costos; la computación en la nube es la prestación de servicios informáticos a través de internet, permitiendo el acceso flexible a recursos compartidos, como se discute en estudios recientes sobre tecnologías de borde y computación en la nube (Douch et al., 2022; Islam et al., 2021). Una encuesta sobre la virtualización en la computación en la nube, centrada en la transición de hipervisores a contenedores, se proporcionó una visión panorámica de los avances y desafíos sobre este ámbito en constante evolución (Bhardwaj & Krishna, 2021). La academia sugiere que la

digitalización tiene un impacto favorable en las funciones de comercialización, particularmente en la provisión de productos y la administración de información, esto se traduce en la generación de grandes volúmenes de datos, así como en la automatización de tareas comerciales (Valencia-Arias et al., 2023).

La estrecha relación entre la contenerización y la computación en la nube ha llevado a innovaciones significativas en diversos campos, desde la industria hasta la investigación académica. Investigaciones recientes han explorado el potencial de estas tecnologías en contextos especializados, como el industrial de las cosas (IIoT) (Mohammed et al., 2023; Shan et al., 2023) y la gestión eficiente de centros de datos de computación en la nube. De hecho, un estudio presentó una taxonomía y futuras direcciones para la orquestación de contenedores, basada en aprendizaje automático, clasificando las técnicas emergentes y ofreciendo una visión detallada de las oportunidades y desafíos que enfrenta esta área en rápida expansión (Singh et al., 2024; Zhong et al., 2022).

En otro frente, se llevó a cabo una encuesta sobre tecnologías de software para mejorar la eficiencia energética en los centros de datos de computación en la nube; dicha investigación proporcionó una visión integral de las soluciones de software que pueden ayudar a mitigar los desafíos energéticos en este entorno crítico (Katal et al., 2023). Mediante otra encuesta sobre los desafíos actuales en la gestión de recursos energéticamente eficientes en la nube, se destacaron los obstáculos fundamentales y las posibles soluciones para mejorar la eficiencia energética en los recursos de la nube, un tema cada vez más relevante en un mundo preocupado por la sostenibilidad (Hamzaoui et al., 2020; Patra et al., 2023).

La contenerización y la computación en la nube han emergido como tecnologías cruciales que impulsan la innovación y eficiencia en la gestión de recursos informáticos; la primera se ha destacado como una metodología eficiente para encapsular aplicaciones y sus dependencias, permitiendo su ejecución en cualquier entorno compatible. Este enfoque, respaldado por tecnologías como Docker y Kubernetes, ofrece portabilidad y escalabilidad, permitiendo a las organizaciones optimizar el uso de recursos de manera eficaz (Gholipour et al., 2020). La era digital y la inteligencia artificial (IA) se están infiltrando en muchos aspectos de la vida cotidiana, con aplicaciones comunes de Internet, teléfonos inteligentes y computación en la nube (Crompton & Song, 2021).

La computación en la nube y la contenerización son fundamentales para mejorar la eficiencia y la flexibilidad en la gestión de recursos informáticos, como demuestran estudios recientes (Bhardwaj & Rama Krishna, 2022; Juiz et al., 2023). La intersección entre la contenerización y la computación en la nube ha redefinido el panorama tecnológico, ofreciendo un despliegue ágil, escalabilidad eficiente y desarrollo rápido. La encapsulación de aplicaciones en contenedores, respaldada por tecnologías como Docker y Kubernetes, garantiza portabilidad y movilidad, facilitando un despliegue rápido y consistente (Palos-Sanchez et al., 2017). La orquestación dinámica de contenedores en entornos de nube permite una escalabilidad eficaz, adaptando recursos según las demandas del sistema. Esta sinergia agiliza el desarrollo de aplicaciones, permitiendo ciclos más cortos y una implementación veloz de nuevas funcionalidades (Gholipour et al., 2020). En ese sentido, esta convergencia transforma radicalmente la forma en que las organizaciones abordan el desarrollo y despliegue de aplicaciones, proporcionando una ventaja estratégica en términos de eficiencia y adaptabilidad.

En paralelo, la computación en la nube ha transformado fundamentalmente la forma en que las empresas y los investigadores acceden y gestionan recursos informáticos; además, los servicios en la nube proporcionan acceso a una amplia gama de recursos, desde almacenamiento hasta potencia de cálculo, sin la necesidad de inversión en infraestructura física, lo que ha llevado a una revolución en la flexibilidad operativa y la agilidad del desarrollo, permitiendo implementaciones más rápidas y rentables de aplicaciones y servicios (Benomar et al., 2020).

Además, la integración de estas tecnologías ha permitido avances significativos en campos especializados; por ejemplo, en entornos de alto rendimiento, la orquestación de contenedores a través de plataformas como Kubernetes ha optimizado la gestión de recursos en sistemas HPC, facilitando la ejecución eficiente de tareas computacionales intensivas (Zhou et al., 2021). Asimismo, en el contexto de aplicaciones de datos a gran escala, tecnologías como Docker Swarm se han utilizado para equilibrar la carga y descubrir servicios en arquitecturas basadas en microservicios, permitiendo el despliegue ágil y la administración eficiente de aplicaciones (Singh et al., 2023).

En el ámbito económico, la adopción masiva de tecnologías de contenerización, respaldadas por la computación en la nube, ha generado un impacto sustancial en la eficiencia operativa y los costos para las organizaciones. La capacidad de provisionar recursos informáticos

virtualizados a través de internet ha transformado la infraestructura tecnológica, permitiendo a las empresas acceder a servicios sin incurrir en costos significativos de infraestructura física (Benomar et al., 2020). Esta transición hacia la virtualización en la nube ha ofrecido un modelo económico más escalable y flexible, facilitando la implementación de aplicaciones y servicios de manera rápida y rentable (Bhardwaj & Krishna, 2021). Las proyecciones futuras indican que la convergencia de la contenerización y la computación en la nube continuará siendo un motor clave para la innovación, con un aumento esperado en la adopción de prácticas eficientes de gestión de recursos, lo que contribuirá a una mayor optimización de costos para las organizaciones (Gholipour et al., 2020; Zhou et al., 2021). Este enfoque económico basado en la nube no solo ha revolucionado la forma en que se consumen los recursos informáticos, sino que también ha proporcionado un marco propicio para el desarrollo ágil y la implementación rápida de soluciones tecnológicas, posicionando a las empresas en un escenario más competitivo y adaptable a las demandas cambiantes del mercado.

Esta temática ha experimentado un rápido avance en los últimos años, desempeñando un papel crucial en la infraestructura tecnológica actual; sin embargo, a pesar del creciente interés en estas áreas, la literatura científica revela ciertas lagunas en la investigación que aún necesitan ser abordadas; por ejemplo, la exploración de técnicas para analizar grandes conjuntos de datos en entornos nativos de la nube, como se discute en Xu et al. (2022), sigue siendo un tema subdesarrollado. Asimismo, se destaca la importancia de optimizar las decisiones de programación en herramientas de gestión de contenedores utilizando algoritmos genéticos multiobjetivo (Imdoukh et al., 2020); no obstante, los vacíos en la temática pueden incluir una mayor exploración de cómo estas técnicas podrían adaptarse a entornos específicos de la industria, así como investigaciones sobre la interoperabilidad entre diferentes herramientas de gestión de contenedores y su impacto en la eficiencia operativa a largo plazo.

Además, se presentan desafíos específicos como el equilibrio de carga y el descubrimiento de servicios en aplicaciones basadas en microservicios, como se investiga en Singh et al. (2023), quienes plantean interrogantes que requieren una mayor atención; asimismo, la seguridad en los contenedores, especialmente en lo que respecta a la generación de perfiles de seguridad, es otro aspecto que necesita una investigación más profunda, Zhu y Gehrman (2021).

Debido a estas lagunas, se propone una revisión bibliométrica exhaustiva para comprender mejor el estado actual de la investigación en contenerización y *cloud computing*, identificar tendencias emergentes y señalar direcciones futuras para la comunidad científica; para ello, se plantean las siguientes preguntas de investigación que permiten alcanzar el objetivo trazado:

RQ 1: ¿Cuál es la evolución temática derivada de la producción científica sobre contenerización y *cloud computing*?

RQ 2: ¿Cuáles son los principales clústeres temáticos sobre contenerización y *cloud computing*?

RQ 3: ¿Cuáles son las palabras clave crecientes y emergentes en el campo de investigación de contenerización y *cloud computing*?

RQ 4: ¿Cuáles temáticas se posicionan como protagonistas para el diseño de una agenda investigativa sobre contenerización y *cloud computing*?

Este artículo se llevó a cabo en seis secciones: la primera muestra el resumen que describe la investigación; en la segunda sección se presenta la introducción que permite un acercamiento amplio con el trabajo de investigación; en la tercera parte se expone la metodología; la cuarta sección está comprendida por los resultados, donde se presentan los principales hallazgos; la quinta sección corresponde a la discusión, donde se contemplan más a detalle los hallazgos; y, por último, se presentan las conclusiones a las que se llegaron a partir de la investigación.

Metodología

En este estudio se realizó una investigación de tipo exploratorio, a través de un análisis bibliométrico que se basó en los parámetros de la declaración PRISMA-2020, la cual es una guía actualizada para la realización de revisiones sistemáticas. Esta metodología, que ha sido detalladamente explicada por Page et al. (2021), establece directrices estrictas para llevar a cabo la búsqueda, selección y evaluación de la literatura científica. Mediante la utilización de fuentes secundarias de investigación, se llevó a cabo un enfoque minucioso para la identificación, análisis y síntesis de estudios relacionados con la contenerización y la informática en la nube. La adhesión a los principios de PRISMA-2020 garantizó la integridad y la transparencia en la recopilación de

datos, lo que permitió una evaluación exhaustiva de las tendencias y avances recientes en este campo interdisciplinario.

Criterios de elegibilidad

En este enfoque bibliométrico se definieron de manera detallada los criterios para la inclusión y exclusión de registros. En primer lugar, se consideraron aquellos registros que, en sus títulos y palabras clave, contuviera los conceptos clave como containerization, cloud computing, cloud services, ya que estos metadatos son esenciales para garantizar la relevancia en términos de temas. Además, se llevó a cabo una búsqueda amplia que abarcó la combinación de términos relacionados con la contenerización y la informática en la nube, en todas sus formas y variantes, asegurando así la exhaustividad en la identificación de registros pertinentes.

Por otra parte, el proceso de exclusión se ejecutó en tres fases diferentes, con el fin de garantizar la calidad y relevancia de los datos analizados. En la primera fase, se eliminaron registros con errores de indexación, lo que garantizó la precisión en la selección de las fuentes. En la segunda fase, se excluyen documentos a los cuales no fue posible acceder en su totalidad; una restricción que se aplica principalmente a las revisiones sistemáticas de literatura, asegurando que la información completa esté disponible para su análisis. Finalmente, en la tercera fase, se procedió a excluir documentos con indexación incompleta, actas de conferencia y textos que no fueran relevantes, lo que aseguró la coherencia y pertinencia del conjunto de datos que se analizó en este enfoque bibliométrico. Estos criterios de inclusión y exclusión se diseñaron de manera minuciosa para garantizar la calidad y coherencia en la selección de la literatura científica objeto de análisis.

Fuente de información

Se eligieron las bases de datos Scopus y Web of Science como las fuentes principales de información para llevar a cabo el análisis bibliométrico, en tanto estas son dos de las bases de datos más destacadas y abarcadoras en la actualidad. Estas plataformas proporcionan un acceso integral y diverso a la literatura científica en el ámbito mundial, abarcando revistas académicas, conferencias y otros documentos relevantes en el campo de estudio. La elección de utilizar Scopus

y Web of Science se sustenta en investigaciones comparativas, como las llevadas a cabo por Chadegani et al. (2013) y Zhu y Liu (2020), en las que se ha demostrado su amplitud de cobertura, precisión y relevancia en el ámbito académico. Al hacer uso de estas bases de datos, ampliamente reconocidas, se aseguró la obtención de datos confiables y completos para llevar a cabo un análisis bibliométrico riguroso y exhaustivo sobre el tema de contenerización y la informática en la nube.

Estrategia de búsqueda

Se elaboró un método de búsqueda meticuloso en las bases de datos elegidas. Para llevar a cabo esta búsqueda, se crearon dos ecuaciones de búsqueda especializadas que han sido diseñadas para satisfacer los requisitos de inclusión definidos y las particularidades de cada base de datos. Estas ecuaciones se desarrollaron teniendo en cuenta la diversidad de términos y conceptos relacionados con la contenerización y la informática en la nube, y fueron estructuradas de manera precisa para maximizar la recuperación de información relevante. El diseño de estas ecuaciones de búsqueda aseguró la identificación de los estudios pertinentes, garantizando así la integridad y la validez del análisis bibliométrico realizado en este estudio.

Para la base de datos Scopus: (TITLE-ABS-KEY ("containerization") AND TITLE-ABS-KEY ("cloud computing" OR "cloud services"))

Para la base de datos Web of Science: ((TI= ("containerization") AND TI= ("cloud computing" OR "cloud services")) OR (AB= ("containerization") AND AB= ("cloud computing" OR "cloud services")) OR (AK=("containerization") AND AK=("cloud computing" OR "cloud services")))

Gestión de datos

En el transcurso de este estudio bibliométrico, acerca de la contenerización y la informática en la nube, se emplearon aplicaciones especializadas para la gestión y el análisis de los datos recopilados. La información obtenida de las bases de datos seleccionadas se procesó y almacenó utilizando Microsoft Excel®, en la versión de Office 365. Esta aplicación se utilizó con el propósito de estructurar y organizar los datos de forma metódica, lo que facilitó la administración

eficiente de la considerable cantidad de información recabada de las fuentes bibliográficas. Para visualizar y analizar los patrones y las relaciones dentro de los datos bibliométricos, se implementó el software VOSviewer®, versión 1.6.18, desarrollado por Van Eck y Waltman (2010). Este programa permitió la creación de mapas bibliométricos detallados, que identificaron clústeres temáticos y conexiones entre autores y conceptos clave. Además, nuevamente se emplearon Microsoft Excel® y VOSviewer® para generar gráficos claros y comprensibles que representaron los diversos indicadores bibliométricos obtenidos durante la investigación. La combinación de estas herramientas proporcionó una base sólida para llevar a cabo un análisis bibliométrico riguroso y significativo sobre el tema de la contenerización y la informática en la nube.

Proceso de selección

En concordancia con los lineamientos establecidos en la declaración PRISMA 2020, tal como se detalla en el trabajo de Page et al. (2021), resulta fundamental que los métodos utilizados para seleccionar estudios en una revisión bibliométrica sean transparentes. En el presente estudio, se optó por emplear herramientas de automatización dentro de Microsoft Excel® como un recurso interno. Este sistema de clasificación automática fue desarrollado de manera colaborativa por todos los investigadores involucrados en la investigación. Cada investigador utilizó la herramienta de manera individual para aplicar los criterios de inclusión y exclusión, lo que minimizó el riesgo de perder estudios relevantes o de clasificar incorrectamente. La validación interna se llevó a cabo al comparar y concordar los resultados obtenidos de forma individual por cada miembro del equipo. Este enfoque colaborativo garantizó la coherencia y precisión en el proceso de selección, en pleno cumplimiento de las directrices de PRISMA 2020, y redujo al mínimo cualquier posible sesgo o error en la inclusión de estudios en la bibliometría relacionada con la contenerización y la informática en la nube.

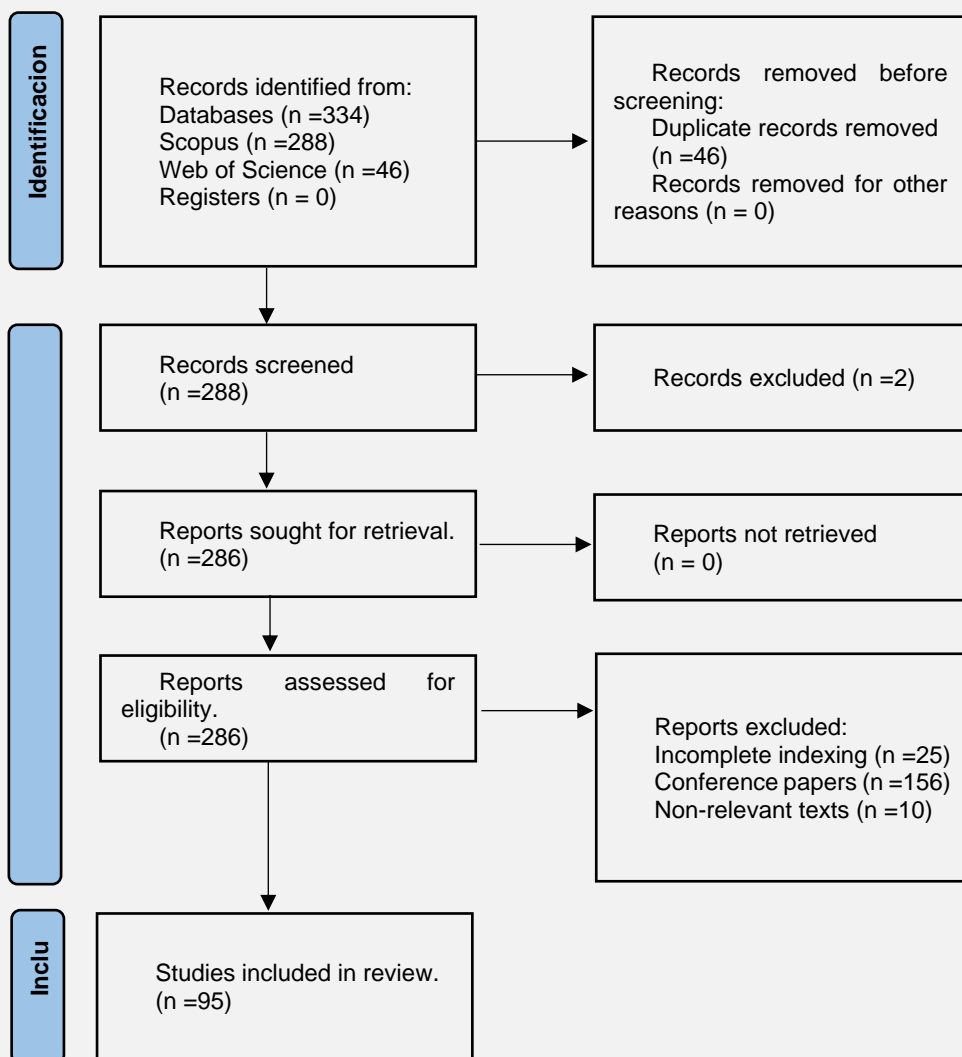
Evaluación del riesgo de sesgo del estudio

La evaluación del riesgo de sesgo se realizó de acuerdo con las directrices. Dado que la recopilación de datos se efectuó de manera colaborativa por todos los autores, la evaluación del

riesgo de sesgo también se llevó a cabo en conjunto. Todos los autores emplearon la misma herramienta automatizada de Microsoft Excel® con este propósito, lo que garantizó la uniformidad y la coherencia en el proceso de evaluación. Esta metodología posibilitó una revisión crítica y sistemática de los estudios incluidos, asegurando la calidad y la integridad de los resultados obtenidos. La evaluación del riesgo de sesgo se realizó de manera exhaustiva y transparente, siguiendo un enfoque colaborativo que fortaleció la validez y la confiabilidad de los hallazgos en la revisión bibliométrica sobre la contenerización y la informática en la nube. A continuación, se tiene la Figura 1, por medio de la cual se relaciona el diagrama de flujo recomendado por la declaración PRISMA-2020.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA. Elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science



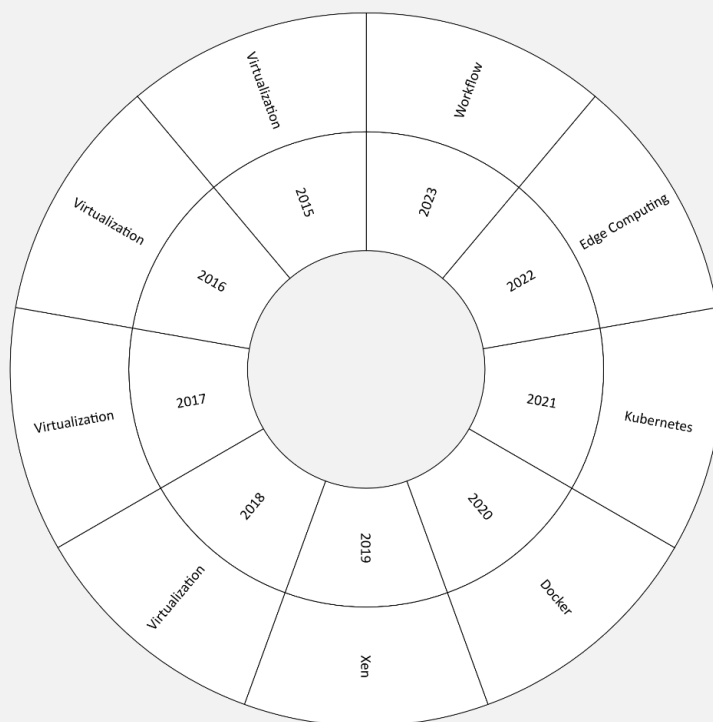
Se realizó una fase inicial de identificación que involucró el uso de estrategias de búsqueda específicas en cada fuente de información elegida. Luego, se llevó a cabo la depuración de registros duplicados con el objetivo de garantizar la integridad de los datos. A continuación, se aplicaron las tres fases de exclusión mencionadas previamente, lo que resultó en la eliminación de registros con indexación incorrecta, documentos que carecían de acceso al texto completo y textos que no cumplían con los criterios preestablecidos de relevancia. Tras este proceso de selección, se logró la inclusión de 95 artículos que cumplían con los requisitos de calidad y pertinencia, conformando así esta revisión bibliométrica sobre el tema de la contenerización y la informática en la nube.

Resultados

La investigación actual, como se muestra en la Figura 2, se centró en examinar la evolución de los temas en la literatura relacionada con la contenerización y *cloud computing* en el período comprendido entre 2015 y 2023. Al analizar las palabras clave más utilizadas en cada año de investigación, se revelaron patrones interesantes en el desarrollo de los temas. En el año inicial de 2015, se destacó la aparición del concepto de “Virtualization”, marcando un punto de referencia en la comprensión de la virtualización en el contexto de la contenerización y *cloud computing*. Con el paso del tiempo, se observó una predominancia de temas emergentes como “Workflow”, “Edge Computing”, “kubernetes” y “Docker”, lo que reflejó las tendencias actuales de investigación. Estos resultados resaltaron la dinámica y la diversidad en los enfoques temáticos a lo largo de los años, proporcionando una visión detallada de la evolución del conocimiento en este campo científico en constante evolución.

Figura 2

Evolución temática

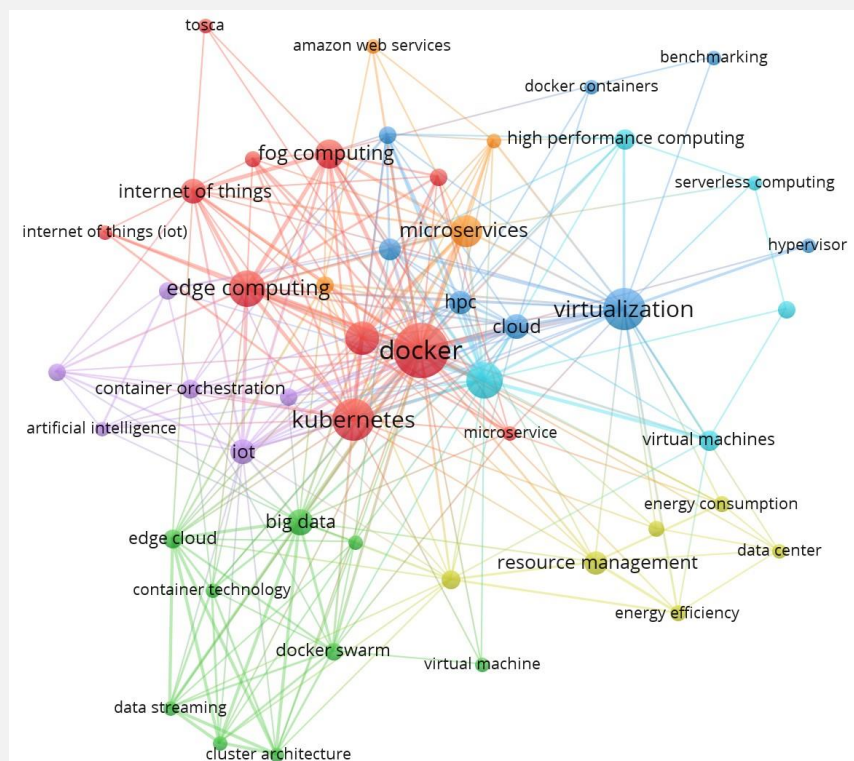


Nota. Elaboración propia a través de Microsoft Excel a partir de Scopus y Web of Science.

El presente estudio bibliométrico muestra la estructura fundamental de la investigación en contenerización y *cloud computing* a través de una red de palabras clave que coocurren, presentada en la Figura 3. Esta red reveló un total de 7 grupos temáticos diferentes. El grupo de color rojo fue el más destacado, englobando términos cruciales como Docker, Kubernetes, Microservice, Edge Computing, Internet Of Things, Fog Computing y Tosca, lo que indicó una concentración significativa de investigaciones en estas áreas interconectadas. Le sigue el grupo de color azul, que incluyó términos como Virtualization, Cloud, Hpc y Hypervisor, señalando una atención específica hacia conceptos fundamentales como la virtualización y la computación en la nube. Además, otros grupos en colores como azul claro, amarillo, morado, naranja y verde reflejaron otras relaciones conceptuales afines, ofreciendo una representación detallada y matizada de las interconexiones temáticas en este campo científico en constante evolución. Estos descubrimientos proporcionaron una visión profunda de los temas centrales y sus relaciones, enriqueciendo la comprensión global de la contenerización y *cloud computing* en la literatura científica.

Figura 3

Red de coocurrencia de palabras clave

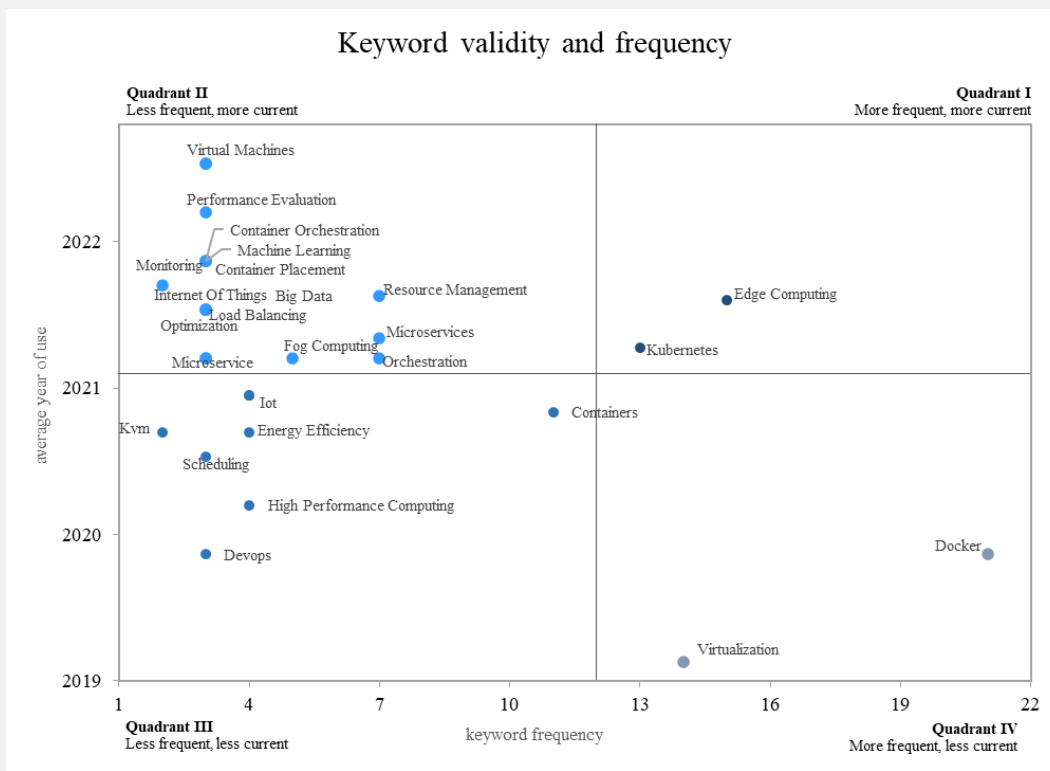


Nota. Elaboración propia a través de VOSviewer a partir de Scopus y Web of Science.

En esta investigación bibliométrica se desarrolló un enfoque innovador al utilizar un plano cartesiano para medir tanto la frecuencia de uso como la actualidad de las palabras clave en el contexto de la contenerización y la informática en la nube, como se ilustra en la Figura 4. Este enfoque permitió identificar cuatro cuadrantes diferentes, cada uno con implicaciones significativas en el ámbito científico. En el cuarto cuadrante se encuentran conceptos como Virtualization y Docker, que, a pesar de ser temas recurrentes en la literatura, están experimentando un declive tanto en frecuencia como en relevancia, lo que indica una disminución en su prominencia en las investigaciones recientes.

Figura 4

Vigencia y frecuencia de las palabras clave



Nota. Elaboración propia a través de Microsoft Excel a partir de Scopus y Web of Science.

Por otro lado, el cuadrante 2 contiene palabras clave poco frecuentes, pero altamente actuales, como Virtual Machines, Performance Evaluation, Container Orchestration, Machine

Learning y Monitoring. Estos conceptos emergentes señalaron áreas de investigación en ascenso que sugieren un creciente interés por parte de la comunidad científica en temas específicos dentro del ámbito de la contenerización y la informática en la nube. Mientras tanto, en el cuadrante 1 se encontraron conceptos consolidados y en aumento, como Edge Computing y Kubernetes, lo que indica su continua y creciente importancia en las investigaciones actuales. Este enfoque detallado proporcionó una perspectiva valiosa sobre las tendencias emergentes y establecidas en este campo, lo que puede ayudar a orientar futuras investigaciones y ofrecer una comprensión más profunda de la evolución dinámica de la contenerización y la informática en la nube en el panorama científico actual.

Discusión

En esta sección, se desglosan detalladamente los hallazgos, permitiendo una comprensión profunda de las tendencias y patrones emergentes en el campo. Además de analizar los resultados, esta sección también aborda las implicaciones prácticas derivadas de los descubrimientos, aclarando cómo los hallazgos pueden aplicarse en contextos reales. Al mismo tiempo, se reconocen las limitaciones inherentes del estudio, proporcionando una visión equilibrada de las capacidades y restricciones de la investigación. Este análisis incluye, también, la identificación de las principales brechas en la investigación, resaltando áreas donde se necesita más exploración y análisis. Finalmente, se esboza la agenda de investigación, proporcionando una hoja de ruta para futuros estudios en este campo dinámico y en constante evolución.

Análisis de la evolución temática sobre contenerización y *cloud computing*

Se halló que en los primeros años de la investigación sobre contenerización y *cloud computing*, el concepto de “Virtualization” desempeñó un papel fundamental al establecer las bases para la comprensión de estos paradigmas tecnológicos emergentes; esta noción, que se centraba en la creación de entornos virtuales a través de la emulación de hardware y sistemas operativos, proporcionó la infraestructura inicial sobre la cual se construyeron los posteriores desarrollos en la temática. Un ejemplo paradigmático de este período es el trabajo de Christoph

Pahl (2015)¹, en el cual se exploró la relación entre la contenerización y la nube como servicio (PaaS), marcando un hito en la comprensión de cómo la virtualización, especialmente a través de tecnologías de contenerización, estaba transformando la forma en que se entregaban y gestionaban los servicios en la nube.

Este enfoque inicial en “Virtualization” no solo estableció los cimientos teóricos para investigaciones posteriores, sino que también abrió el camino para la expansión del conocimiento hacia áreas más avanzadas como “Workflow”, “Edge Computing”, “Kubernetes” y “Docker”; estos desarrollos posteriores se construyeron sobre la base sólida establecida por los primeros estudios sobre “Virtualization”, llevando la investigación en contenerización y *cloud computing* hacia nuevos horizontes innovadores y aplicaciones prácticas.

En el panorama actual de la investigación, los conceptos de “Workflow”, “Edge Computing”, “Kubernetes” y “Docker” se han erigido como pilares fundamentales que han transformado la forma en que se entienden y se aplican estas tecnologías. En el 2023, la atención se ha centrado en “Workflow”, evidenciando la importancia de la automatización y optimización de los procesos en entornos computacionales complejos. Investigaciones como la de Chlasta et al. (2023) presentan avances significativos al permitir simulaciones basadas en contenedores, tanto en entornos locales como en la nube pública, destacando la versatilidad y escalabilidad que ofrece esta tecnología para la ejecución eficiente de flujos de trabajo neurales.

Por otro lado, el 2022 ha sido testigo del auge de “Edge Computing”, que ha redefinido la forma en que se conciben las arquitecturas de computación distribuida; algunos estudios han presentado paradigmas robustos, como RBaaS (Robust Blockchain as a Service), en entornos colaborativos entre la nube y los dispositivos perimetrales, subrayando la necesidad de soluciones tecnológicas que sean resilientes y seguras en el contexto del cómputo en el borde (Cai et al., 2022).

Además, en el 2021, “Kubernetes” ha emergido como un pilar esencial en la administración de contenedores, especialmente en el análisis integrativo de datos multiómicos. Se han explorado las perspectivas del uso de la computación en la nube para la integración eficiente de datos multiómicos, subrayando la relevancia de orquestadores como Kubernetes en la simplificación de tareas complejas de análisis de datos biológicos (Augustyn et al., 2021).

Finalmente, el concepto de “Docker”, en el 2020, ha demostrado su importancia en el ámbito de la forense proactiva en el Internet de las Cosas (IoT); se presentaron arquitecturas innovadoras que combinan tecnologías como Holochain y Docker para preservar los registros de manera privada y consciente de la privacidad en entornos de computación en la nube, ilustrando la necesidad de soluciones avanzadas de contenerización en aplicaciones críticas de seguridad y privacidad (Janjua et al., 2020). Los estudios destacan la relevancia y el impacto significativo que estos conceptos han tenido en la investigación actual sobre contenerización y *cloud computing*, estableciendo así las bases para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en este campo dinámico y en constante evolución.

Análisis de los clústeres temáticos sobre contenerización y cloud computing

En el análisis de la red de coocurrencia de palabras clave, se identificó un clúster temático destacado, representado por palabras como Docker, Kubernetes, Microservice, Edge Computing, Internet Of Things, Fog Computing y Tosca; este clúster, marcado en rojo, representa un conjunto crucial de tecnologías en el ámbito de la contenerización y el cómputo en la nube. Se investigó la carga equilibrada y el descubrimiento de servicios, utilizando Docker Swarm para aplicaciones de Big Data basadas en microservicios, ofreciendo insights valiosos sobre la implementación eficiente de estas tecnologías en entornos complejos (Singh et al., 2023); las investigaciones han ayudado a comprender el Edge Computing como un modelo de procesamiento de datos descentralizado que se realiza cerca de la fuente de datos, en el borde de la red, en lugar de en centros de datos remotos o en la nube, este enfoque permite una respuesta más rápida a las solicitudes de datos y reduce la latencia al procesar la información lo más cerca posible de donde se genera o se utiliza (Al-Rakhami et al., 2020; McCann et al., 2022).

Otras investigaciones han contribuido al estado del arte en cómputo en la nube al proporcionar una clasificación de plataformas que respaldan sistemas de cómputo distribuido, ofreciendo una visión panorámica de las posibilidades en este campo emergente (Kirsanova et al., 2021); por ejemplo, Kubernetes es una plataforma de código abierto diseñada para automatizar la implementación, escalado y gestión de aplicaciones en contenedores, su enfoque en la orquestación de contenedores permite a los equipos de desarrollo y operaciones coordinar

eficientemente el despliegue y la gestión de aplicaciones en entornos de infraestructura variados (Di Stefano & Morana, 2022; Oh, 2017); también, se evaluó el rendimiento de la recopilación de información desde dispositivos perimetrales en un complejo de edificios inteligentes, aportando conocimientos valiosos sobre la implementación práctica de tecnologías de Edge Computing en entornos del mundo real (Lăcătușu et al., 2022).

Dentro del segundo clúster temático, identificado por palabras clave como Virtualization, Cloud, Hpc y Hypervisor, se ha profundizado en aspectos cruciales del campo de contenerización y *cloud computing*. La investigación de Pahl (2015) ha sido fundamental al explorar la relación entre la contenerización y las plataformas como servicio (PaaS) en la nube, proporcionando una visión integral sobre cómo estas tecnologías se entrelazan en el contexto del cómputo en la nube; además, se ha presentado una infraestructura eficiente basada en Docker y AWS ECS para la implementación de aplicaciones en la nube, demostrando cómo las tecnologías de contenerización pueden optimizar la implementación de aplicaciones en entornos de cómputo en clúster (Tihfon et al., 2016). En una perspectiva más reciente, se llevó a cabo una exhaustiva revisión sobre las tecnologías de contenerización para la arquitectura ARM, destacando la relevancia y diversidad de estos sistemas en el contexto del cómputo en la nube (Kaiser et al., 2022).

Las investigaciones existentes ofrecen una visión profunda sobre la contenerización para sistemas de cómputo de alto rendimiento (HPC), proporcionando un análisis de las aplicaciones de la contenerización en entornos de HPC, destacando sus ventajas, desafíos y perspectivas futuras, siendo fundamental para comprender cómo la contenerización puede optimizar y mejorar la eficiencia de los sistemas de HPC al proporcionar un entorno más flexible y escalable para la ejecución de cargas de trabajo intensivas en recursos (Zhou et al., 2022); a la vez que se resalta el análisis de series temporales no lineales en sistemas complejos mediante un marco web de eficiencia, demostrando cómo la computación en la nube facilita el acceso y análisis eficiente de grandes conjuntos de datos, abordando los desafíos asociados con la complejidad de los sistemas y la naturaleza no lineal de los datos (Leonor et al., 2018). Estas investigaciones, cada una aportando a aspectos específicos del segundo clúster temático, han ampliado el entendimiento sobre la virtualización, el cómputo en la nube y las tecnologías relacionadas, estableciendo una sólida base para futuros desarrollos y aplicaciones en este campo.

Análisis de la frecuencia y vigencia conceptual alrededor de contenerización y *cloud computing*

En la figura de plano cartesiano presentado en la sección de resultados, el cuadrante 4 reveló dos términos que han experimentado una disminución en su relevancia en los últimos años: Virtualization y Docker; estos conceptos, que en el pasado fueron pilares fundamentales en la contenerización y el cómputo en la nube, han sido objeto de análisis comparativos exhaustivos.

La virtualización fue esencial para implementar técnicas como ARIMA-PID para el escalado automático de contenedores; estas técnicas aprovechan la capacidad de virtualización para crear entornos flexibles y aislados, permitiendo respuestas rápidas a cambios en la carga de trabajo (Joshi et al., 2023); se realizó un análisis comparativo de métodos de virtualización en el procesamiento de grandes volúmenes de datos; la investigación no solo proporcionó una comprensión profunda de los diferentes enfoques de virtualización, sino que también arrojó luz sobre la evolución y las limitaciones de la virtualización en el contexto del procesamiento de datos a gran escala (Radchenko et al., 2019); asimismo, se proporciona una visión integral de cómo la virtualización influye en la seguridad de la nube, lo que resulta fundamental para comprender la importancia y la complejidad de proteger los entornos virtuales en el ámbito de la computación en la nube (Di Pietro & Lombardi, 2018).

El cuadrante 2 del plano cartesiano, donde residen los conceptos emergentes en el campo de la contenerización y el cómputo en la nube, presentó términos cruciales para la actualidad y el futuro próximo del ámbito científico como Virtual Machines, Performance Evaluation y Container Orchestration; estas palabras clave son consideradas a menudo como la base de la virtualización, y han sido objeto de exhaustivas evaluaciones de rendimiento y comparaciones con tecnologías más recientes, como los contenedores. Un estudio relevante se centró en el *benchmarking* y la evaluación del rendimiento en diversas configuraciones de máquinas virtuales y contenedores para cargas de trabajo científicas basadas en la nube, proporcionando una visión crítica de la eficacia y eficiencia de las máquinas virtuales en entornos científicos en la nube (Shah et al., 2021).

Performance Evaluation, por otro lado, es un concepto central en la contenerización, especialmente en el contexto del cómputo en la nube (*edge-cloud computing*). Las evaluaciones de rendimiento específicas sobre la contenerización en pilas de cómputo en la nube para

aplicaciones industriales ofrecen información valiosa desde la perspectiva del cliente; el análisis detallado es esencial para garantizar la eficiencia y la confiabilidad de las aplicaciones industriales que dependen de la contenerización en entornos de cómputo en la nube (Liu et al., 2021).

Container Orchestration, un término fundamental en la gestión de contenedores a gran escala ha sido objeto de un extenso examen en la arquitectura ARM. La encuesta comprehensiva, realizada por Kaiser et al. (2022), destaca las tecnologías de contenedores específicas para la arquitectura ARM, ofreciendo una visión detallada del estado actual de las tecnologías de orquestación de contenedores en esta plataforma en ascenso. Estos estudios no solo ilustran la importancia crítica de estos conceptos emergentes en la actualidad, sino que también señalan su relevancia continua en el futuro próximo del campo de la contenerización y el cómputo en la nube.

Por último, el cuadrante 1 del plano cartesiano, que alberga conceptos crecientes y consolidados en el campo de la contenerización y el cómputo en la nube, se destaca por la prominencia de dos términos clave: Edge Computing y Kubernetes. En la actualidad, Edge Computing se ha convertido en un pilar esencial para la industria tecnológica al llevar la capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos más cerca del lugar de origen, reduciendo así la latencia y mejorando la eficiencia operativa. Un estudio ejemplar se enfocó en el equilibrio de carga de la infraestructura de Edge Computing basada en Kubernetes, utilizando un proxy adaptativo de recursos; este enfoque proporciona una visión innovadora sobre cómo gestionar eficazmente las cargas de trabajo en entornos de Edge Computing, lo que es crucial para el desempeño óptimo de las aplicaciones en el borde de la red (Nguyen et al., 2022).

Por otro lado, Kubernetes, un sistema de código abierto para la automatización del despliegue, escala y manejo de aplicaciones en contenedores se ha convertido en la columna vertebral de las infraestructuras de contenerización modernas. Una investigación, por ejemplo, presentó HYDRA, una orquestación descentralizada y consciente de la ubicación de aplicaciones contenerizadas; esta perspectiva innovadora demuestra cómo Kubernetes no solo simplifica la gestión de contenedores, sino que también actúa como un facilitador para arquitecturas distribuidas y dinámicas, lo que es esencial para las implementaciones de aplicaciones a gran escala y altamente distribuidas (Jiménez & Schelen, 2020).

Estos estudios resaltan la importancia estratégica de Edge Computing y Kubernetes en el panorama tecnológico actual y futuro. Su capacidad para optimizar las operaciones, reducir la

latencia y facilitar la administración de aplicaciones en entornos complejos los convierte en elementos esenciales para las futuras innovaciones en el campo de la contenerización y el cómputo en la nube.

Implicaciones prácticas

Esta bibliometría arroja importantes implicaciones prácticas para la industria y la investigación en tecnologías de la información. La transición conceptual de la “Virtualization” a temas más específicos como “Workflow”, “Edge Computing”, “Kubernetes” y “Docker” sugiere una madurez en el campo, donde los investigadores y profesionales ahora están explorando aplicaciones y desafíos más concretos, en lugar de enfoques genéricos. Este cambio tiene implicaciones significativas para las empresas, ya que indica la necesidad de adoptar soluciones tecnológicas más especializadas y adaptadas a los entornos de contenerización y *cloud computing*, lo que puede mejorar la eficiencia operativa y potenciar la innovación en el desarrollo de productos y servicios.

El análisis del principal clúster temático, compuesto por términos clave como Docker, Kubernetes, Microservice, Edge Computing, Internet Of Things, Fog Computing y Tosca, proporciona una visión cohesiva de las tecnologías interrelacionadas en el ecosistema de contenerización y *cloud computing*; esto tiene implicaciones prácticas directas para los desarrolladores y arquitectos de sistemas, ya que les permite entender las relaciones entre estas tecnologías y cómo pueden integrarse de manera efectiva para construir infraestructuras más robustas y dinámicas.

El análisis de frecuencia y vigencia de palabras clave también destaca tendencias importantes; la disminución en la relevancia de conceptos como Virtualization y Docker indica un cambio en las prioridades de investigación, mientras que el surgimiento de términos como Virtual Machines, Performance Evaluation, Container Orchestration, Machine Learning y Monitoring señala áreas emergentes y prometedoras. Los hallazgos tienen implicaciones prácticas cruciales para los profesionales de TI y las organizaciones, ya que les proporcionan orientación sobre las tecnologías y habilidades que serán más demandadas en el futuro cercano; además, el crecimiento continuo de conceptos como Edge Computing y Kubernetes sugiere la necesidad de una mayor

exploración y adopción de estas tecnologías en diversas aplicaciones empresariales, desde el análisis de datos en tiempo real hasta la optimización de la gestión de recursos en la nube.

De otro lado, para la comunidad académica, este análisis proporciona un mapa claro de las tendencias investigativas en el campo, identificando áreas clave que requieren más atención y áreas que están siendo eclipsadas por desarrollos emergentes, lo que permite a los investigadores enfocar sus esfuerzos en áreas de estudio que son relevantes y pertinentes, fomentando así un avance más efectivo en la disciplina.

Igualmente, para los responsables de políticas y formuladores de estrategias en el ámbito gubernamental, estas implicaciones bibliométricas son de vital importancia, ya que ofrecen perspectivas sobre las tecnologías que están en aumento y las áreas donde se está produciendo la innovación; esto puede informar las decisiones sobre inversión en investigación y desarrollo, así como guiar las políticas que fomentan la adopción de tecnologías específicas en sectores estratégicos como salud, educación y administración pública.

En un contexto más amplio, estas implicaciones prácticas también son valiosas para las organizaciones no gubernamentales y otras instituciones internacionales que trabajan en áreas como ayuda humanitaria y desarrollo sostenible, en tanto comprender las tendencias en contenerización y *cloud computing* puede permitir la implementación más eficaz de soluciones tecnológicas en situaciones de emergencia y en entornos donde la infraestructura tecnológica es limitada, pero fundamental para el progreso social y económico.

Por último, para el público en general, estas implicaciones se traducen en una mejor comprensión de cómo las tecnologías emergentes impactarán sus vidas diarias, la adopción de contenerización y *cloud computing* está transformando la forma en que las personas acceden a servicios en línea, desde aplicaciones de redes sociales hasta plataformas de educación a distancia y servicios de salud en línea. Entender las tendencias en estos campos proporciona a los ciudadanos una visión informada sobre cómo estas tecnologías pueden cambiar su forma de interactuar con el mundo digital, ofreciendo así una base para la toma de decisiones informadas en su vida cotidiana.

Limitaciones

El presente análisis se realizó siguiendo la metodología PRISMA-2020 y empleando las bases de datos Scopus y Web of Science. Se ofrece una visión detallada del campo de estudio; sin embargo, como todo estudio bibliométrico, presenta ciertas limitaciones que deben considerarse en la interpretación de los resultados; en primer lugar, la elección de las bases de datos puede influir en la exhaustividad de la recopilación de datos, ya que ciertas publicaciones relevantes podrían no estar indexadas en las fuentes seleccionadas; asimismo, las herramientas utilizadas, como Microsoft Excel® y VOSviewer®, aunque son útiles, pueden tener limitaciones en términos de precisión y alcance en comparación con plataformas bibliométricas más especializadas.

Además, la definición de palabras clave y criterios de inclusión es un aspecto crítico en cualquier estudio bibliométrico y puede introducir sesgos si no se seleccionan de manera adecuada; la variabilidad en la calidad y consistencia de los datos disponibles también puede impactar la precisión de los resultados, especialmente en lo que respecta a la atribución correcta de autorías y la identificación de palabras clave relevantes en las publicaciones analizadas. Estas limitaciones subrayan la importancia de interpretar los hallazgos con precaución y reconocer las posibles brechas y sesgos en la recopilación y análisis de datos bibliométricos.

Brechas investigativas

En la Tabla 1, se detallan las principales brechas de investigación identificadas en el campo; las mismas representan áreas específicas que han recibido una atención limitada o insuficiente en estudios anteriores y que requieren un mayor enfoque en futuras investigaciones para ampliar el conocimiento existente. Identificar estas brechas es crucial para orientar investigaciones futuras y avanzar en el campo de estudio; las brechas de investigación pueden abarcar aspectos como tecnologías emergentes no exploradas completamente, desafíos prácticos en la implementación de soluciones de contenerización y *cloud computing*, lagunas en la comprensión teórica de ciertos conceptos clave, así como cuestiones éticas y de seguridad que necesitan una atención más detallada y rigurosa.

Tabla 1

Brechas de investigación

| Categoría | Brechas Investigativas | Justificación | Preguntas para Futuras Investigaciones |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brechas Temáticas | Integración de Tecnologías Emergentes: Existe una falta de investigación sobre la integración efectiva de tecnologías emergentes, como Edge Computing y Blockchain en entornos de contenerización y cómputo en la nube. | La integración de tecnologías emergentes puede mejorar la eficiencia y seguridad, pero la falta de investigaciones detalladas limita la implementación práctica. | ¿Cómo pueden las tecnologías emergentes, como Edge Computing, ser efectivamente integradas con contenerización para mejorar la eficiencia y la latencia? |
| | Seguridad en Entornos Multinube: La seguridad en entornos multinube, especialmente en la transmisión de datos entre múltiples proveedores de nube, es una brecha crítica. | Con el aumento de la adopción de entornos multinube, la seguridad de los datos y las comunicaciones entre diferentes proveedores se ha vuelto vital pero poco investigada. | ¿Cuáles son los desafíos y las mejores prácticas para garantizar la seguridad de los datos en entornos multinube complejos? |
| Brechas Geográficas | Escasez de Investigaciones en Países en Desarrollo: Hay una falta de investigaciones significativas sobre contenerización y cómputo en la nube en países en desarrollo. | Muchas investigaciones se centran en países desarrollados, lo que deja a los países en desarrollo rezagados en términos de implementación y optimización de tecnologías. | ¿Cómo pueden los países en desarrollo abordar las limitaciones económicas y tecnológicas para implementar soluciones de contenerización y cómputo en la nube? |
| Brechas Interdisciplinarias | Colaboración entre Ciencias de Datos y Contenerización: Existe una falta de colaboración interdisciplinaria entre científicos de datos y expertos en contenerización. | La colaboración entre estas disciplinas podría aprovechar conjuntos de datos masivos para optimizar la contenerización y mejorar la eficiencia del análisis de datos. | ¿Cómo pueden las técnicas de ciencias de datos ser integradas con la contenerización para optimizar el rendimiento y análisis de datos en tiempo real? |
| Brechas Temporales | Sostenibilidad a Largo Plazo: La falta de investigaciones sobre la sostenibilidad a largo plazo de las soluciones de | Con el aumento de la demanda energética y recursos asociados con estas tecnologías, es vital investigar | ¿Cuál es el impacto ambiental a largo plazo de las tecnologías de contenerización y cómo pueden ser optimizadas |

contenerización y soluciones sostenibles a para ser más sostenibles y
cómputo en la nube largo plazo para mitigar ecoamigables?
representa una brecha el impacto ambiental.
significativa.

Nota. Elaboración propia a través de Microsoft Excel a partir de Scopus y Web of Science.

En este aspecto, se observa que las brechas investigativas son 4 en total, categorizadas en brechas Temáticas, Geográficas, Interdisciplinaria y Temporales, que notifican la multiplicidad de enfoques a los que se pueden orientar futuros estudios que propendan suplir las necesidades actuales de investigación y conocimiento.

Agenda de investigación

La agenda investigativa propuesta se enmarca en el dinámico y complejo campo de contenerización y *cloud computing*, dos áreas cruciales que han transformado la forma en que se concibe la computación y el almacenamiento de datos en la era digital. A medida que la tecnología avanza y las demandas de las aplicaciones informáticas se vuelven más sofisticadas, es esencial profundizar en los conceptos clave que impulsan esta revolución tecnológica.

Docker ha revolucionado la contenerización y el cómputo en la nube al proporcionar una plataforma estándar y portátil para desarrollar, enviar y ejecutar aplicaciones en contenedores; su importancia radica en su capacidad para facilitar la creación y despliegue eficiente de aplicaciones, optimizando los recursos y simplificando la gestión del ciclo de vida del software. En futuras investigaciones, se podría profundizar en la seguridad de los contenedores Docker, explorando nuevas técnicas de protección contra vulnerabilidades y amenazas; también, se podría investigar sobre estrategias de orquestación avanzadas para despliegues multicloud, mejorando la escalabilidad y la resiliencia de las aplicaciones.

La virtualización ha sido fundamental en la evolución de la computación en la nube, permitiendo la creación de máquinas virtuales independientes del hardware subyacente. En el contexto de contenerización y *cloud computing*, las máquinas virtuales son esenciales para implementar entornos aislados y seguros; futuras investigaciones podrían explorar el impacto de la virtualización en la eficiencia y el rendimiento de las aplicaciones contenerizadas, analizando

cómo las tecnologías de virtualización pueden integrarse de manera óptima con los contenedores para mejorar la flexibilidad y la administración de recursos.

Kubernetes ha emergido como la plataforma líder para la orquestación de contenedores, proporcionando herramientas robustas para la gestión automatizada de aplicaciones contenerizadas; su importancia radica en su capacidad para escalar aplicaciones, garantizar la disponibilidad y facilitar las actualizaciones sin tiempo de inactividad. Estudios futuros podrían explorar técnicas innovadoras de orquestación en entornos multinube y edge computing, investigando cómo Kubernetes puede adaptarse y optimizarse para diferentes arquitecturas de infraestructura; también, se podría investigar sobre políticas de autoscaling dinámico basadas en el estado de la aplicación y la demanda del usuario, mejorando así la eficiencia operativa y la experiencia del usuario final.

Los contenedores han transformado la forma en que se desarrollan, distribuyen y ejecutan aplicaciones, proporcionando un entorno ligero y portátil para encapsular aplicaciones y sus dependencias; su importancia se fundamenta en la consistencia del entorno de ejecución y la rápida implementación de aplicaciones en diferentes entornos. Para futuras investigaciones, se podrían explorar enfoques para mejorar la seguridad de los contenedores, como la implementación de técnicas avanzadas de cifrado y el análisis estático y dinámico de vulnerabilidades; además, investigar sobre estrategias de administración de datos persistentes en entornos contenerizados, para garantizar la integridad y disponibilidad de los datos a largo plazo, es esencial para optimizar su uso en aplicaciones críticas.

Edge Computing ha surgido como un término clave en contenerización y *cloud computing*, centrándose en llevar el procesamiento de datos y la computación más cerca del lugar donde se generan los datos; es decir, en los bordes de la red. Esto es especialmente relevante en aplicaciones donde la baja latencia y la alta capacidad de respuesta son críticas, como el Internet de las cosas (IoT). En el futuro, se podría explorar la optimización de la infraestructura de Edge Computing, utilizando tecnologías de contenerización y considerando cómo los contenedores pueden ser desplegados y gestionados eficientemente en entornos distribuidos en el borde de la red; así mismo, se pueden investigar estrategias de seguridad específicas para Edge Computing, examinando cómo las técnicas de contenerización pueden proteger los dispositivos y los datos en ubicaciones remotas y diversas.

La gestión eficiente de recursos es fundamental en los entornos de contenerización y *cloud computing*, donde múltiples aplicaciones compiten por recursos limitados; la optimización de recursos, como la CPU, la memoria y el almacenamiento, es esencial para garantizar el rendimiento y la estabilidad del sistema. Más adelante, se podrían desarrollar algoritmos de gestión dinámica de recursos basados en contenedores, que se adapten a las fluctuaciones en la demanda de recursos y minimicen el desperdicio. También, se puede investigar sobre técnicas avanzadas de gestión de red para contenedores, considerando cómo las redes definidas por software (SDN) y las funciones de red virtualizadas (NFV) pueden ser integradas para mejorar la eficiencia y la calidad del servicio en entornos contenerizados y en la nube.

Los microservicios han ganado popularidad como una arquitectura de diseño de software en la que las aplicaciones se dividen en componentes pequeños, independientes y fácilmente escalables. En el contexto de contenerización y *cloud computing*, los microservicios permiten la implementación y actualización ágil de aplicaciones complejas, para investigaciones futuras; se podrían examinar estrategias para la gestión eficiente de microservicios en entornos contenerizados, investigando cómo los contenedores pueden ser orquestados y escalados dinámicamente para adaptarse a las necesidades cambiantes de las aplicaciones; además, se podría explorar cómo los microservicios pueden ser desplegados en arquitecturas de nube híbrida y multinube, considerando los desafíos específicos de la comunicación y la sincronización en entornos distribuidos.

La evaluación del rendimiento es crucial para entender cómo las aplicaciones contenerizadas y las máquinas virtuales responden a las cargas de trabajo y para identificar posibles cuellos de botella en el sistema. Estudios posteriores podrían desarrollar metodologías avanzadas de evaluación de rendimiento específicas para entornos contenerizados, considerando métricas como la latencia, el tiempo de respuesta y la utilización de recursos; además, se puede investigar sobre técnicas de modelado y simulación para analizar el rendimiento de sistemas complejos basados en contenedores y máquinas virtuales, permitiendo a los investigadores y profesionales predecir el comportamiento del sistema, bajo diferentes condiciones de carga y configuración.

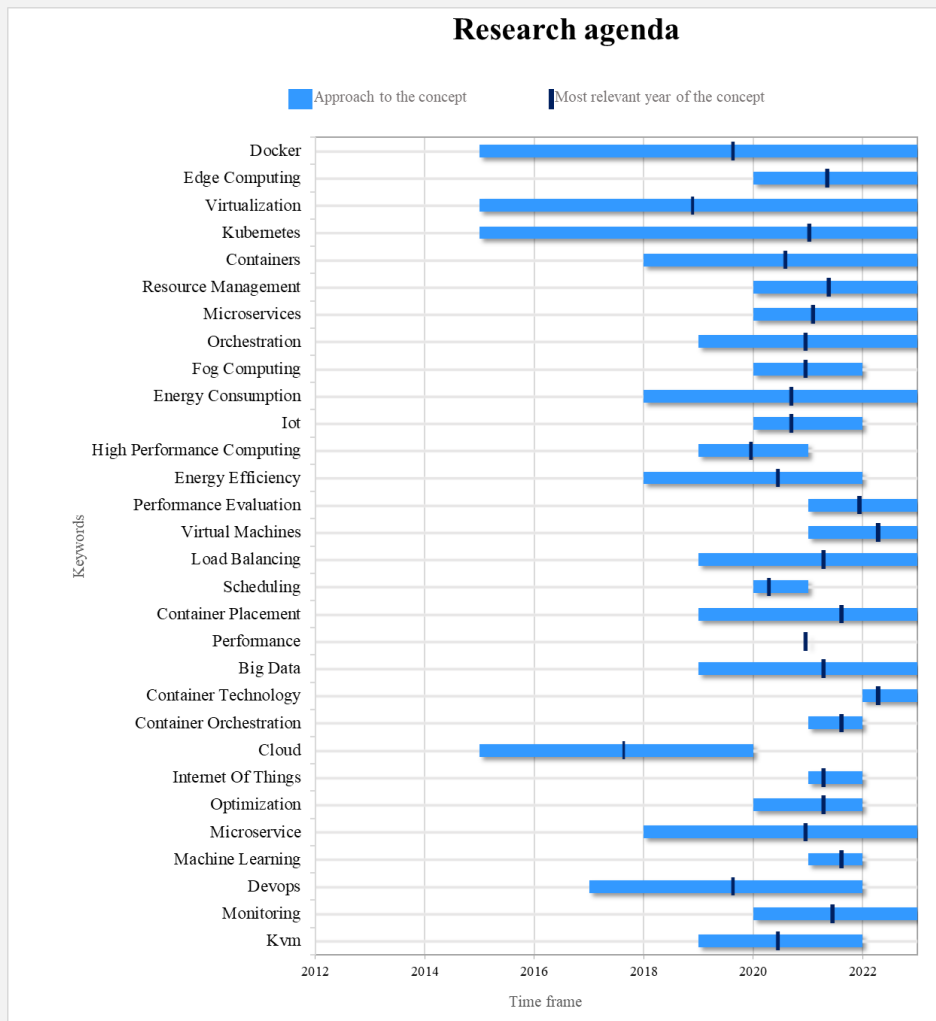
Fog Computing se ha convertido en un concepto crucial en contenerización y *cloud computing*, especialmente en aplicaciones donde la latencia y la velocidad de procesamiento son fundamentales; esta arquitectura distribuida permite realizar tareas de computación y

almacenamiento en dispositivos locales y en el borde de la red, reduciendo la carga en la nube y mejorando la eficiencia del sistema. En la actualidad, el Fog Computing ha ganado prominencia en escenarios de Internet de las cosas (IoT) y en aplicaciones industriales, donde la capacidad de procesar datos en tiempo real cerca de su origen es esencial. Futuras investigaciones podrían explorar cómo los contenedores pueden ser implementados en entornos de Fog Computing, optimizando el despliegue y la gestión de servicios en dispositivos periféricos; además, nuevos estudios podrían enfocarse en el diseño de algoritmos de orquestación específicos para Fog Computing, considerando cómo los contenedores pueden ser utilizados para coordinar y escalar aplicaciones en esta arquitectura distribuida, mejorando así la eficiencia y la disponibilidad de los servicios.

La Computación de Alto Rendimiento (HPC) sigue siendo un campo vital en contenerización y *cloud computing*, especialmente en aplicaciones científicas, de simulación y análisis de datos intensivos; la contenerización de aplicaciones HPC ofrece la ventaja de una fácil portabilidad y escalabilidad, permitiendo a los científicos y a las organizaciones aprovechar los recursos de la nube para realizar cálculos complejos. En la actualidad, HPC contenerizado se ha vuelto esencial en sectores como la investigación biomédica, el diseño de productos y la simulación de fenómenos naturales. Futuras investigaciones podrían enfocarse en técnicas específicas para optimizar el rendimiento de aplicaciones HPC contenerizadas, considerando la eficiencia en el uso de los recursos, la paralelización efectiva y la gestión de datos a gran escala; del mismo modo, podrían explorarse estrategias para la integración fluida de contenedores HPC en arquitecturas de computación en la nube, mejorando así la accesibilidad y la utilización de recursos compartidos en entornos de nube (ver Figura 5).

Figura 5

Agenda investigativa



Nota. Elaboración propia a través de Microsoft Excel a partir de Scopus y Web of Science.

Conclusiones

Se han obtenido conclusiones significativas que responden a las preguntas de investigación planteadas en este estudio; en primer lugar, se observa un incremento en las publicaciones vinculado a la evolución temática, que pasó de una concentración inicial en “Virtualization” hacia áreas más específicas como “Workflow”, “Edge Computing”, “Kubernetes” y “Docker”, mostrando una tendencia hacia temas más especializados y aplicados.

En términos de tendencias emergentes, se destacaron Edge Computing y Kubernetes como conceptos consolidados y protagónicos, mientras que Virtual Machines, Performance Evaluation

y Container Orchestration surgieron como temas emergentes, indicando áreas de investigación en crecimiento; estas observaciones llevaron a la formulación de una agenda investigativa centrada en profundizar en estos conceptos clave para orientar futuros estudios y contribuir significativamente al avance del campo de contenerización y *cloud computing*. Estas conclusiones proporcionan una visión integral de la evolución y las tendencias en este campo, sentando las bases para investigaciones futuras y aplicaciones prácticas en la industria y el ámbito académico.

Por último, las implicaciones bibliométricas son de relevancia directa para diversos sectores. En el ámbito académico, el análisis ofrece un mapa claro para los investigadores, señalando áreas clave y desarrollos emergentes. Para los responsables de políticas gubernamentales, la información proporciona una base sólida para decisiones sobre inversiones y formulación de políticas, especialmente en sectores estratégicos. A nivel internacional, organizaciones no gubernamentales pueden beneficiarse al comprender las tendencias tecnológicas, mejorando así la implementación de soluciones en situaciones críticas y entornos con infraestructura limitada, pero vital. Finalmente, para el público en general, estas implicaciones ofrecen una visión perspicaz de cómo tecnologías emergentes afectarán sus vidas diarias, permitiendo una toma de decisiones más informada en el uso cotidiano de servicios digitales, desde redes sociales hasta plataformas educativas y servicios de salud en línea.

Referencias

- Al-Rakhami, M., Gumaedi, A., Alsahli, M., Hassan, M. M., Alamri, A., Guerrieri, A., & Fortino, G. (2020). A lightweight and cost effective edge intelligence architecture based on containerization technology [Una arquitectura de inteligencia perimetral ligera y rentable basada en tecnología de contenedorización]. *World Wide Web*, 23, 1341-1360. <https://doi.org/10.1007/s11280-019-00692-y>
- Augustyn, D. R., Wyciślik, Ł., & Mrozek, D. (2021). Perspectives of using Cloud computing in integrative analysis of multi-omics data [Perspectivas del uso de la computación en la nube en el análisis integrador de datos multiómicos]. *Briefings in Functional Genomics*, 20(4), 198-206. <https://doi.org/10.1093/bfgp/elab0077>

- Benomar, Z., Longo, F., Merlino, G., & Puliafito, A. (2020). Cloud-based enabling mechanisms for container deployment and migration at the network edge [Mecanismos habilitadores basados en la nube para la implementación y migración de contenedores en el borde de la red]. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 20(3), 1-28. <https://doi.org/10.1145/33809555>
- Bhardwaj, A., & Krishna, C. R. (2021). Virtualization in cloud computing: Moving from hypervisor to containerization—a survey [Virtualización en la computación en la nube: pasar del hipervisor a la contenedorización: una encuesta]. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(9), 8585-8601. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05553-33>
- Bhardwaj, A., & Rama Krishna, C. (2022). A container-based technique to improve virtual machine migration in cloud computing [Una técnica basada en contenedores para mejorar la migración de máquinas virtuales en la computación en la nube]. *IETE Journal of Research*, 68(1), 401-416. <https://doi.org/10.1080/03772063.2019.160584>
- Cai, Z., Yang, G., Xu, S., Zang, C., Chen, J., Hang, P., & Yang, B. (2022). RBaaS: A robust blockchain as a service paradigm in cloud-edge collaborative environment [RBaaS: un robusto paradigma de blockchain como servicio en un entorno colaborativo en el borde de la nube]. *IEEE Access*, 10, 35437-35444. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3161744>
- Chadegani, A. A., Salehi, H., Yunus, M. M., Farhadi, H., Fooladi, M., Farhadi, M., & Ebrahim, N. A. (2013). A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus databases [Una comparación entre dos colecciones principales de literatura académica: las bases de datos Web of Science y Scopus]. *Asian Social Science*, 9(5), 18-26. <http://doi.org/10.48550/arXiv.1305.0377>
- Chlasta, K., Sochaczewski, P., Wójcik, G. M., & Krejtz, I. (2023). Neural simulation pipeline: Enabling container-based simulations on-premise and in public clouds [Canal de simulación neuronal: habilitación de simulaciones basadas en contenedores en las instalaciones y en nubes públicas]. *Frontiers in Neuroinformatics*, 17, Article 1122470. <https://doi.org/10.3389/fninf.2023.1122470>
- Crompton, H., & Song, D. (2021, enero-abril). The potential of artificial intelligence in higher education [El potencial de la inteligencia artificial en la educación superior]. *Revista*

Virtual Universidad Católica del Norte, (62), 1-4.

<https://www.doi.org/10.35575/rvucn.n62a1>

- Di Pietro, R., & Lombardi, F. (2018). Virtualization Technologies and Cloud Security: advantages, issues, and perspectives. In P. Samarati, I. Ray, & I. Ray (Eds.), *From Database to Cyber Security: Essays Dedicated to Sushil Jajodia on the Occasion of His 70th Birthday* (pp. 166-185). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04834-1_9
- Di Stefano, A., & Morana, G. (2022). Improving QoS through network isolation in PaaS [Mejora de la QoS mediante el aislamiento de la red en PaaS]. *Future Generation Computer Systems*, 131, 91-105. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.01.010>
- Douch, S., Abid, M. R., Zine-Dine, K., Bouzidi, D., & Benhaddou, D. (2022). Edge computing technology enablers: A systematic lecture study [Habilitadores de la tecnología de computación de borde: un estudio de conferencia sistemático]. *IEEE Access*, 10, 69264-69302. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3183634>
- Gholipour, N., Arianyan, E., & Buyya, R. (2020). A novel energy-aware resource management technique using joint VM and container consolidation approach for green computing in cloud data centers [Una novedosa técnica de gestión de recursos consciente de la energía que utiliza un enfoque conjunto de consolidación de contenedores y máquinas virtuales para la informática ecológica en centros de datos en la nube]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 104, Article 102127. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102127>
- Hamzaoui, I., Duthil, B., Courboulay, V., & Medromi, H. (2020). A survey on the current challenges of energy-efficient cloud resources management [Una encuesta sobre los desafíos actuales de la gestión eficiente de los recursos en la nube]. *SN Computer Science*, 1, 1-28. <https://doi.org/10.1007/s42979-020-0078-9>
- Hanafy, W. A., Mohamed, A. E., & Salem, S. A. (2019). A new infrastructure elasticity control algorithm for containerized cloud [Un nuevo algoritmo de control de elasticidad de infraestructura para la nube en contenedores]. *IEEE Access*, 7, 39731-39741. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907171>
- Imdoukh, M., Ahmad, I., & Alfailakawi, M. (2020). Optimizing scheduling decisions of container management tool using many-objective genetic algorithm [Optimización de las decisiones de programación de la herramienta de gestión de contenedores utilizando un algoritmo

- genético de muchos objetivos]. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 32(5), e5536. <https://doi.org/10.1002/cpe.5536>
- Islam, J., Kumar, T., Kovacevic, I., & Harjula, E. (2021). Resource-aware dynamic service deployment for local iot edge computing: Healthcare use case [Implementación de servicios dinámicos que tienen en cuenta los recursos para la computación de borde de IoT local: caso de uso de atención médica]. *IEEE Access*, 9, 115868-115884. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102867>
- Janjua, K., Shah, M. A., Almogren, A., Khattak, H. A., Maple, C., & Din, I. U. (2020). Proactive forensics in IoT: Privacy-aware log-preservation architecture in fog-enabled-cloud using holochain and containerization technologies [Análisis forense proactivo en IoT: arquitectura de preservación de registros consciente de la privacidad en una nube habilitada para niebla utilizando tecnologías de holocadena y contenedorización]. *Electronics*, 9(7), Article 1172. <https://doi.org/10.3390/electronics90711722>
- Jiménez, L. L., & Schelen, O. (2020). HYDRA: Decentralized location-aware orchestration of containerized applications [HYDRA: orquestación descentralizada y consciente de la ubicación de aplicaciones en contenedores]. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 10(4), 2664-2678. <https://doi.org/10.1109/TCC.2020.3041465>
- Joshi, N. S., Raghuvanshi, R., Agarwal, Y. M., Annappa, B., & Sachin, D. N. (2023). ARIMA-PID: container auto scaling based on predictive analysis and control theory. *Multimedia Tools and Applications*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-16587-0>
- Juiz, C., Capo, B., Bermejo, B., Fernández-Montes, A., & Fernández-Cerero, D. (2023). A case study of transactional workload running in virtual machines: the performance evaluation of a flight seats availability service [Un estudio de caso de carga de trabajo transaccional que se ejecuta en máquinas virtuales: la evaluación del desempeño de un servicio de disponibilidad de asientos de vuelo]. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3300956>
- Kaiser, S., Haq, M. S., Tosun, A. Ş., & Korkmaz, T. (2022). Container technologies for ARM architecture: A comprehensive survey of the state-of-the-art [Tecnologías de contenedores para arquitectura ARM: un estudio completo del estado del arte]. *IEEE Access*, 10, 84853 - 84881. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3197151>

- Katal, A., Dahiya, S., & Choudhury, T. (2023). Energy efficiency in cloud computing data centers: a survey on software technologies [Eficiencia energética en centros de datos de computación en la nube: una encuesta sobre tecnologías de software]. *Cluster Computing*, 26(3), 1845-1875. <https://doi.org/10.1007/s10586-022-03713-00>
- Kaur, K., Garg, S., Kaddoum, G., Ahmed, S. H., & Atiquzzaman, M. (2019). KEIDS: Kubernetes-based energy and interference driven scheduler for industrial IoT in edge-cloud ecosystem [KEIDS: programador impulsado por energía e interferencias basado en Kubernetes para IoT industrial en un ecosistema de nube perimetral]. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(5), 4228-4237. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2939534>
- Kirsanova, A. A., Radchenko, G. I., & Tchernykh, A. N. (2021). Fog computing state of the art: concept and classification of platforms to support distributed computing systems [Estado del arte en computación en la niebla: concepto y clasificación de plataformas para soportar sistemas de computación distribuida]. *Supercomputing Frontiers and Innovations*, 8(3), 17-50. <https://doi.org/10.14529/jsfi210302>
- Lăcătușu, F., Ionita, A. D., Lăcătușu, M., & Olteanu, A. (2022). Performance Evaluation of Information Gathering from Edge Devices in a Complex of Smart Buildings [Evaluación del rendimiento de la recopilación de información de dispositivos perimetrales en un complejo de edificios inteligentes]. *Sensors*, 22(3), Article 1002. <https://doi.org/10.3390/s22031002>
- Leonor, B. B., dos Santos, W. A., Bomfim Jr, A., & Rosa, R. R. (2018). Nonlinear Time Series Analysis of Complex Systems Using an e-Science Web Framework [Análisis de series temporales no lineales de sistemas complejos utilizando un marco web de eficiencia]. *Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity*, 7(2), 129-141. <https://doi.org/10.5890/DNC.2018.06.002>
- Liu, Y., Lan, D., Pang, Z., Karlsson, M., & Gong, S. (2021). Performance evaluation of containerization in edge-cloud computing stacks for industrial applications: A client perspective [Evaluación del rendimiento de la contenedorización en pilas de computación en la nube para aplicaciones industriales: una perspectiva del cliente]. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 2, 153-168. <https://doi.org/10.1109/OJIES.2021.3055901>

- McCann, J., Quinn, L., McGrath, S., & Flanagan, C. (2022). Video Surveillance Architecture from the Cloud to the Edge [Arquitectura de videovigilancia desde la nube hasta el borde]. *International Journal for Computers & Their Applications*, 29(3). <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A12%3A18976748/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A162453713&crl=f>
- Mohammed, A. S., Mosudi, I. O., & Zubair, S. (2023). Performance Evaluation of Secured Containerization for Edge Computing in 5G Communication Network [Evaluación del rendimiento de la contenedorización segura para la computación perimetral en la red de comunicación 5G]. In *Proceedings of 3rd International Conference on Artificial Intelligence: Advances and Applications: ICAIAA 2022* (pp. 627-637). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7041-2_53
- Nguyen, Q. M., Phan, L. A., & Kim, T. (2022). Load-balancing of kubernetes-based edge computing infrastructure using resource adaptive proxy [Equilibrio de carga de la infraestructura informática de borde basada en Kubernetes mediante un proxy adaptable a recursos]. *Sensors*, 22(8), Article 2869. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/8/2869>
- Oh, Y. H. (2017). Containerisation in VCL using Docker [Contenedorización en VCL usando Docker]. *International Journal of Cloud Computing*, 6(4), 384-392. <https://doi.org/10.1504/IJCC.2017.090207>
- Okwuide, J., Haavisto, J., Harjula, E., Ahmad, I., & Ylianttila, M. (2020). SDN Enhanced Resource Orchestration for Industrial IoT in Containerized Edge Applications [Orquestación de recursos mejorada de SDN para IoT industrial en aplicaciones perimetrales en contenedores]. *IEEE Access*, 2169-3536. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3045563>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, S. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S. ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews [La declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para informar revisiones sistemáticas]. *International Journal of Surgery*, 88, Article 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.1059066>

- Pahl, C. (2015). Containerization and the paas cloud [La contenedorización y la nube paas]. *IEEE Cloud Computing*, 2(3), 24-31. <https://doi.org/10.1109/MCC.2015.51>
- Palos-Sanchez, P. R., Arenas-Marquez, F. J., & Aguayo-Camacho, M. (2017). Cloud Computing (SaaS) adoption as a strategic technology: Results of an empirical study [Adopción de Cloud Computing (SaaS) como tecnología estratégica: resultados de un estudio empírico]. *Mobile Information Systems*, 20. <https://doi.org/10.1155/2017/25360400>
- Patra, M. K., Sahoo, B., & Turuk, A. K. (2023). Container as a Service in the Cloud: An Approach to Secure Hybrid Virtualization [Contenedor como servicio en la nube: un enfoque para la virtualización híbrida Segura]. In A. Sharma, A. Jain, & P. Sharma (Eds.), *Recent Trends and Best Practices in Industry 4.0* (pp. 59-76). River Publishers.
- Radchenko, G. I., Alaasam, A. B., & Tchernykh, A. N. (2019). Comparative analysis of virtualization methods in big data processing [Análisis comparativo de métodos de virtualización en el procesamiento de big data]. *Supercomputing Frontiers and Innovations*, 6(1), 48-79. <https://doi.org/10.14529/jsfi190107>
- Shah, S. A. R., Waqas, A., Kim, M. H., Kim, T. H., Yoon, H., & Noh, S. Y. (2021). Benchmarking and Performance Evaluations on Various Configurations of Virtual Machine and Containers for Cloud-Based Scientific Workloads [Evaluación comparativa y evaluaciones de rendimiento en diversas configuraciones de máquinas virtuales y contenedores para cargas de trabajo científicas basadas en la nube]. *Applied Sciences*, 11(3), Article 993. <https://doi.org/10.3390/app11030993>
- Shan, C., Xia, Y., Zhan, Y., & Zhang, J. (2023). KubeAdaptor: a docking framework for workflow containerization on Kubernetes [KubeAdaptor: un marco de acoplamiento para la contenedorización del flujo de trabajo en Kubernetes]. *Future Generation Computer Systems*, 148, 584-599. <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.06.0222>
- Singh, G., Singh, P., Motii, A., & Hedabou, M. (2024). A secure and lightweight container migration technique in cloud computing [Una técnica de migración de contenedores ligera y segura en la computación en la nube]. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 36(1), Article 101887. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101887>

- Singh, N., Hamid, Y., Juneja, S., Srivastava, G., Dhiman, G., Gadekallu, T. R., & Shah, M. A. (2023). Load balancing and service discovery using Docker Swarm for microservice based big data applications [Equilibrio de carga y descubrimiento de servicios utilizando Docker Swarm para aplicaciones de big data basadas en microservicios]. *Journal of Cloud Computing*, 12(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00358-77>
- Tihfon, G. M., Park, S., Kim, J., & Kim, Y. M. (2016). An efficient multi-task PaaS cloud infrastructure based on docker and AWS ECS for application deployment [Una eficiente infraestructura en la nube PaaS multitarea basada en Docker y AWS ECS para la implementación de aplicaciones.]. *Cluster Computing*, 19, 1585-1597. <https://doi.org/10.1007/s10586-016-0599-0>
- Valencia-Arias, A., Echeverri Gutiérrez, C. A., Acosta Agudelo, L. C., Echeverri Gutiérrez, M. S., & Rodríguez Valencia, C. A. (2023, enero-abril). Tendencias investigativas en facturación electrónica a nivel internacional entre 1979 y 2022. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (68), 217-254. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n68a10>
- Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping [Software de encuesta: VOSviewer, un programa informático de cartografía bibliométrica]. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-33>
- Xu, C., Du, X., Jian, H., Dong, Y., Qin, W., Mu, H., Yan, Z., Zhu, J., & Fan, X. (2022). Analyzing large-scale Data Cubes with user-defined algorithms: A cloud-native approach [Análisis de cubos de datos a gran escala con algoritmos definidos por el usuario: un enfoque nativo de la nube]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 109, Article 102784. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.1027844>
- Zhong, Z., Xu, M., Rodriguez, M. A., Xu, C., & Buyya, R. (2022). Machine learning-based orchestration of containers: A taxonomy and future directions [Orquestación de contenedores basada en aprendizaje automático: una taxonomía y direcciones futuras]. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(10s), 1-35. <https://doi.org/10.1145/35104155>
- Zhou, N., Georgiou, Y., Pospieszny, M., Zhong, L., Zhou, H., Niethammer, C., Pejak, B., Marko, O., & Hoppe, D. (2021). Container orchestration on HPC systems through Kubernetes

- [Orquestación de contenedores en sistemas HPC a través de Kubernetes]. *Journal of Cloud Computing*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s13677-021-00231-zz>
- Zhou, N., Zhou, H., & Hoppe, D. (2022). Containerization for high performance computing systems: Survey and prospects [Containerización para sistemas informáticos de alto rendimiento: estudio y perspectivas]. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 49(4), 2722-2740. <https://doi.org/10.1109/TSE.2022.3229221>
- Zhu, H., & Gehrman, C. (2021). Lic-Sec: an enhanced AppArmor Docker security profile generator [Lic-Sec: un generador mejorado de perfiles de seguridad de AppArmor Docker]. *Journal of Information Security and Applications*, 61, Article 102924. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.1029244>
- Zhu, J., & Liu, W. (2020). A tale of two databases: The use of Web of Science and Scopus in academic papers [Una historia de dos bases de datos: el uso de Web of Science y Scopus en artículos académicos]. *Scientometrics*, 123(1), 321-335. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-88>