

Contenerización y microservicios: un análisis de tendencias investigativas a través de la revisión de literatura

Containerization and Microservices: Analyzing Research Trends Through a Literature Review

Jorge Alberto Ramírez Valencia¹ , Germán Darío Ortíz Zapata² , Camilo Andrés Echeverri Gutiérrez³ , Leidy Catalina Acosta Agudelo⁴ 

¹Ingeniería Apropiable, Medellín - Colombia, jorge.ramirez@eureka.com.co, ²Ingeniería Apropiable, Medellín - Colombia, german.ortiz@iapropiada.com, ³Administrative Management Consultants S.A.S, Medellín - Colombia, presidencia@amyc.com.co, ⁴Administrative Management Consultants S.A.S, Medellín - Colombia, comercial@amyc.com.co

Cómo citar / How to cite

Ramírez Valencia, J. A., Ortíz Zapata, G. D., Echeverri Gutiérrez, C. A. y Acosta Agudelo, L. C. (2026). Contenerización y microservicios: un análisis de tendencias investigativas a través de la revisión de literatura *Revista CEA*, 12(28), Art. e3481. <https://doi.org/10.22430/24223182.3481>

RESUMEN

Objetivo: el presente estudio pretendió explorar las tendencias investigativas alrededor de la contenerización en el desarrollo de microservicios a partir de sus principales enfoques temáticos y vacíos de investigación existentes.

Diseño/metodología: se realizó un análisis bibliométrico mediante la metodología Prisma-2020, utilizando bases de datos como Scopus y Web of Science para la identificación y la selección de literatura relevante en el campo de estudio.

Resultados: la investigación evidenció los referentes temáticos, entre los cuales se incluyen autores como Khendek, Toeroe y Saied, fuentes como IEEE Cloud Computing y contribuciones significativas de países como Estados Unidos e Italia. Además, se identificaron palabras clave emergentes y en crecimiento, las cuales son importantes para el desarrollo del campo, como *Kubernetes*, *Docker*, *Machine Learning* y *Edge Computing*. Asimismo, se observó una evolución de un enfoque, al principio, en la distribución de microservicios que se trasladó, en años recientes, hacia la integración de tecnologías avanzadas como *machine learning*, *container technology*, *Docker* y *artificial intelligence*.

Conclusiones: la contenerización en microservicios continúa siendo un campo de estudio dinámico con amplias oportunidades de investigación, pero aún existen vacíos significativos que requieren mayor exploración, como la aplicación de tecnologías emergentes y su impacto en la eficiencia y la escalabilidad de los sistemas distribuidos.

Originalidad: la investigación contribuye al conocimiento al identificar brechas clave y resaltar la evolución del enfoque temático. Estos hallazgos ofrecen una visión integral de las tendencias investigativas en la contenerización de microservicios, proporcionando una base que puede tomarse en consideración para futuras investigaciones en el campo.

Palabras clave: análisis bibliométrico, contenerización de microservicios, inteligencia artificial, internet de las cosas, orquestación de contenedores.

Highlights

- La contenerización impulsa la escalabilidad y flexibilidad en arquitecturas de software modernas.
- Los microservicios concentran la mayor producción científica en sistemas distribuidos.
- La investigación revela tendencias y vacíos teóricos en contenerización y microservicios.
- Las revisiones de literatura fortalecen la toma de decisiones en ingeniería de software.

ABSTRACT

Objective: This study sought to explore research trends in the field of containerization within microservices development, with particular attention to prevailing thematic approaches and existing gaps in the literature.

Design/Methodology: A bibliometric analysis was conducted following the PRISMA 2020 guidelines. Relevant publications were identified and selected from databases such as Scopus and Web of Science.

Findings: The results highlight key thematic contributions from authors like Khendek, Toeroe, and Saied, as well as influential publication outlets such as IEEE Cloud Computing. Significant research activity was observed in countries such as the United States and Italy. Furthermore, emerging and rapidly growing keywords—among them Kubernetes, Docker, machine learning, and edge computing—were found to be central to ongoing developments in the field. Over time, the thematic emphasis appears to have shifted from an early focus on microservice distribution toward the integration of advanced technologies, including machine learning, container technology, Docker, and artificial intelligence.

Conclusions: Microservice containerization continues to represent a dynamic and expanding area of research. Nevertheless, significant gaps persist, particularly regarding the implementation of emerging technologies and their effects on the efficiency and scalability of distributed systems.

Originality: This article contributes to the body of knowledge by pinpointing critical research gaps and mapping the thematic evolution within the field. In doing so, it offers a comprehensive overview of current research trends in microservice containerization and a point of departure to guide future investigations.

Keywords: bibliometric analysis, microservice containerization, artificial intelligence, Internet of Things, container orchestration.

Highlights

- Containerization strengthens scalability and flexibility within contemporary software architectures.
- Microservices account for a substantial share of scientific production in the field of distributed systems.
- The findings of this study reveal both prevailing trends and theoretical gaps in research on containerization and microservices.
- Literature reviews contribute to more informed decision-making in software engineering practice.

1. INTRODUCCIÓN

La contenedorización es un espacio de desarrollo para microservicios que facilita el despliegue y la implementación eficientes de aplicaciones distribuidas a alta velocidad. *Docker* y *Kubernetes* son ejemplos de herramientas que han mostrado ser significativas a la hora de permitir escalar contenedores. Este último ha sido valioso en la implementación del software para garantizar algo fundamental: construir una infraestructura fuerte y escalable que respalde este requerimiento esencial para cualquier despliegue de aplicaciones de microservicios (Vayghan et al., 2018). Investigaciones pasadas subrayan el papel crucial del autoescalado inteligente y la computación en la nube como una prioridad para mejorar la respuesta del sistema en tiempo real (Vayghan et al., 2018).

La característica de encapsular las diferentes partes de una aplicación dentro de su propio contenedor puede tener sus propios beneficios y desafíos de aplicación en la computación y la ingeniería de software. Por tanto, hay esfuerzos en crear controladores independientes para Kubernetes que puedan administrar las aplicaciones con microservicios (Vayghan et al., 2021). Al mismo tiempo, se aceptan las capacidades básicas que son necesarias de alguna manera a la arquitectura de orquestación de contenedores (Khan, 2017), siendo importante en el desarrollo actual de la infraestructura de software (Vayghan et al., 2019).

Con eso en mente, la arquitectura de microservicios ha evolucionado como una alternativa bien adaptada para la implementación de las últimas aplicaciones, ayudando a formar sistemas flexibles y sin restricciones. Como consecuencia, los intereses en el monitoreo y la trazabilidad han estado creciendo para lograr resultados útiles en la depuración y optimización de los sistemas distribuidos (Cinque et al., 2022).

Algunos estudios están dedicados a identificar y mitigar riesgos en entornos complejos, incluidos aquellos asociados con la Industria 4.0. Un ejemplo de esto es la sugerencia de marcos automáticos para el análisis de gráficos de ataque basados en el objetivo de mejorar la seguridad del sistema (Stergiopoulos et al., 2022). Tales contribuciones juegan un papel importante en el diseño de arquitecturas distribuidas donde una respuesta rápida y sin errores es una necesidad para garantizar la estabilidad operativa. Y de manera similar, la combinación de tecnologías como la inteligencia artificial (IA), la automatización inteligente, la computación en la nube, el Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y la arquitectura ciberfísica abre las posibilidades (Raja Santhi y Muthuswamy, 2023).

Lo anterior tiene un impacto directo en la eficiencia operativa, la escalabilidad y la fiabilidad de los sistemas modernos. Algunos de los estudios al respecto han ampliado el alcance del análisis hacia arquitecturas de computación en la nube basadas en contenedores, con el objetivo de encontrar nuevos caminos para integrar la contenedorización en nuevos paradigmas de computación distribuida (Chen y Liu, 2021b). En conjunto, muestra que la contenedorización es importante en el diseño y la gestión de arquitecturas distribuidas y también formula una base conceptual para futuras investigaciones sobre la gestión eficiente de recursos para la optimización en diversos entornos como redes de computación en la nube e Internet de las cosas. De esta manera, se han realizado varios estudios para analizar los desafíos y oportunidades de la optimización de infraestructuras utilizando planificadores de contenedores inteligentes tendientes a proporcionar microservicios dentro de estas redes (Pérez de Prado et al., 2020) y se han propuesto métodos de

monitoreo de caja negra para monitorear el rendimiento y la ejecución del sistema (Brondolin y Santambrogio, 2020).

En el escenario latinoamericano, un cambio hacia la transformación digital está impulsando la adopción de tecnologías basadas en contenedorización. La Industria 4.0 se está convirtiendo en un impulsor crítico para mejorar los procesos de producción en países como Colombia. En este contexto, la región está transitando hacia un ecosistema más digitalizado, caracterizado por la contenedorización y los microservicios, centrales para crear una solución escalable y adaptable. No obstante, la adopción de estas herramientas para tales tecnologías, la madurez de las estructuras, las capacidades de integración y los desafíos asociados siguen siendo una barrera para su implementación completa y pueden impedir su plena explotación (Valencia-Ayala et al., 2025).

Aun con el progreso revelado, la literatura indica necesidades no resueltas en términos de investigación, que requieren nuevos métodos de investigación. También es necesario proporcionar tecnologías más inteligentes para dimensionar autónomamente los microservicios en entornos distribuidos y adaptarse automáticamente a las variaciones de carga dinámica (Abdel Khaleq y Ra, 2023). De manera similar, se enfatiza la importancia de hacer mejores predicciones para el uso de recursos de sistemas contenedorizados, especialmente en sistemas como Kubernetes, con el fin de optimizar el rendimiento y la distribución eficiente de recursos (Turin et al., 2023).

Se reconoce la necesidad de herramientas de simulación especializadas para permitir el modelado y la evaluación del comportamiento de arquitecturas de microservicios contenedorizados, como lo demuestran implementaciones como la plataforma SimCES (Kannisto et al., 2022). Estos antecedentes han permitido la caracterización de dominios particulares donde la investigación actual no logra explorar adecuadamente los desafíos y las oportunidades. Por lo tanto, la implementación de una bibliometría encaminada a descubrir tendencias, brechas y futuras vías de investigación es necesaria para el campo. Considerando lo anterior, los objetivos de este estudio son investigar las tendencias existentes en la investigación y responder las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles han sido las principales tendencias investigativas sobre contenerización y microservicios durante la última década?
2. ¿Qué tecnologías, enfoques y metodologías han predominado en la literatura científica sobre contenerización en entornos de microservicios?
3. ¿Quiénes son los autores, países y fuentes más influyentes en la producción científica sobre este campo?
4. ¿Cómo ha evolucionado el enfoque temático relacionado con la contenerización y los microservicios en la literatura especializada?
5. ¿Qué clústeres conceptuales y redes de coocurrencia describen las líneas actuales de investigación en contenerización?
6. ¿Cuáles son las palabras clave emergentes, crecientes y consolidadas en el estudio de la contenerización y los microservicios?
7. ¿Qué vacíos investigativos pueden identificarse y cómo pueden orientar el diseño de futuras agendas de investigación en esta temática?

De acuerdo con el propósito mencionado anteriormente, el tema de la investigación se describe a través de un método bibliométrico que está diseñado de tal manera que se proporciona el contexto y

la importancia del documento, se describen los procedimientos de búsqueda, la selección de estos y el análisis de sus resultados, lo que hace evidente la posibilidad de identificar tendencias así como nuevas direcciones de investigación, y también se discute la interpretación de los hallazgos en relación con sugerencias para posibles vías de investigación. Al final del documento, se presentan las conclusiones con una síntesis de los principales resultados, destacando la relevancia e importancia del tema de estudio.

2. METODOLOGÍA

Utilizando los parámetros establecidos en la declaración Prisma-2020, se propuso un estudio exploratorio con herramientas bibliométricas para analizar las fuentes secundarias de la literatura sobre la contenedorización en el desarrollo de microservicios. Esta técnica permite la extracción sistemática y completa de la evidencia existente con el fin de comprender tendencias, áreas focales y vacíos en el conocimiento (Page et al., 2021).

Criterios de elegibilidad

Para obtener una muestra representativa y completa de los trabajos relevantes en el campo, se desarrolló un criterio de inclusión relacionado con metadatos para estudios que, en sus títulos y/o palabras clave, incluyeran los términos «contenedorización» y «desarrollo de microservicios» y la combinación de dichos términos de diferentes maneras en que estos conceptos podrían ser citados en la literatura científica.

En contraste, el método de exclusión tiene tres etapas. En la primera fase se excluyeron todos los registros indexados incorrectamente para asegurar que solo se incluyeran los documentos relevantes en el tema de estudio; en la segunda fase solo se consideraron revisiones sistemáticas de literatura, donde se eliminaron todos los documentos para los cuales no se dispone de acceso al texto completo, evitando así sesgos debido a la falta de información completa; en la tercera fase se descartaron todas las indexaciones incompletas y las actas de conferencias para hacer la evaluación sistemática de los metadatos más consistente y confiable.

Fuente de información

Una vez desarrollados los criterios de elegibilidad, se seleccionaron las fuentes de información que se utilizarían para la búsqueda. Debido a su reconocimiento como las principales fuentes de información académica y científica en la actualidad, se escogieron las bases de datos Scopus y Web of Science, ya que en evaluaciones han demostrado su amplia cobertura y precisión en la indexación de revistas de manera multidisciplinar (Aksnes y Sivertsen, 2019) y, desde la literatura académica, se ha evidenciado su uso particular para analizar tendencias de investigación destacando su utilidad y fiabilidad (Nafik Hadi Ryandono et al., 2023). Por tanto, esta decisión garantizó que se obtuviera una muestra representativa con el fin de facilitar un análisis de las tendencias y los patrones.

Estrategia de búsqueda

Se diseñaron dos ecuaciones de búsqueda especializadas que respondieran a los criterios de inclusión definidos y adaptadas a las características de búsqueda de las bases de datos seleccionadas con el fin de recuperar los documentos relevantes relacionados con la contenerización en el desarrollo de microservicios.

Para la base de datos Scopus:

```
((TITLE(containerization OR "container orchestration" OR "container management" OR docker OR kubernetes OR "Docker Swarm" OR "container deployment") AND TITLE(microservices OR "microservice architecture" OR "microservice development" OR "service-oriented architecture" OR soa)) OR (KEY(containerization OR "container orchestration" OR "container management" OR docker OR kubernetes OR "Docker Swarm" OR "container deployment") AND KEY(microservices OR "microservice architecture" OR "microservice development" OR "service-oriented architecture" OR soa)))
```

Para la base de datos Web of Science:

```
((TI=(containerization OR "container orchestration" OR "container management" OR docker OR kubernetes OR "Docker Swarm" OR "container deployment") AND TI=(microservices OR "microservice architecture" OR "microservice development" OR "service-oriented architecture" OR soa)) OR (AK=(containerization OR "container orchestration" OR "container management" OR docker OR kubernetes OR "Docker Swarm" OR "container deployment") AND AK=(microservices OR "microservice architecture" OR "microservice development" OR "service-oriented architecture" OR soa)))
```

Gestión de datos

En la gestión de los datos se usaron dos herramientas. Para extraer, almacenar y tratar los metadatos obtenidos, se empleó Microsoft Excel®, que facilitó la organización sistemática para su posterior análisis y procesamiento. Mientras que para la visualización de los resultados y la generación de gráficas, se utilizó la misma herramienta en conjunto con el software gratuito VOSviewer®. Este último fue creado por Van Eck y Waltman, y es utilizado en este tipo de estudios porque ofrece funcionalidades específicas para el mapeo bibliométrico, permitiendo la representación visual de redes de coautoría, términos clave y otras relaciones relevantes en el conjunto de datos (Eck y Waltman, 2010).

Proceso de selección

Considerando que el estudio toma como base lo establecido en la declaración Prisma 2020, es importante mencionar el proceso de selección de estudios, así como cualquier validación interna o externa (Page et al., 2021). En este sentido, para el desarrollo del presente estudio, se utilizó una herramienta interna de automatización en Microsoft Excel®, desarrollada por todos los investigadores. Cada uno utilizó la herramienta de forma independiente para aplicar los

criterios de inclusión y exclusión definidos; esta medida contribuyó a reducir el riesgo de estudios perdidos o clasificaciones incorrectas, mediante la convergencia de los resultados.

Proceso de recolección de datos

De igual manera, en la declaración Prisma 2020 se menciona la utilización de métodos para recopilar datos, incluyendo el número de revisores involucrados, si trabajaron de manera independiente, y cualquier proceso para obtener o confirmar datos (Page et al., 2021). En este caso específico, todos los autores del estudio participaron como revisores en términos de validación, llevando a cabo sus tareas de manera independiente; también se realizó un proceso de confirmación de datos de manera colectiva, con el objetivo de alcanzar una convergencia absoluta en los resultados obtenidos.

Elementos de datos

Para la recopilación de resultados alineados con el objetivo propuesto por la investigación, se aplicó la ecuación de búsqueda especializada que se detalló anteriormente, adaptándola a las especificaciones de Scopus y Wos. No obstante, al revisar la documentación obtenida, se evidenció que había datos poco precisos o que faltaban, por lo cual se optó por excluirlos en la categoría de «no relevantes», ya que no contribuían a la comprensión de la base de conocimiento sobre el objeto de estudio, de esta manera se garantiza la relevancia de los datos que serán insumo para el análisis.

Evaluación del riesgo de sesgo del estudio

En cuanto a la evaluación del riesgo de sesgo, se tomó una medida colaborativa aplicada por todos los autores involucrados en la investigación. A partir de la herramienta automatizada que se mencionó en la gestión de datos, se realizó una revisión independiente considerando aspectos como la calidad metodológica, la representatividad de la muestra y la posible influencia de sesgos en los resultados. Esta práctica permitió garantizar la integridad de los datos al asegurar una evaluación objetiva del riesgo.

Medidas de efecto

Esta fase se refiere a las métricas implementadas para la síntesis de los resultados. Si bien estas medidas son más comunes en investigaciones primarias, para este caso, en vez de utilizar métodos tradicionales como el cociente de riesgo o la diferencia de medias, se examinan el número de publicaciones, el número de citas, la temporalidad del uso de cada palabra clave y la asociación temática entre los artículos.

Métodos de síntesis

Con el fin de determinar la elegibilidad de los estudios para la síntesis, se tabularon sus características y se compararon con los criterios de inclusión. Para ello, se aplicaron métodos de preparación de los datos, incluyendo el manejo de estadísticas de resumen faltantes y la conversión de datos basada en

indicadores bibliométricos de cantidad, calidad y estructura, los cuales fueron aplicados a los documentos que superaron las tres fases de exclusión (Durieux y Gevenois, 2010).

Evaluación del sesgo de notificación

Se reconoce que existe la posibilidad de sesgo hacia determinados sinónimos encontrados en tesauros como el IEEE, lo que se refleja en los criterios de inclusión, la estrategia de búsqueda y la recopilación de datos. Este sesgo podría influir en la selección de artículos y afectar la representatividad de la muestra analizada; además, la exclusión de documentos con indexación incompleta y actas de conferencia podría llevar a la omisión de información valiosa para la construcción del conocimiento sobre la temática, lo que representa otro posible sesgo en el proceso de síntesis de la bibliometría. Es crucial tener en cuenta estos factores al interpretar los resultados y las conclusiones del estudio, con el fin de mitigar el riesgo de sesgo y garantizar la validez de los hallazgos obtenidos.

Evaluación de certeza

Se evaluó la certeza del cuerpo de evidencia de manera general, en contraste con los estudios primarios que evalúan la certeza de forma individual. Esta evaluación se llevó a cabo mediante la aplicación independiente de los criterios de inclusión y exclusión, así como con la definición de indicadores bibliométricos; del mismo modo, se notifican posibles sesgos, definidos en el diseño metodológico, y se mencionan las limitaciones del estudio en la fase de discusión. Esta aproximación permite una evaluación global de la certeza del cuerpo de evidencia en el contexto de la bibliometría.

En la Figura 1 se puede observar un diagrama del estudio exploratorio con herramientas bibliométricas basado en Prisma-2020.

Así, el proceso metodológico se inició con la identificación de artículos mediante la aplicación de la estrategia de búsqueda en las fuentes de información seleccionadas y la posterior eliminación de registros duplicados. Los datos obtenidos fueron sometidos a las tres fases de exclusión establecidas para refinar los resultados. Como resultado de este proceso, se seleccionaron 99 artículos que fueron incluidos en el análisis bibliométrico.

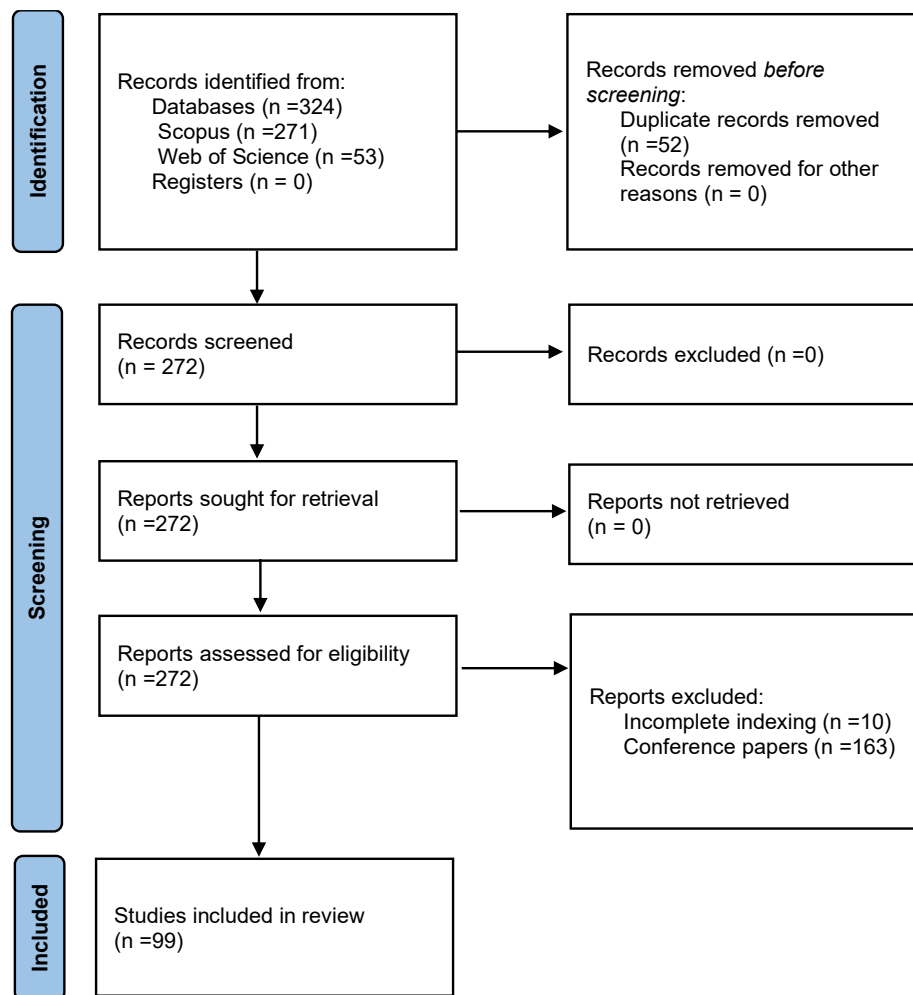


Figura 1. Diagrama de flujo Prisma

Figure 1. PRISMA flowchart

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

3. RESULTADOS

Los hallazgos del estudio muestran que se identificaron tendencias, patrones y características relevantes en la evolución de la contenedorización y los microservicios. La Figura 2 revela un importante aumento en la producción científica de tipo polinómico cuadrático, como lo indica el porcentaje de 98.4, lo cual refleja un creciente interés académico, especialmente para el período 2020-2023, y confirma la relevancia del tema y la necesidad de seguir explorándolo.

Al revisar la documentación de estos años, se evidencia un interés por aspectos de aplicación, optimización, seguridad y monitoreo. En 2020, los estudios se centraban en evaluar la importancia del rendimiento en sistemas basados en microservicios, orientando las investigaciones hacia los desafíos de escalabilidad. A partir de esto, se presentaron métodos cuantitativos para estimar umbrales de carga y políticas de paso en arquitecturas distribuidas (Rudrabhatla, 2020). Para el

siguiente año, la necesidad de verificar la aplicación de la contenerización en otros escenarios impulsó estudios como el de Chen y Liu (2021a), enfocados en el contexto de la reidentificación de personas en infraestructuras IoT con IA, en los que se demostró el uso de los microservicios en contextos diversos como la seguridad y vigilancia.

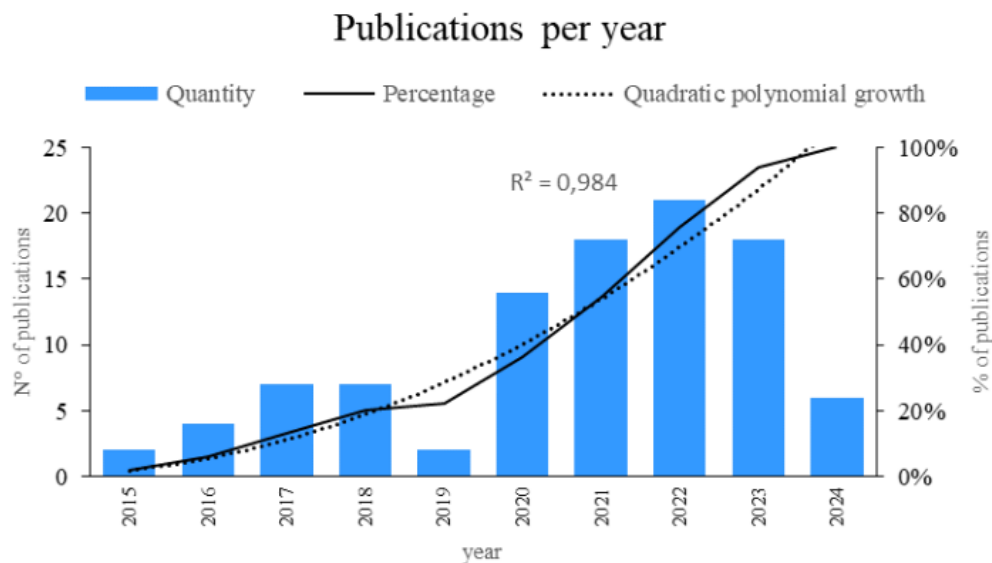


Figura 2. Publicaciones por año

Figure 2. Publications by year

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

Lo anterior es coherente con los resultados de estudios publicados en 2022, en los cuales la literatura investigó la seguridad y el monitoreo, así como los datos con un enfoque en el análisis automático de gráficos de ataque en redes de la Industria 4.0 y el seguimiento de microservicios a través de trazas de ejecución en la caja negra (Cinque et al., 2022; Stergiopoulos et al., 2022). Estos estudios ilustran la necesidad de protección y observabilidad en entornos altamente distribuidos. El año 2023 es un año en el que la investigación en la optimización de sistemas en la nube se vuelve más prominente y la investigación se está moviendo hacia arquitecturas que son más inteligentes y adaptativas; esto incluye propuestas como Diktyo, que es un sistema de programación consciente de la red para plataformas basadas en contenedores cuyo objetivo es integrar parámetros de red para la mejora del rendimiento (Santos et al., 2023).

Este crecimiento polinómico de tipo cuadrático, en conjunto con los métodos presentados en la literatura, se vuelve interesante en el sentido de que se propone un examen de las referencias teóricas principales. En cuanto a esto, tanto en cantidad como en representación, el análisis de los resultados de los autores reveló dos perfiles separados que eran cuantificables tanto por la cantidad de publicaciones que recibe el material como por la cantidad de citas que tiene (ver Figura 3). Por otro lado, autores como Khendek, Toeroe y Saied, distinguidos por su alta productividad y sus números de referencias, son autores focales para el tema por su contribución y continuidad. Mientras tanto, otros autores como Taibi, Pahl, Lenarduzzi, Anderson y Abdollahi Vayghan, aunque tienen un menor número de publicaciones, registran un alto nivel de citas, por lo que sus

contribuciones han generado un efecto significativo. El impacto de estos autores se explica por la relevancia de sus estudios, que abordan algunos aspectos críticos de la arquitectura de microservicios.

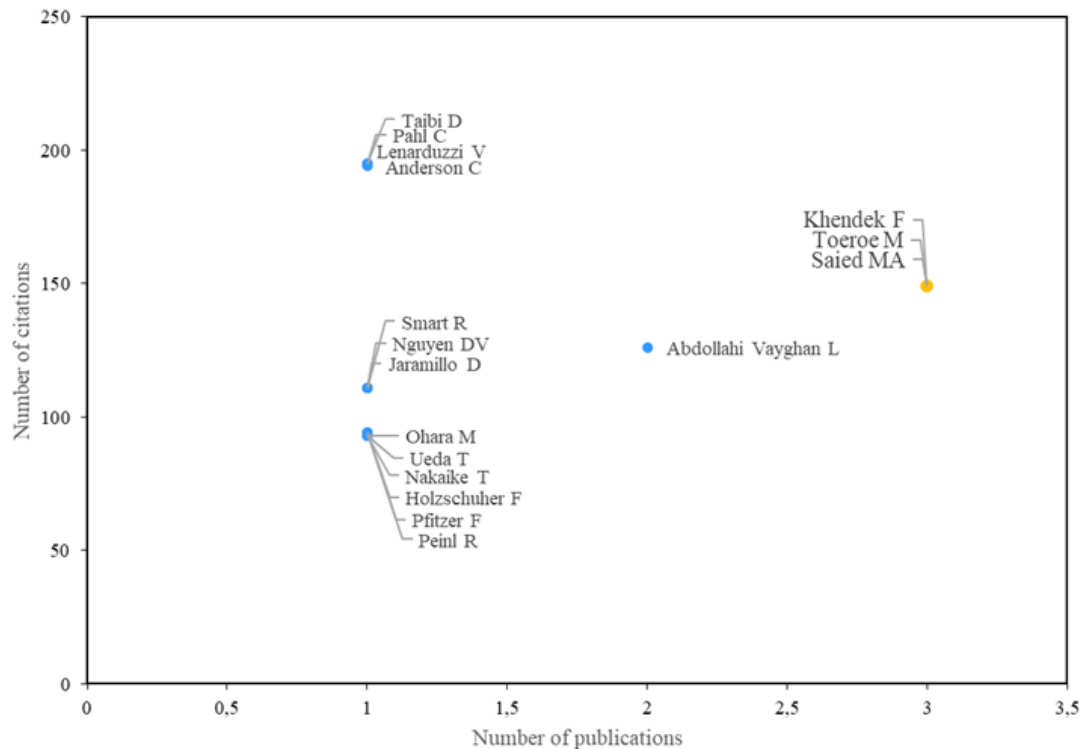


Figura 3. Principales autores

Figure 3. Most influential authors

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science

Entre las contribuciones más representativas de estos autores, se destaca el trabajo sobre un controlador de Kubernetes para gestionar la disponibilidad de aplicaciones estatales basadas en microservicios elásticos (Vayghan et al., 2021) y un estudio sobre arquitecturas orientadas a garantizar alta disponibilidad, reforzando la importancia de este tema en entornos distribuidos (Vayghan et al., 2019). Estos aportan al campo desde un enfoque práctico en la resolución de desafíos de disponibilidad en sistemas complejos. Por su parte, Taibi et al. (2017) desarrollaron una investigación referente para la modernización tecnológica donde evalúan procesos, motivaciones y dificultades de la migración a microservicios; este estudio refleja un alto impacto en la comunidad académica ya que ofrece una comprensión integral de los retos organizacionales y técnicos asociados a la adopción de microservicios.

Asimismo, se analizaron las principales revistas utilizando los mismos parámetros que los autores para clasificar su nivel de productividad e impacto, como se observa en la Figura 4. En este sentido, el primer grupo está conformado por revistas que destacan en ambas dimensiones, siendo IEEE Cloud Computing la más representativa, una referencia en la literatura sobre contenerización y microservicios al publicar estudios influyentes en la consolidación del conocimiento en este campo.

Por su parte, el segundo grupo incluye revistas como IEEE Software y Journal of Grid Computing, que se distinguen por su alto impacto, aunque con una productividad relativamente menor. Esto indica que, si bien publican un volumen reducido de artículos, sus trabajos tienden a ser muy citados, con una contribución directa en la difusión de estudios conceptuales, teóricos y técnicos de gran relevancia para la ingeniería de software y los sistemas distribuidos.

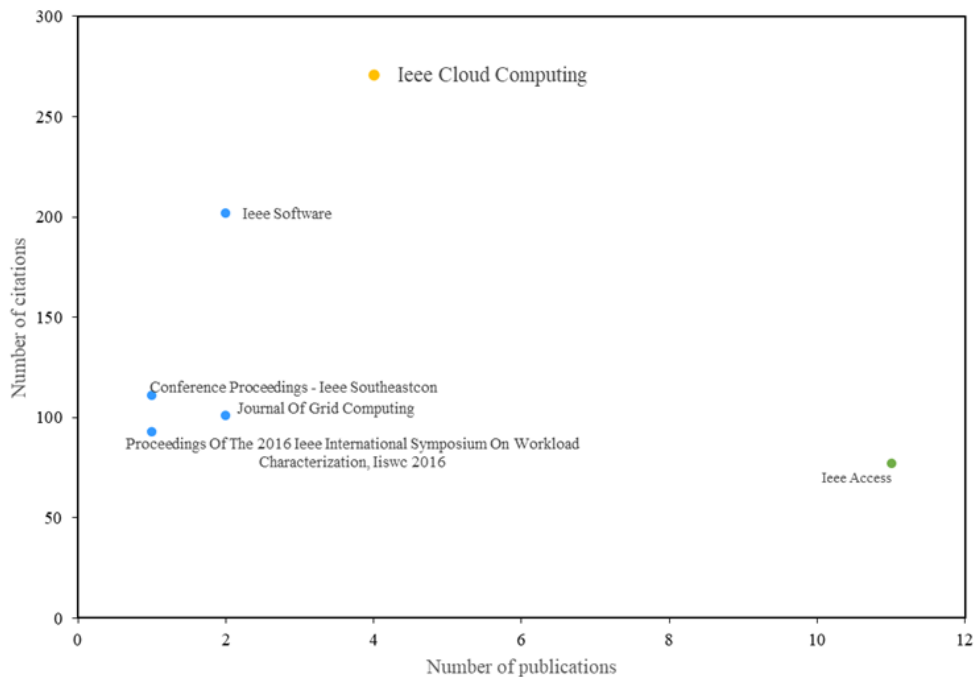


Figura 4. Principales revistas

Figure 4. Main journals

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science

Por el contrario, IEEE Access logra una productividad muy alta, pero una citación relativamente modesta en comparación con revistas de otros segmentos. Aunque ha recibido menos citas del público en general, este volumen de publicaciones proporciona un espacio para que los avances científicos y las propuestas técnicas se difundan.

Las contribuciones más significativas se revisan en profundidad en esta clasificación. IEEE Cloud Computing es especialmente útil para publicar artículos sobre los procesos de pre-migración a arquitecturas de microservicios (Taibi et al., 2017). IEEE Software también fue fundamental en la difusión de tecnologías fundamentales como Docker, que aumentaron no solo la alfabetización técnica sino también la comprensión práctica del desarrollo de microservicios (Anderson, 2015).

Según los hallazgos, trabajos realizados sobre cómo ejecutar clústeres de Docker en la nube también se han publicado en Journal of Grid Computing, proporcionando una base teórica y práctica para gestionar entornos distribuidos (Peinl et al., 2016). Por último, IEEE Access también ha hecho que la publicación de trabajos sobre el autoescalado inteligente de microservicios sea una tendencia creciente como una forma de comunicar soluciones experimentales (Khaleq y Ra, 2021).

El análisis de los principales países permitió identificar tres grupos diferenciados según su contribución científica, medida por el número de publicaciones y el impacto en citas (ver Figura 5). El primer grupo está compuesto por Estados Unidos e Italia, países que se destacan simultáneamente por su alta productividad y por un impacto significativo, razón por la cual se consolidan como referentes centrales en el estudio de la contenerización y los microservicios. Su liderazgo se explica tanto por el volumen de investigaciones producidas como por la influencia que estas han ejercido en la comunidad científica internacional.

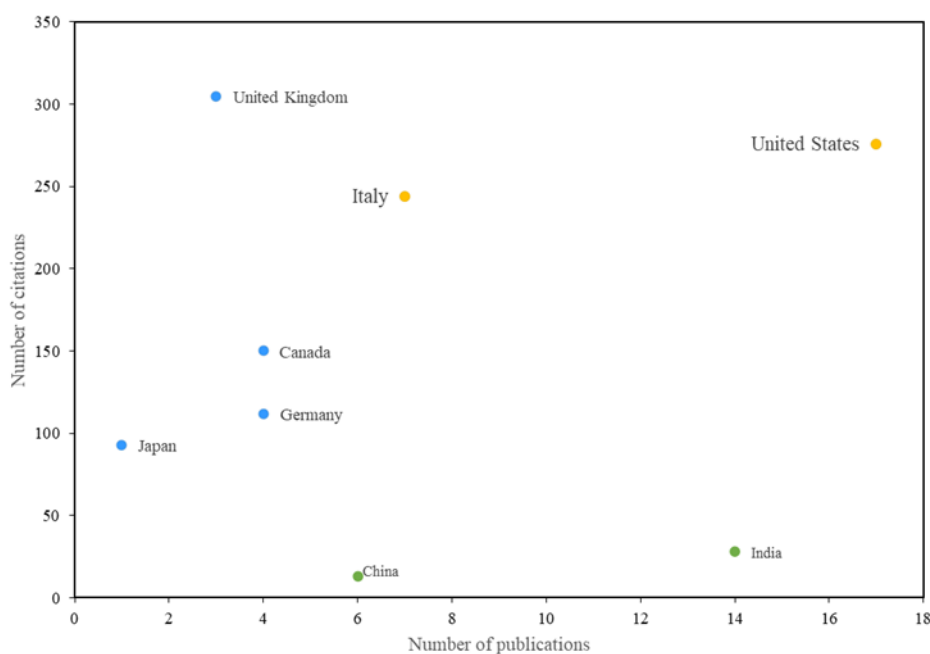


Figura 5. Principales países

Figure 5. Leading contributing countries

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

Estados Unidos está a la vanguardia en sistemas distribuidos sobre microservicios, como se describe en el diseño con Docker y Serfnode en los estudios de Stubbs et al. (2015). Por el contrario, Italia desempeñó un papel formativo al explicar y obtener una comprensión de cómo migrar a arquitecturas de microservicios, presentando resultados empíricos sobre las motivaciones y la resistencia respecto a la migración a microservicios (Taibi et al., 2017).

El segundo grupo incluye países como Reino Unido y Canadá, cuya relevancia proviene principalmente de su alto impacto, a pesar de contar con una productividad menor en comparación con las naciones líderes. Esto indica que los estudios publicados por estos países han sido muy citados, lo que refleja la calidad y pertinencia de sus aportes. Su influencia se concentra en la producción de trabajos conceptuales y tecnológicos que han contribuido al avance de la arquitectura de microservicios.

Reino Unido contribuyó significativamente al desarrollo técnico de varias tecnologías clave como Docker, con su propio énfasis único en documentar su uso en la ingeniería de software (Anderson, 2015). Canadá, por su parte, analiza arquitecturas basadas en Kubernetes, particularmente en el contexto de la gestión de aplicaciones con microservicios (Vayghan et al., 2018).

Por último, se identifica un tercer grupo en el que se destaca India, caracterizada por una alta productividad, aunque con un impacto en citas relativamente menor. Esto sugiere un creciente interés y una participación científica en el área, impulsados por una rápida producción de estudios, aunque aún en proceso de consolidación en términos de influencia internacional. India es un importante centro de estudio para conceptos innovadores relacionados con el despliegue de aplicaciones multinube en entornos nativos de la nube (Chelliah y Surianarayanan, 2021), un desafío emergente asociado con el despliegue de sistemas distribuidos avanzados en los centros de datos modernos. Allí, también, sus avances en aspectos recientes han sido significativos.

La evolución temática entre 2015 y 2024 evidencia cambios en las palabras clave más representativas de cada año. Según se observa en la Figura 6, en los primeros periodos se destacaba un enfoque hacia el concepto «*distributed*», lo cual refleja que los estudios iniciales se dirigieron hacia los fundamentos de los sistemas distribuidos, lo que posteriormente marcaría la base técnica para la escalabilidad, disponibilidad y el desarrollo hacia nuevas líneas de investigación, contribuyendo a comprender cómo tecnologías como Docker y Serfnode podían aplicarse en arquitecturas distribuidas (Stubbs et al., 2015).

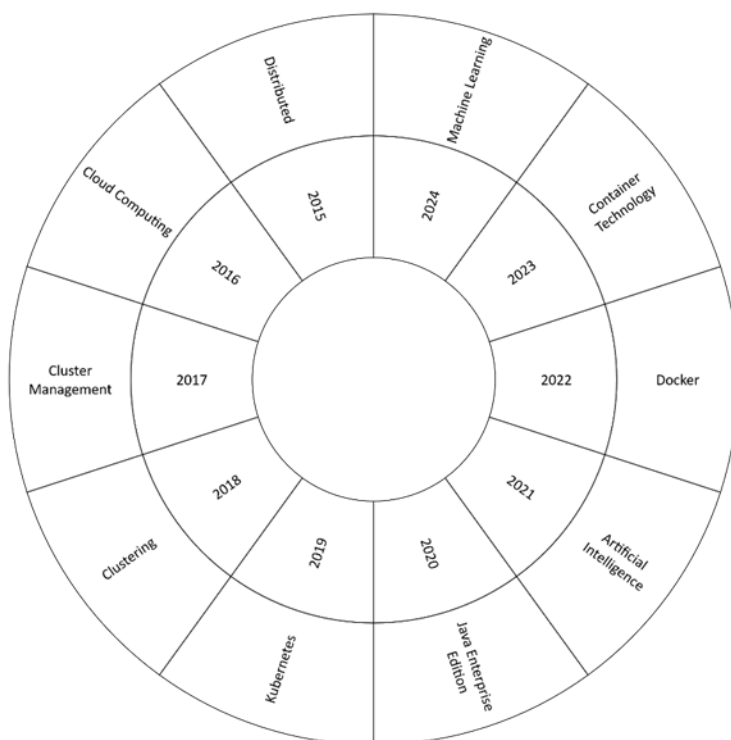


Figura 6. Evolución temática

Figure 6. Thematic evolution in the field

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science

Con el avance de la década, se observa una transición hacia temas más especializados y complejos, en los que predominan conceptos como «*Machine Learning*», «*Container Technology*», «*Docker*» y «*Artificial Intelligence*». Esta evolución evidencia una ampliación del campo en tecnologías emergentes asociadas a la automatización inteligente, el análisis de datos y la optimización de infraestructuras nativas en la nube.

El grupo verde, que contiene las palabras clave contenedorización, nativo en la nube, aprendizaje automático, contenedor Docker, ingeniería del caos, SOA y autoescalado, también forma otro tema. Este grupo está dedicado a la investigación de la computación nativa en la nube, la automatización inteligente y el escalado dinámico de microservicios. Varios estudios abordaron la contenedorización de simulaciones basadas en arquitecturas de alto nivel (Berg et al., 2016), y arquitecturas autogestionadas que se proponen para microservicios (Toffetti et al., 2015).

Asimismo, existen métodos para avanzar hacia la monitorización proactiva y la orquestación de sistemas multimedia nativos en la nube (Chowdhury et al., 2024), y estudios adicionales sobre los factores que influyen en el autoescalado de Kubernetes en aplicaciones de computación intensiva (Tahezadeh y Grobelnik, 2020). En este grupo destaca la creciente importancia de integrar técnicas de IA, mecanismos de autoescalado y prácticas de ingeniería del caos para mejorar la resiliencia y adaptabilidad de los sistemas basados en microservicios.

La Figura 8 presenta un plano cartesiano diseñado para evaluar la frecuencia de uso y la vigencia de las palabras clave asociadas a la contenerización en el desarrollo de microservicios. Esta representación gráfica divide el espacio en cuatro cuadrantes, lo que permite clasificar los conceptos según su presencia actual y su relevancia en la literatura científica. El cuadrante 4 agrupa términos con baja frecuencia y vigencia, destacándose en esta categoría la palabra clave *Docker*, cuyo uso ha disminuido en años recientes. En contraste, el cuadrante 3 incluye conceptos que aún no alcanzan consolidación, mostrando un nivel reducido tanto de frecuencia como de actualidad. El cuadrante 2 alberga términos emergentes, poco frecuentes, pero muy vigentes, como *Monolithic*, *Fault Tolerance*, *Horizontal Scaling*, *Edge Computing* y *Load Balancing*. Finalmente, el cuadrante 1 agrupa los conceptos consolidados y en crecimiento, entre los cuales *Kubernetes* se destaca por su relevancia sostenida en el campo.

El análisis del cuadrante 4 permite observar que Docker, a pesar de ser un hito en la evolución de la contenerización, ha perdido protagonismo en años recientes. La disminución de su presencia puede explicarse por la diversificación de tecnologías más avanzadas o por una posible saturación investigativa. En periodos anteriores, Docker constituía uno de los ejes temáticos centrales dada su importancia para la implementación y eficiencia de arquitecturas basadas en microservicios, como se evidencia en estudios que analizaban su aplicación para mejorar la escalabilidad y el rendimiento (Jaramillo et al., 2016). Su descenso actual no invalida su relevancia histórica, pero sí sugiere un desplazamiento del interés hacia herramientas más integrales o de mayor complejidad en ecosistemas modernos.

El cuadrante 2 integra ideas que se están volviendo más prominentes en el trabajo de los investigadores actuales. Términos como *monolítico*, *tolerancia a fallos*, *escalado horizontal* denotan conversaciones estratégicas y técnicas sobre las diferentes opciones y desafíos de las arquitecturas distribuidas. El restablecimiento del interés en la arquitectura monolítica entra en juego cada vez que se necesitan comparar las ventajas y desventajas del enfoque monolítico con los microservicios en diferentes contextos organizacionales (Shabani et al., 2022). Asimismo, la tolerancia a fallos es un eje crucial que permanece en el centro crítico en los sistemas distribuidos porque los sistemas modernos aún lidian con el problema de la disponibilidad y la fiabilidad (Martinez et al., 2022). Al mismo tiempo, el escalado horizontal se introduce como un proceso básico de gestión dinámica de la carga de trabajo y aseguramiento del rendimiento en sistemas distribuidos (Rudrabhatla, 2020).

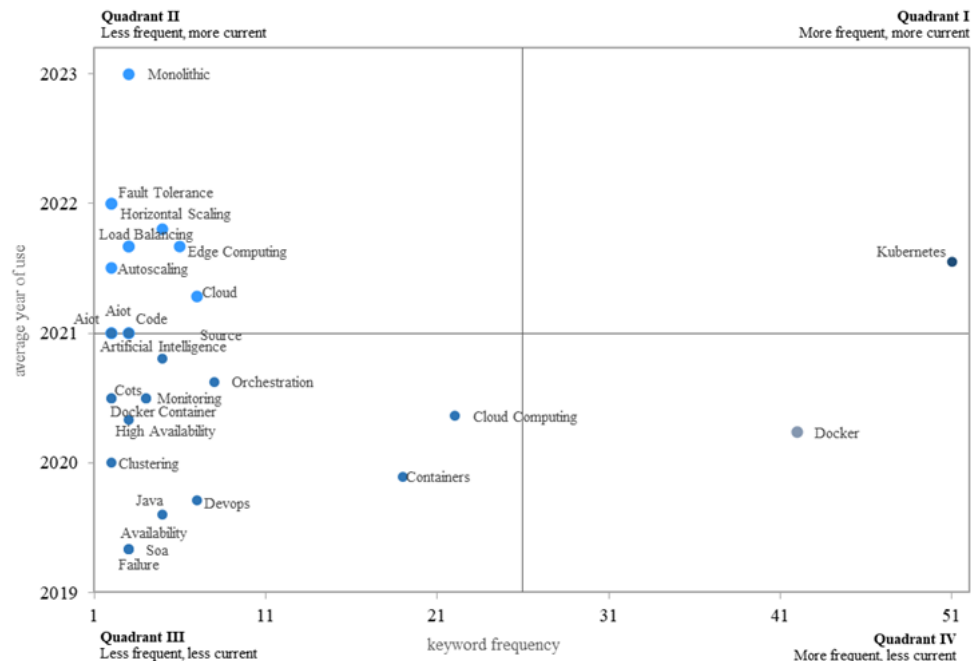


Figura 8. Vigencia y frecuencia de las palabras clave

Figure 8. Validity and frequency of keywords

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

Finalmente, el cuadrante I resume las ideas más comunes en la literatura y también aquellas con la proyección futura más positiva, en este caso Kubernetes, que se considera una tecnología central para la orquestación de contenedores. Su popularidad proviene de su capacidad para automatizar procesos involucrados con el despliegue, escalado y gestión de aplicaciones distribuidas complejas. Su utilidad práctica en entornos de microservicios ha sido investigada extensamente y sus ventajas operativas citadas (Vayghan et al., 2018). La expansión y madurez de Kubernetes para gestionar arquitecturas nativas de la nube refleja su crecimiento continuo como herramienta para la arquitectura nativa de la nube que debe mantener la escalabilidad, así como la disponibilidad y eficiencia para aplicaciones modernas.

4. DISCUSIÓN

En esta sección se abordan las implicaciones prácticas de los resultados, se discuten las limitaciones del estudio y se ofrece una clasificación de las palabras clave según su función. Asimismo, se identifican las principales brechas de investigación que surgen de los resultados y contribuyen a delinear una agenda de investigación para el campo.

Comparación con otros resultados

Los resultados de este estudio muestran una evolución temática marcada por la transición desde enfoques centrados en sistemas distribuidos hacia líneas más recientes vinculadas con tecnologías inteligentes, orquestación avanzada y arquitecturas nativas en la nube. Este comportamiento coincide con lo reportado por Al Qassem et al. (2024), quienes destacan que el crecimiento de los

microservicios contenerizados ha estado estrechamente asociado al desarrollo de nuevos marcos de gestión de recursos. Su revisión evidencia que la literatura más reciente prioriza soluciones de optimización, planificación y despliegue eficiente, lo cual se alinea con la prominencia de conceptos como *Kubernetes*, *Container Orchestration* y *Multi-Cloud* identificados en este estudio.

Asimismo, los hallazgos relacionados con la disminución de la vigencia de términos como *Docker* coinciden con las observaciones de Malhotra et al. (2024), quienes señalan que, aunque *Docker* fue un punto de partida esencial para la contenerización, la atención investigativa se ha desplazado hacia problemas de mantenimiento, seguridad, automatización y compatibilidad entre herramientas. Su revisión sistemática demuestra que el enfoque actual se orienta hacia desafíos más complejos del ciclo de vida de los contenedores, lo que explica el interés creciente en tecnologías, prácticas y conceptos más avanzados, tal como lo sugiere la concentración de los términos emergentes y consolidados que se identificaron en los cuadrantes del plano cartesiano.

De manera complementaria, la relevancia de clústeres asociados al balanceo de carga, escalabilidad y estrategias multinube se corresponde con lo reportado por Gogineni y Sivalingam (2024), quienes identifican una proliferación de métodos y algoritmos orientados a la planificación, programación y optimización del rendimiento en sistemas distribuidos basados en contenedores. Los autores subrayan que la eficiencia operativa y la asignación dinámica de recursos son tendencias dominantes en la literatura reciente, lo cual coincide plenamente con los hallazgos del clúster azul y del cuadrante 2, donde conceptos como *Load Balancing* y *Horizontal Scaling* emergen como áreas para la evolución futura de los microservicios contenerizados.

Clasificación de las palabras clave sobre contenerización en el desarrollo de microservicios según su función

La Tabla 1 proporciona una clasificación de las palabras clave emergentes y crecientes organizadas según su función. Esta clasificación permite comprender las características y aplicaciones en el contexto de la temática. Categorizar las palabras clave según su función, facilita la exploración de tendencias y patrones emergentes, así como áreas de investigación prioritarias y oportunidades para el avance del conocimiento.

Tabla 1. Clasificación de las palabras clave según su función

Table 1. Classification of keywords according to their function

Palabra clave	Herramientas asociadas	Aplicaciones	Características
Monolithic	Microservicios, Docker	Despliegue de aplicaciones en un único binario	Agrupamiento de componentes en un solo entorno
Fault Tolerance	Resilience4j, Hystrix	Manejo de fallos y errores en sistemas distribuidos	Tolerancia a fallos y errores mediante recuperación automática
Horizontal Scaling	Kubernetes, Docker Swarm	Ajuste dinámico de recursos para manejar la carga de trabajo	Escalabilidad horizontal mediante replicación de instancias

Palabra clave	Herramientas asociadas	Aplicaciones	Características
Edge Computing	AWS iot Greengrass, Microsoft Azure iot Edge	Procesamiento de datos y ejecución de aplicaciones cerca del borde de la red	Proximidad a los datos y procesamiento en el lugar de origen
Load Balancing	Nginx, HAProxy	Distribución equitativa de carga entre múltiples servidores	Reducción de congestión y mejora del rendimiento
Kubernetes	Minikube, kubectl	Orquestación de contenedores para la gestión de microservicios en entornos de producción	Automatización del despliegue, escalado y operaciones de contenedores

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

De esta manera, las funciones de la tabla pueden agruparse en los diferentes componentes que están relacionados con el desarrollo y la implementación de arquitecturas de microservicios en entornos con contenedores. Esta funcionalidad incluye el nivel de problemas técnicos con la orquestación de contenedores, la gestión de recursos, los mecanismos de seguridad y los procesos de monitoreo, así como el diseño general en torno a la escalabilidad, la interoperabilidad y la integración del sistema, que son vitales para garantizar que estas arquitecturas funcionen de manera óptima y sostenible.

Implicaciones teóricas

El análisis comparativo del número anual de publicaciones resalta tendencias y dinámicas de la producción científica a lo largo del tiempo, revelando hacia dónde se inclina la atención académica y dónde aún hay potencial para mejorar. Conocer las bases teóricas y sus contribuciones es esencial para construir la evolución conceptual que sigue en términos del estudio del territorio.

Al analizar los hallazgos de investigación, se puede indagar sobre la evolución temática para ver cómo el enfoque y las preocupaciones de la investigación han cambiado a lo largo del tiempo, mientras se reflexiona sobre el desarrollo en el conocimiento del tema de investigación: es decir, dónde en la literatura las discusiones han evolucionado y cuáles son las tendencias de investigación predominantes.

La co-ocurrencia de palabras clave no solo ayuda a encontrar la vinculación conceptual de términos que puede llevar a comprender conexiones interdisciplinarias potenciales, sino que también puede generar potenciales líneas de investigación interdisciplinaria. Las nuevas palabras clave en expansión también solidifican cuestiones y conceptos emergentes que están cobrando cada vez más importancia en el área de investigación, y por lo tanto pueden señalar dónde invertir esfuerzos en la nueva dirección de la investigación, ya que la evidencia de investigación capturada es útil para crear futuras agendas de investigación, así como un plan de mejora para el avance académico.

Como herramienta metodológica, la bibliometría es un mecanismo esencial que interpreta y guía la investigación en un campo; además, permite identificar el punto de las brechas de investigación, lo cual ayuda a distinguir entre las áreas subdesarrolladas o pobres encontradas en la literatura y a señalar caminos de investigación para llenar el vacío en esta dirección.

Implicaciones prácticas

Este análisis bibliométrico tiene importantes implicaciones para el mundo real tanto en la industria como en la investigación en un campo caracterizado por una evolución continua. El cambio en la evolución temática es evidente desde enfoques centrados en «distribuidos» hacia «aprendizaje automático», «tecnología de contenedores», «Docker» e «inteligencia artificial», mostrando un cambio hacia metodologías y tecnologías avanzadas en el diseño, la implementación y gestión de arquitecturas de microservicios. Esta transformación es altamente relevante para empresas y organizaciones que desean implementar prácticas modernas de desarrollo de software y las está guiando en la dirección correcta de tecnologías que mejorarán sus operaciones y proporcionarán una ventaja estratégica.

Este importante clúster temático con términos como *microservicios*, *orquestración de contenedores*, *multinube*, *eBPF*, *algoritmo genético* y *balanceo de carga* se obtuvo para proporcionar referencia y determinar la tendencia y las áreas de interés. Este descubrimiento les permite a las empresas centrarse en la inversión en investigación y desarrollo, y dirigir a la academia hacia aquellas líneas de investigación donde la afinidad conceptual y la necesidad de conocimiento específico son altas.

De manera similar, el examen de la frecuencia y pertinencia de palabras clave añade una dimensión práctica que permite el descubrimiento de conceptos en declive, en desarrollo y en expansión, como *Docker*, *monolítico*, *tolerancia a fallos*, *escalado horizontal*, *computación en el borde*, *balanceo de carga* y *Kubernetes*. Este conocimiento es importante tanto para organizaciones como para investigadores para responder rápidamente a los cambios en la tecnología y las condiciones del mercado.

Con respecto a esto, los resultados obtenidos pueden informar no solo la formulación de estrategias para el desarrollo de productos y servicios, sino también el marco de la agenda de investigación futura para las necesidades de la contenedorización aplicada al contexto del sector de microservicios. Así, proporcionan visiones comprensivas sobre el nivel actual de conocimiento como insumo para la toma de decisiones que apoyan la innovación y el progreso en los campos industrial y académico. Por lo tanto, estos hallazgos tienen implicaciones de gran alcance para la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones. Con la visión obtenida de los procesos identificados y los avances en tecnología, la toma de decisiones gerenciales en términos de implementar tecnologías de contenedorización y arquitecturas de microservicios basadas en las mejores prácticas documentadas en la literatura, mejorará su eficiencia operativa, escalabilidad y seguridad del sistema de software.

Otra implicación práctica útil concierne a una serie de políticas y regulaciones respecto al uso de contenedorización y microservicios. En la medida en que la implementación de tales tecnologías en la práctica requiera la formulación de políticas, la participación de los responsables de políticas y

reguladores en la articulación del alcance, beneficios y riesgos de dichas tecnologías será de suma importancia.

Desde este punto de vista, los hallazgos del análisis bibliométrico pueden facilitar el desarrollo de la formulación de directrices, estándares y regulaciones para promover la innovación sin infringir los derechos de los usuarios y las organizaciones. Y también sugerirá posibles colaboraciones entre instituciones de educación superior, emprendedoras y de investigación. Al identificar a los principales actores en el campo, en qué se especializan, las asociaciones estratégicas que apoyarán la investigación conjunta, el intercambio de conocimientos y la creación de redes mutuas, pueden promover la interdisciplinariedad que conduce al avance científico y acelera el desarrollo de tecnologías que ocurren en esta área.

Además, las implicaciones de este trabajo también son significativas en la educación y la formación profesional en la era actual, indicando el conocimiento y las habilidades que son importantes para los trabajos en el mercado laboral para construir la contenedorización y los microservicios. Tales aportes afectan los diseños y mejoras en los cursos educativos y de formación y pueden permitir que la formación profesional satisfaga mejor las necesidades industriales actuales y las que existirán en el futuro, haciendo que el mercado laboral sea más competitivo en informática y computación empresarial y campos similares.

Limitaciones

La limitación más significativa del análisis bibliométrico actual es cómo se seleccionaron las bases de datos. Aunque tanto Scopus como Web of Science son fuentes académicas altamente reputadas y comúnmente referenciadas en estudios científicos, la omisión de otras bases de datos especializadas o menos estándar también puede haber resultado en una falta de publicaciones relevantes, lo que podría limitar las generalizaciones y la capacidad de identificar nuevas tendencias.

Además, aunque la metodología Prisma-2020 sirve como un método para el desarrollo de revisiones sistemáticas y estudios bibliométricos, también puede plantear limitaciones en la práctica misma. Es importante destacar que la calidad de los resultados depende en gran medida de la precisión y la exhaustividad de los términos de búsqueda y los criterios empleados en la búsqueda de documentos y en los criterios de selección y clasificación de documentos. Estas técnicas están sujetas a las interpretaciones y los posibles sesgos de los investigadores, lo que puede afectar los resultados y las conclusiones. Tales limitaciones deben considerarse al analizar los resultados de este análisis bibliométrico.

Brechas investigativas

La Tabla 2 presenta una visión detallada de las principales brechas de investigación identificadas, las cuales corresponden a áreas estratégicas que requieren mayor atención y profundización en estudios futuros, con el propósito de ampliar el conocimiento existente y atender las limitaciones presentes en el campo de estudio.

Tabla 2. Brechas de investigación

Table 2. Identified research gaps

Categoría	Brechas investigativas	Justificación	Preguntas para futuros investigadores
Brechas temáticas	1. Optimización de recursos en entornos de contenerización	A pesar de los avances, aún existen desafíos en la optimización de recursos, como CPU, memoria y almacenamiento, en entornos de contenerización	¿Cuáles son las estrategias más efectivas para optimizar recursos en entornos de contenerización de microservicios?
	2. Integración de IA en contenerización	La integración de técnicas de IA en el desarrollo y la gestión de microservicios contenerizados es un área prometedora que aún requiere investigación	¿Cómo pueden aprovecharse las técnicas de IA para mejorar la gestión de microservicios en entornos contenerizados?
Brechas geográficas	1. Investigación en países en desarrollo	La mayoría de la investigación actual se centra en países desarrollados, lo que crea una brecha en el conocimiento sobre la contenerización de microservicios en contextos menos desarrollados	¿Cuáles son los desafíos y las oportunidades al implementar tecnologías de contenerización en países en desarrollo?
	2. Colaboración internacional	Falta colaboración entre investigadores de diferentes países, lo que limita la comprensión global de la contenerización de microservicios	¿Cómo pueden fomentarse y facilitarse las colaboraciones internacionales en investigación sobre contenerización de microservicios?
Brechas Interdisciplinarias	1. Integración de seguridad en desarrollo de microservicios	La integración de prácticas de seguridad en el desarrollo de microservicios contenerizados es esencial, pero aún está poco explorada desde una perspectiva interdisciplinaria	¿Cómo pueden los profesionales de la seguridad y los desarrolladores colaborar eficazmente para garantizar la seguridad en los entornos contenerizados de microservicios?
	2. Impacto ambiental de la contenerización	Aunque se han estudiado los beneficios técnicos de la contenerización, falta investigación sobre su impacto ambiental, que requiere una perspectiva interdisciplinaria que abarque la informática y la ecología	¿Cuál es el verdadero impacto ambiental de las tecnologías de contenerización en comparación con los enfoques tradicionales de implementación de software?

Categoría	Brechas investigativas	Justificación	Preguntas para futuros investigadores
Brechas temporales	1. Evaluación del impacto a largo plazo de la contenerización	A medida que la contenerización continúa evolucionando, falta una comprensión clara de su impacto a largo plazo en el desarrollo de microservicios y en la industria en general	¿Cuáles serán las implicaciones a largo plazo de la adopción generalizada de tecnologías de contenerización en el desarrollo de microservicios?
	2. Tendencias futuras en contenerización	La rápida evolución de la tecnología plantea la necesidad de investigar las tendencias futuras en contenerización para anticipar desafíos y oportunidades emergentes	¿Cuáles son las posibles direcciones futuras de la contenerización de microservicios y cómo pueden influir en las estrategias empresariales y tecnológicas?

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

La Tabla 2 permite identificar las brechas de carácter temático, temporal, geográfico e interdisciplinario, poniendo de manifiesto la necesidad de profundizar en la integración de tecnologías emergentes, tales como la IA y el aprendizaje automático, en el contexto de la contenerización de microservicios. Asimismo, resalta la pertinencia de explorar enfoques innovadores orientados a abordar dichas brechas, las cuales constituyen oportunidades relevantes para el desarrollo de investigaciones futuras que podrían propiciar avances significativos en el campo y contribuir a mejorar la eficiencia y la eficacia de los sistemas basados en microservicios.

Agenda de investigación

La contenedorización está transformando el desarrollo de microservicios, y una de las principales tecnologías es Kubernetes. Implementa la automatización para la creación, el escalado y mantenimiento de contenedores, ayudando a optimizar y mantener la eficiencia y fiabilidad del despliegue y mantenimiento de contenedores en sistemas distribuidos. Esto requerirá una evaluación de la flexibilidad de Kubernetes en diferentes entornos y casos de uso, así como el desarrollo de enfoques de orquestación complejos para permitir la gestión subsiguiente de recursos y fallos en una arquitectura de microservicios contenedorizada.

Por su parte, Docker es una herramienta importante para la aplicación de contenedorización y también es ubicua para el desarrollo de microservicios. Esta es una de las razones fundamentales por las cuales es una aplicación que puede apoyar el desarrollo y despliegue de otras aplicaciones. Este campo puede tener futuras implementaciones potenciales o también servirá como punto de entrada para futuras investigaciones y desarrollos que tengan como objetivo integrar mejor Docker dentro de otras herramientas de desarrollo y orquestación, o evaluar sus efectos en la seguridad y el rendimiento. La mejora requiere más investigación sobre estrategias de optimización de imágenes y métodos para mejorar dichas tecnologías.

Estas técnicas de orquestación de contenedores permiten manejar con éxito microservicios dentro del entorno contenedorizado. Permiten que las aplicaciones distribuidas escalen, estén disponibles

y sean resilientes. Además, en cuanto a un mejor rendimiento y seguridad de las soluciones de orquestación en trabajos futuros, se necesita una revisión de enfoques técnicos y metodológicos para abordar cómo este enfoque afectaría la planificación y el desarrollo de sistemas de arquitectura de microservicios.

Las metodologías DevOps también son importantes para construir microservicios contenedorizados y acercan el desarrollo de aplicaciones y las operaciones para acelerar el tiempo de entrega de software y ofrecer mejor calidad. Trabajos futuros pueden indagar si estas técnicas/herramientas DevOps (pipelines de CI/CD u otras integraciones continuas) pueden integrarse sin problemas en los flujos de trabajo de los equipos que trabajan en microservicios contenedorizados. De manera similar, se puede explorar la importancia de DevOps para la automatización de pruebas, el monitoreo continuo y la gestión de configuración dentro de los sistemas de contenedores. Un estudio adicional también podría considerar pautas y patrones de diseño para construcciones de microservicios contenedorizados. Estos modelos pueden ayudar a superar problemas repetitivos de procesamiento de datos, comunicación entre microservicios, interacción con sistemas externos.

Por otro lado, es necesario ver algunos métodos avanzados relacionados con la observabilidad y la resiliencia y también la mitigación de estos riesgos emergentes en las arquitecturas futuras. En el contexto de los microservicios, donde se emplea la contenedorización, *monolítico* ha sido el término más influyente, que representa la arquitectura clásica similar a un sistema monolítico y significa que considera una plataforma donde las aplicaciones se desarrollan y despliegan como una sola parte de software. Con las organizaciones avanzando en la modernización tecnológica, existe esta creciente búsqueda de saber cómo pasar de sistemas monolíticos a microservicios contenedorizados para el desarrollo. En consecuencia, investigaciones futuras podrían analizar detalladamente las estrategias, metodologías y herramientas utilizadas para descomponer aplicaciones monolíticas en microservicios independientes, así como el efecto de la contenedorización en permitir ese proceso gradual y controlado.

Además, la investigación sobre la transformación monolítica en la modernización podría concentrarse en el reconocimiento de ciertos problemas asociados con la descomposición de sistemas heredados, como la interconexión de componentes y la manipulación del cambio organizacional. De manera similar, se podrían investigar enfoques que ayuden a la integración continua, aceleren la introducción de nuevas capacidades y mejoren el rendimiento y la escala de aplicaciones transformadas con la utilidad de plataformas de contenedores.

La computación en la nube es un concepto importante con respecto a la contenedorización de microservicios, ya que facilita, gestiona y opera en infraestructuras distribuidas a gran escala. El hecho de que los servicios en la nube necesiten habilitar la provisión flexible y elástica de recursos informáticos es esencial para las operaciones a escala y para obtener la disponibilidad de microservicios contenedorizados. Por lo tanto, es una dirección valiosa para futuras investigaciones explorar cómo se puede mejorar el despliegue óptimo de tecnologías de contenedorización para entornos de computación en la nube y nuevos enfoques para el despliegue, la orquestación y la gestión de contenedores para infraestructuras híbridas y *multicloud* en el futuro.

La nube también es un tema de actualidad en tanto las organizaciones están migrando cargas de trabajo a la nube para obtener elasticidad, disponibilidad y eficiencia operativa. Aquí es donde entra la contenedorización: define los servicios de manera flexible, lo que permite una distribución más eficiente y una administración más fluida desde el punto de vista del *overhead*. Así, es posible proponer estrategias para aprovechar las tecnologías de contenedores junto con infraestructura como servicio (IaaS), plataforma como servicio (PaaS) y software como servicio (SaaS) para mejorar el rendimiento y la administración de aplicaciones alojadas en la nube en el futuro.

En contraste, la computación en el borde está ganando un interés creciente debido a la necesidad de procesar datos en el borde de la red para aplicaciones de baja latencia y respuestas en tiempo real. La contenedorización permite empaquetar y alojar microservicios en dispositivos periféricos y puertas de enlace, lo que posibilita la distribución de cargas de trabajo en entornos heterogéneos. Por lo tanto, es posible realizar trabajos futuros para comprender cómo la contenedorización puede formar parte del soporte de microservicios y qué implica esto en términos de computación en el borde, como el uso de aplicaciones de *edge computing* para manejar recursos escasos y, al mismo tiempo, obtener medidas de seguridad con sincronización de datos en tiempo real.

La relevancia del lenguaje de programación Java sigue aplicándose a la contenedorización de microservicios, siendo cada vez más útil para el desarrollo de aplicaciones empresariales y sistemas distribuidos. La contenedorización constituye una forma convencional, o al menos portátil, de incrustar aplicaciones Java en diferentes infraestructuras, facilitando su migración y gestión. En este sentido, un próximo estudio podría centrarse en el diseño de herramientas y técnicas para la contenedorización de aplicaciones Java, así como en el establecimiento de mejores prácticas para optimizar el rendimiento y la eficiencia de estas implementaciones.

Por último, debido al creciente número de dispositivos conectados, el IoT se está convirtiendo rápidamente en uno de los campos más prometedores para el desarrollo de microservicios contenedorizados. La contenedorización representa un enfoque adecuado para el despliegue escalable y seguro de microservicios en entornos IoT, con énfasis en el control de la lógica de aplicación en dispositivos periféricos y puertas de enlace. Desde esta perspectiva, las líneas de investigación futuras pueden incluir el diseño arquitectónico de marcos específicos, así como soluciones y herramientas para la contenedorización de aplicaciones IoT, con el fin de abordar desafíos relacionados con la seguridad, el consumo de recursos y la interoperabilidad en diversos entornos heterogéneos.

En la Figura 9 se expone una relación de los conceptos estudiados en este artículo y su relevancia en los años recientes.

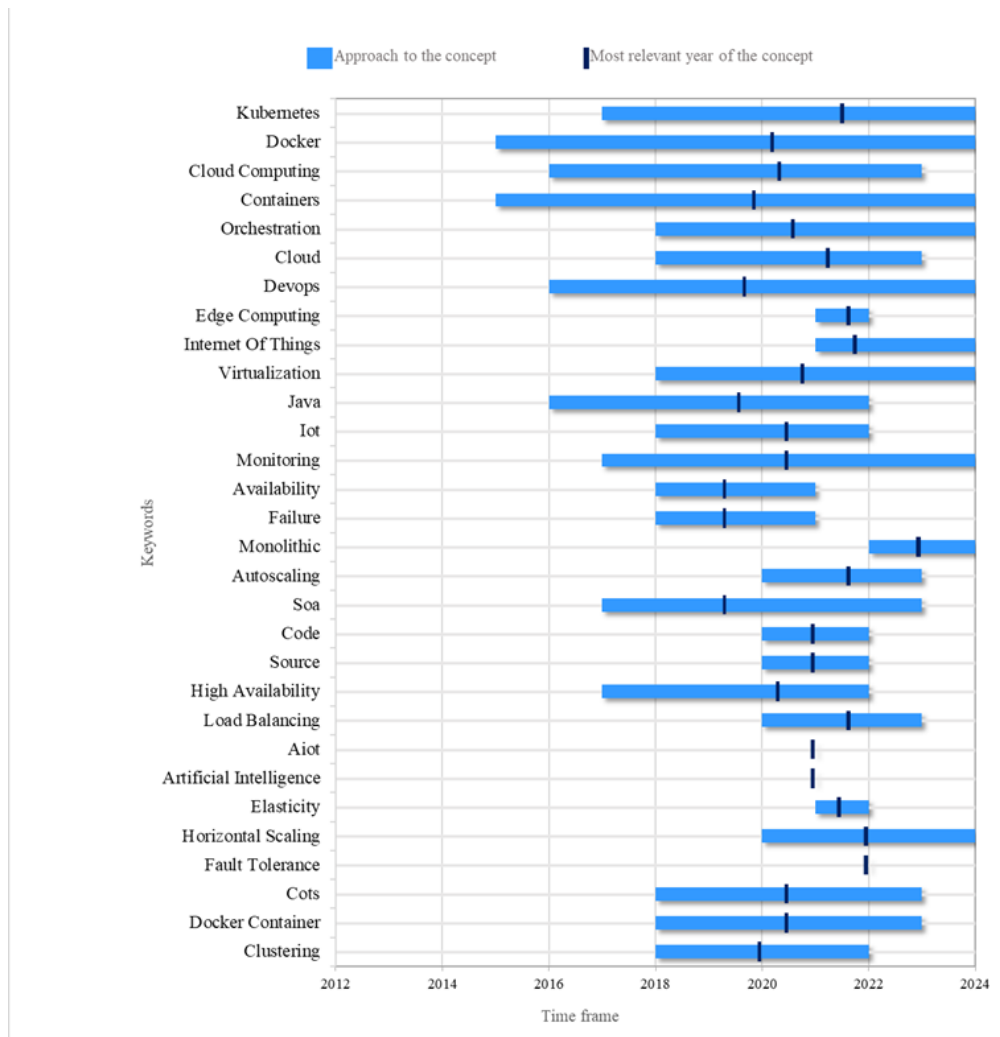


Figura 9. Agenda investigativa.

Figure 9. Research agenda

Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

5. CONCLUSIONES

El análisis bibliométrico muestra un crecimiento sostenido y rápido en la producción científica en contenedorización y arquitecturas de microservicios, especialmente durante 2022 y 2023. Esto no es solo resultado de un creciente interés por parte de la comunidad académica en nuevas tecnologías, sino también un cambio en el campo debido a necesidades tecnológicas y fuerzas del mercado que favorecen el uso de una arquitectura menos rígida y más escalable y adaptable.

La autoría concentrada en revistas de alta influencia como IEEE Cloud Computing; autores como Khendek., Toeroe, y Saied, y algunas regiones del mundo, como Estados Unidos e Italia, revelan una estructura relativamente centralizada de producción académica, lo que permite cuestionar la dimensión contextual y la representación de diferentes realidades tecnológicas y geográficas en la academia.

La identificación de la evolución temática en la que los temas clave van desde el nivel fundamental hasta los enfoques más avanzados de aprendizaje automático, tecnología de contenedores, autoescalado e IA indica un cambio sustancial en el área de investigación. Esta evolución destaca escenarios importantes en los que tales tecnologías inteligentes no solo pueden evolucionar, sino también comprometer los sistemas existentes en cuanto a seguridad, gobernanza de servicios y estabilidad operativa.

Los patrones de agrupaciones temáticas también sugieren el establecimiento de líneas de investigación centrales, aunque el diseño está abierto al descubrimiento de dominios poco examinados que determinarían el progreso futuro del campo, como la relación de los microservicios con los sistemas heredados y la construcción de mecanismos de tolerancia a fallos resilientes en entornos híbridos. Una idea importante se refleja en el análisis del plano cartesiano, donde los conceptos alrededor de Kubernetes se vuelven más importantes, mientras que en el caso de Docker pierden algo de su utilidad. Este comportamiento puede significar ineficiencia tecnológica o incluso un movimiento sobreprogresivo hacia soluciones más sofisticadas en la capa de orquestación. Esto evidencia la necesidad de entender estas dinámicas en términos de sostenibilidad, interoperabilidad y rentabilidad de las plataformas de software a mediano y largo plazo.

De manera similar, un reciente aumento en ideas, como monolítico, tolerancia a fallos, escalado horizontal, sugiere que los debates en torno a arquitecturas híbridas y resiliencia operativa pueden volver al primer plano y redefinir las líneas entre monolítico y distribuido. Por último, pero no menos importante, los hallazgos son relevantes en sectores como la Industria 4.0, para los cuales la contenedorización y los microservicios juegan un papel necesario en la habilitación de sistemas de alta disponibilidad, procesamiento distribuido y automatización inteligente.

Sin embargo, hay notables lagunas en la literatura, en particular cuando se trata de escalado en tiempo real, interoperabilidad segura entre plataformas heterogéneas o la utilización práctica del aprendizaje automático en decisiones operativas. Por lo tanto, se plantea una agenda de investigación dirigida a análisis de alta resiliencia y autocuración, enfoques de migración a paisajes industriales complejos, modelos de gobernanza para construir arquitecturas nativas de la nube y soluciones interdisciplinarias para definir ingeniería de software, inteligencia artificial e infraestructura industrial. Esas líneas son dominios abiertos y caminos de investigación que aún no han sido explorados a fondo y pueden informar el desarrollo de este campo en el futuro.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés financiero, profesional o personal que pueda influir de forma inapropiada en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Jorge Alberto Ramírez Valencia contribuyó en la conceptualización del estudio, el diseño metodológico, el análisis de resultados y la redacción del manuscrito.

Germán Darío Ortiz Zapata participó en el desarrollo del marco teórico, el análisis de tendencias y la revisión crítica del contenido.

Camilo Andrés Echeverri Gutiérrez aportó en la formulación del problema, la discusión de resultados y la revisión técnica del manuscrito.

Leidy Catalina Acosta Agudelo contribuyó en la organización de la información, el análisis comparativo de la literatura, la redacción de secciones específicas y la revisión final. Todos los autores aprobaron la versión final del artículo.

DECLARACIÓN DE USO DE HERRAMIENTAS DE IA

Los autores declaran el uso de herramientas de inteligencia artificial como apoyo en la redacción preliminar y revisión de estilo del manuscrito. El análisis, la interpretación y las decisiones académicas fueron realizados exclusivamente por los autores, quienes asumen plena responsabilidad por el contenido final.

FINANCIACIÓN

Este artículo es producto de un trabajo académico independiente y fue desarrollado con financiación propia, sin apoyo de proyectos institucionales o entidades externas.

REFERENCIAS

- Abdel Khaleq, A., y Ra, I. (2023). Intelligent microservices autoscaling module using reinforcement learning. *Cluster Computing*, 26(5), 2789-2800. <https://doi.org/10.1007/s10586-023-03999-8>
- Aksnes, D. W., y Sivertsen, G. (2019). A criteria-based assessment of the coverage of Scopus and Web of Science. *Journal of Data and Information Science*, 4(1), 1-21. <https://scispace.com/pdf/a-criteria-based-assessment-of-the-coverage-of-scopus-and-qvd3t9z231.pdf>
- Al Qassem, L. M., Stouraitis, T., Damiani, E., y Elfadel, I. M. (2024). Containerized microservices: A survey of resource management frameworks. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 21(4), 3775-3796. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2024.3388633>
- Anderson, C. (2015). Docker [Software engineering]. *IEEE Software*, 32(3), 102-c3. <https://doi.org/10.1109/MS.2015.62>
- Berg, T., Siegel, B., y Cramp, A. (2016). Containerization of high level architecture-based simulations: A case study. *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, 14(2), 115-138. <https://doi.org/10.1177/1548512916662365>

- Brondolin, R., y Santambrogio, M. D. (2020). A Black-box Monitoring Approach to Measure Microservices Runtime Performance. *ACM Transactions on Architecture and Code Optimization*, 17(4), 1-26. <https://doi.org/10.1145/3418899>
- Chelliah, P. R., y Surianarayanan, C. (2021). Multi-cloud adoption challenges for the cloud-native era: Best practices and solution approaches. *International Journal of Cloud Applications and Computing (IJCAC)*, 11(2), 67-96. <https://doi.org/10.4018/IJCAC.2021040105>
- Chen, C. H., y Liu, C. T. (2021a). A 3.5-tier container-based edge computing architecture. *Computers & Electrical Engineering*, 93, art. 107227. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107227>
- Chen, C. H., y Liu, C. T. (2021b). Person Re-Identification Microservice over Artificial Intelligence Internet of Things Edge Computing Gateway. *Electronics*, 10(18), art. 2264. <https://doi.org/10.3390/electronics10182264>
- Chowdhury, R., Talhi, C., Ould-Slimane, H., y Mourad, A. (2024). Proactive and intelligent monitoring and orchestration of cloud-native IP multimedia subsystem. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 5, 139-155. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2023.3341002>
- Cinque, M., Della Corte, R., y Pecchia, A. (2022). Microservices Monitoring with Event Logs and Black Box Execution Tracing. *IEEE Transactions on Services Computing*, 15(1), 294-307. <https://doi.org/10.1109/TSC.2019.2940009>
- Durieux, V., y Gevenois, P. A. (2010). Bibliometric indicators: quality measurements of scientific publication. *Radiology*, 255(2), 342-351. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090626>
- Eck, N., y Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Gao, R., Xie, X., y Guo, Q. (2023). K-TAHP: A Kubernetes Load Balancing Strategy Base on TOPSIS+ AHP. *IEEE Access*, 11, 102132-102139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3313643>
- Gogineni, N., y Sivalingam, S. M. (2024). A systematic review on recent methods of scheduling and load balancing for containers in distributed environments. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 11(116), 1030-1048. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2023.10102431>
- Guerrero, C., Lera, I., y Juiz, C. (2018). Resource optimization of container orchestration: a case study in multi-cloud microservices-based applications. *The Journal of Supercomputing*, 74(7), 2956-2983. <https://doi.org/10.1007/s11227-018-2345-2>
- He, Q., Zhang, F., Bian, G., Zhang, W., Li, Z., y Duan, D. (2023). Real-time network virtualization based on SDN and Docker container. *Cluster Computing*, 26(3), 2069-2083. <https://doi.org/10.1007/s10586-022-03731-y>
- Jaramillo, D., Nguyen, D. V., y Smart, R. (2016). *Leveraging microservices architecture by using Docker technology* [conferencia]. SoutheastCon 2016, Norfolk, USA. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SECON.2016.7506647>

- Joseph, C. T., y Chandrasekaran, K. (2021). Nature-inspired resource management and dynamic rescheduling of microservices in Cloud datacenters. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 33(17), art. e6290. <https://doi.org/10.1002/cpe.6290>
- Kannisto, P., Heikkilä, V., Hylli, O., Attar, M., Repo, S., y Systä, K. (2022). SimCES platform for modular simulation: Featuring platform independence, container ecosystem, and development toolkit. *SoftwareX*, 19, art. 101189. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101189>
- Khaleq, A. A., y Ra, I. (2021). Intelligent autoscaling of microservices in the cloud for real-time applications. *IEEE Access*, 9, 35464-35476. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061890>
- Khan, A. (2017). Key Characteristics of a Container Orchestration Platform to Enable a Modern Application. *IEEE Cloud Computing*, 4(5), 42-48. <https://doi.org/10.1109/MCC.2017.4250933>
- Martinez, H. F., Mondragon, O. H., Rubio, H. A., y Marquez, J. (2022). Computational and Communication Infrastructure Challenges for Resilient Cloud Services. *Computers*, 11(8), art. 118. <https://doi.org/10.3390/computers11080118>
- Malhotra, R., Bansal, A., y Kessentini, M. (2024). A systematic literature review on maintenance of software containers. *ACM Computing Surveys*, 56(8), 1-38. <https://doi.org/10.1145/3645092>
- Nafik Hadi Ryandono, M., Mawardi, I., Nugraha Rani, L., Widiastuti, T., Tri Ratnasari, R., y Kusuma Wardhana, A. (2023). Trends of research topics related to Halal meat as a commodity between Scopus and Web of Science: A systematic review. *F1000Research*, 11, art. 1562. <https://doi.org/10.12688/f1000research.123005.2>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, art. 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2021.105906>
- Peinl, R., Holzschuher, F., y Pfitzer, F. (2016). Docker cluster management for the cloud-survey results and own solution. *Journal of Grid Computing*, 14(2), 265-282. <https://doi.org/10.1007/s10723-016-9366-y>
- Pérez de Prado, R., García-Galán, S., Muñoz-Expósito, J. E., Marchewka, A., y Ruiz-Reyes, N. (2020). Smart Containers Schedulers for Microservices Provision in Cloud-Fog-IoT Networks. *Challenges and Opportunities*. *Sensors*, 20(6), art. 1714. <https://doi.org/10.3390/s20061714>
- Raja Santhi, A., y Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or industry 4.0 S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 17(2), 947-979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>

- Rudrabhatla, C. K. (2020). A quantitative approach for estimating the scaling thresholds and step policies in a distributed microservice architecture. *IEEE Access*, 8, 180246-180254. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3028310>
- Santos, J., Wang, C., Wauters, T., y De Turck, F. (2023). Diktyo: Network-aware scheduling in container-based clouds. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 20(4), 4461-4477. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2023.3271415>
- Shabani, I., Biba, T., y Çiço, B. (2022). Design of a Cattle-Health-Monitoring System Using Microservices and IoT Devices. *Computers*, 11(5), art.79. <https://doi.org/10.3390/computers11050079>
- Stergiopoulos, G., Dedousis, P., y Gritzalis, D. (2022). Automatic analysis of attack graphs for risk mitigation and prioritization on large-scale and complex networks in Industry 4.0. *International Journal of Information Security*, 21(1), 37-59. <https://doi.org/10.1007/s10207-020-00533-4>
- Stubbs, J., Moreira, W., y Dooley, R. (2015). *Distributed systems of microservices using docker and serfnode* [conferencia]. 2015 7th International Workshop on Science Gateways, Budapest, Hungary (pp. 34-39). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IWSG.2015.16>
- Taherizadeh, S., y Grobelnik, M. (2020). Key influencing factors of the Kubernetes auto-scaler for computing-intensive microservice-native cloud-based applications. *Advances in Engineering Software*, 140, art. 102734. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2019.102734>
- Taibi, D., Lenarduzzi, V., y Pahl, C. (2017). Processes, motivations, and issues for migrating to microservices architectures: An empirical investigation. *IEEE Cloud Computing*, 4(5), 22-32. <https://doi.org/10.1109/MCC.2017.4250931>
- Toffetti, G., Brunner, S., Blöchlinger, M., Dudouet, F., y Edmonds, A. (2015). *An architecture for self-managing microservices* [conferencia]. Proceedings of the 1st International Workshop on Automated Incident Management in Cloud, New York, USA (pp. 19-24). <https://doi.org/10.1145/2747470.2747474>
- Turin, G., Borgarelli, A., Donetti, S., Damiani, F., Broch Johnsen, E., y Tapia Tarifa, S. L. (2023). Predicting resource consumption of Kubernetes container systems using resource models. *Journal of Systems and Software*, 203, art. 111750. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111750>
- Vayghan, L. A., Saied, M. A., Toeroe, M., y Khendek, F. (2018). *Deploying microservice based applications with kubernetes: Experiments and lessons learned* [conferencia]. 2018 IEEE 11th International Conference on Cloud Computing (CLOUD), San Francisco, USA, 2018 (pp. 970-973). <https://doi.org/10.1109/CLOUD.2018.00148>

Vayghan, L. A., Saied, M. A., Toeroe, M., y Khendek, F. (2019). *Microservice Based Architecture: Towards High-Availability for Stateful Applications with Kubernetes* [conferencia]. 2019 IEEE 19th International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS), Sofia, Bulgaria, 2019 (pp. 176-185). <https://doi.org/10.1109/QRS.2019.00034>

Vayghan, L. A., Saied, M. A., Toeroe, M., y Khendek, F. (2021). A Kubernetes controller for managing the availability of elastic microservice based stateful applications. *Journal of Systems and Software*, 175, art. 110924. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.110924>

Valencia-Ayala, H., Pincay-Lozada, J. L., y Rodríguez-Villalobos, R. (2025). La Industria 4.0 en Colombia y Latinoamérica, realidades y retos. *Revista Universidad Fidélitas*, 6(2), 37-49. <https://doi.org/10.46450/revistafidelitas.v6i2.128>

REVISTA CEA

SE PARTE DE
NUESTRA COMUNIDAD EN

 [Sistema de Revistas Científicas ITM](#)

 [@sistemaderevistasITM](#)

 [@sistemaderevistasITM](#)