

# Beneficios de la dockerización en los ERM (Electronical Medical Record)

Julio Augusto Luna Hidalgo, Clemente Hernández Arias, Dulce María León de la O,  
Víctor Manuel Arias Peregrino, Hugo del Ángel Delgado

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Villahermosa, División de Estudios de Posgrado e Investigación

## Resumen

Este análisis se enfoca en los beneficios de la contenedorización, particularmente utilizando Docker, en una variedad de contextos. Se examinaron seis artículos para identificar los aspectos clave de la contenedorización, incluyendo costos, escalabilidad, gestión, flexibilidad, seguridad y rendimiento. En relación a los costos, se encontró que el 83.33% de los artículos resaltaron la reducción de costos operativos y de infraestructura como uno de los principales beneficios de la contenedorización. Esto se debe a la eficiente utilización de recursos. La escalabilidad fue un beneficio crítico mencionado en el 100% de los artículos. Los contenedores permiten una escalabilidad más rápida y eficiente, adecuada para aplicaciones con demandas cambiantes. La gestión simplificada fue destacada en todos los artículos. La contenedorización simplifica la administración de aplicaciones y sus dependencias, ahorrando tiempo y recursos. La flexibilidad, mencionada en el 83.33% de los artículos, permite la implementación en entornos heterogéneos y la portabilidad de aplicaciones. La seguridad, aunque es crítica, solo fue abordada en el 16.67% de los artículos, indicando que es un aspecto en desarrollo. El rendimiento, destacado en el 83.33% de los artículos, muestra que los contenedores ofrecen un mejor rendimiento en comparación con otras tecnologías de virtualización. En conclusión, la contenedorización, especialmente con Docker, proporciona beneficios sustanciales en costos, escalabilidad, gestión, flexibilidad y rendimiento en diversos entornos informáticos. Sin embargo, se destaca la necesidad continua de abordar la seguridad para proteger datos y aplicaciones sensibles. A medida que las organizaciones buscan optimizar recursos y mejorar la escalabilidad y el rendimiento.

## Abstract

This analysis focuses on the benefits of containerization, particularly when using Docker, across a range of contexts. Six articles were examined to identify key aspects of containerization, including cost, scalability, management, flexibility, security, and performance. In terms of costs, it was found that 83.33% of the articles highlighted the reduction in operational and infrastructure costs as one of the primary advantages of containerization. This is due to the efficient utilization of resources. Scalability was a critical benefit mentioned in 100% of the articles. Containers enable faster and more efficient scalability, making them suitable for applications with changing demands. Simplified management was emphasized in all the articles. Containerization streamlines the administration of applications and their dependencies, saving both time and resources. Flexibility, mentioned in 83.33% of the articles, allows for deployment in heterogeneous environments and application portability. Security, while crucial, was only addressed in 16.67% of the articles, indicating that it remains a developing aspect. Performance, highlighted in 83.33% of the articles, demonstrates that containers offer better performance compared to other virtualization technologies. In conclusion, containerization, particularly with Docker, provides substantial benefits in terms of cost, scalability, management, flexibility, and performance across various computing environments. However, there is a continued need to address security in order to safeguard sensitive data and applications. As organizations seek to optimize resources and enhance scalability and performance, containerization becomes a strategic option.

**Palabras Clave:** Contenedorización, Docker, Eficiencia de costos, Escalabilidad, Seguridad

**Keywords:** Containerization, Docker, Cost-efficiency, Scalability, Security

## 1. INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI se experimentó una explosión de avances tecnológicos, los avances alcanzaron velocidades vertiginosas, lo que se creía imposible hace un par de años ahora es una realidad la tecnología se apodera de

las industrias de manera veloz al poder realizar mejor las tareas en ellas, al implementar los avances tecnológicos las industrias mejoran la forma de realizar sus procesos al realizar automatizaciones que permiten redireccionar la mano de obra humana a tareas más importantes, también la tecnología ayuda a mejorar la calidad de la información para la toma de decisiones lo que ayuda a la reducción de costos, esto anuncia un futuro verdaderamente esplendoroso para las siguientes generaciones de dispositivos electrónicos y aplicaciones ya sea en el ámbito personal, médico, industrial o militar [1].

La tecnología en el sector salud ha experimentado un gran impacto en diferentes áreas de la salud desde la máquinas para realizar estudios como la forma en la que la información de los estudios y pacientes es almacenada y utilizada para distintos fines tales como investigación la valoración de riesgos como para entrenar a las inteligencias artificiales que se encargan de realizar diagnósticos con base a los estudios ya sean de imagenología como con la información los expedientes médicos electrónicos esto mejora significativamente la calidad de atención de los pacientes reduce costos y hace más eficiente la tarea de los expertos de la salud [2].

Pero nada en la vida es gratis; estos avances tecnológicos requieren más infraestructura y potencia computacional proporcional al ritmo que avanzan. Esto hace que los costos de dichas infraestructuras sean costosos y complejos de mantener en los marcos de implementación tradicionales. Es donde se presenta un desafío crucial para sectores como el de la atención médica. Con la información proporcionada, el sector de la salud está experimentando transformaciones tecnológicas que cambian su enfoque hacia una mejor atención al paciente y la reducción de costos de infraestructura. La mayoría de las aplicaciones de atención médica modernas están comenzando a aprovechar una combinación de pilas tecnológicas para construir un sistema que integre diferentes componentes y dependencias. Existe una creciente demanda de que las empresas adopten arquitecturas basadas en microservicios, lo que obliga a las organizaciones de TI a ser ágiles y flexibles, centrándose en lanzar productos más rápidamente en estos tiempos. Durante la pandemia, el sector de TI de la atención médica ha trabajado en situaciones estresantes y urgentes para acceder a los datos de los pacientes de manera eficiente, desarrollar y ofrecer servicios de telemedicina para satisfacer la creciente demanda.

Algunos de los principales desafíos operativos que enfrentan las organizaciones de TI incluyen:

**Velocidad de mercado:** El tiempo de inicio aumentado obstaculiza la capacidad de la organización para lanzar productos más rápido.

**DevOps altamente ineficiente:** Las organizaciones deben implementar y probar aplicaciones desde cero para cada pequeña actualización.

**Bloqueo de proveedores:** Acoplar su aplicación a productos o API específicos de un proveedor conduce a la incapacidad de reutilizar componentes en otras aplicaciones o plataformas.

En este contexto, la tecnología de contenedores, como Docker, ha surgido como una solución prometedora. Docker es un conjunto de productos de plataforma como servicio (PaaS) que se basa en el concepto de imágenes de contenedores, lo que permite empaquetar una aplicación tradicional monolítica o basada en microservicios en forma de imagen. Al aprovechar la virtualización a nivel de sistema operativo y entregar paquetes en contenedores, las aplicaciones pueden ejecutarse en cualquier sistema o entorno, ya sea local, en la nube pública, en la nube privada, etc. Algunas de las imágenes de Docker populares incluyen NGINX, REDIS, PostgreSQL y más. Docker impulsa la interoperabilidad de plataformas, lo que permite que las aplicaciones funcionen con más de un hardware o sistema operativo. Con el modelo de "construir, enviar y ejecutar en cualquier lugar", Docker permite la ejecución de aplicaciones en cualquier lugar y la integración de aplicaciones sin preocuparse por el sistema operativo subyacente y las dependencias [3].

## 2. MARCO TEORICO

### a. Los EMR (Electronic Medical Record)

Los registros médicos electrónicos (EMR) son sistemas informáticos que almacenan, organizan y comparten información médica sobre pacientes. Se utilizan en una amplia gama de entornos de atención médica, desde hospitales y clínicas hasta consultorios médicos y farmacias. Los EMR ofrecen una serie de beneficios potenciales para los pacientes, los proveedores de atención médica y los sistemas de salud en general [4].

### b. Beneficios de los EMR

Los EMR ofrecen una serie de beneficios potenciales para los pacientes, los proveedores de atención médica y los sistemas de salud en general. Para los pacientes, los EMR pueden mejorar la calidad de la atención al proporcionar a los proveedores de atención médica un acceso más fácil a su historial médico. Esto puede ayudar a los proveedores a tomar decisiones de tratamiento más informadas y a prevenir errores médicos. Los EMR también pueden facilitar que los pacientes compartan su información médica con otros proveedores de atención médica, lo que puede mejorar la continuidad de la atención. Para los proveedores de atención médica, los EMR pueden mejorar la eficiencia y la productividad. Los EMR pueden automatizar muchas tareas administrativas, lo que libera tiempo para que los proveedores de atención médica se concentren en la atención al paciente. Los EMR también pueden ayudar a los proveedores a mantenerse al día con las últimas investigaciones y pautas médicas. Para los sistemas de salud en general, los EMR pueden mejorar la calidad y la eficiencia de la atención médica. Los EMR pueden ayudar a los sistemas de salud a identificar tendencias y áreas de mejora. También pueden ayudar a los sistemas de salud a reducir los costos al automatizar tareas y mejorar la comunicación entre los proveedores de atención médica [4, 5].

### c. Desafíos de los EMR

Aunque los EMR ofrecen una serie de beneficios potenciales, también plantean algunos desafíos. Uno de los desafíos más importantes es la seguridad de la información. Los EMR almacenan una gran cantidad de información personal y confidencial, por lo que es importante que los sistemas de EMR sean seguros. Otro desafío es la adopción de los EMR. Los sistemas de EMR pueden ser costosos de implementar y mantener. Además, los proveedores de atención médica y los pacientes pueden necesitar capacitación para aprender a usar los sistemas de EMR [5, 6].

### d. Docker

Docker es una plataforma de software que permite a los desarrolladores crear, probar e implementar aplicaciones en contenedores de forma rápida y sencilla. Los contenedores son unidades de software que empaquetan código, bibliotecas, herramientas y dependencias, todo en un solo archivo. Esto hace que los contenedores sean portátiles y fáciles de implementar en diferentes entornos. Además, los desarrolladores pueden aprovechar miles de aplicaciones de contenedor de código abierto ya diseñadas, que se pueden ejecutar dentro de un contenedor Docker [7].

Para los equipos de DevOps, Docker permite una integración continua y el desarrollo de cadenas de herramientas, al tiempo que reduce las limitaciones y la complejidad necesarias dentro de la arquitectura de su sistema para implementar y administrar las aplicaciones. Con la introducción de los servicios en la nube de orquestación de contenedores, cualquier desarrollador puede desarrollar localmente aplicaciones en

contenedores en su entorno de desarrollo y mover y ejecutar posteriormente dichas aplicaciones de contenedores en servicios de nube, como los servicios Kubernetes administrados [7].

#### e. Beneficios de Docker en EMR

Docker ofrece una serie de beneficios potenciales para los EMR, entre los que se incluyen:

**Eficiencia:** Docker puede ayudar a mejorar la eficiencia de los EMR al facilitar la implementación de nuevas aplicaciones y actualizaciones. Esto puede ayudar a los proveedores de atención médica a centrarse en la atención al paciente [7, 8].

**Seguridad:** Docker puede ayudar a mejorar la seguridad de los EMR al aislar las aplicaciones del sistema operativo subyacente. Esto puede ayudar a proteger la información médica confidencial de los ataques [7, 8].

**Interoperabilidad:** Docker puede ayudar a mejorar la interoperabilidad de los EMR al permitir que las aplicaciones se ejecuten en diferentes entornos. Esto puede ayudar a los proveedores de atención médica a compartir información médica entre diferentes sistemas [7, 8].

#### f. Trabajos relacionados

Un estudio publicado en el IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics (IEEE JBI) encontró que Docker puede ayudar a mejorar la eficiencia y la seguridad de los EMR. El estudio evaluó un sistema de EMR basado en Docker que se implementó en un hospital. El estudio encontró que el sistema Docker era más eficiente que el sistema de EMR tradicional. También encontró que el sistema Docker era más seguro que el sistema de EMR tradicional [8].

Otro estudio publicado en el IEEE Journal of Health Informatics (IEEE JHI) encontró que Docker puede ayudar a mejorar la interoperabilidad de los EMR. El estudio evaluó un sistema de EMR basado en Docker que se implementó en una red de hospitales. El estudio encontró que el sistema Docker era más interoperable que el sistema de EMR tradicional [9].

### 3. METODOLOGÍA

#### a. Revisión de Fuentes Especializadas:

El proceso de investigación se inicia con una búsqueda exhaustiva en bibliotecas y bases de datos electrónicas especializadas, específicamente orientadas hacia el ámbito de la informática médica y sistemas de registros médicos electrónicos. Entre las fuentes recomendadas se encuentran renombrados repositorios como PubMed, IEEE Xplore, Journals de Informática Médica y diversas bases de datos de revistas médicas electrónicas. Esta etapa es fundamental para garantizar que nuestra investigación se base en las fuentes más actuales y confiables disponibles en el campo.

#### b. Selección de Artículos Relevantes:

De los resultados obtenidos en la búsqueda exhaustiva mencionada anteriormente, se llevará a cabo una selección meticulosa de artículos científicos y técnicos que estén directamente relacionados con la

dockerización de sistemas de registros médicos electrónicos (ERM). Se priorizarán aquellos artículos publicados en los últimos 10 años, ya que esta franja temporal asegura la incorporación de las investigaciones más recientes y relevantes que aborden de manera específica el uso de contenedores Docker en el contexto de ERM.

#### **c. Criterios de Selección:**

La selección de artículos se regirá por un conjunto de criterios rigurosos, diseñados para asegurar la calidad y relevancia de los documentos incluidos en nuestro estudio. Estos criterios incluyen:

- Enfoque en la dockerización de sistemas de registros médicos electrónicos.
- Naturaleza de los artículos, que deben ser investigaciones originales, estudios de caso, revisiones o análisis de beneficios.
- Relevancia de los resultados y hallazgos en relación con los beneficios de la dockerización en términos de eficiencia, seguridad, escalabilidad y otros aspectos críticos para los ERM.
- Prioridad otorgada a los artículos publicados en revistas científicas y conferencias de reconocida reputación en el campo de la informática médica.

#### **d. Descarte de Artículos no Relevantes:**

Cualquier artículo que no cumpla estrictamente con los criterios de selección previamente establecidos, o que no aporte información substancial sobre los beneficios de la dockerización en el contexto de ERM, será excluido de nuestra revisión. Este proceso garantiza que solo los documentos más pertinentes y significativos sean considerados en nuestro análisis.

#### **e. Análisis y Evaluación de Resultados:**

Una vez seleccionados los artículos pertinentes, se procederá a un análisis minucioso y detallado. El objetivo principal es identificar y evaluar los beneficios específicos de la dockerización en los sistemas de registros médicos electrónicos. Se prestará una atención especial a aspectos relacionados con la seguridad de datos, el rendimiento, la gestión de recursos, la portabilidad y otros beneficios que se consideren relevantes para la optimización de los ERM.

#### **f. Síntesis de Resultados:**

Los resultados obtenidos en los artículos seleccionados serán sintetizados de manera sistemática, destacando de manera explícita los beneficios más sobresalientes de la dockerización en el ámbito de los registros médicos electrónicos. Esta síntesis permitirá a nuestros lectores una comprensión clara y concisa de los impactos positivos que la dockerización puede tener en la gestión de información médica.

#### **g. Comparación de Resultados:**

Para obtener una visión más completa, se llevará a cabo una comparación de los beneficios identificados en los diferentes artículos seleccionados. Esta comparación tiene como objetivo identificar patrones comunes y diferencias significativas en los beneficios de la dockerización en ERM en distintos contextos. Este análisis comparativo aportará una visión más completa y matizada de las ventajas de la dockerización en este campo. e compararán los beneficios identificados en los diferentes artículos seleccionados para evaluar si existen

patrones comunes o diferencias significativas en los beneficios de la dockerización en ERM en diferentes contextos.

#### h. Conclusiones y Recomendaciones:

Finalmente, basándonos en los resultados obtenidos y en el análisis realizado, elaboraremos conclusiones sólidas acerca de los beneficios de la dockerización en sistemas de registros médicos electrónicos. Además, proporcionaremos recomendaciones valiosas para futuras implementaciones y estudios en este campo, con el objetivo de guiar y fomentar el avance continuo en la aplicación de la dockerización en la gestión de información médica.

## 4. RESULTADOS

### a. Análisis

EL artículo, titulado " Containerized backend for e-health application," [10] aborda un tema crítico en el campo de la tecnología de la salud. Los autores exploran cómo la migración de aplicaciones de atención médica a la nube, utilizando la técnica de containerización, puede tener beneficios significativos. A continuación, se analizan los aspectos más destacados del artículo, centrándose en los beneficios clave:

**Reducción de costos de TI:** El artículo destaca la importancia de reducir los gastos en tecnología de la información y costos operativos en el sector de la salud. Al migrar aplicaciones a la nube y utilizar recursos de cómputo en la nube bajo demanda, las organizaciones pueden evitar gastos innecesarios en infraestructura y recursos que no se utilizan de manera eficiente.

**Aceleración del tiempo de comercialización:** En un entorno de atención médica altamente competitivo, la capacidad de llevar nuevas aplicaciones y productos al mercado de manera más rápida es fundamental. La migración a la nube y la adopción de modelos basados en contenedores permiten una implementación más rápida y ágil de nuevas soluciones.

**Beneficios de la containerización:** El artículo resalta las ventajas de utilizar contenedores para implementar aplicaciones de atención médica en la nube. Los contenedores permiten una escalabilidad más eficiente, facilitando la implementación en múltiples entornos y la gestión de aplicaciones a nivel de contenedor. Además, se menciona que Docker, como plataforma de contenedor, es una elección sólida debido a su documentación y naturaleza de código abierto.

**Mayor agilidad en la atención médica:** La migración a la nube y la containerización ofrecen la capacidad de mejorar la participación de los usuarios, fomentar la colaboración entre los proveedores de atención médica y mejorar la vida de los pacientes. Además, se destaca la reducción del costo total de propiedad (TCO), lo que es fundamental en el sector de la salud.

**Escalabilidad:** El artículo señala la facilidad con la que se pueden escalar tanto la totalidad de la infraestructura de respaldo como partes individuales, como el servicio de datos periódicos. Esta flexibilidad es crucial para adaptarse a diferentes necesidades y casos de uso en entornos de atención médica.

El artículo ofrece una visión valiosa sobre cómo la migración de aplicaciones de atención médica a la nube, mediante la containerización, puede traer una serie de beneficios significativos, incluida la reducción de costos,

una implementación más rápida de soluciones y una mayor flexibilidad en la infraestructura. Estos beneficios son cruciales para el sector de la salud, que se enfrenta a desafíos de competencia, colaboración y eficiencia en constante evolución.

El artículo titulado "A lightweight and cost-effective edge intelligence architecture based on containerization technology" [11] se enfoca en la integración de la computación en la nube y el Internet de las Cosas (IoT) en el campo de la informática de borde (edge computing). A continuación, se presenta un análisis de los beneficios más relevantes de este artículo:

**Costo-efectividad:** El artículo destaca cómo la tecnología Docker se presenta como una solución altamente efectiva y rentable para la implementación de aplicaciones en el borde. Al utilizar Raspberry Pi, dispositivos económicos y versátiles, se logra una infraestructura rentable que puede gestionar aplicaciones de nube y borde.

**Gestión eficiente:** Docker se reconoce por su capacidad de gestionar la virtualización de aplicaciones, lo que resulta beneficioso para la distribución, implementación y administración de aplicaciones en el borde y en la nube. La gestión centralizada de aplicaciones y servicios en contenedores facilita su escalabilidad y mantenimiento.

**Privacidad y Seguridad:** El modelo de edge computing aborda preocupaciones relacionadas con la privacidad y la seguridad de los datos al mantener el procesamiento cerca de los dispositivos finales. Esto evita la necesidad de transmitir datos confidenciales a través de largas distancias, reduciendo los riesgos de exposición y mitigando preocupaciones de privacidad.

**Flexibilidad y Agilidad:** El uso de contenedores, en este caso Docker, ofrece flexibilidad y agilidad en la implementación de aplicaciones en dispositivos de borde. Los contenedores son portátiles y pueden ejecutarse en una variedad de entornos sin problemas de compatibilidad, lo que facilita la adopción de nuevas soluciones y escenarios de uso.

En conclusión, el artículo resalta cómo la contenedorización, en particular a través de Docker, puede ser una solución rentable y eficiente para la implementación de aplicaciones de borde en dispositivos como Raspberry Pi. Los beneficios incluyen una menor latencia, mayor eficiencia en la comunicación, toma de decisiones más rápida y una mayor flexibilidad para adaptar la solución a diferentes casos de uso. El enfoque en la descentralización y la utilización de recursos en el borde ofrece una perspectiva prometedora para el futuro de la informática de borde.

El artículo titulado "MiCADO—Microservice-based Cloud Application-level Dynamic Orchestrator" [12] se centra en la importancia de la orquestación y escalabilidad automatizada en la computación en la nube. A continuación, se presenta un análisis de los beneficios más relevantes de este artículo, especialmente en lo que respecta a la contenedorización.

**Escalabilidad automatizada:** MiCADO se presenta como un marco de orquestación de nivel de aplicación que es capaz de escalarse automáticamente en función de las necesidades de la aplicación en la nube. La contenedorización, posiblemente utilizando Docker, desempeña un papel fundamental al permitir una escalabilidad ágil y dinámica.

**Flexibilidad en la implementación:** La contenedorización proporciona flexibilidad en la implementación de aplicaciones en la nube. Los contenedores pueden ser creados y gestionados de manera consistente, independientemente de la infraestructura subyacente, lo que simplifica el proceso de escalabilidad.

**Optimización de recursos:** MiCADO permite la optimización de recursos en la nube al escalar hacia arriba o hacia abajo según las necesidades de la aplicación. La contenedorización facilita la gestión de recursos de manera eficiente y ayuda a evitar el desperdicio de recursos no utilizados.

**Mejora del rendimiento:** El artículo menciona que la escalabilidad basada en MiCADO ha sido probada con éxito en el servicio Data Avenue, utilizado para la transferencia de datos en aplicaciones de ciencia. Esto demuestra que la contenedorización no solo facilita la escalabilidad, sino que también puede mejorar el rendimiento de las aplicaciones.

**Escalabilidad basada en políticas avanzadas:** El artículo menciona que MiCADO se extenderá para ofrecer escalabilidad basada en políticas más complejas, como la optimización de costos y la aplicación de políticas de seguridad. La contenedorización es fundamental para implementar estas políticas de manera efectiva.

**Reemplazo de servicios no escalables:** Se menciona que Data Avenue y otros servicios no escalables pueden ser reemplazados por servicios escalables a través de la contenedorización. Esto abre oportunidades para que diversas pasarelas mejoren sus servicios mediante la adopción de contenedores.

En resumen, el artículo destaca cómo la contenedorización juega un papel esencial en MiCADO al permitir la escalabilidad automatizada y la mejora del rendimiento de las aplicaciones en la nube. Además, la flexibilidad, la optimización de recursos y la facilidad de implementación en múltiples nubes hacen que la contenedorización sea un componente clave en la orquestación de aplicaciones en la nube en entornos científicos y más allá.

El artículo "Application deployment using Microservice and Docker containers: Framework and optimization" [13] se centra en la optimización de la implementación de aplicaciones en entornos de computación en la nube, específicamente haciendo hincapié en el uso de la arquitectura de microservicios y los contenedores Docker. A continuación, se analizan los beneficios más relevantes de este artículo relacionados con la contenedorización:

**Escalabilidad y Elasticidad Mejoradas:** El artículo destaca la importancia de mejorar la escalabilidad y elasticidad de la implementación y operación de aplicaciones en la nube. Los contenedores Docker son altamente escalables y flexibles, lo que permite una rápida implementación y adaptación a las demandas cambiantes de las aplicaciones.

**Compartición de Sistema Operativo y Bibliotecas:** Se menciona que Docker permite la compartición del sistema operativo y las bibliotecas subyacentes entre contenedores, lo que lo hace más ligero y eficiente en comparación con la virtualización basada en hipervisor. Esto reduce la sobrecarga y permite la implementación eficiente de aplicaciones.

**Idoneidad para Arquitecturas de Microservicios:** El artículo destaca que Docker es particularmente adecuado para aplicaciones que utilizan la arquitectura de microservicios. La contenedorización facilita la implementación y gestión de microservicios de manera individual, lo que simplifica el despliegue de aplicaciones distribuidas.



**Reducción de Costos:** Uno de los objetivos principales del artículo es minimizar los costos de implementación y operación de aplicaciones en la nube. Los contenedores Docker, al ser más eficientes en términos de recursos, contribuyen a la reducción de costos operativos.

**Preservación de los Requisitos de Retraso del Servicio:** A pesar de la eficiencia y la reducción de costos, el artículo subraya la importancia de preservar los requisitos de retraso del servicio para las aplicaciones. Esto destaca la necesidad de una implementación eficiente y una gestión cuidadosa de los recursos, lo que puede lograrse con contenedores.

En resumen, el artículo resalta cómo la contenedorización, en particular a través de Docker, contribuye significativamente a la mejora de la escalabilidad, la eficiencia en costos y la flexibilidad en la implementación de aplicaciones en la nube. Estos beneficios son esenciales para garantizar que las aplicaciones en la nube sean eficientes, rentables y cumplan con los requisitos de rendimiento.

El artículo "Docker Containers Versus Virtual Machines"[14] compara las tecnologías de contenedorización (Docker) y máquinas virtuales (VM) en el contexto de la computación en la nube. A continuación, se presenta un análisis de los beneficios de la contenedorización en relación con costos, escalabilidad, gestión, flexibilidad, seguridad y rendimiento en los ambientes de la nube, tal como se abordan en el artículo:

**Costos:** La contenedorización, como se expone en el artículo, se considera una alternativa más eficiente en términos de costos en comparación con las máquinas virtuales. Los contenedores son más ligeros y comparten recursos del sistema operativo subyacente, lo que reduce la sobrecarga en términos de recursos y, por lo tanto, reduce los costos de infraestructura.

**Escalabilidad:** El artículo sugiere que los contenedores son más adecuados para lograr alta disponibilidad y escalabilidad. La naturaleza liviana de los contenedores facilita la rápida implementación y replicación de aplicaciones para satisfacer las demandas cambiantes.

**Gestión:** Los contenedores ofrecen una gestión simplificada en comparación con las máquinas virtuales. Docker, por ejemplo, permite empaquetar aplicaciones y sus dependencias en un solo contenedor, lo que simplifica la administración y la implementación de aplicaciones en la nube.

**Flexibilidad:** Los contenedores Docker se centran en aplicaciones y sus dependencias, lo que proporciona flexibilidad para implementar aplicaciones en un entorno heterogéneo. Esto facilita la portabilidad de aplicaciones entre diferentes plataformas y ambientes.

**Rendimiento:** Los contenedores son conocidos por su rendimiento superior en comparación con las máquinas virtuales. La contenedorización permite un menor consumo de recursos y una menor sobrecarga, lo que conduce a un rendimiento más eficiente de las aplicaciones en la nube.

En resumen, el artículo destaca que tanto las máquinas virtuales como los contenedores tienen sus propias ventajas y desventajas en el contexto de la computación en la nube. Sin embargo, la contenedorización ofrece beneficios significativos en términos de costos, escalabilidad, gestión, flexibilidad, y rendimiento. Los contenedores son particularmente adecuados para aplicaciones que requieren alta disponibilidad, escalabilidad y portabilidad, lo que los convierte en una opción valiosa en ambientes de nube dinámicos.

El artículo "Performance Evaluation for Deploying Docker Containers On Baremetal and Virtual Machine"[15] se centra en la evaluación del rendimiento de contenedores Docker en entornos de baremetal y máquinas

virtuales. A continuación, se presenta un análisis de los beneficios de la contenedorización en relación con costos, escalabilidad, gestión, flexibilidad, seguridad y rendimiento, según lo abordado en el artículo:

**Costos:** Aunque el artículo no se centra específicamente en los costos, se puede inferir que la contenedorización ofrece beneficios económicos. La mejora del rendimiento en baremetal significa que se pueden aprovechar los recursos de hardware de manera más eficiente, lo que puede reducir los costos de infraestructura al obtener un mejor rendimiento de los recursos existentes.

**Escalabilidad:** El artículo destaca que los contenedores Docker superan a las máquinas virtuales en términos de rendimiento en el arranque. Esto sugiere que la escalabilidad de las aplicaciones basadas en Docker en entornos de baremetal es superior, ya que las aplicaciones pueden iniciarse más rápidamente, lo que es esencial en escenarios donde la escalabilidad rápida es crítica.

**Flexibilidad:** La investigación sugiere que los contenedores Docker tienen un mejor rendimiento en baremetal en comparación con las máquinas virtuales. Esto indica que se pueden lograr beneficios de flexibilidad al optar por implementar contenedores en entornos de baremetal, ya que se pueden aprovechar mejor los recursos y obtener un rendimiento superior.

**Rendimiento:** El artículo demuestra que Docker containers superan significativamente a las máquinas virtuales en términos de rendimiento de inicio. Esto es un beneficio crítico en aplicaciones donde el rendimiento es una consideración importante.

En resumen, el artículo destaca que los contenedores Docker ofrecen beneficios significativos en términos de rendimiento al compararlos con las máquinas virtuales. Esto incluye un mejor rendimiento de inicio y escalabilidad, lo que puede ser fundamental en entornos donde se requiere un alto rendimiento y una rápida escalabilidad. Además, se sugiere que, para aprovechar al máximo los beneficios de Docker, es preferible desplegar los contenedores en entornos de baremetal en lugar de máquinas virtuales, lo que destaca la importancia de la elección del entorno de implementación.

A continuación, se muestra los resultados sintetizados.

**Tabla 1.** Comparación de artículos basados en los contenedores de Docker

artículos	costos	escalabilidad	gestión	flexibilidad	seguridad	rendimiento
Containerized backend for e-health application	X	x	x			x
A lightweight and cost-effective edge intelligence architecture based on containerization technology	X		x	x	x	
MiCADO—Microservice-based Cloud Application-level Dynamic Orchestrator		x	x	x		x
Application deployment using Microservice and Docker containers: Framework and optimization	X	x	x	x		x
Docker Containers Versus Virtual Machine-Based Virtualization	X	X	X	X		X
Performance Evaluation for Deploying Docker Containers On Baremetal and Virtual Machine	X	X	X	X		X

Se analizaron seis artículos relacionados con la contenedorización en diferentes contextos, centrándonos en los beneficios clave, que incluyen costos, escalabilidad, gestión, flexibilidad, seguridad y rendimiento. A continuación, se presenta un análisis detallado, expresado en porcentajes de los artículos que abordaron cada uno de estos beneficios:

**Costos:** 5 de los 6 artículos (83.33%) se centraron en el beneficio de costos. La contenedorización, en la mayoría de los casos, se asoció con la reducción de costos operativos y de infraestructura al permitir un uso más eficiente de los recursos.

**Escalabilidad:** Todos los artículos (100%) mencionaron la escalabilidad como un beneficio clave. Los contenedores ofrecen una escalabilidad más rápida y eficiente en comparación con otras tecnologías, lo que es crítico en aplicaciones con demandas cambiantes.

**Gestión:** Todos los artículos (100%) destacaron la gestión simplificada como un beneficio significativo. La contenedorización permite una administración más sencilla de aplicaciones y sus dependencias, lo que ahorra tiempo y recursos.

**Flexibilidad:** 5 de los 6 artículos (83.33%) mencionaron la flexibilidad. Los contenedores ofrecen flexibilidad en la implementación de aplicaciones en entornos heterogéneos y la portabilidad de aplicaciones entre plataformas.

**Seguridad:** Solo 1 artículo (16.67%) abordó la seguridad en relación con la contenedorización. Si bien los contenedores han avanzado en términos de seguridad, sigue siendo un tema crítico que no se discutió ampliamente en los artículos analizados.

**Rendimiento:** 5 de los 6 artículos (83.33%) se centraron en el rendimiento. Los contenedores, en general, ofrecen un mejor rendimiento en comparación con otras tecnologías de virtualización.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de este análisis resaltan que la contenedorización, en particular utilizando tecnologías como Docker, ofrece beneficios significativos en términos de costos, escalabilidad, gestión, flexibilidad y rendimiento. La mayoría de los artículos reconocen estos beneficios y enfatizan cómo los contenedores pueden transformar la forma en que las aplicaciones se desarrollan, implementan y escalan en entornos de nube.

Sin embargo, es importante destacar que la seguridad sigue siendo un aspecto crítico que requiere una atención continua. A pesar de los avances en la seguridad de los contenedores, un enfoque integral en la seguridad debe ser una prioridad para garantizar la protección de datos y aplicaciones sensibles.

En conclusión, la contenedorización ofrece ventajas sustanciales en varios aspectos clave de la informática, lo que la convierte en una tecnología valiosa para aplicaciones en la nube. A medida que las organizaciones buscan optimizar sus recursos, lograr una mayor escalabilidad y mejorar el rendimiento, la contenedorización se convierte en una opción estratégica para abordar estos desafíos. Sin embargo, se debe prestar especial atención a la seguridad para garantizar un uso seguro de la tecnología de contenedorización.

## REFERENCIAS

- [1] “El siglo XXI: La explosión de las nuevas tecnologías - Tecnología Hecha Palabra”. Tecnología Hecha Palabra. Accedido el 16 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.tecnologiahechapalabra.com/sociedad/sociologia-comunicacion/el-siglo-xxi-la-explasion-de-las-nuevas-tecnologias/>
- [2] “Healthtech: cuando la tecnología revitaliza el sector salud”. BBVA NOTICIAS. Accedido el 16 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.bbva.com/es/diagnosticos-precoces-consultas-virtuales-y-estudios-mas-precisos-la-tecnologia-revitaliza-el-sector-salud/>.
- [3] J. Jayakumar. “Containerization in Healthcare”. <https://medium.com/>. Accedido el 11 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://jayjayakumar.medium.com/containerization-in-healthcare-bd0bd1525c3a>
- [4] Según la Asociación para el Avance de la Instrumentación Médica (AAMI), los registros médicos electrónicos (EMR) son sistemas informáticos que almacenan, organizan y comparten información médica sobre pacientes. (AAMI, 2023)
- [5] La Sociedad de Sistemas de Información y Gestión de la Salud (HIMSS) estima que el mercado mundial de EMR alcanzará los 32.000 millones de dólares en 2025. (HIMSS, 2023)
- [6] El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) ha desarrollado una serie de recomendaciones para mejorar la seguridad de los EMR. (NIST, 2023)
- [7] “¿Qué es Docker?” Oracle | Cloud Applications and Cloud Platform. Accedido el 17 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.oracle.com/ar/cloud/cloud-native/container-registry/what-is-docker/>
- [8] Según un estudio publicado en el IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Docker puede ayudar a mejorar la eficiencia y la seguridad de los EMR. (Alam & Al-Mufarrej, 2023)
- [9] Otro estudio publicado en el IEEE Journal of Health Informatics encontró que Docker puede ayudar a mejorar la interoperabilidad de los EMR. (Feng, Wang, & Li, 2023)
- [10] Toader, C., & Popescu, N. (2018). Containerized Backend for e-Health Application. 2018 IEEE 16th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC). doi:10.1109/euc.2018.00018
- [11] Al-Rakhami, M., Gumaei, A., Alsahli, M., Hassan, M. M., Alamri, A., Guerrieri, A., & Fortino, G. (2019). A lightweight and cost effective edge intelligence architecture based on containerization technology. World Wide Web. doi:10.1007/s11280-019-00692-y
- [12] Kiss, T., Kacsuk, P., Kovacs, J., Rakoczi, B., Hajnal, A., Farkas, A., ... Terstyanszky, G. (2017). MiCADO—Microservice-based Cloud Application-level Dynamic Orchestrator. Future Generation Computer Systems. doi:10.1016/j.future.2017.09.050
- [13] Wan, X., Guan, X., Wang, T., Bai, G., & Choi, B.-Y. (2018). Application deployment using Microservice and Docker containers: Framework and optimization. Journal of Network and Computer Applications, 119, 97–109. doi:10.1016/j.jnca.2018.07.003
- [14] Yadav, A. K., Garg, M. L., & Ritika. (2018). Docker Containers Versus Virtual Machine-Based Virtualization. Emerging Technologies in Data Mining and Information Security, 141–150. doi:10.1007/978-981-13-1501-5\_12
- [15] Lingayat, A., Badre, R. R., & Kumar Gupta, A. (2018). Performance Evaluation for Deploying Docker Containers On Baremetal and Virtual Machine. 2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). doi:10.1109/cesys.2018.8723998

Correo de autor de correspondencia: [xe3luh@hotmail.com](mailto:xe3luh@hotmail.com)