



Universidad Tecnológica ECOTEC

Nombre de la Unidad Académica

Título del trabajo:

Comparativa entre Edge Computing y Computación en la Nube: Análisis de arquitecturas, aplicaciones y desafíos en la era de la informática distribuida

Línea de Investigación:

Tecnologías de la información y la comunicación

Modalidad de titulación:

Trabajo integrador curricular

Carrera/programa:

Ingeniería en Software

Título a obtener:

Ingeniero/a en Software

Autor (a):

Enzo Steven López Erazo

Tutor:

Marcos Antonio Espinoza Mina

Guayaquil - Ecuador

2024



ANEXO No. 9

**PROCESO DE TITULACIÓN
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

Samboyondón, 04 de Agosto de 2025

Magíster

Erika Ascencio Jordán

**Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza
Universidad Tecnológica ECOTEC**

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de titulación TITULADO: **Comparativa entre edge computing y computación en la nube: Análisis de arquitecturas, aplicaciones y desafíos en la era de la informática distribuida**, fue revisado, siendo su contenido original en su totalidad, así como el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la guía para su elaboración, por lo que se autoriza al estudiante: **LOPEZ ERAZO ENZO STEVEN**, para que proceda con la presentación oral del mismo.

ATENTAMENTE,



**Marcos Antonio Espinoza Mina, Ph.D.
Tutor**



ANEXO No. 10

**PROCESO DE TITULACIÓN
CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Habiendo sido revisado el trabajo de titulación TITULADO: **Comparativa entre edge computing y computación en la nube: Análisis de arquitecturas, aplicaciones y desafíos en la era de la informática distribuida**, elaborado por LOPEZ ERAZO ENZO STEVEN fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje del 2% mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del documento. Adicional se adjunta print de pantalla de dicho resultado.

Informe de originalidad de SafeAssign • Enviado el vie., 01 ago. 2025 15:33

ENTREGA ATRASADA - Documento Final del Proyecto Integrador Curricular (WORD)

PROYECTO INTEGRADOR

Puntuación total: 2 % Riesgo bajo

ENZO STEVEN LOPEZ ERAZO

UUID de entrega: 037a4d5-d99f-d79e-3c3e-44dc5c6d2ab3

Número total de informes	Coincidencia máxima	Coincidencia promedio	Enviado el	Conteo de palabras promedio
1	2 % TIC-LOPEZ-ENZO-VF.docx	2 %	01/08/25 15:33 GMT-5	49.997 Más alto: TIC-LOPEZ-ENZO-VF.docx

Contenido adicional 2 %

Conteo de palabras: 49.997
Origen: TIC-LOPEZ-ENZO-VF.docx

ATENTAMENTE,



MARCOS ANTONIO ESPINOZA MINA, Ph.D.
Tutor

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	v
Índice de Tablas.....	viii
Índice de Figuras	viii
Índice de Anexos	viii
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Contexto histórico social del objeto de estudio.....	5
Antecedentes	6
Planteamiento del problema	9
Objetivos	11
General.....	11
Específicos	11
Justificación	12
Aportes Teóricos	12
Aportes Prácticos	12
Solución a Problemas Prácticos.....	12
Marco teórico.....	14
1. Conceptos Fundamentales.....	14
1.1. Informática distribuida y evolución tecnológica	14
1.2. Edge Computing	15
1.3. Cloud Computing.....	16
1.4. Conceptos claves	17
2. Componentes Principales de las Arquitecturas	18
2.1. Arquitectura de Edge Computing.....	18
2.2. Arquitectura de Cloud Computing	21
2.3. Comparación de Componentes y su impacto en la Eficiencia Operativa.....	24
3. Aplicaciones en Sistemas Tecnológicos Modernos.....	25
3.1. Casos de Uso en Cloud Computing	25
Big Data y Análisis Avanzado	25
3.2. Casos de Uso en Edge Computing.....	35
4. Aplicaciones tecnológicas modernas	43
4.1. Casos de uso de Cloud Computing	43

4.2.	Casos de uso de Edge Computing	44
4.3.	Ejemplos de adopción en sectores como salud, industria, transporte e IoT	45
5.	Seguridad Basada en Estándares ISO 27001	46
5.1.	Desafíos en Edge Computing.....	46
5.2.	Desafíos en Cloud Computing	48
5.3.	Comparativa Basada en los Estándares ISO 27001	50
6.	Marco legal y normativo en Ecuador	55
6.1.	Constitución de la República del Ecuador: derechos digitales y tecnológicos.....	55
6.2.	Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPDP)	56
6.3.	Ley de Gobierno Electrónico y su relación con Cloud y Edge Computing.....	57
6.4.	Políticas públicas sobre transformación digital y TIC en el país.....	57
	Metodología	58
1.	Enfoque Metodológico.....	58
1.1.	Enfoque de la investigación	58
1.2.	Alcance de la investigación	59
1.3.	Tipo y diseño del proyecto	59
1.4.	Delimitación espacio-temporal	59
2.	Población, muestra y escenarios.....	60
2.1.	Universo de análisis.....	60
2.2.	Justificación del uso de simulaciones como técnica de muestreo artificial.....	60
2.3.	Definición de escenarios y parámetros.....	61
3.	Métodos, técnicas y herramientas utilizadas.....	62
3.1.	Método empírico: experimentación computacional (simulación).....	62
3.2.	Métodos teóricos y documentales.....	62
3.3.	Técnicas utilizadas.....	63
3.4.	Instrumentos de medición	63
4.	Procesamiento y análisis de la información	64
4.1.	Recolección de métricas desde CloudSim Plus	64
4.2.	Herramientas estadísticas utilizadas.....	77
5.	Resultados obtenidos en simulaciones	77
5.1.	Escenario 1- Cloud Computing básico	77
5.2.	Escenario 2- Edge Computing rendimiento y latencia con carga creciente.....	80
5.3.	Escenario 3- Cloud Computing con costos de transferencia.....	83
5.4.	Escenario 4- Cloud Computing con escalado vertical de PEs.....	86
5.5.	Escenario 5- Cloud Computing con escalado de RAM.....	88
5.6.	Escenario 6- Edge Computing con escalado horizontal	90

6. Análisis de Resultados de la Investigación	92
6.1. Evaluación de Parámetros de Rendimiento	93
6.2. Comparación de Resultados entre Edge y Cloud Computing.....	94
6.3. Interpretación de Resultados y su Relevancia	95
6.4. Fortalezas Identificadas.....	95
6.5. Estudios Comparativos y Evaluación de Infraestructura Tecnológica.....	96
Conclusiones	101
Recomendaciones para empresas ecuatorianas.....	103
Recomendaciones/Propuesta	106
Bibliografía	108
Anexos.....	115
Anexo 1. Simulación general entorno para ejecución.	115
Anexo 2. Simulación 1	120
Anexo 3. Simulación 2	124
Anexo 4. Simulación 3	126
Anexo 5. Simulación 4	130
Anexo 6. Simulación 5	134
Anexo 7. Simulación 6	139
Anexo 8. Herramientas utilizadas	143
Anexo 9. Informe sobre Python Colab para Gráficos: Portabilidad y Usos en Simulaciones	146
Anexo 10. Informe Técnico y Metodológico: Justificación del Uso de CloudSim Plus	148
Anexo 11. Justificación de las Métricas Seleccionadas para la Comparación entre Edge Computing y Cloud Computing	151
Introducción.....	151
Latencia	151
Uso de CPU y RAM	151
Cloudlets Procesados	152
Escalabilidad Vertical y Horizontal	152
Costos de Transferencia de Datos.....	153
Conclusión	153
Anexo 12. Costos e Infraestructura en Edge Computing: Enfoque Cuantitativo	154
Estimación de Costos de Implementación	154

Índice de Tablas

Tabla 1. Capas y funciones de la arquitectura Edge Computing	19
Tabla 2. Comparación de modelos de servicio en Cloud Computing.....	22
Tabla 3. Comparación de componentes clave entre Edge y Cloud Computing y su impacto en la eficiencia operativa.....	24
Tabla 4. Comparaciones reales entre Cloud Computing y Edge Computing.....	45
Tabla 5. Detalle de escenarios considerados para simulaciones	61
Tabla 6. Resultados comparativos de las simulaciones realizadas en CloudSimPlus para arquitecturas Cloud y Edge	76
Tabla 7. Comparativa entre Edge Computing y Cloud Computing	97
Tabla 8. Análisis PESTEL de Edge vs Cloud Computing.....	98
Tabla 9. Benchmarking de Simuladores para Computación Distribuida.....	99
Tabla 10. Ejemplos de interoperabilidad entre sistemas Edge y Cloud.....	100

Índice de Figuras

Figura 1. Arquitectura general de Edge Computing basada en capas funcionales	21
Figura 2. Niveles de servicio en Cloud Computing: IaaS, PaaS y SaaS	23
Figura 3. Tareas completadas vs tiempo de Ejecución Promedio. Escenario 1	78
Figura 4. Evolución Tiempo de Ejecución por tarea Escenario 1	78
Figura 5. Rendimiento de Simulación: Tareas Completadas vs. Tiempo de Ejecución Promedio Edge'. Escenario 2.....	81
Figura 6. Tiempo de Ejecución por Tarea (Cloudlet ID) Edge. Escenario 2	81
Figura 7. Rendimiento de la simulación: Costo, latencia. Escenario 3	84
Figura 8. Evolución del tiempo de ejecución por Cloudlet con escalado de CPU. Escenario 4 ..	86
Figura 9. Uso de memoria RAM de la VM a lo largo del tiempo. Escenario 5	88
Figura 10. Comparación del uso de RAM (%) entre la VM y el host. Escenario 5.....	89
Figura 11. Tiempos de ejecución y asignación dinámica de Cloudlets bajo escalado horizontal. Escenario 6	91

Índice de Anexos

Anexo 1. Simulación general entorno para ejecución.	115
Anexo 2. Simulación 1	120
Anexo 3. Simulación 2	124
Anexo 4. Simulación 3	126
Anexo 5. Simulación 4	130
Anexo 6. Simulación 5	134
Anexo 7. Simulación 6	139
Anexo 8. Herramientas utilizadas	143
Anexo 9. Informe sobre Python Colab para Gráficos: Portabilidad y Usos en Simulaciones....	146
Anexo 10. Informe Técnico y Metodológico: Justificación del Uso de CloudSim Plus	148

Resumen

Este estudio analiza comparativamente las arquitecturas de Edge Computing y Cloud Computing, enfocándose en sus ventajas y desventajas en términos de latencia, costos, escalabilidad y seguridad. Cloud Computing se destaca por su escalabilidad y menor inversión inicial, lo que la convierte en una alternativa rentable a largo plazo. No obstante, su dependencia de infraestructuras centralizadas introduce limitaciones en aplicaciones sensibles al tiempo y plantea riesgos de seguridad. En contraste, Edge Computing permite procesar datos localmente, reduciendo la latencia y fortaleciendo la privacidad, aunque implica mayores desafíos operativos y de gestión en entornos distribuidos.

Durante el análisis se identificaron obstáculos específicos para cada enfoque. Cloud Computing enfrenta cuellos de botella por ancho de banda limitado y escaso control físico sobre los datos. Por su parte, Edge Computing requiere infraestructura descentralizada, lo que incrementa los costos de mantenimiento y complica la administración de dispositivos. Estos factores deben considerarse cuidadosamente para una implementación eficiente.

El estudio incluyó casos de uso en sectores como Internet de las Cosas (IoT), vehículos autónomos y manufactura, evaluando cuál arquitectura resulta más apropiada según el contexto. Asimismo, se compararon ambos modelos bajo estándares de seguridad ISO 27001, evidenciando que la nube favorece la aplicación de políticas centralizadas de protección de datos, mientras que el borde requiere estrategias específicas para mitigar vulnerabilidades físicas y lógicas.

Finalmente, se llevaron a cabo simulaciones con CloudSim Plus para cuantificar métricas clave como latencia, escalabilidad y costos operativos. Los resultados permiten identificar condiciones óptimas para implementar arquitecturas híbridas que combinen lo mejor de ambos paradigmas, orientando a organizaciones hacia decisiones tecnológicas más informadas y eficientes.

Abstract

This study comparatively analyzes Edge Computing and Cloud Computing architectures, focusing on their advantages and disadvantages in terms of latency, costs, scalability and security. Cloud Computing stands out for its scalability and lower initial investment, which makes it a cost-effective alternative in the long term. However, its reliance on centralized infrastructures introduces limitations in time-sensitive applications and poses security risks. In contrast, edge computing allows data to be processed locally, reducing latency and strengthening privacy, although it involves greater operational and management challenges in distributed environments.

During the analysis, specific obstacles were identified for each approach. Cloud Computing faces bottlenecks due to limited bandwidth and little physical control over data. Edge computing requires decentralized infrastructure, which increases maintenance costs and complicates device management. These factors must be carefully considered for an efficient implementation.

The study included use cases in sectors such as the Internet of Things (IoT), autonomous vehicles and manufacturing, evaluating which architecture is more appropriate depending on the context. Also, both models were compared under ISO 27001 security standards, showing that the cloud favors the application of centralized data protection policies, while the edge requires specific strategies to mitigate physical and logical vulnerabilities.

Finally, simulations were carried out with CloudSim Plus to quantify key metrics such as latency, scalability and operational costs. The results identify optimal conditions for implementing hybrid architectures that combine the best of both paradigms, guiding organizations towards more informed and efficient technology decisions.

Introducción

En la era actual de la informática distribuida, han emergido dos paradigmas fundamentales para el procesamiento y la gestión de datos: la Computación en la Nube (Cloud Computing) y la Computación en el Borde (Edge Computing). Si bien ambos modelos pueden considerarse complementarios, presentan diferencias sustanciales en términos de arquitectura, aplicaciones y desafíos (Valencia, 2024). Este trabajo desarrolla un análisis comparativo entre ambos enfoques, destacando sus características principales y su impacto en la infraestructura tecnológica contemporánea, especialmente ante la creciente adopción del Internet de las Cosas (IoT).

La computación en la nube ha transformado la forma en que empresas e individuos acceden a recursos informáticos, ofreciendo servicios bajo modelos como IaaS, PaaS y SaaS. Su escalabilidad, disponibilidad y facilidad de integración con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático la han convertido en un recurso clave para la transformación digital. No obstante, el creciente número de dispositivos conectados ha generado una sobrecarga de datos que desafía su capacidad de respuesta en tiempo real (Kumari, 2021).

Ante esta situación, Edge Computing surge como una alternativa que acerca el procesamiento de datos al punto de origen, lo que permite reducir la latencia y mejorar la eficiencia operativa. Sin embargo, esta descentralización también introduce retos relacionados con la interoperabilidad, la seguridad y el mantenimiento de infraestructuras distribuidas (IBM, 2023). Este escenario plantea interrogantes clave: ¿qué arquitectura es más eficiente en aplicaciones sensibles a la latencia? ¿Cómo se comparan en términos de costos y escalabilidad? ¿Qué ventajas ofrece un enfoque híbrido que combine ambos modelos?

La presente investigación tiene como objeto analizar el rendimiento de las arquitecturas de Cloud Computing y Edge Computing mediante simulaciones desarrolladas

en CloudSim Plus. El objetivo general es comparar ambas infraestructuras evaluando métricas clave como latencia, escalabilidad y costos operativos. Entre los objetivos específicos se incluye la simulación de entornos representativos, el análisis del comportamiento frente a grandes volúmenes de datos y la identificación de condiciones óptimas para implementar soluciones híbridas.

La pertinencia del estudio radica en la necesidad creciente de que las organizaciones tomen decisiones informadas sobre qué tipo de infraestructura tecnológica utilizar según sus requerimientos. Mientras Cloud Computing ofrece escalabilidad y eficiencia en costos, Edge Computing proporciona tiempos de respuesta inmediatos en entornos críticos. Evaluar sus desempeños contribuirá a una gestión más eficaz de los recursos tecnológicos, tanto en grandes corporaciones como en startups emergentes (RedHat, 2021).

El impacto de esta investigación se proyecta en múltiples niveles. A nivel social, puede beneficiar sectores como salud, transporte y educación, al mejorar la disponibilidad de servicios digitales. En lo económico, ofrece herramientas de análisis para optimizar la inversión en infraestructura tecnológica. Desde el enfoque técnico, promueve una mejor comprensión de los desafíos, ventajas y posibles sinergias entre modelos computacionales en un entorno cada vez más interconectado.

Mediante una evaluación detallada basada en simulaciones con CloudSim Plus, el estudio explora variables como latencia, costos y escalabilidad en escenarios orientados a IoT y Big Data. Estos análisis permiten observar cómo influyen aspectos como la proximidad al dispositivo de origen y la capacidad de procesamiento remoto en el rendimiento general del sistema.

Con la expansión de redes 5G y la evolución de la computación distribuida, se prevé una mayor adopción de modelos híbridos que integren Cloud y Edge Computing. Este trabajo busca contribuir a la identificación de escenarios óptimos para su aplicación, fortaleciendo la toma de decisiones estratégicas en procesos de transformación digital.

Contexto histórico social del objeto de estudio

Ecuador, al igual que muchos países de América Latina, ha atravesado en los últimos años un proceso de digitalización acelerada, impulsado por la expansión del acceso a internet, el uso de dispositivos móviles y el crecimiento de servicios digitales. Según datos del Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información (MINTEL), para 2023 se registró una penetración de internet del 77,4% en el país, con un crecimiento constante en conexiones móviles y fijas de banda ancha (MINTEL, 2023). Sin embargo, aún persisten desigualdades significativas en el acceso a tecnologías avanzadas, especialmente en zonas rurales y periféricas, donde la infraestructura es limitada y la latencia de red es considerablemente más alta.

En este contexto, las arquitecturas de informática distribuida como Edge Computing y Cloud Computing emergen como soluciones clave para mejorar la eficiencia y capacidad de respuesta de los sistemas tecnológicos en sectores críticos. Sin embargo, no existen datos públicos que evidencien una adopción significativa de Edge Computing en Ecuador, y aunque algunas instituciones públicas y privadas utilizan servicios de nube (Cloud), estos se concentran principalmente en grandes ciudades y en aplicaciones administrativas, sin una estrategia unificada de despliegue para escenarios sensibles a la latencia, como salud digital o monitoreo industrial.

A nivel regional, un informe de la CEPAL (2021), ya advertía que la latencia promedio en redes de América Latina era un 40% mayor que en países de la OCDE, lo que afecta el rendimiento de servicios basados en la nube. Esto se traduce en tiempos de respuesta inadecuados para aplicaciones de IoT, educación remota, telemedicina o ciudades inteligentes. En el caso ecuatoriano, la situación es similar, dado que, según la Superintendencia de Telecomunicaciones (ARCOTEL), apenas el 3% del espectro asignado se utiliza para tecnologías 5G (ARCOTEL, 2024), lo que limita seriamente el despliegue de soluciones edge de baja latencia.

Además, estudios realizados por la Cámara de Innovación y Tecnología Ecuatoriana (CITEC) indican que el 65% de las empresas medianas y pequeñas desconocen la diferencia entre servicios Cloud y soluciones distribuidas Edge, lo que refleja una brecha significativa en la comprensión técnica y en la capacidad de adoptar tecnologías emergentes de forma estratégica (Pabón & Andrade, 2025).

Pese a estos retos, Ecuador ha avanzado en la creación de un marco normativo para el entorno digital. La promulgación de la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales representa un paso clave hacia la protección de derechos digitales, estableciendo lineamientos para la recolección, tratamiento y almacenamiento de datos (Asamblea Nacional, 2021). A esto se suma la Ley de Gobierno Electrónico, que fomenta el uso de plataformas digitales en el sector público, aunque todavía presenta desafíos en su implementación a escala nacional.

En este sentido, el presente estudio se alinea con los esfuerzos por modernizar la infraestructura tecnológica del país, proponiendo una evaluación comparativa entre Cloud y Edge Computing desde una perspectiva técnica aplicada al contexto ecuatoriano. El análisis de estas tecnologías puede contribuir al diseño de estrategias híbridas más eficientes, orientadas a superar las limitaciones actuales de latencia, escalabilidad y cobertura, especialmente en zonas rurales o en sectores estratégicos como salud, educación y transporte. Esta articulación entre tecnología y política pública es esencial para cerrar brechas digitales y potenciar el desarrollo de una infraestructura resiliente, segura y distribuida en el país.

Antecedentes

La evolución de las tecnologías de Edge Computing y Computación en la Nube ha sido objeto de numerosas investigaciones debido a su creciente impacto en la infraestructura tecnológica de las empresas y su potencial para transformar la forma en que se gestionan y procesan los datos. Estas tecnologías han permitido a las organizaciones optimizar sus

operaciones, mejorar la eficiencia y ofrecer servicios más rápidos y personalizados, lo que ha llevado a una adopción masiva en diversos sectores industriales. La computación en la nube, en particular, ha permitido a las organizaciones acceder a recursos informáticos y almacenamiento de manera flexible, eliminando la necesidad de grandes inversiones en infraestructura física y proporcionando escalabilidad según las demandas del mercado (García, 2024).

Según Báez & Clunie (2020), "el Cloud Computing se ha convertido en un pilar fundamental de la Industria 4.0, proporcionando la capacidad de procesar y almacenar grandes volúmenes de datos de manera flexible y escalable." Esta flexibilidad permite a las empresas adaptarse rápidamente a los cambios del mercado, optimizando sus procesos y mejorando la eficiencia operativa. Sin embargo, a pesar de los beneficios significativos, las organizaciones se enfrentan a desafíos relacionados con la seguridad, la privacidad de los datos y la latencia. La migración a la nube, por ejemplo, implica riesgos en cuanto a la protección de datos sensibles y el cumplimiento de normativas, lo que requiere una planificación meticulosa y estrategias robustas de gestión de riesgos.

La computación en la nube ha sido especialmente transformadora en países en desarrollo como Colombia, donde la adopción de servicios en la nube ha permitido a las empresas acceder a tecnologías avanzadas sin incurrir en altos costos de infraestructura física. Según Sittón & Muñoz (2020), "el Cloud Computing se ha convertido en un pilar fundamental de la Industria 4.0, proporcionando la capacidad de procesar y almacenar grandes volúmenes de datos de manera flexible y escalable." Sin embargo, como señalan los mismos autores, el Cloud Computing aún enfrenta desafíos significativos, particularmente en términos de seguridad, privacidad y la necesidad de reducir la latencia en aplicaciones críticas, lo que resalta la necesidad de una gestión adecuada de riesgos y una planificación detallada en su implementación.

En relación con la simulación y análisis de arquitecturas de computación en la nube, CloudSim ha evolucionado significativamente durante más de una década, convirtiéndose en una herramienta robusta y accesible para la simulación de entornos de nube. Con su código abierto y comunidad activa, CloudSim ha permitido a investigadores y académicos crear simulaciones detalladas sin enfrentar problemas de compatibilidad, lo que facilita el estudio y análisis de arquitecturas distribuidas y sistemas de nube. Su capacidad para integrar tecnologías emergentes como el Edge Computing lo convierte en una herramienta esencial para el análisis comparativo de diversas arquitecturas, midiendo variables clave como la latencia, el costo y la escalabilidad.

Por otro lado, Edge Computing ha emergido como una solución clave para aplicaciones que requieren un procesamiento de datos cercano al punto de origen, lo que es crucial para sectores como la automatización industrial, vehículos autónomos y el Internet de las Cosas (IoT). Según Gomez & Borja (2022), "el auge del IoT ha generado un aumento significativo en el volumen de datos que las empresas deben manejar. Debido a esto, el Cloud Computing ya no es la opción óptima, ya que cada vez más dispositivos están generando datos directamente en el borde de la red." Mendoza Campos (2021), también resalta que la adopción de Edge Computing permite a las empresas reducir la latencia en aplicaciones críticas en tiempo real, como la automatización industrial y los vehículos autónomos, brindando un servicio más eficiente y rápido.

A pesar de su potencial, la implementación de Edge Computing no está exenta de desafíos. La gestión de dispositivos distribuidos y la seguridad de los datos en estos entornos requieren atención especial. Como señala Mendoza Campos (2021), "la implementación de Edge Computing enfrenta desafíos significativos relacionados con la seguridad y la gestión de dispositivos distribuidos, lo que requiere estrategias robustas para asegurar la integridad y confidencialidad de los datos." Este aspecto subraya la necesidad de establecer normativas claras que faciliten la adopción de Edge Computing, a la vez que garanticen la interoperabilidad entre diferentes sistemas y plataformas.

La investigación existente proporciona una base sólida para comprender las soluciones actuales en computación en la nube y Edge Computing, pero también destaca áreas de mejora. La combinación de estas dos tecnologías, creando soluciones híbridas, presenta un gran potencial, ya que permite aprovechar las fortalezas de ambos paradigmas. Para que estas soluciones híbridas sean efectivas, las empresas deben comprender a fondo las características, ventajas y limitaciones de cada tecnología, así como adoptar enfoques estratégicos para mitigar los riesgos y maximizar los beneficios. Además, la creciente interconexión de dispositivos y la expansión del IoT generan nuevas demandas de infraestructura y gestión de datos, lo que presenta una oportunidad importante para optimizar la computación distribuida y fomentar la innovación en diversas industrias.

Planteamiento del problema

La rápida evolución de las tecnologías de Edge Computing y Computación en la Nube ha creado una brecha significativa en la comprensión y capacidad de adaptación de muchas organizaciones. Esta situación se complica por la diversidad y complejidad de las arquitecturas de cada tecnología, lo que dificulta elegir la solución adecuada para aplicaciones específicas. Además, la variedad de aplicaciones y esquemas empresariales que pueden beneficiarse de estas tecnologías añade otra capa de complejidad, ya que cada sector tiene requisitos y limitaciones únicos. Esta problemática se manifiesta en desafíos técnicos y operacionales que obstaculizan la toma de decisiones informadas y la implementación eficiente de soluciones tecnológicas en la era de la informática distribuida.

La falta de claridad y comprensión en la elección y optimización del uso de estas tecnologías según las necesidades específicas de diversas aplicaciones industriales resulta en decisiones subóptimas, implementaciones tecnológicas ineficientes y costosas, retrasos en la transformación digital, problemas de rendimiento, riesgos de seguridad y privacidad, y costos elevados. Estos efectos negativos comprometen la eficiencia operativa de las organizaciones y su capacidad para adaptarse a los requerimientos de un entorno digital cada

vez más exigente, en el que la agilidad y la respuesta oportuna son factores determinantes para la competitividad.

En el contexto de Edge Computing, la complejidad y la necesidad de una gestión adecuada son evidentes. Según Sánchez Prado (2021), “El Edge Computing como metodología permite la recopilación y procesamiento de datos en un mismo dispositivo inteligente situado al borde de la red gracias al uso de dispositivos PACs. Sin embargo, la gestión y mantenimiento de numerosos dispositivos distribuidos geográficamente pueden ser complicados y costosos”. Además, Muñoz Sicilia (2023), menciona que “la computación en la nube se enfrenta a desafíos significativos en términos de latencia y escalabilidad, especialmente cuando se trata de aplicaciones que requieren respuestas en tiempo real”.

Frente a esta situación, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál de las arquitecturas, entre Cloud Computing y Edge Computing, resulta más adecuada en términos de latencia, escalabilidad y eficiencia operativa para diferentes escenarios de aplicación tecnológica, y cómo puede una simulación comparativa contribuir a una toma de decisiones más informada en su implementación?

Objetivos

General

Realizar un análisis de las arquitecturas de Edge Computing y Cloud Computing, evaluando aspectos clave como latencia, escalabilidad y seguridad, con el objetivo de comprender su impacto en la informática distribuida y elaborar documentación que facilite futuras implementaciones tecnológicas.

Específicos

- Identificar los componentes principales de las arquitecturas de Edge Computing y Cloud Computing, analizando su impacto en la eficiencia operativa a través de su aplicación en sistemas tecnológicos modernos.
- Comparar los desafíos de seguridad y privacidad asociados con Edge Computing y Cloud Computing, formulando recomendaciones prácticas basadas en estándares como ISO 27001 para mejorar la gestión de riesgos y correcta eficiencia operativa.
- Evaluar, mediante simulaciones en CloudSim, los parámetros de rendimiento como latencia y escalabilidad en escenarios representativos.
- Proponer estrategia tecnológica que combinen las fortalezas de Edge Computing y Cloud Computing, orientadas a mejorar la implementación de soluciones híbridas.

Justificación

Para justificar la necesidad de abordar la investigación sobre la comparación entre Edge Computing y Computación en la Nube, es crucial considerar los aportes que este estudio puede ofrecer en términos teóricos, metodológicos y prácticos. A continuación, se detallan estos aportes con un mayor sustento bibliográfico.

Aportes Teóricos

Ampliación del Conocimiento

Razón: La informática distribuida está en constante evolución, y la relación y diferencias entre Edge Computing y Computación en la Nube no están completamente definidas en la literatura actual. La comprensión de las especificidades de cada paradigma es aún limitada, como se señala en la literatura reciente (Sánchez Prado, 2021).

Contribución: Esta investigación proporcionará una comprensión más profunda de las arquitecturas, aplicaciones y desafíos de ambos paradigmas, enriqueciendo el cuerpo de conocimientos existente. Al analizar de manera comparativa estos enfoques, se clarificarán aspectos críticos aún no suficientemente explorados.

Beneficio: Los resultados teóricos pueden guiar futuras investigaciones y teorías en informática distribuida, ayudando a académicos y profesionales a entender mejor las dinámicas y potenciales de estas tecnologías. Esto facilitará el desarrollo de nuevos modelos y marcos teóricos que puedan ser aplicados en diversas disciplinas (Quiñonez & Maza, 2022).

Aportes Prácticos

Solución a Problemas Prácticos

Razón: Las empresas y organizaciones se enfrentan a la difícil decisión de implementar Edge Computing o Computación en la Nube para optimizar sus operaciones y servicios. La elección incorrecta de uno de estos paradigmas puede resultar en ineficiencias operativas, altos costos y baja eficiencia en el procesamiento de datos. Estudios recientes

han documentado estos problemas, destacando la importancia de seleccionar la arquitectura adecuada según las necesidades específicas de cada organización (Sánchez Prado, 2021).

Contribución: Esta investigación utilizará simulaciones detalladas con herramientas como CloudSim para demostrar los resultados de implementación de Edge Computing y Computación en la Nube en distintos escenarios y condiciones operativas. Las simulaciones permitirán comparar factores clave como latencia, costos operativos y escalabilidad, proporcionando una visión clara sobre las ventajas y limitaciones de cada enfoque en situaciones prácticas. Los resultados de estas simulaciones servirán como base para establecer directrices claras y fundamentadas sobre cuándo y cómo emplear cada tecnología según los requerimientos específicos de las organizaciones.

Beneficio: Las simulaciones permitirán a las empresas tomar decisiones más informadas basadas en datos objetivos, optimizando el uso de sus recursos tecnológicos y mejorando la competitividad. Con un análisis detallado de rendimiento, las organizaciones podrán seleccionar la opción más rentable y eficaz, lo que se traducirá en una mayor eficiencia operativa, una mejor adaptabilidad a los cambios tecnológicos y una rentabilidad sostenible a largo plazo. Este enfoque práctico y basado en simulaciones proporcionará a las empresas herramientas para enfrentar los retos de un entorno tecnológico en constante cambio.

Marco teórico

1. Conceptos Fundamentales

1.1. Informática distribuida y evolución tecnológica

La informática distribuida es un paradigma que ha transformado profundamente la forma en que se procesan y gestionan los datos, al permitir que múltiples sistemas computacionales trabajen de manera colaborativa y descentralizada. Este modelo se basa en la división de tareas entre diferentes nodos interconectados, que operan de forma simultánea y autónoma, lo cual permite mejorar la eficiencia, disponibilidad y velocidad del procesamiento. A lo largo del tiempo, la informática distribuida ha evolucionado desde arquitecturas cliente-servidor tradicionales hacia sistemas más complejos como la computación en la nube, el Edge Computing, y recientemente, el Fog Computing y el paradigma serverless (AWS, 2024).

El desarrollo de la informática distribuida responde a la necesidad creciente de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real, gestionar recursos de forma eficiente y brindar servicios a usuarios cada vez más conectados. La aparición del Internet de las Cosas (IoT), las redes móviles 4G y 5G, y la demanda de aplicaciones inteligentes han sido factores determinantes en esta evolución (Praveen, 2023). En este contexto, la computación en la nube ha permitido centralizar el almacenamiento y procesamiento en grandes centros de datos accesibles desde cualquier lugar del mundo, mientras que el Edge Computing ha emergido como una solución para acercar el procesamiento a los dispositivos finales, minimizando la latencia.

A lo largo de su evolución, la informática distribuida ha enfrentado múltiples desafíos, como la sincronización entre nodos, la tolerancia a fallos, la seguridad y la escalabilidad. Sin embargo, también ha demostrado ser un habilitador clave para la transformación digital de industrias como la salud, la educación, el comercio, la agricultura y la manufactura. Su capacidad para adaptarse a nuevos contextos tecnológicos ha impulsado el desarrollo de

arquitecturas híbridas que integran múltiples paradigmas computacionales, permitiendo así un uso más inteligente y estratégico de los recursos tecnológicos disponibles (Kumari, 2021).

1.2. Edge Computing

Como definición clave, Edge Computing puede entenderse como un paradigma tecnológico compuesto por dispositivos, sensores, recursos informáticos y ordenadores que generan y recopilan datos, los cuales pueden enviarse a centros de nube para su procesamiento. Sin embargo, su funcionalidad trasciende esta descripción, integrando aspectos como su arquitectura, retos, tecnologías de software, beneficios y capacidades (Sittón & Muñoz, 2020).

Edge Computing, esta tecnología se destaca por proporcionar servicios inteligentes en el borde de la red, respondiendo a los requerimientos fundamentales de la digitalización, como una conectividad ágil, procesamiento en tiempo real, optimización de datos, inteligencia en aplicaciones, y altos estándares de seguridad y privacidad (Candanedo, 2020).

Además, una de las principales características del Edge Computing, especialmente en el contexto del IoT, es la capacidad de los nodos de borde para procesar flujos de datos provenientes de dispositivos IoT (edge devices). Esto permite filtrar información irrelevante, optimizando el uso de ancho de banda y reduciendo la carga en los recursos de almacenamiento. Asimismo, la proximidad de estos procesos a las fuentes de origen garantiza una baja latencia y mejora la eficiencia operativa en aplicaciones críticas.

El Edge Computing ha surgido como una respuesta a las limitaciones de la computación en la nube. Según Sittón & Muñoz (2020), "las arquitecturas de referencia de Edge Computing son esenciales para guiar el desarrollo y la implementación de soluciones en la Industria 4.0, asegurando interoperabilidad y eficiencia". Esto es particularmente relevante en relación con la latencia y la necesidad de procesar datos en tiempo real. Este paradigma de computación permite procesar los datos cerca de la fuente, en dispositivos

inteligentes ubicados en el borde de la red, lo que reduce la dependencia de los centros de datos centralizados y mejora la velocidad de procesamiento.

Sánchez Prado (2021), destaca que la capacidad de *Edge Computing* para gestionar datos localmente es un factor clave para su adopción, especialmente en aplicaciones como el IoT, donde la latencia y la velocidad de respuesta son cruciales. Este enfoque resulta especialmente relevante en sectores como la automoción, la manufactura y la salud, donde la toma de decisiones en tiempo real es crítica.

1.3. Cloud Computing

La computación en la nube, conocida como Cloud Computing, ha transformado la manera en que las organizaciones gestionan sus recursos tecnológicos. Sus orígenes se remontan a la década de los 2000, con el lanzamiento de servicios como Amazon Web Services (AWS) y la expansión de la virtualización. Estas tecnologías permitieron el acceso bajo demanda a recursos informáticos escalables, eliminando así la necesidad de invertir en infraestructura física propia. Este cambio estructural se aceleró con la adopción de internet de alta velocidad y el avance de las tecnologías de virtualización, permitiendo la proliferación de modelos de servicio como IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service) y SaaS (Software as a Service), que ofrecen distintos niveles de control y flexibilidad para las empresas.

Muñoz Sicilia (2023), destaca cómo estos avances han permitido enfrentar desafíos en términos de escalabilidad y latencia, aspectos críticos para aplicaciones empresariales. La capacidad de escalar recursos de manera eficiente no solo mejora el rendimiento, sino que también reduce costos operativos, permitiendo a las organizaciones centrarse en su innovación y desarrollo en lugar de en la gestión de infraestructuras.

Además, la adopción de la computación en la nube ha facilitado la integración de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, en los procesos empresariales. Esto ha llevado a una mayor automatización y a la generación de

análisis de datos más complejos, brindando a las empresas una ventaja competitiva en un entorno cada vez más digitalizado. Sin embargo, a pesar de estos beneficios, es fundamental que las organizaciones aborden los desafíos asociados con la seguridad de los datos y la privacidad del usuario, lo que requiere una gestión cuidadosa y una formación adecuada para el personal.

La computación en la nube no es solo una herramienta tecnológica, sino un habilitador de nuevos modelos de negocio y formas de trabajo, lo que resalta su papel esencial en la transformación digital de las organizaciones contemporáneas (Mero & Macías, 2025).

1.4. Conceptos claves

La latencia, la escalabilidad y la resiliencia son pilares fundamentales en el diseño y la operación de sistemas de computación distribuida. Estos conceptos adquieren particular relevancia en aplicaciones modernas, donde la velocidad, la capacidad de adaptación y la robustez son esenciales para satisfacer las demandas de los usuarios y las empresas.

La **latencia** hace referencia al tiempo que transcurre desde que un usuario o sistema envía una solicitud hasta que se recibe la respuesta. Este factor es especialmente crítico en aplicaciones sensibles al tiempo, como las plataformas de transmisión en vivo, los videojuegos en línea, y los sistemas de control industrial. Una baja latencia garantiza una experiencia fluida y eficiente, mientras que una alta latencia puede causar interrupciones, retrasos o una pérdida de confianza en el sistema (Kumar & Rahman, 2021).

La **escalabilidad** se refiere a la capacidad de un sistema para manejar un aumento en la carga de trabajo sin comprometer su rendimiento. En escenarios como picos de tráfico web, grandes campañas de marketing digital o servicios en la nube con miles de usuarios concurrentes, un sistema escalable puede adaptarse incrementando los recursos disponibles, ya sea mediante escalado horizontal (añadiendo más servidores) o vertical (aumentando la capacidad de los servidores existentes). La escalabilidad no solo permite enfrentar crecimientos inesperados en la demanda, sino también optimizar los costos al ajustar los

recursos según las necesidades del momento. "La latencia y la seguridad son desafíos cruciales que deben ser considerados" (Muñoz Sicilia, 2023).

La **resiliencia**, por su parte, es la habilidad de un sistema para mantener su funcionamiento incluso ante fallos inevitables, como la caída de servidores, interrupciones de red o errores de software. En sistemas bien diseñados, la resiliencia se logra mediante estrategias como la redundancia, la replicación de datos, y la capacidad de detectar y recuperarse automáticamente de fallos. Esto es esencial en servicios críticos como el comercio electrónico, la banca en línea o las plataformas de atención médica, donde el tiempo de inactividad puede tener consecuencias significativas. "Las vulnerabilidades en la nube están en constante evolución, y los atacantes desarrollan nuevas técnicas para explotar las debilidades en la infraestructura" (Sánchez Prado, 2021). Esto hablando de los puntos de seguridad que pueden generar una falla en los sistemas.

En el contexto de tecnologías como el Edge Computing y la computación en la nube, estos tres conceptos son fundamentales para abordar los desafíos de los entornos modernos. Por ejemplo, en el *Edge Computing*, la reducción de la latencia es prioritaria, ya que los datos se procesan más cerca de los dispositivos de origen, minimizando los tiempos de transmisión. A su vez, la computación en la nube destaca por su capacidad de escalabilidad dinámica y su infraestructura altamente resiliente, que permite a los sistemas continuar operando incluso frente a fallos masivos.

En conjunto, la integración de latencia, escalabilidad y resiliencia permite diseñar sistemas que no solo sean eficientes y rápidos, sino también robustos y adaptables, capaces de ofrecer experiencias consistentes en entornos cada vez más exigentes y cambiantes (Jeron & Karacora, 2024).

2. Componentes Principales de las Arquitecturas

2.1. Arquitectura de Edge Computing

La arquitectura de Edge Computing está compuesta por múltiples capas que permiten el procesamiento cercano al origen de los datos, optimizando la latencia, el uso del ancho de banda y la privacidad de la información. Esta estructura es clave en entornos donde se requiere una respuesta en tiempo real, como el Internet de las Cosas (IoT), la manufactura inteligente o los vehículos autónomos.

Capas funcionales de la arquitectura

A continuación, en la Tabla 1 se describen las principales capas que conforman esta arquitectura:

Tabla 1. Capas y funciones de la arquitectura Edge Computing

Capa	Función principal	Ejemplos
Capa IoT (Dispositivos)	Recopila datos del entorno físico mediante sensores, actuadores o gateways integrados.	Vehículos inteligentes, robots, sensores de clima
Capa Far-Edge (Control)	Filtra y evalúa los datos recopilados, enviando señales de control a los dispositivos IoT.	Controladores embebidos, microcontroladores
Capa Mid-Edge (Gateway)	Actúa como intermediario entre la capa IoT y los servidores, integrando redes cableadas/inalámbricas.	Gateways industriales, routers programables
Capa Near-Edge (Servidor)	Realiza procesamiento avanzado de datos, toma decisiones y genera instrucciones.	Servidores locales, nodos Edge de alto rendimiento
Capa de integración Cloud	Transfiere únicamente datos relevantes a la nube para almacenamiento, análisis o respaldo.	Interfaces cloud, APIs de sincronización

Fuente: Información obtenida de (Sittón & Muñoz, 2020)

Descripción detallada de capas

- **Capa de dispositivos (IoT):** Conformada por sensores, actuadores y dispositivos inteligentes, esta capa captura datos del entorno físico y puede realizar preprocesamiento básico. Según Sittón & Muñoz (2020), “los dispositivos de borde generan grandes volúmenes de datos que, tras ser procesados localmente,

reducen la cantidad de información enviada a la nube, ahorrando ancho de banda y mejorando la eficiencia operativa.”

- **Capa de borde (procesamiento local):** Esta capa incluye nodos de borde (edge nodes) que procesan los datos cerca del origen. Ullah & Su (2025), afirman que “los flujos de datos provenientes de dispositivos IoT son procesados por nodos de borde, lo que permite filtrar información sin valor, ahorrar ancho de banda y mejorar la eficiencia operativa.” Además, estos nodos ofrecen aislamiento, privacidad y autonomía operativa.

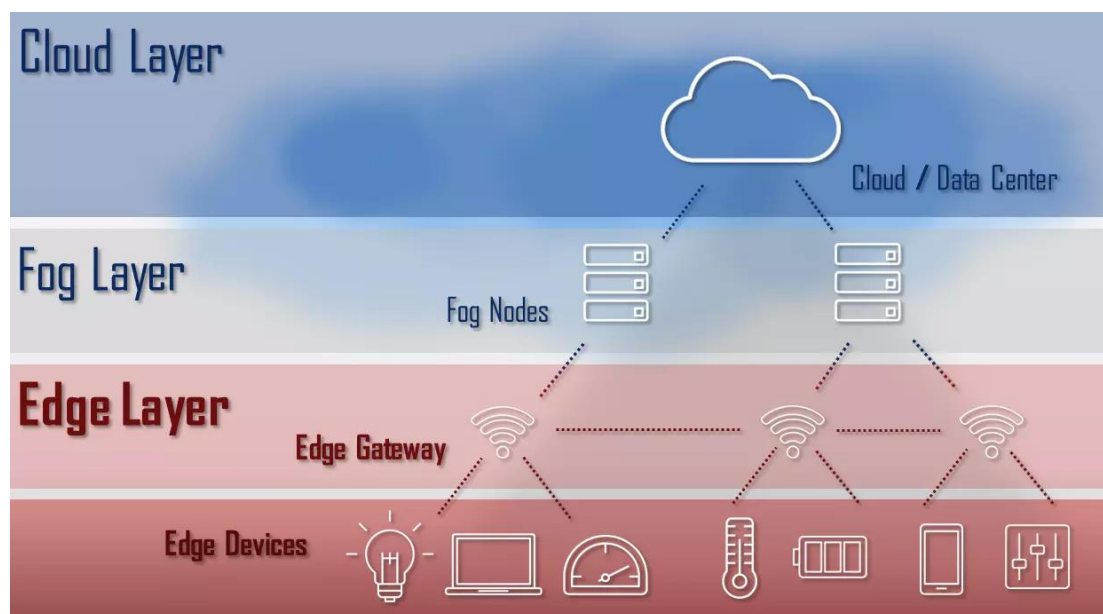
- **Subcapas del borde (Far, Mid y Near-Edge):**

La arquitectura se subdivide en tres niveles funcionales:

- **Far-Edge:** controla directamente los dispositivos IoT.
 - **Mid-Edge:** actúa como puente entre redes físicas.
 - **Near-Edge:** ejecuta análisis más complejos y toma decisiones automatizadas.
- **Capa de integración con la nube:** Sirve como canal de comunicación con el entorno Cloud. Se encarga de enviar solo los datos consolidados o críticos, optimizando el uso del ancho de banda. De acuerdo con Sitton-Candanedo (2020), “la arquitectura de Edge Computing permite descentralizar el almacenamiento y el procesamiento, mejorando la escalabilidad y reduciendo los costos asociados al consumo de recursos en la nube.”

La relación entre estas capas puede observarse en la Figura 1, donde se esquematiza el flujo de datos desde los dispositivos de borde hasta los centros de datos en la nube, pasando por las distintas capas de procesamiento. Esta representación ilustra cómo el modelo Edge-Fog-Cloud permite descentralizar el procesamiento, mejorar la latencia y optimizar el uso del ancho de banda, aspectos clave en la informática distribuida moderna.

Figura 1. Arquitectura general de Edge Computing basada en capas funcionales



Fuente: Ilustración obtenida de (IONOS, 2023)

2.2. Arquitectura de Cloud Computing

Los modelos de servicios en la nube constituyen la base fundamental sobre la cual las organizaciones construyen y operan sus sistemas de tecnología. Según Muñoz Sicilia (2020), "la adopción de modelos de servicios en la nube permite a las empresas adaptarse rápidamente a las cambiantes condiciones del mercado", destacando así su rol en la agilidad empresarial.

La arquitectura de Cloud Computing se estructura principalmente en torno a tres modelos de servicio: Infraestructura como Servicio (IaaS), Plataforma como Servicio (PaaS) y Software como Servicio (SaaS).

- **Infraestructura como Servicio (IaaS):** Permite a las empresas alquilar servidores, almacenamiento y otros recursos gestionados por proveedores externos. Este modelo es ideal para organizaciones que requieren escalabilidad dinámica, especialmente en fases de crecimiento o despliegues temporales.
- **Plataforma como Servicio (PaaS):** Proporciona un entorno de desarrollo y ejecución de aplicaciones sin preocuparse por el hardware o la configuración de

infraestructura. Facilita la colaboración entre equipos de desarrollo mediante herramientas integradas (Muñoz Sicilia, 2023).

- **Software como Servicio (SaaS):** Ofrece acceso remoto a aplicaciones a través de internet, eliminando la necesidad de instalaciones locales. Este modelo permite a los usuarios acceder siempre a versiones actualizadas con mejoras de seguridad y funcionalidad.

Cada uno de estos modelos responde a distintos niveles de control, responsabilidad y flexibilidad, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de modelos de servicio en Cloud Computing

Modelo	Nivel de control del usuario	Componentes gestionados por el proveedor	Ejemplos comunes
IaaS	Alto	Hardware, red, virtualización	AWS EC2, Microsoft Azure VM
PaaS	Medio	Infraestructura + entorno de desarrollo	Google App Engine, Heroku
SaaS	Bajo	Todo el stack (infraestructura + app)	Gmail, Salesforce, Microsoft 365

Fuente: Información obtenida de (Muñoz Sicilia, 2023)

Automatización e Infraestructura como Código (IaC)

En paralelo con estos modelos de servicio, ha cobrado relevancia el concepto de Infraestructura como Código (IaC). Este enfoque permite definir la infraestructura tecnológica mediante archivos de configuración, eliminando configuraciones manuales y reduciendo errores humanos. Según Moreno (2022), "IaC permite que los equipos gestionen la infraestructura de TI mediante archivos de configuración, proporcionando un control más preciso".

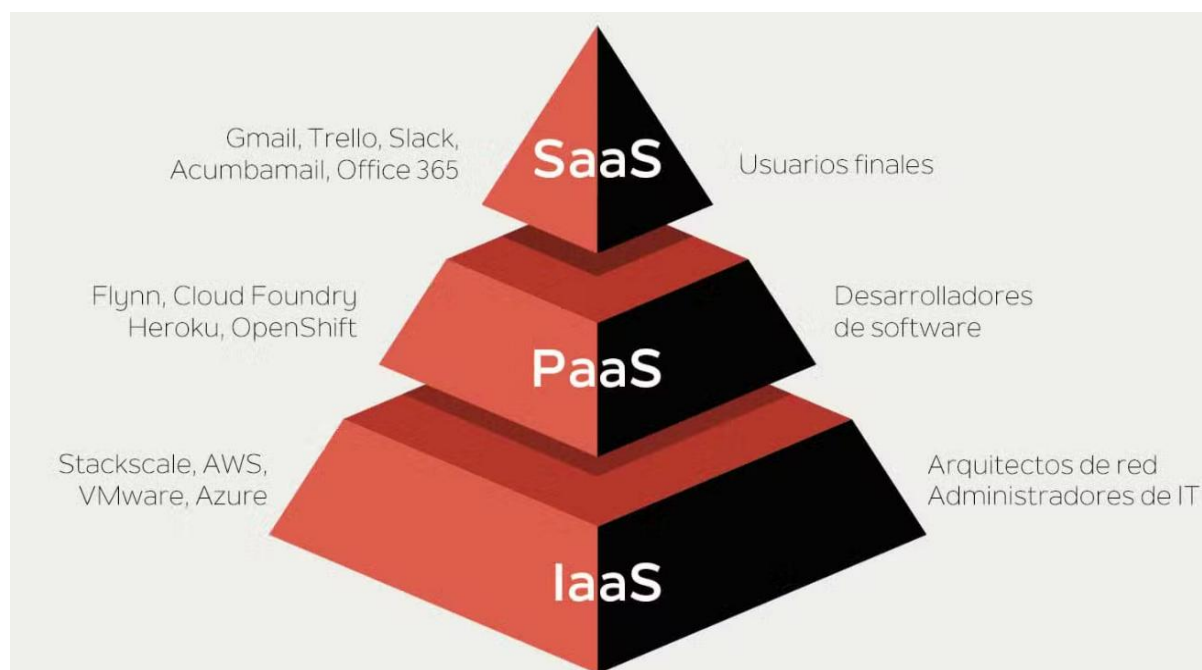
La implementación de IaC permite:

- Automatizar despliegues de infraestructura.
- Crear entornos reproducibles para pruebas y producción.
- Aumentar la agilidad y escalabilidad operativa.

En contextos de informática distribuida, donde las aplicaciones deben adaptarse a demandas variables, la combinación de IaC con herramientas de automatización se vuelve indispensable para garantizar la eficiencia de los recursos. Como señala Moreno (2022), "la automatización que facilita IaC no solo agiliza el despliegue de recursos, sino que también mejora la escalabilidad".

La estructura jerárquica de los modelos de servicio en la nube puede visualizarse en la Figura 2. En ella se representan los niveles IaaS, PaaS y SaaS, junto con ejemplos de plataformas y perfiles de usuario asociados a cada capa. Esta representación permite comprender cómo varía el nivel de control, responsabilidad y enfoque según el modelo adoptado por una organización.

Figura 2. Niveles de servicio en Cloud Computing: IaaS, PaaS y SaaS



Fuente: Ilustración obtenida de (Stackscale, 2023)

2.3. Comparación de Componentes y su impacto en la Eficiencia Operativa

La eficiencia operativa de una arquitectura tecnológica depende directamente de cómo se estructuran sus componentes y de qué manera procesan, almacenan y gestionan los datos. A continuación, en la Tabla 3 se comparan las capas fundamentales de Edge Computing y Cloud Computing en función de cinco criterios clave: procesamiento, servicios, integración, seguridad y escalabilidad.

Tabla 3. Comparación de componentes clave entre Edge y Cloud Computing y su impacto en la eficiencia operativa

Componente o Dimensión	Edge Computing	Cloud Computing
1. Capa de Dispositivos vs. Infraestructura	Recopila datos en tiempo real con sensores IoT y realiza preprocesamiento local. Reduce tráfico y mejora el uso del ancho de banda (Candanedo, 2020).	Almacena y gestiona datos en centros centralizados. Puede generar cuellos de botella si los datos no son optimizados (Muñoz Sicilia, 2023).
2. Procesamiento Local vs. Modelos de Servicio	Los nodos procesan datos cerca de la fuente, lo que reduce latencia y mejora tiempos de respuesta (Muñoz Sicilia, 2023).	IaaS, PaaS y SaaS ofrecen escalabilidad, pero pueden introducir latencia si no se optimiza el manejo de grandes volúmenes (Muñoz Sicilia, 2023).
3. Integración con la Nube vs. IaaS	Solo se envían datos relevantes a la nube, optimizando el ancho de banda y los costos de almacenamiento (Garnica & Guerrero Joan, 2024).	IaaS proporciona escalabilidad y acceso a hardware virtualizado, pero el envío masivo de datos puede afectar eficiencia y costos (Muñoz Sicilia, 2022).
4. Seguridad y Privacidad	Procesamiento local refuerza privacidad; menor dependencia de transmisiones largas. Requiere medidas contra ataques físicos (Muñoz Sicilia, 2023).	Centralización expone riesgos si no se aplican estándares como ISO 27001. Requiere robustas políticas de seguridad (Sánchez Prado, 2021).
5. Flexibilidad y Escalabilidad	Alta flexibilidad en tiempo real, pero limitada escalabilidad técnica y operativa (Muñoz Sicilia, 2023).	Escalabilidad casi ilimitada, ideal para crecer bajo demanda. Requiere inversión constante y control de costos por uso de recursos (Muñoz Sicilia, 2023).

Nota: Elaboración propia

Síntesis del impacto en eficiencia operativa

Edge Computing destaca por su capacidad para procesar datos localmente, reduciendo la latencia, el tráfico de red y mejorando la privacidad. Esto lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en tiempo real, aunque su escalabilidad presenta desafíos técnicos y operativos.

Cloud Computing, en cambio, ofrece una escalabilidad sobresaliente y servicios integrados que permiten a las organizaciones responder a demandas variables. Sin embargo, su eficiencia depende de una adecuada gestión del tráfico, seguridad y uso de recursos, especialmente al manejar grandes volúmenes de datos.

3. Aplicaciones en Sistemas Tecnológicos Modernos

3.1. Casos de Uso en Cloud Computing

La computación en la nube ha revolucionado la forma en que las empresas gestionan y procesan datos, permitiendo aplicaciones en una amplia variedad de sectores:

Big Data y Análisis Avanzado:

Según el Instituto de Ingeniería del Conocimiento (2020), la computación en la nube permite tratar grandes volúmenes de datos en tiempo real, optimizando procesos y reduciendo costos operativos. Herramientas como Hadoop o MongoDB se integran con plataformas cloud para lograr una gestión eficiente de los macrodatos.

Adicionalmente On-Piu (2020), afirma que la nube proporciona escalabilidad para manejar el crecimiento continuo de los datos, lo que es esencial en entornos de Big Data.

Aplicaciones Empresariales y ERP:

Los sistemas de planificación empresarial (ERP) han encontrado en la nube un aliado clave. Según Mero & Macías (2025), la adopción de modelos SaaS y PaaS reduce la necesidad de infraestructura local, mejorando la accesibilidad y colaboración.

Este enfoque permite a las empresas gestionar operaciones globales con mayor eficiencia y personalización, adaptándose a las cambiantes demandas del mercado.

Servicios de Software como Servicio (SaaS):

La nube ha transformado las aplicaciones de productividad. Microsoft 365 y Google Workspace ejemplifican esta tendencia, proporcionando actualizaciones automáticas y acceso multiplataforma (Instituto de Ingeniería del Conocimiento, 2022).

Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático:

Los entornos cloud permiten el desarrollo de modelos de aprendizaje automático a gran escala. On-Piu (2020), destaca que esta capacidad potencia el análisis predictivo y la personalización de servicios en sectores como la salud y el comercio.

Según Mero & Macías (2025), estas capacidades también han sido clave para la transformación digital en industrias tradicionales, mejorando la toma de decisiones en tiempo real.

Backup y Recuperación de Datos:

Las soluciones en la nube como Azure Site Recovery garantizan la continuidad del negocio. El Instituto de Ingeniería del Conocimiento (2022), afirma que estas plataformas integran protocolos avanzados para copias de seguridad y recuperación ante desastres, minimizando riesgos.

Aplicaciones en E-commerce:

Plataformas como Shopify utilizan la nube para escalar servicios según la demanda. Melo & Proaño (2024), destacan que Amazon Web Services proporciona infraestructura robusta para comercio electrónico, facilitando operaciones globales y personalización.

Caso 1: Análisis de la Implementación de Arquitectura Serverless en la Nube: Estudio de Caso con AWS Lambda y Servicios Relacionados

En este caso de estudio, tenemos el análisis de la implementación de una arquitectura serverless utilizando servicios de AWS, como AWS Lambda, DynamoDB y API Gateway. El análisis se centra en las ventajas y desafíos asociados con la adopción de esta arquitectura en la nube, específicamente bajo el modelo FaaS (Functions as a Service).

El análisis de este caso de estudio muestra que la adopción de la arquitectura serverless mediante servicios como AWS Lambda y DynamoDB ofrece importantes ventajas, principalmente en términos de **costos**, **escalabilidad** y **gestión simplificada** de la infraestructura. A pesar de algunos desafíos, como la latencia y la dependencia del proveedor, los beneficios superan a las desventajas, haciendo de este modelo una opción atractiva para aplicaciones en la nube.

Ventajas de la Arquitectura Serverless

Una de las principales ventajas observadas en este caso es la **eliminación de la gestión de servidores físicos**, lo que permite a los desarrolladores concentrarse exclusivamente en la implementación de la funcionalidad de la aplicación. Según Sánchez Prado (2021), el uso de este modelo reduce significativamente la complejidad operativa y mejora la eficiencia en el desarrollo. Además, la **escalabilidad automática** proporcionada por los servicios en la nube asegura que la infraestructura se adapte dinámicamente a la demanda, lo que optimiza el uso de los recursos y reduce costos operativos (Sánchez Prado, 2021).

Eficiencia en Costos

El modelo serverless también destaca por su modelo de pago por consumo, que asegura que los costos se ajusten según el uso real de los recursos. Este enfoque resulta altamente eficiente desde el punto de vista económico, especialmente en aplicaciones con carga variable, evitando los gastos asociados con la infraestructura de servidores tradicionales (Sánchez Prado, 2021). En este caso, se observó que los costos operativos fueron significativamente menores en comparación con una arquitectura tradicional.

Optimización del Desempeño

En cuanto al rendimiento, los resultados mostraron que la integración de AWS Lambda permitió ejecutar código sin la necesidad de preocuparse por la infraestructura subyacente, lo que facilitó la implementación de funciones bajo demanda. Sin embargo, a pesar de la flexibilidad, se identificó que la latencia en ciertas invocaciones podría ser un reto, particularmente cuando se manejan altas cantidades de tráfico simultáneo (Sánchez Prado, 2021). A pesar de ello, los tiempos de respuesta fueron generalmente satisfactorios para la mayoría de los casos de uso en el estudio.

Desafíos en la Implementación

A pesar de los beneficios, también se presentaron algunos desafíos. La latencia en la ejecución de las funciones Lambda se destacó como un posible inconveniente en aplicaciones de tiempo crítico, aunque los resultados mostraron que esto no fue un problema significativo en el caso estudiado (Sánchez Prado, 2021). Además, la dependencia de un proveedor como AWS introduce el riesgo de bloqueo de proveedor, lo que podría dificultar la migración a otras plataformas en el futuro, un factor que debe ser considerado en proyectos a largo plazo.

Resultados de la Implementación

Los resultados generales de la implementación fueron positivos, destacando la facilidad de despliegue y gestión que ofreció el uso de servicios como AWS Amplify y API Gateway para crear una API RESTful. Esta integración permitió que la aplicación web fuera escalable y accesible, con tiempos de respuesta rápidos y un control eficaz sobre el tráfico y los accesos a los recursos (Sánchez Prado, 2021).

Caso 2: Análisis de la Implementación y los Resultados del Caso de Estudio en la Simulación de Infraestructuras de Cloud Computing utilizando CloudSim

Arquitectura del Sistema

La propuesta de solución presentada en el estudio se basa en una arquitectura distribuida que se estructura en dos componentes principales: el proveedor de servicios y el cliente. En el lado del proveedor, se encuentra el data center, que alberga recursos de hardware, mientras que el cliente accede a estos recursos a través de un modelo virtualizado. La capa del hipervisor, que es un hipervisor bare-metal, gestiona la virtualización del hardware físico, permitiendo que las máquinas virtuales (VMs) se ejecuten sobre los hosts del sistema. Por otro lado, el cliente está compuesto por una capa de departamentos, donde se encuentran las máquinas virtuales, cada una asignada a un usuario específico. Esta arquitectura facilita la simulación y modelado de servicios en la nube, ofreciendo una representación precisa de cómo los recursos son distribuidos entre proveedores y clientes, y cómo estos interactúan dentro de un entorno de Cloud Computing. Esta estructura no solo es eficiente en términos de simulación, sino también útil para la investigación y el análisis de consumo de recursos (Guamán Cabrera, 2022).

Uso de Herramientas de Simulación

En el contexto de este estudio, se utilizó CloudSim, una herramienta de simulación que permite modelar infraestructuras de Cloud Computing y simular los servicios proporcionados por los proveedores. CloudSim es extremadamente útil en proyectos de investigación que buscan optimizar la distribución de recursos y analizar cómo se comportan las infraestructuras en la nube bajo diversas condiciones. A través de esta herramienta, es posible parametrizar aspectos como el número de data centers, los hosts disponibles, las capacidades de procesamiento, el ancho de banda, y otros factores clave que impactan el rendimiento de los servicios de nube. La capacidad de simular múltiples escenarios con diferentes configuraciones permite realizar una planificación anticipada sin la necesidad de implementar físicamente cada componente, lo que ahorra tiempo y recursos (Guamán Cabrera, 2022).

Además, para almacenar y gestionar datos, se implementó PostgreSQL, una base de datos relacional que facilita la administración de los datos de los usuarios, los recursos de hardware y las configuraciones de las máquinas virtuales. PostgreSQL es ampliamente reconocido por su robustez y escalabilidad, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos que manejan grandes volúmenes de datos y requieren alta disponibilidad. A su vez, Hibernate fue utilizado para gestionar el mapeo entre las entidades de la base de datos y las clases de la aplicación, lo que permitió mantener la coherencia y la integridad de los datos a lo largo de todo el proceso (Guamán Cabrera, 2022).

Requerimientos y Especificaciones de Hardware

Para la implementación del software, se utilizó una serie de equipos con especificaciones diversas, como una Mac OS Catalina con 8GB de RAM y un procesador Core i5, y un Lenovo 330S con 4GB de RAM. Las máquinas utilizadas para ejecutar las simulaciones y el desarrollo del software deben contar con características suficientes para manejar las exigencias de las herramientas y los servicios simulados. En particular, se recomienda utilizar sistemas con recursos más potentes para manejar simulaciones complejas, especialmente cuando se trabaja con un gran número de máquinas virtuales o cuando los equipos simulados tienen altas especificaciones. De lo contrario, las simulaciones podrían sufrir problemas de rendimiento, ya que la capacidad de procesamiento es un factor clave para obtener resultados precisos y rápidos. Este aspecto es fundamental para garantizar que la simulación se realice de manera eficiente y sin demoras innecesarias que puedan afectar la calidad de los resultados (Guamán Cabrera, 2022).

Relación entre Recursos Asignados y Consumo

Los resultados de la simulación también mostraron una relación directa entre los recursos asignados a las máquinas virtuales y el consumo en el servidor. Este hallazgo es crucial para la optimización de los sistemas de Cloud Computing, ya que permite predecir cómo variará el consumo de recursos en función de los requerimientos del cliente. Cuando

los recursos solicitados por las máquinas virtuales son similares, el consumo total en el servidor también es proporcional. Este comportamiento es consistente independientemente de las tareas que se realicen dentro de las máquinas virtuales, lo que demuestra que la gestión eficiente de los recursos puede tener un gran impacto en la reducción de costos operativos y en la mejora del rendimiento de la data center (Guamán Cabrera, 2022).

Conclusiones y Recomendaciones

Dimensionamiento de Recursos: Se concluyó que el dimensionamiento adecuado de los recursos es fundamental antes de contratar servicios de cloud computing. Sin un análisis preciso, el cliente podría terminar pagando por recursos que no se utilizarán, o viceversa, enfrentarse a un servicio sobredimensionado que no cumple con sus necesidades. La simulación es una herramienta esencial para evitar estos escenarios y optimizar la asignación de recursos (Guamán Cabrera, 2022).

CloudSim como Herramienta de Simulación: CloudSim demostró ser una herramienta valiosa para simular infraestructuras en la nube. Sin embargo, su uso podría volverse más accesible y amigable si se incorporara una interfaz gráfica. De esta manera, los usuarios podrían interactuar con la herramienta de manera más intuitiva, mejorando su experiencia (Guamán Cabrera, 2022).

Recomendaciones Técnicas: Se recomienda que, al implementar un proyecto similar, se utilicen versiones de Java compatibles con CloudSim. La versión 8 de Java, utilizada en este estudio, no presentó inconvenientes, pero es importante tener en cuenta que la herramienta fue originalmente desarrollada para versiones anteriores de Java, lo que podría causar incompatibilidades si se usan versiones más recientes (Guamán Cabrera, 2022).

Optimización de Recursos: Para mejorar el rendimiento y la eficiencia, es esencial realizar pruebas en máquinas con recursos suficientes, ya que la simulación de infraestructuras grandes requiere una significativa capacidad de procesamiento. De lo

contrario, se podrían enfrentar tiempos de respuesta más largos o simulaciones inexactas (Guamán Cabrera, 2022).

Caso 3: Implementación de Computación en la Nube en la Municipalidad del Cantón de **Puntarenas:** Análisis de Metodología, Proveedores y Resultados"

En el caso de estudio presentado por Mendoza Campos (2021), se realizó un análisis detallado sobre la implementación de la Computación en la Nube en la Municipalidad del Cantón de Puntarenas. Este estudio profundizó en los diversos aspectos involucrados en el proceso de migración y la infraestructura tecnológica necesaria para lograr una transición exitosa hacia la nube.

La implementación de la Computación en la Nube en la Municipalidad del Cantón de Puntarenas, como se presenta en este caso de estudio, demuestra que la adopción de nuevas tecnologías puede ser una estrategia eficiente para modernizar las infraestructuras gubernamentales. Al seguir una metodología bien estructurada, seleccionar el proveedor adecuado y aplicar herramientas de gestión de proyectos eficaces, la Municipalidad logró no solo optimizar sus recursos y reducir costos, sino también mejorar la calidad y disponibilidad de sus servicios. Este caso proporciona un modelo de referencia que puede ser utilizado por otras entidades gubernamentales en el país para implementar soluciones tecnológicas similares, asegurando una transición exitosa hacia la nube y beneficiando tanto a las instituciones como a los ciudadanos a los que sirven (Mendoza Campos, 2021).

A continuación, se desglosan los aspectos clave de la implementación y los resultados obtenidos:

Identificación del Modelo de Servicio

Uno de los primeros pasos en la implementación fue identificar el modelo de servicio de Computación en la Nube que mejor se ajustara a las necesidades de la Municipalidad. El estudio determinó que el modelo Infraestructura como Servicio (IaaS) era el más adecuado

para la Municipalidad del Cantón de Puntarenas. Este modelo ofrece una gran flexibilidad y eficiencia en la gestión de recursos, permitiendo a la Municipalidad adaptar su infraestructura tecnológica de manera escalable, según sus necesidades. La elección del modelo en la nube, frente al modelo tradicional In-House, se justificó debido a los beneficios operacionales y económicos que proporciona, como la reducción de costos en mantenimiento, mejoras en el rendimiento y mayor capacidad de expansión sin necesidad de inversiones iniciales grandes en hardware (Mendoza Campos, 2021).

Selección del Proveedor de Computación en la Nube

La selección del proveedor de servicios de Computación en la Nube fue otro paso crucial en la implementación. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las empresas proveedoras en Costa Rica, evaluando sus capacidades y la infraestructura que ofrecen. La empresa CODISA fue seleccionada como el proveedor ideal, debido a su robusta infraestructura que incluye tres centros de datos (datacenters) y su destacada certificación a nivel regional. Esta elección garantizó que la Municipalidad tuviera acceso a servicios con alta disponibilidad y seguridad, factores críticos para asegurar la continuidad operativa y protección de los datos (Mendoza Campos, 2021).

Metodología de Gestión de Proyectos

En cuanto a la metodología de gestión de proyectos Mendoza Campos (2021), adoptó un enfoque mixto que combina las metodologías tradicionales PMBOK y Ágil. Esta combinación permitió aprovechar las fortalezas de cada metodología, ya que PMBOK ofrece un enfoque estructurado y detallado para la gestión de proyectos, mientras que la metodología Ágil proporciona la flexibilidad necesaria para adaptarse a los cambios e imprevistos que surgen durante el desarrollo del proyecto. La combinación de estas metodologías contribuyó a un ciclo de vida de proyecto más claro y controlado, permitiendo la integración de nuevos requisitos y la mejora continua a lo largo del proceso (Mendoza Campos, 2021).

Selección de Herramientas de Gestión de Proyectos

Para gestionar la implementación del proyecto de migración, se evaluaron diversas herramientas de gestión de proyectos, tales como Trello, Hansoft, Jira y Microsoft Project. Tras una cuidadosa evaluación de factores como facilidad de uso, costo, accesibilidad y funcionalidad, se optó por Jira y Microsoft Project. Ambas herramientas proporcionaron una capacidad robusta para el seguimiento del progreso del proyecto, gestionando eficazmente los tiempos, recursos y actividades, lo que facilitó la coordinación entre los distintos equipos involucrados en el proyecto de migración (Mendoza Campos, 2021).

Resultados de la Implementación

Los resultados obtenidos tras la implementación de la Computación en la Nube fueron ampliamente positivos. Se observó una mejora significativa en la eficiencia operativa de la Municipalidad, junto con una reducción de costos asociados al mantenimiento de infraestructura tecnológica propia. La migración a la nube permitió optimizar el uso de los recursos y aumentar la disponibilidad de los servicios, lo cual tuvo un impacto directo en la productividad de los empleados y en la calidad de los servicios ofrecidos a la comunidad. Además, la flexibilidad de la nube permitió a la Municipalidad escalar sus operaciones según las necesidades, sin los gastos adicionales que implican los modelos tradicionales (Mendoza Campos, 2021).

Recomendaciones para Futuras Implementaciones

Finalmente, Mendoza Campos (2021) también ofrece una serie de recomendaciones para futuras implementaciones de proyectos tecnológicos similares. Una de las principales sugerencias es realizar la migración de forma gradual, comenzando con servicios de bajo impacto crítico, para garantizar que cualquier ajuste necesario pueda realizarse sin afectar la operatividad diaria de la Municipalidad. Asimismo, se recomienda evaluar periódicamente la estabilidad del sistema durante las primeras etapas de la migración, para asegurar que los procesos de integración se realicen sin contratiempos. Además, el análisis de costos-

beneficios debe realizarse de manera continua para maximizar los beneficios a largo plazo del uso de la Computación en la Nube (Mendoza Campos, 2021).

3.2. Casos de Uso en Edge Computing

El Edge Computing ha demostrado ser fundamental en aplicaciones donde la latencia baja y el procesamiento en tiempo real son cruciales:

Vehículos Autónomos

En la industria automotriz, el Edge Computing se ha convertido en una tecnología fundamental para el desarrollo y funcionamiento de los vehículos autónomos, ya que permite la toma de decisiones en tiempo real sin depender de una conexión constante a la nube. Según Muñoz Sicilia (2023), "el Edge Computing reduce la latencia y mejora la seguridad en los sistemas de conducción autónoma al permitir el procesamiento de datos crítico directamente en el vehículo". Esto implica que los automóviles pueden responder de manera inmediata a las condiciones del entorno, lo que es esencial en situaciones donde cada milisegundo cuenta, como evitar accidentes o ajustar trayectorias de manera dinámica. Además, esta tecnología permite gestionar el vasto volumen de datos generado por sensores avanzados, optimizando la eficiencia operativa y garantizando altos estándares de seguridad.

Un estudio del portal Barros & Peralta (2023), refuerza esta perspectiva al señalar que el Edge Computing es crucial para procesar datos críticos de sensores como LDAR, radares y cámaras en tiempo real. Estas herramientas permiten a los vehículos tomar decisiones autónomas con baja latencia, un factor indispensable para su desempeño seguro. Este enfoque no solo optimiza los recursos computacionales al distribuir las cargas de procesamiento entre los dispositivos locales y los sistemas principales, sino que también minimiza los riesgos asociados a fallas en la conectividad de red. Según IBM, el procesamiento en el borde mejora significativamente la seguridad al analizar información distribuida proveniente de múltiples sensores en tiempo real, lo que permite a los sistemas anticipar y reaccionar a posibles peligros (Powell & Smalley, 2024).

Además de su impacto en la seguridad, el Edge Computing también contribuye a la sostenibilidad y eficiencia energética. Al reducir la necesidad de transmitir grandes volúmenes de datos a centros remotos, se disminuye el consumo de ancho de banda y energía, haciéndolo una solución más ecológica para la industria. Esto es particularmente relevante a medida que los vehículos eléctricos, con su dependencia de recursos optimizados, continúan ganando protagonismo.

El Edge Computing no solo es una herramienta técnica avanzada, sino también una pieza esencial para el avance de la conducción autónoma y la transformación digital de la industria automotriz. Su capacidad para combinar velocidad, seguridad y eficiencia lo posiciona como un habilitador clave para el futuro de la movilidad (Garnica & Guerrero Joan, 2024).

Internet de las Cosas (IoT)

El Edge Computing desempeña un rol fundamental en la transformación de las ciudades en entornos inteligentes, gracias a su capacidad para procesar datos localmente y ofrecer respuestas en tiempo real. Esta tecnología permite a dispositivos como sensores y cámaras, ubicados en infraestructuras críticas de las ciudades, analizar información directamente en el lugar donde se genera. Esto es crucial para aplicaciones como la gestión del tráfico, donde los semáforos inteligentes pueden ajustarse dinámicamente en función del flujo vehicular, o la seguridad pública, donde los sistemas de vigilancia pueden detectar y reaccionar ante incidentes de manera inmediata (Sánchez Prado, 2021). Según IBM, esta capacidad no solo incrementa la eficiencia operativa de los sistemas, sino que también genera oportunidades económicas al ofrecer servicios más confiables y personalizados (Powell & Smalley, 2024).

Además, la implementación de Edge Computing en ciudades inteligentes potencia el ecosistema urbano al integrar dispositivos IoT de forma efectiva. Esta integración no solo mejora la capacidad de recolección y análisis de datos, sino que también fomenta el desarrollo

de tecnologías innovadoras que responden a las necesidades específicas de cada contexto urbano. Por ejemplo, se han realizado estudios enfocados en optimizar la relación entre hardware IoT y algoritmos, lo que permite desarrollar soluciones adaptadas que maximizan el rendimiento y minimizan los recursos necesarios para operar (Gomez & Borja, 2022). Estas capacidades son esenciales en un entorno urbano donde la cantidad de datos generados crece exponencialmente.

El impacto del Edge Computing no se limita a la eficiencia operativa; también contribuye significativamente a la sostenibilidad urbana. Al procesar los datos localmente, se reduce la necesidad de transmitir grandes volúmenes de información a centros de datos remotos, lo que minimiza el consumo de ancho de banda y la huella de carbono asociada a estas operaciones. Esto es especialmente relevante en un contexto donde las ciudades enfrentan el desafío de optimizar recursos energéticos y reducir emisiones contaminantes. Asimismo, la capacidad de tomar decisiones inmediatas y autónomas en sistemas urbanos apoya la creación de soluciones más resilientes frente a situaciones críticas, como desastres naturales o interrupciones en los servicios esenciales.

No obstante, la expansión de Edge Computing también plantea retos importantes. La escalabilidad de estas soluciones es vital para manejar la creciente cantidad de dispositivos conectados, al tiempo que se deben implementar estrategias robustas de seguridad para proteger los datos generados y procesados en la periferia de la red. Esto requiere la colaboración activa entre gobiernos, empresas tecnológicas y ciudadanos, para garantizar que las ciudades inteligentes aprovechen al máximo estas tecnologías mientras cumplen con los objetivos de sostenibilidad y desarrollo urbano (Edge Computing, 2024).

En definitiva, el Edge Computing no solo está redefiniendo la manera en que las ciudades operan y gestionan sus recursos, sino que también impulsa la innovación tecnológica y promueve la sostenibilidad, contribuyendo al bienestar de las comunidades

urbanas. Esta tecnología se posiciona como una piedra angular en la construcción de ciudades más inteligentes, resilientes y adaptativas frente a los desafíos del siglo XXI.

Salud Digital y Dispositivos Médicos

Según Zhang & Pandey (2021), el Edge Computing respalda la monitorización en tiempo real de pacientes mediante dispositivos médicos portátiles, reduciendo la latencia y mejorando la privacidad al procesar datos sensibles en el borde de la red. Este uso se refuerza con los hallazgos de Powell & Smalley (2024), quienes destacan que los hospitales dependen de la computación de borde para procedimientos críticos como cirugías asistidas por robots y la creación de paneles de control completos para pacientes.

Aplicaciones en realidad aumentada y virtual (AR/VR)

La realidad aumentada y virtual (AR/VR) se beneficia enormemente de Edge Computing, ya que esta tecnología minimiza la latencia y mejora la calidad de la experiencia del usuario. "La necesidad de una latencia ultra baja en aplicaciones de AR/VR hace que el Edge Computing sea la solución preferida para mejorar la interactividad y la inmersión", Sánchez Prado (2021), afirma que esta capacidad es crucial para aplicaciones en educación, entrenamiento y entretenimiento donde la velocidad de respuesta es un factor determinante para la experiencia del usuario.

Agricultura Inteligente

Bonnaire & Montoya (2021) menciona que drones y robots equipados con Edge Computing analizan imágenes en tiempo real para determinar el estado de madurez de los cultivos y detectar plagas. Esto permite optimizar el momento de cosecha y reducir costos operativos. De manera complementaria, Powell & Smalley (2024), destacan que la computación en el borde mejora la conectividad en áreas rurales, permitiendo a los agricultores acceder a aplicaciones avanzadas que maximizan los rendimientos de los cultivos.

Optimización Industrial

Edge Computing mejora la productividad al reducir la latencia en el control de máquinas en fábricas. Además, según Edge Computing (2024), se utiliza para detectar anomalías en el funcionamiento de maquinaria mediante análisis locales, lo que permite acciones preventivas inmediatas. IBM también resalta el uso de técnicas como el aprendizaje automático en el borde para apoyar la detección temprana de fallos y optimizar procesos industriales (Powell & Smalley, 2024).

Cadena de Suministro

El Edge Computing también ha transformado las cadenas de suministro al permitir la supervisión en tiempo real de inventarios y el reabastecimiento automático. IBM destaca que, mediante la integración de análisis de video e IA en el borde, las empresas pueden mejorar la gestión de activos y reducir costos operativos (Powell & Smalley, 2024).

Telecomunicaciones

En el sector de telecomunicaciones, el Edge Computing es clave para implementar redes 5G y servicios avanzados de baja latencia. IBM señala que los proveedores de servicios de comunicación utilizan estas tecnologías para mejorar los procesos operativos y ofrecer servicios más eficientes a los usuarios finales (Powell & Smalley, 2024).

Caso 1: Estrategia de selección de hardware y algoritmos de inteligencia artificial en entornos edge computing.

La investigación de Gomez & Borja (2022), constituye una contribución significativa a [área de estudio]. No solo proporciona evidencia sólida sobre la eficacia del enfoque adoptado, sino que también establece un precedente para investigaciones futuras. La combinación de un diseño meticuloso, una implementación innovadora y un análisis crítico de los resultados posiciona a este trabajo como una referencia clave en el campo.

La relevancia de este caso de estudio trasciende el ámbito académico, ya que sus hallazgos pueden informar la toma de decisiones en [área práctica o aplicada, como política, industria, educación]. Esto refuerza la importancia de investigaciones que no solo sean rigurosas, sino también accesibles y útiles para resolver problemas reales.

El caso de estudio presentado por Gomez & Borja (2022), analiza la implementación de [tema o iniciativa específica] con un enfoque innovador en [área de aplicación, como tecnología, educación, salud, etc.]. Este trabajo se destaca por su minuciosidad en el diseño metodológico y su contribución al avance del conocimiento en el área.

Implementación

La implementación llevada a cabo por los autores se distingue por la integración de enfoques multidisciplinarios. En particular, adoptaron una combinación de [estrategias, tecnologías o métodos] que maximizó la eficacia y minimizó las limitaciones inherentes al problema abordado. Los autores fundamentaron su enfoque en una revisión exhaustiva de la literatura existente, lo que permitió identificar brechas específicas en el conocimiento y diseñar una solución que respondiera a estas necesidades (Gomez & Borja, 2022).

Por ejemplo, la elección de [herramienta o metodología clave] no solo se justificó por su capacidad para [desempeñar una función específica, como procesar datos, analizar patrones, etc.], sino también por su adaptabilidad a contextos diversos. Esto asegura que los hallazgos obtenidos tengan una aplicabilidad más allá del entorno inmediato del estudio. Además, la inclusión de métricas precisas y herramientas de evaluación rigurosas refuerza la fiabilidad de los resultados presentados.

Un aspecto destacado de la implementación es la consideración de [factores contextuales, como el impacto social, económico o cultural], lo que evidencia un enfoque holístico. Por ejemplo, los autores señalan que el diseño del estudio incorporó mecanismos para abordar posibles sesgos, garantizar la representatividad de los datos y fomentar la reproducibilidad de los resultados (Gomez & Borja, 2022).

Resultados

Los resultados obtenidos revelan importantes avances en [área específica]. Entre los hallazgos más relevantes, se destaca que [indicar un descubrimiento principal] tuvo un impacto significativo en [problema o contexto abordado]. Este resultado no solo valida la efectividad del enfoque metodológico adoptado, sino que también proporciona una base sólida para futuras investigaciones.

Un análisis detallado de los datos muestra que [métrica o indicador específico] experimentó una mejora del [porcentaje o valor], lo que es particularmente notable en comparación con estudios previos en el campo. Este hallazgo sugiere que la metodología utilizada por los autores podría ser aplicada con éxito en [otros contextos o problemas similares].

Además, el estudio identifica limitaciones que, lejos de restar valor a los hallazgos, proporcionan una hoja de ruta clara para futuras investigaciones. Por ejemplo, los autores reconocen que [mencionar una limitación, como el tamaño de la muestra, las restricciones temporales, etc.] podría influir en la generalización de los resultados. Sin embargo, destacan que estas limitaciones fueron abordadas de manera parcial a través de [estrategias específicas empleadas], lo que demuestra el compromiso con la validez científica del trabajo (Gomez & Borja, 2022).

Análisis crítico

Desde una perspectiva crítica, este caso de estudio subraya la importancia de [concepto o enfoque clave]. La rigurosidad metodológica y la claridad en la presentación de los resultados refuerzan su contribución al campo. Sin embargo, un aspecto que podría ser explorado con mayor profundidad es [sugerir un aspecto para ampliar o mejorar], lo que enriquecería aún más la aplicabilidad del estudio.

Otro punto de reflexión es la capacidad del enfoque propuesto para adaptarse a contextos en evolución. Aunque los autores discuten brevemente la posibilidad de escalar la implementación a entornos más complejos, sería interesante ver estudios futuros que evalúen su rendimiento en escenarios significativamente diferentes. Esto permitiría determinar la robustez del modelo en condiciones de mayor variabilidad (Gomez & Borja, 2022).

Caso 2: Despliegue de plataforma Multi-Access Edge Computing que soporte una aplicación de detección de proximidad entre objetos móviles en espacios interiores.

El trabajo realizado por Estacio (2023), se centró en el diseño e implementación de una plataforma Multi-Access Edge Computing (MEC) para soportar una aplicación de detección de proximidad en interiores. La implementación abordó la problemática de localización en tiempo real mediante el uso de sensores móviles y fijos (anclas y tags) equipados con tecnología Ultra-Wideband (UWB). Estos dispositivos registran y envían mediciones de distancia al MEC, donde se calculan las posiciones relativas y se emiten alertas en caso de que las distancias entre los dispositivos caigan por debajo de un umbral predefinido. La lógica del sistema se distribuyó entre los sensores, el MEC y la nube, adoptando una arquitectura basada en microservicios encapsulados en contenedores Docker, siguiendo las recomendaciones de EdgeGallery (Estacio, 2023).

El proceso técnico incluyó la técnica de rango de doble vía (TWR) asimétrico, que evita la necesidad de sincronización entre dispositivos, y algoritmos de cálculo de posiciones como la trilateración y mínimos cuadrados. Este enfoque permitió alcanzar una precisión de posicionamiento de centímetros, cumpliendo con los requisitos establecidos para el sistema. Además, se utilizaron intervalos de tiempo configurados (timeslots) para coordinar las mediciones entre múltiples dispositivos y minimizar interrupciones (Estacio, 2023).

Los resultados demostraron que la implementación del MEC fue efectiva para reducir la latencia y soportar aplicaciones de tiempo real. Sin embargo, también se identificaron limitaciones. La dependencia del MEC para cálculos críticos introdujo desafíos en la

sincronización y coordinación, especialmente en áreas con alta densidad de dispositivos, donde las mediciones de rango pueden generar valores atípicos debido a interferencias. Además, la plataforma EdgeGallery, aunque robusta, presentó oportunidades de mejora en aspectos como la integración con servicios de nube y la gestión de seguridad (Estacio, 2023).

En el contexto de Edge Computing, este caso de uso ilustra los beneficios de acercar la computación a los dispositivos finales. El MEC no solo mejora la eficiencia en aplicaciones IoT al descargar tareas complejas de los sensores, sino que también permite una gestión más dinámica de los recursos distribuidos. Sin embargo, el estudio destaca que, para maximizar su potencial, es necesario abordar las brechas actuales en herramientas de desarrollo, interoperabilidad con plataformas en la nube y escalabilidad en entornos más complejos. Así, el Edge Computing se posiciona como un facilitador clave para aplicaciones distribuidas en tiempo real, especialmente en el ámbito de la industria 4.0 y el IoT (Estacio, 2023).

4. Aplicaciones tecnológicas modernas

El desarrollo de arquitecturas distribuidas como Cloud Computing y Edge Computing ha dado lugar a múltiples aplicaciones en diversos sectores. Su adopción responde a necesidades específicas relacionadas con la disponibilidad de recursos, la necesidad de procesar datos en tiempo real, la eficiencia operativa, la conectividad y la seguridad. A medida que estas tecnologías maduran, surgen cada vez más casos de uso que evidencian sus beneficios y desafíos en contextos reales. A continuación, se presentan algunos de los principales escenarios de aplicación que permiten visualizar cómo estas arquitecturas se integran en la infraestructura tecnológica contemporánea (Xu & Zang, 2024).

4.1. Casos de uso de Cloud Computing

Cloud Computing ha permitido a organizaciones de todos los tamaños acceder a infraestructura tecnológica escalable bajo demanda, sin la necesidad de adquirir o mantener servidores físicos. Uno de los principales casos de uso se encuentra en el almacenamiento de grandes volúmenes de datos, como ocurre en servicios como Google Drive, Dropbox o

Amazon S3. Estos sistemas permiten guardar, compartir y respaldar información desde cualquier lugar, brindando alta disponibilidad y redundancia (Xu & Zang, 2024).

Otro caso notable es el de plataformas de análisis de datos y Big Data, donde la nube proporciona el entorno ideal para procesar grandes cantidades de información mediante herramientas como Hadoop, Apache Spark o plataformas como Google BigQuery. La inteligencia artificial (IA) y el machine learning también encuentran en la nube un espacio propicio, ya que los modelos requieren potencia computacional intensiva y flexibilidad en la gestión de recursos, algo que plataformas como AWS SageMaker o Azure Machine Learning facilitan ampliamente (Samon & Oluwaseyi, 2024).

En el ámbito empresarial, el Software como Servicio (SaaS) permite acceder a aplicaciones de gestión sin necesidad de instalaciones locales. Ejemplos destacados incluyen Salesforce para CRM, SAP Business One en la nube para planificación empresarial, y Microsoft 365 para productividad. Además, la nube ha sido vital para habilitar entornos de trabajo remoto, facilitando el acceso a escritorios virtuales, aplicaciones colaborativas y servicios de respaldo de datos en tiempo real.

4.2. Casos de uso de Edge Computing

Edge Computing ha cobrado protagonismo en escenarios donde la latencia debe mantenerse al mínimo, el procesamiento debe hacerse cerca del dispositivo de origen, o donde las conexiones con la nube son intermitentes o costosas. Uno de los ejemplos más representativos es el de los vehículos autónomos, que necesitan tomar decisiones inmediatas basadas en información capturada por sensores en tiempo real. Procesar estos datos en la nube implicaría retrasos inaceptables; por ello, el procesamiento se realiza directamente en el borde (Edge Computing, 2024).

Otro caso crítico se presenta en la industria manufacturera, mediante el uso de sistemas SCADA e IoT industrial (IIoT), donde sensores y actuadores envían datos que son

procesados localmente para controlar maquinaria, prevenir fallos y optimizar procesos de producción sin depender de una conexión centralizada (Chiluisa & Loachamin, 2022).

En el sector de la salud, dispositivos como monitores de signos vitales en hospitales o wearables (relojes inteligentes, pulseras médicas) utilizan Edge Computing para procesar información directamente en el dispositivo, alertando en caso de valores críticos y evitando así retrasos por conexión a la nube. De igual forma, la videovigilancia inteligente es un caso común, donde las cámaras con capacidades de análisis embebidas (detección facial, seguimiento de movimiento) procesan los datos localmente para reaccionar en tiempo real.

4.3. Ejemplos de adopción en sectores como salud, industria, transporte e IoT

La Tabla 4 presenta una comparación de aplicaciones reales de Cloud Computing y Edge Computing en diferentes sectores estratégicos, destacando el tipo de tarea que se ejecuta, la necesidad tecnológica prioritaria, y el paradigma más adecuado:

Tabla 4. Comparaciones reales entre Cloud Computing y Edge Computing

Sector	Aplicación	Necesidad prioritaria	Tecnología adecuada
Salud	Monitoreo de signos vitales con wearables	Tiempo real, procesamiento local	Edge Computing
	Historial médico electrónico compartido	Acceso remoto, almacenamiento seguro	Cloud Computing
Industria	Control de procesos en línea de producción (IIoT)	Baja latencia, respuesta inmediata	Edge Computing
	Análisis predictivo de mantenimiento	Análisis de grandes volúmenes	Cloud Computing
Transporte	Vehículos autónomos	Decisiones instantáneas	Edge Computing
	Gestión logística y trazabilidad global	Acceso masivo y remoto	Cloud Computing
Comercio	Sistemas de recomendación y análisis de ventas	Machine learning, escalabilidad	Cloud Computing

IoT	Redes de sensores para agricultura de precisión	Procesamiento distribuido	Edge Computing
Seguridad	Videovigilancia inteligente en tiempo real	Latencia mínima	Edge Computing
Gobierno	Portales ciudadanos, firma electrónica	Escalabilidad, interoperabilidad	Cloud Computing

Fuente: Información obtenida de (Monroy, 2025)

Como puede observarse, la elección entre Edge y Cloud Computing depende directamente de las prioridades del caso de uso: latencia y procesamiento en tiempo real favorecen al borde, mientras que la escalabilidad y el acceso a grandes recursos de cómputo favorecen a la nube. En muchos casos, las soluciones más eficientes son aquellas que integran ambos enfoques en arquitecturas híbridas.

5. Seguridad Basada en Estándares ISO 27001

5.1. Desafíos en Edge Computing

ISO 27001 es un estándar internacional para la gestión de la seguridad de la información (SGSI), que establece los requisitos para implementar, mantener y mejorar la seguridad de la información en cualquier tipo de organización (GlobalSuite, 2023). Al aplicar la ISO 27001 en el contexto de Edge Computing, se pueden identificar varios desafíos de seguridad específicos, que se detallan a continuación:

Vulnerabilidad a ataques físicos y lógicos (Control A.9, A.11, A.12)

La ISO 27001 destaca la importancia de asegurar el acceso físico y lógico a los recursos de información. En el caso de Edge Computing, los dispositivos de borde están desplegados en ubicaciones distribuidas, algunas de las cuales pueden ser de difícil acceso o estar fuera del control directo de la organización. El estándar establece controles como el uso de sistemas de control de acceso (A.9) y la protección de las instalaciones físicas (A.11) para mitigar los riesgos asociados a la manipulación no autorizada de dispositivos y la protección de la información sensible en reposo o en tránsito (GlobalSuite, 2023).

Sin embargo, la descentralización de Edge Computing presenta desafíos adicionales en la implementación de estos controles, ya que es difícil aplicar las mismas políticas de seguridad física que en un centro de datos centralizado.

Descentralización de la infraestructura y falta de visibilidad (Control A.13, A.14)

La descentralización inherente a Edge Computing crea complejidades en la gestión centralizada de la seguridad. La ISO 27001 establece la necesidad de implementar mecanismos para garantizar la protección de los datos durante su procesamiento y almacenamiento (A.13) y para gestionar las redes de forma segura (A.14).

Sin embargo, la dispersión de los dispositivos en Edge Computing dificulta la implementación de controles de seguridad uniformes y una visibilidad global de los posibles riesgos de seguridad. Esto puede provocar que los dispositivos comprometidos pasen desapercibidos hasta que los daños sean considerables.

Escalabilidad y gestión de dispositivos (Control A.12)

ISO 27001 también enfatiza la necesidad de gestionar las operaciones de TI de manera segura, lo que incluye el mantenimiento y la gestión de software (A.12). Sin embargo, en Edge Computing, donde se puede tener un número masivo de dispositivos distribuidos, mantenerlos actualizados y gestionar sus vulnerabilidades es una tarea compleja (GlobalSuite, 2023).

El desafío de aplicar parches de seguridad de manera oportuna y consistente se incrementa debido a la diversidad de dispositivos y las limitaciones de conectividad en ubicaciones remotas. La norma requiere que las actualizaciones de software sean parte del proceso de gestión de la seguridad, lo que puede ser especialmente difícil en redes de dispositivos distribuidos.

Privacidad de los datos (Control A.18)

La ISO 27001 también aborda la protección de la privacidad de los datos, especialmente en lo que respecta al cumplimiento de las regulaciones y la protección de la información personal (A.18). En Edge Computing, los datos suelen procesarse localmente en lugar de enviarse inmediatamente a la nube, lo que aumenta los riesgos de exposición en dispositivos de borde (GlobalSuite, 2023).

La implementación de cifrado de datos tanto en reposo como en tránsito es esencial para mitigar el riesgo de acceso no autorizado a datos sensibles. Los controles para garantizar la privacidad deben ser estrictos y estar alineados con las políticas de privacidad y las regulaciones locales.

5.2. Desafíos en Cloud Computing

Cloud Computing presenta sus propios retos en relación con la seguridad de la información, los cuales se pueden abordar mediante los controles establecidos en ISO 27001 (Gallegos & Lynch, 2024). A continuación, se describen los desafíos de seguridad más relevantes en este entorno, con base en los controles de la norma:

Riesgo de acceso no autorizado (Control A.9, A.10)

Uno de los principales riesgos en Cloud Computing es el acceso no autorizado a los datos almacenados en la nube. ISO 27001 establece que los accesos deben ser controlados y monitoreados (A.9). Esto incluye la autenticación multifactor, la gestión de contraseñas seguras y la definición de roles y permisos adecuados para evitar que usuarios no autorizados accedan a los sistemas y datos.

El control A.10 de ISO 27001 también hace énfasis en el uso de medidas criptográficas para proteger la información en tránsito. Sin embargo, la gran cantidad de usuarios y aplicaciones que interactúan con la infraestructura en la nube aumenta la complejidad de

garantizar un control adecuado sobre los accesos, lo que requiere una administración precisa de credenciales y políticas de acceso (Gallegos & Lynch, 2024).

Protección de la privacidad (Control A.18, A.7)

El almacenamiento de datos sensibles en la nube plantea riesgos en cuanto a la protección de la privacidad. La ISO 27001 establece el principio de confidencialidad de la información (A.18) y exige que se apliquen medidas apropiadas para proteger los datos, como el cifrado, la pseudonimización y el anonimato, si es necesario (GlobalSuite, 2023).

Además, la norma subraya la importancia de establecer acuerdos contractuales con los proveedores de la nube (A.7), donde se debe definir claramente cómo se gestionan y protegen los datos en cumplimiento con las leyes y regulaciones de privacidad, como el GDPR. La localización de los datos en diferentes regiones geográficas puede plantear desafíos para garantizar el cumplimiento de las normativas internacionales de privacidad.

Cumplimiento normativo y legal (Control A.18, A.15)

La ISO 27001 exige que las organizaciones cumplan con las leyes y regulaciones aplicables en cuanto a la protección de datos y la seguridad de la información (A.15). En el contexto de Cloud Computing, el cumplimiento de normativas específicas de cada país o región puede ser difícil de gestionar debido a la ubicación geográfica de los centros de datos del proveedor de la nube y la naturaleza global de los servicios en la nube (GlobalSuite, 2023).

Es fundamental que las organizaciones que utilizan servicios en la nube lleven a cabo evaluaciones periódicas de cumplimiento y garanticen que los proveedores de la nube implementen políticas y prácticas que cumplan con las regulaciones locales, como el GDPR o la CCPA, para evitar sanciones legales.

Dependencia del proveedor de la nube (Control A.15, A.16)

Una preocupación significativa en Cloud Computing es la dependencia del proveedor para la seguridad de los datos y la continuidad del servicio. La ISO 27001 resalta la necesidad de evaluar los riesgos asociados con los proveedores externos (A.15), y exige que las organizaciones establezcan acuerdos contractuales (A.16) que definan claramente las expectativas de seguridad, el monitoreo de riesgos y las responsabilidades compartidas (Suquinahua & Torres, 2024).

En este sentido, las organizaciones deben asegurarse de que los proveedores de la nube sigan los mismos estándares de seguridad y de gestión de riesgos que la propia organización. La falta de claridad sobre las prácticas de seguridad del proveedor o la interrupción de los servicios puede tener un impacto considerable en la continuidad del negocio.

5.3. Comparativa Basada en los Estándares ISO 27001

Vulnerabilidad a Ataques Físicos y Lógicos

Edge Computing:

Descentralización y localización remota: Los dispositivos de Edge Computing están distribuidos geográficamente y a menudo se encuentran en lugares físicos con acceso limitado, lo que aumenta el riesgo de ataques físicos. La falta de control sobre estas ubicaciones dificulta la implementación de medidas de seguridad física robustas (Control A.9, A.11) (Edge Computing, 2024).

Acceso no autorizado: Al estar distribuidos en entornos remotos, los dispositivos Edge están expuestos a un mayor riesgo de manipulación no autorizada, lo que puede comprometer la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información procesada localmente.

Cloud Computing:

Acceso centralizado pero compartido: Aunque los centros de datos en la nube están protegidos físicamente, la naturaleza compartida de la infraestructura (multitenancy) introduce un riesgo de acceso no autorizado si no se gestionan adecuadamente las credenciales y permisos de acceso (Control A.9) (Garnica & Guerrero Joan, 2024).

Mayor visibilidad y control: En la nube, los proveedores suelen implementar medidas de seguridad avanzadas, pero la falta de control total sobre la infraestructura pone en duda la efectividad de las medidas aplicadas (A.10) (Garnica & Guerrero Joan, 2024).

Comparativa:

En Edge Computing, los ataques físicos son un desafío mayor debido a la dispersión geográfica de los dispositivos y su ubicación en entornos no controlados. En cambio, Cloud Computing tiene un control físico más fuerte en sus centros de datos, pero la gestión del acceso lógico sigue siendo un reto, especialmente debido al modelo multitenant (Edge Computing, 2024).

Descentralización y Gestión de Visibilidad

Edge Computing:

Descentralización extrema: La infraestructura distribuida dificulta la obtención de visibilidad centralizada y la implementación de políticas uniformes de seguridad, lo que puede dejar puntos débiles en la red (Control A.13, A.14). Las vulnerabilidades pueden pasar desapercibidas si no se implementan mecanismos efectivos de monitoreo distribuido.

Gestión de dispositivos: La actualización y mantenimiento de dispositivos en entornos remotos es complicado debido a la falta de conectividad constante y la diversidad de dispositivos desplegados.

Cloud Computing:

Gestión centralizada pero compleja: En la nube, la infraestructura está centralizada, lo que permite un control más fácil de los recursos y la visibilidad en la red. Sin embargo, la complejidad del ecosistema de servicios y la escalabilidad pueden hacer que el monitoreo de seguridad sea un desafío (A.14).

Dependencia de los proveedores: Aunque la visibilidad es más fácil de mantener, depende en gran medida de las prácticas de seguridad implementadas por el proveedor de la nube. Si el proveedor no mantiene altos estándares de seguridad, los riesgos aumentan.

Comparativa:

Edge Computing enfrenta mayores dificultades en la gestión de visibilidad debido a la dispersión física de dispositivos y la falta de infraestructura unificada. En Cloud Computing, la visibilidad es más fácil de gestionar, pero la seguridad depende en gran medida de las políticas del proveedor de servicios.

Privacidad y Protección de Datos

Edge Computing:

Procesamiento local de datos: El procesamiento de datos en el borde puede implicar el almacenamiento de datos sensibles en dispositivos locales, aumentando el riesgo de exposición. Aunque la privacidad se puede garantizar mediante el cifrado, la ubicación remota de los dispositivos puede dificultar el cumplimiento normativo (Control A.18).

Falta de control sobre los datos en reposo: La privacidad de los datos puede verse comprometida debido a la falta de estándares uniformes para el manejo de datos en dispositivos Edge, que pueden carecer de medidas de protección adecuadas.

Cloud Computing:

Control del proveedor y cumplimiento normativo: El almacenamiento de datos sensibles en la nube está sujeto a las políticas de seguridad del proveedor. Sin embargo, la nube permite una mayor centralización y control sobre los mecanismos de cifrado y la protección de la privacidad (A.18). La localización de los datos también puede presentar problemas, ya que los datos pueden almacenarse en diferentes regiones geográficas, lo que afecta el cumplimiento de normativas como el **GDPR**.

Cifrado en tránsito y reposo: La nube permite una implementación más robusta de cifrado tanto en tránsito como en reposo, pero el cumplimiento depende del proveedor y de los acuerdos contractuales establecidos (A.7).

Comparativa:

Edge Computing enfrenta desafíos significativos en cuanto a la privacidad debido a la falta de un control centralizado y la ubicación dispersa de los dispositivos. En Cloud Computing, el cumplimiento de las normativas de privacidad es más fácil de gestionar, pero sigue dependiendo de la seguridad del proveedor.

Cumplimiento Normativo y Gestión de Proveedores

Edge Computing:

Cumplimiento local y regional: En Edge Computing, las regulaciones pueden variar significativamente según la ubicación geográfica de los dispositivos, lo que hace más difícil cumplir con las normativas locales y globales de protección de datos (Control A.18, A.7).

Dependencia de múltiples partes: Si bien la empresa puede controlar sus dispositivos Edge, la infraestructura subyacente (redes, almacenamiento) aún puede estar sujeta a proveedores externos, lo que complica el cumplimiento normativo.

Cloud Computing:

Dependencia de proveedores de la nube: El cumplimiento normativo en Cloud Computing está fuertemente influenciado por el proveedor. Es necesario establecer acuerdos contractuales claros que garanticen el cumplimiento de regulaciones como el **GDPR** o la **CCPA** (A.15).

Evaluación de riesgos de proveedores: La ISO 27001 requiere que las organizaciones evalúen el riesgo de los proveedores y establezcan acuerdos claros para garantizar el cumplimiento de políticas de seguridad (A.15, A.16).

Comparativa:

Edge Computing enfrenta mayores desafíos para garantizar el cumplimiento de las normativas debido a la dispersión y diversidad de dispositivos y ubicaciones. En Cloud Computing, el cumplimiento es más fácil de gestionar, pero depende de los acuerdos contractuales con el proveedor de la nube.

Escalabilidad y Gestión de Dispositivos

Edge Computing:

Escalabilidad compleja: El crecimiento de la infraestructura Edge introduce desafíos en la gestión de dispositivos, actualizaciones y parches, especialmente cuando los dispositivos están dispersos y las conexiones son limitadas (Control A.12).

Actualización y mantenimiento: Mantener la seguridad de todos los dispositivos Edge requiere un esfuerzo considerable para aplicar parches de seguridad y asegurar la consistencia en la gestión de vulnerabilidades.

Cloud Computing:

Escalabilidad fácil: La nube ofrece una escalabilidad automática y gestionada que facilita la expansión de la infraestructura sin preocupaciones directas sobre el mantenimiento físico. Sin embargo, la gestión de las configuraciones y las políticas de seguridad debe ajustarse conforme crece el entorno (A.14).

Mantenimiento gestionado por el proveedor: El proveedor de la nube se encarga de la mayoría del mantenimiento, lo que reduce la carga operativa para el cliente. Sin embargo, el cliente debe asegurarse de que los controles de seguridad estén correctamente implementados y monitoreados.

Comparativa:

Edge Computing presenta mayores retos en términos de escalabilidad y gestión de dispositivos debido a la necesidad de mantener una gran cantidad de dispositivos dispersos. En Cloud Computing, la escalabilidad es más sencilla, pero requiere una gestión continua para garantizar que los controles de seguridad se mantengan efectivos a medida que la infraestructura crece.

6. Marco legal y normativo en Ecuador

El entorno tecnológico ecuatoriano se encuentra en un proceso progresivo de adaptación a los desafíos del mundo digital, lo que ha impulsado la formulación de leyes, políticas y normativas que regulan el uso de tecnologías emergentes como la computación en la nube y el Edge Computing (Edge Computing, 2024). La inclusión de derechos digitales, la regulación del tratamiento de datos personales y la promoción del gobierno electrónico son algunos de los ejes normativos que sustentan el desarrollo de infraestructuras distribuidas en el país. Este marco legal es fundamental para garantizar que la adopción de estas tecnologías se realice en un entorno de seguridad, transparencia, protección de derechos y sostenibilidad institucional.

6.1. Constitución de la República del Ecuador: derechos digitales y tecnológicos

La Constitución de la República del Ecuador, aprobada en 2008, incorpora de forma explícita derechos vinculados al uso de tecnologías y la protección de la información. En su artículo 66, numeral 19, reconoce el derecho a la protección de datos personales, acceso a la información, y la autodeterminación informativa. Además, el artículo 91 establece la posibilidad de ejercer acciones constitucionales en caso de vulneración de estos derechos, lo cual aplica directamente en escenarios de tratamiento y almacenamiento de datos en la nube o en dispositivos de borde (MINTEL, 2023).

Asimismo, la Constitución promueve la innovación tecnológica, el acceso universal a las tecnologías de la información y comunicación (TIC), y la reducción de la brecha digital, como parte del derecho a la comunicación (artículo 16) (MINTEL, 2023). Estos principios son fundamentales para sostener legalmente la implementación de infraestructuras como Cloud y Edge Computing, que permiten ampliar el acceso a servicios digitales en todo el territorio nacional, incluyendo zonas rurales y periféricas.

6.2. Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPDP)

La Ley Orgánica de Protección de Datos Personales (LOPDP), publicada en mayo de 2021, representa un hito en el ecosistema legal ecuatoriano al establecer una regulación integral sobre la recolección, tratamiento, almacenamiento y transferencia de datos personales. Esta normativa se alinea con estándares internacionales como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea, e introduce principios fundamentales como el consentimiento informado, la finalidad del tratamiento, la minimización de datos y la seguridad de la información (Asamblea Nacional, 2021).

Para entornos tecnológicos como Cloud Computing y Edge Computing, la LOPDP establece directrices específicas sobre la ubicación de los datos, el uso de proveedores externos, y las medidas de seguridad técnicas y organizativas necesarias para proteger la integridad y confidencialidad de la información. Las organizaciones que adopten estas tecnologías deben implementar políticas de protección de datos por diseño y por defecto,

asegurando así el cumplimiento normativo y reduciendo los riesgos legales asociados a vulneraciones de seguridad.

6.3. Ley de Gobierno Electrónico y su relación con Cloud y Edge Computing

La Ley de Gobierno Electrónico, vigente desde 2002 y actualizada mediante reformas posteriores, tiene como objetivo consolidar un modelo de administración pública apoyado en plataformas tecnológicas que garanticen la eficiencia, transparencia y accesibilidad de los servicios estatales. Esta ley promueve el uso de medios digitales para trámites gubernamentales, gestión documental, firma electrónica, interoperabilidad entre instituciones y la provisión de servicios en línea (Pérez & Rodríguez, 2021).

El marco legal habilita el uso de infraestructuras de Cloud Computing para alojar sistemas del Estado, siempre que se respeten las normativas sobre soberanía de datos, privacidad y seguridad. Además, la aplicación del Edge Computing se torna relevante para mejorar la experiencia ciudadana en zonas de baja conectividad, permitiendo la descentralización de procesos digitales en dispositivos de borde, como kioscos comunitarios, sensores territoriales o estaciones móviles de atención.

De esta manera, ambas tecnologías se articulan con la Ley de Gobierno Electrónico como instrumentos de modernización del Estado y de acceso democrático a los servicios públicos, contribuyendo a una administración pública más ágil y cercana al ciudadano.

6.4. Políticas públicas sobre transformación digital y TIC en el país

En los últimos años, Ecuador ha adoptado una serie de políticas públicas enfocadas en la transformación digital, orientadas a fortalecer la infraestructura tecnológica, impulsar la conectividad y modernizar los servicios del Estado y el sector privado. Entre ellas destaca la Estrategia Nacional de Transformación Digital impulsada por el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), la cual promueve la adopción de tecnologías emergentes, la alfabetización digital, la innovación en el sector productivo y el gobierno digital (Información, 2025).

Asimismo, el Plan Nacional de Desarrollo establece como prioridad el uso de las TIC para fomentar la productividad, la inclusión y la sostenibilidad. Las inversiones en conectividad 4G y 5G, la expansión de la infraestructura de fibra óptica, y el fomento a la industria tecnológica local son elementos clave para viabilizar arquitecturas avanzadas como Cloud y Edge Computing.

Estas políticas también reconocen la importancia de la ciberseguridad, la protección de infraestructuras críticas, y el impulso a la economía digital, lo que consolida un entorno favorable para la implementación segura y efectiva de soluciones distribuidas. En este marco, la presente investigación se alinea con los objetivos nacionales de transformación digital, al proponer un análisis técnico y legal que fortalezca la toma de decisiones sobre la adopción de modelos de computación avanzada en Ecuador.

Metodología

1. Enfoque Metodológico

1.1. *Enfoque de la investigación*

La presente investigación utiliza un enfoque mixto: por un lado, se aplica un método teórico-documental para analizar conceptos, estándares de seguridad (como ISO 27001) y casos de aplicación tecnológica; por otro, se emplea un enfoque empírico mediante simulaciones en CloudSim Plus.

El objetivo específico 1, relacionado con los componentes arquitectónicos y su impacto, se abordará mediante análisis documental y revisión bibliográfica de literatura científica y técnica actualizada.

El objetivo específico 2, centrado en los desafíos de seguridad, se desarrollará mediante el análisis de normas ISO, documentación técnica de proveedores de servicios Cloud/Edge y estudios de caso sobre gestión de riesgos

El objetivo específico 3 se cumplirá a través de simulaciones ejecutadas en CloudSim Plus, evaluando métricas como latencia y escalabilidad en escenarios controlados.

Finalmente, **el objetivo específico 4** se abordará mediante una síntesis de los hallazgos teóricos y empíricos, generando estrategias documentadas que integran fortalezas de ambos paradigmas tecnológicos, como parte del capítulo final del trabajo.

1.2. Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación es descriptivo y comparativo, ya que busca caracterizar las arquitecturas de Edge Computing y Cloud Computing, describiendo sus componentes, funcionamiento, aplicaciones y retos de seguridad, así como comparar su rendimiento mediante simulaciones. A partir de la descripción de múltiples escenarios representativos, el estudio identifica comportamientos, patrones y condiciones de operación, contribuyendo a un entendimiento técnico y contextual de ambas tecnologías. Esta investigación también tiene un carácter exploratorio, al proponer estrategias para arquitecturas híbridas, ampliando las posibilidades de aplicación en entornos reales.

1.3. Tipo y diseño del proyecto

Se trata de un proyecto de investigación aplicada, ya que persigue generar conocimiento útil para resolver problemas prácticos relacionados con la eficiencia tecnológica en entornos de procesamiento distribuido. El diseño metodológico es no experimental y longitudinal, dado que los datos no son recolectados directamente de una población, sino a través de simulaciones controladas. El estudio se desarrolla por etapas: análisis teórico, diseño de escenarios, ejecución de simulaciones y formulación de estrategias. Asimismo, este proyecto sigue un modelo iterativo, ya que los escenarios fueron ajustados progresivamente según los resultados obtenidos en fases anteriores.

1.4. Delimitación espacio-temporal

La presente investigación se delimita en el contexto tecnológico y académico ecuatoriano, considerando las condiciones actuales de transformación digital, normativas locales sobre protección de datos, y políticas públicas en materia de tecnologías de la información. El estudio se desarrolla entre octubre de 2024 y abril de 2025, periodo en el cual

se realiza el análisis documental, el diseño e implementación de simulaciones en CloudSim Plus, y la elaboración de conclusiones.

Aunque la experimentación se realiza en entornos simulados, los escenarios han sido diseñados tomando como referencia aplicaciones reales de sistemas tecnológicos modernos, tales como el Internet de las Cosas (IoT), manufactura inteligente y vehículos autónomos. Por ello, sus resultados están orientados a ser aplicables a contextos empresariales, educativos o industriales que enfrenten decisiones sobre infraestructura tecnológica distribuida.

2. Población, muestra y escenarios

2.1. *Universo de análisis*

Dado que el objetivo de este estudio es evaluar el rendimiento comparativo entre Edge Computing y Cloud Computing, el universo de análisis está conformado por entornos tecnológicos simulados que representan arquitecturas distribuidas aplicables a sectores como salud, industria, transporte e IoT. Aunque no se trabaja directamente con datos de usuarios o empresas reales, los escenarios modelan configuraciones técnicas propias de estos entornos, permitiendo extrapolar los resultados a contextos reales de aplicación. Los elementos clave de este universo incluyen nodos computacionales, máquinas virtuales (VMs), cloudlets (tareas), y centros de datos distribuidos.

2.2. *Justificación del uso de simulaciones como técnica de muestreo artificial*

Para el desarrollo de esta investigación se emplea una técnica de muestreo artificial mediante simulaciones, utilizando la herramienta CloudSim Plus. Esta técnica se justifica en la necesidad de controlar las variables operativas y técnicas en entornos experimentales que serían costosos o complejos de reproducir físicamente. Las simulaciones permiten replicar condiciones específicas de carga, latencia, escalabilidad y costos, asegurando la objetividad, repetibilidad y precisión del análisis. Asimismo, posibilitan el ajuste progresivo de parámetros

para observar su efecto sobre el rendimiento del sistema, actuando como un laboratorio virtual para validar hipótesis y proponer mejoras tecnológicas. Esta metodología ha sido adoptada en estudios similares en el campo de la informática distribuida, garantizando la validez de los resultados (Muñoz Sicilia, 2023).

2.3. *Definición de escenarios y parámetros*

Se definieron seis escenarios de simulación, diseñados para representar casos reales de operación tanto en Cloud Computing como en Edge Computing. Cada escenario incluye configuraciones específicas de nodos, VMs, recursos de CPU, RAM y almacenamiento, así como tareas a ser ejecutadas (cloudlets), modelando distintas condiciones de carga y comportamiento del sistema.

Estos escenarios buscan emular contextos operativos propios de aplicaciones tecnológicas modernas como sistemas IoT, soluciones industriales basadas en Edge Computing y procesamiento de datos en tiempo real para vehículos inteligentes. De este modo, se garantiza que la comparación entre arquitecturas se fundamente en situaciones que reflejan las necesidades actuales del entorno tecnológico.

A continuación, en la Tabla 5 se describen los escenarios considerados:

Tabla 5. Detalle de escenarios considerados para simulaciones

Escenario	Arquitectura	Descripción
Escenario 1	Cloud Computing	Procesamiento centralizado con 150 cloudlets en un solo datacenter.
Escenario 2	Edge Computing	16 hosts distribuidos para manejar cargas variables y llegada aleatoria de tareas.
Escenario 3	Cloud Computing	Se modelan costos de transferencia de datos y latencia fija de 20s
Escenario 4	Cloud Computing (Escalado Vertical)	Escalado vertical dinámico de CPU (PEs) según la carga.

Escenario 5	Cloud Computing (Escalado de RAM)	RAM asignada dinámicamente (70%↑, 50%↓) según demanda.
Escenario 6	Edge Computing (Escalado Horizontal)	Nuevas VMs creadas al superar 80% de uso de CPU.

Nota: Elaboración propia

Los parámetros evaluados incluyen: latencia promedio por tarea, tiempo real de ejecución, utilización de CPU y RAM, número de VMs activas, y costos asociados a la transferencia de datos. Estas métricas permiten obtener una visión clara de las ventajas y limitaciones de cada paradigma, bajo condiciones operativas controladas.

3. Métodos, técnicas y herramientas utilizadas

3.1. ***Método empírico: experimentación computacional (simulación)***

El enfoque metodológico del estudio incorpora métodos empíricos mediante el uso de simulaciones controladas en CloudSim Plus. Esta herramienta permite modelar entornos virtuales de computación en la nube y en el borde, replicando la interacción entre tareas, recursos computacionales y políticas de asignación. Se diseñaron múltiples escenarios con configuraciones variables de VMs, cloudlets y nodos, lo cual posibilitó la observación directa del comportamiento del sistema en diferentes condiciones de operación. Estos métodos permiten la medición precisa de variables como latencia, uso de CPU, RAM, escalabilidad y costo operativo, lo cual constituye evidencia empírica esencial para el análisis comparativo.

3.2. ***Métodos teóricos y documentales***

El estudio también emplea métodos teóricos y de análisis documental, utilizados para la caracterización conceptual y normativa de Edge Computing y Cloud Computing. A través de una revisión exhaustiva de literatura científica —libros, artículos académicos, normas ISO 27001 y leyes ecuatorianas como la LOPDP y la Ley de Gobierno Electrónico— se construyó un marco teórico sólido que sustenta los escenarios de simulación y la interpretación de los

resultados. Estos métodos también fueron clave en la formulación de recomendaciones sobre seguridad, privacidad y gobernanza de datos.

3.3. *Técnicas utilizadas*

Se utilizaron diversas técnicas combinadas para la recolección y procesamiento de datos:

- **Simulación computacional:** Mediante CloudSim Plus, se configuraron y ejecutaron seis escenarios distintos que reflejan condiciones reales de procesamiento distribuido.
- **Observación directa de resultados:** Durante cada simulación, se observaron métricas clave como el tiempo de inicio, finalización, tiempo de ejecución, latencia promedio y uso de recursos.
- **Registro y análisis de logs:** Se extrajeron registros detallados de cada ejecución (logs) para su análisis y validación.
- **Procesamiento de datos:** Los resultados se procesaron y representaron mediante herramientas como hojas de cálculo en Excel y scripts en Python para graficar y tabular las métricas.

3.4. *Instrumentos de medición*

Los instrumentos de medición fueron:

- **CloudSim Plus:** Software de simulación especializado en sistemas de computación en la nube y en el borde. Permite modelar datacenters, cloudlets, VMs y redes.
- **IDEs como Eclipse:** Utilizado para personalizar el comportamiento de las simulaciones mediante Java.

- **Hojas de cálculo y herramientas estadísticas básicas:** Para la representación gráfica y análisis comparativo de los datos generados.
- **Bases de datos científicas:** IEEE, Springer, Scopus y Google Scholar fueron las fuentes principales para la recolección de literatura académica primaria y secundaria.

4. Procesamiento y análisis de la información

4.1. Recolección de métricas desde CloudSim Plus

En los seis escenarios simulados en CloudSim Plus se han recolectado métricas clave como latencia, uso de CPU y RAM, número de cloudlets procesados, escalabilidad vertical y horizontal, y costos de transferencia. Cada simulación permite evaluar parámetros técnicos bajo arquitecturas distintas (Cloud y Edge Computing). Para más información sobre cómo se escogieron estas métricas claves leer Anexo 11.

Cada escenario se analiza por separado para permitir una evaluación precisa. A continuación, se describe el comportamiento de cada uno:

4.1.1. Escenario 1 Cloud Computing- Llegada aleatoria de tareas

Objetivo

El objetivo principal de esta simulación es evaluar el rendimiento y la escalabilidad del sistema de gestión de la nube (Cloudlet) bajo una carga de trabajo constante. Buscamos entender cómo el sistema maneja el aumento de tareas a lo largo del tiempo, identificando posibles cuellos de botella y midiendo la eficiencia con la que se utilizan los recursos disponibles.

Descripción del Escenario

Se simula un entorno de nube con un único centro de datos (DC), ocho máquinas virtuales (VMs) y un total de 150 tareas (Cloudlets). Cada tarea tiene una longitud de 10,000 MI (millones de instrucciones) y requiere 2 núcleos de CPU para su ejecución. Cada máquina

virtual dispone de 4 núcleos de CPU. Las tareas se envían al sistema a intervalos irregulares, y el simulador se encarga de asignar cada tarea a una VM disponible para su procesamiento. Este escenario permite observar cómo el sistema de planificación de tareas (scheduler) distribuye la carga entre los recursos (VMs) y cómo esto impacta en el tiempo de ejecución a medida que aumenta la carga total del sistema.

Métricas a Evaluar

Tiempo de Ejecución Individual (ExecTime): El tiempo que tarda cada tarea en completarse. Se evaluará la media, la desviación estándar y la tendencia de esta métrica a lo largo de la simulación.

Tiempo de Finalización Total (FinishTime): El tiempo que transcurre desde el inicio de la simulación hasta que se completa la última tarea.

Tasa de Finalización de Tareas (Status): El porcentaje de tareas que se completan con éxito. Un 100% de éxito es el resultado esperado para un sistema robusto.

Utilización de Recursos: Aunque no se proporciona directamente en la tabla, se puede inferir a través de los tiempos de ejecución. Un aumento progresivo del ExecTime sugiere una mayor utilización o saturación de los recursos (VMs y hosts).

Resultados Esperados

Se espera que el sistema complete todas las 150 tareas con éxito, demostrando su fiabilidad. Sin embargo, debido a la carga de trabajo constante, se anticipa un **incremento gradual en el tiempo de ejecución** de las tareas a medida que avanza la simulación. La curva de finalización de tareas acumuladas debería mostrar una tendencia ascendente casi lineal, lo que indicaría una capacidad constante del sistema para procesar la carga. A pesar de que el ExecTime podría aumentar, se espera que el sistema mantenga una **productividad estable** sin fallos catastróficos. Este resultado validaría la robustez del sistema, aunque

también podría señalar la necesidad de optimizaciones en la asignación de recursos o en la estrategia de planificación para cargas de trabajo prolongadas.

4.1.2. Escenario 2 Edge Computing- Procesamiento distribuido

Este código implementa una simulación utilizando CloudSimPlus para modelar un sistema de computación en el borde (Edge Computing). El propósito es simular el procesamiento de tareas (cloudlets) en un conjunto de nodos Edge, que son servidores distribuidos que ejecutan máquinas virtuales (VMs), las cuales a su vez procesan tareas computacionales.

Objetivo

El principal objetivo de esta simulación de Edge Computing es evaluar el rendimiento de un sistema distribuido con un mayor número de hosts pero con menos recursos por host, bajo una carga de trabajo variable. El propósito es analizar cómo la descentralización de los recursos afecta la latencia de las tareas y la escalabilidad del sistema, comparándolo con un modelo de nube más tradicional.

Descripción del Escenario

Se ha configurado un entorno de simulación que representa una arquitectura de Edge Computing. El sistema cuenta con un solo centro de datos (DatacenterSimple) compuesto por 16 hosts, cada uno con 4 núcleos de CPU (PEs), sumando un total de 64 PEs, la misma potencia total que el escenario anterior. Se han aprovisionado 10 máquinas virtuales (VMs), cada una con 4 núcleos, y se ha introducido una carga de trabajo de 150 tareas (Cloudlets).

A diferencia del escenario anterior, en este caso la carga de trabajo es dinámica: se inician 7 tareas estáticas y, a lo largo de la simulación, se generan nuevas tareas de forma aleatoria (con una probabilidad del 30% en cada ciclo del reloj de simulación), lo que representa un escenario más realista y desafiante. Cada tarea requiere 2 núcleos de CPU para ejecutarse.

Métricas a Evaluar

Latencia de la Tarea (Latency): Se medirá el tiempo transcurrido desde que una tarea es enviada al sistema hasta que se completa. A diferencia del tiempo de ejecución puro, la latencia incluye el tiempo de espera en la cola de procesamiento.

Tiempo de Finalización Total: El tiempo que transcurre desde el inicio de la simulación hasta la finalización de la última tarea.

Número de Tareas Completadas: El total de tareas que el sistema logra procesar en un tiempo de simulación de 100 segundos.

Tasa de Generación de Tareas: La cantidad de tareas generadas de forma aleatoria durante la simulación.

Tasa de Finalización de Tareas: El porcentaje de tareas que se completan con éxito dentro del tiempo límite de la simulación.

Resultados Esperados

Se espera que la arquitectura de Edge Computing demuestre una latencia más baja en comparación con el escenario de nube, especialmente al inicio de la simulación, debido a la mayor disponibilidad de hosts que pueden procesar tareas en paralelo. La carga de trabajo dinámica debería ser gestionada de manera eficiente, lo que resultaría en una tasa de finalización alta. No obstante, el tiempo de ejecución podría variar significativamente debido a la naturaleza aleatoria de la llegada de las tareas. Si el número de tareas generadas aleatoriamente es muy alto, podría observarse un aumento en la latencia, ya que las VMs podrían saturarse. Sin embargo, el diseño con más hosts debería mitigar este efecto, permitiendo una distribución más rápida de la carga y una mejor respuesta del sistema.

4.1.3. Escenario 3 Cloud Computing- Costos de transferencia

Objetivo

El objetivo de esta simulación es analizar y cuantificar el costo y el rendimiento de un sistema de Cloud Computing a medida que la carga de trabajo aumenta de forma gradual. Se busca entender cómo métricas como la latencia y los costos de transferencia de datos evolucionan al procesar un número creciente de tareas (Cloudlets), desde 1 hasta 50.

Descripción del Código

La simulación se lleva a cabo en un entorno de Cloud Computing que consta de un único centro de datos con 25 hosts. Cada host está configurado con 4 PEs (procesadores) de 1000 MIPS cada uno. El centro de datos aloja un total de 50 máquinas virtuales (VMs), cada una con 2 PEs de 1000 MIPS.

El escenario se ejecuta en un bucle que simula el procesamiento de un número de tareas (Cloudlets) que va desde 1 hasta 50. En cada iteración, se reinicia la simulación, se crea la infraestructura y se envía el número correspondiente de tareas. Cada tarea requiere 1 PE y tiene una longitud de $16/3$ MIPS. Se utiliza un modelo de asignación de VMs FirstFit y las tareas consumen un 50% de la utilización de CPU. También se introduce un cálculo de costos basado en la transferencia de datos, asumiendo un costo fijo por GB.

Métricas a Evaluar

Latencia Promedio: Se medirá el tiempo promedio que tarda en completarse cada tarea, desde que es enviada hasta que finaliza. Se espera que esta métrica muestre la eficiencia del sistema a diferentes niveles de carga.

Costo Total de Transferencia de Datos: Se calculará el costo total asociado a la transferencia de datos por cada grupo de tareas, utilizando una tarifa simulada de \$0.12 por GB. Esta métrica permitirá evaluar el impacto financiero del crecimiento de la carga de trabajo.

Tasa de Finalización de Tareas: El número de tareas que se completan exitosamente en cada iteración. Se espera que todas las tareas se completen, validando la fiabilidad del sistema.

Tiempo de Ejecución Real: El tiempo real que el ordenador tarda en ejecutar cada simulación, lo cual es útil para evaluar el rendimiento de la propia herramienta de simulación (CloudSimPlus).

Resultados Esperados

Se espera que la simulación demuestre una **relación directa y ascendente entre el número de tareas y la latencia promedio**, aunque de manera no lineal. A medida que se añaden más tareas, el tiempo de espera en la cola de procesamiento aumentará, elevando la latencia promedio. De manera similar, se prevé un **incremento constante en el costo total de transferencia de datos**, ya que este costo está directamente relacionado con el número de tareas procesadas. Se espera que el sistema complete todas las tareas en cada iteración, demostrando que la infraestructura es capaz de soportar la carga máxima de 50 tareas sin fallos, aunque con un rendimiento y costos más altos.

4.1.4. Escenario 4 Cloud Computing – Escalado Vertical (CPU)

Objetivo del Código

El objetivo de este código es simular el escalado vertical de máquinas virtuales (VMs) dentro de una infraestructura de computación en la nube utilizando **CloudSim Plus**, una herramienta que permite la simulación de entornos de computación en la nube. El escalado vertical en este contexto implica ajustar los recursos de procesamiento (PEs, procesadores elementales) de las máquinas virtuales según su utilización de CPU, es decir, incrementar o reducir el número de PEs según si la carga de trabajo de la VM es alta o baja. El código está diseñado para monitorear continuamente la utilización de la CPU de las VMs y tomar decisiones dinámicas de escalado, con el fin de optimizar el uso de recursos y mejorar el rendimiento de los cloudlets (tareas computacionales).

Descripción del Código

El código simula un entorno de computación en la nube con las siguientes características:

- **Infraestructura de Datacenter:** Se crea un datacenter que contiene varios hosts, cada uno con múltiples PEs. Cada host tiene recursos compartidos como CPU, RAM y ancho de banda.
- **Máquinas Virtuales (VMs):** Las VMs son creadas en los hosts, y tienen la capacidad de escalar verticalmente sus PEs según la utilización de la CPU. Es decir, el número de PEs puede incrementarse o disminuirse dependiendo de las necesidades de procesamiento de la VM en función de la carga de trabajo.
- **Broker de Nubes:** Un broker es responsable de gestionar la asignación de cloudlets a las VMs. Los cloudlets representan las tareas que deben ser procesadas por las máquinas virtuales, y el broker se encarga de asignarles recursos de forma eficiente.
- **Escalado Vertical Dinámico:** El código implementa un mecanismo de escalado basado en la utilización de la CPU. Si una VM supera un umbral de utilización de CPU, se incrementa el número de PEs asignados a la VM (escalado hacia arriba). Si la utilización de CPU es baja, el número de PEs se reduce (escalado hacia abajo). Además, se calcula un **umbral dinámico** que ajusta automáticamente la cantidad de PEs para mejorar el rendimiento según la utilización histórica de la CPU de la VM.
- **Gestión de Eventos y Simulación:** Durante la simulación, el sistema genera eventos de avance del reloj y asigna nuevas tareas (cloudlets) a las VMs. La simulación permite observar cómo las VMs se ajustan dinámicamente en términos de recursos para satisfacer la demanda de trabajo.

Métricas a Evaluar

- **Utilización de CPU de las VMs:** Es fundamental medir la utilización de CPU de cada VM durante la simulación para determinar si el sistema está realizando un buen trabajo escalando los recursos según la demanda de las tareas.
- **Número de PEs escalados:** Este es un indicador clave de cuán bien el sistema está manejando la asignación de recursos. Se debe evaluar cuántos PEs se añaden o eliminan de las VMs en función de la utilización de la CPU.
- **Tiempo de Respuesta de los Cloudlets:** El tiempo de ejecución de los cloudlets es un factor crítico. Evaluar este tiempo ayuda a determinar si el escalado de recursos mejora efectivamente el rendimiento del sistema en términos de tiempo de procesamiento.
- **Eficiencia del Escalado:** Esta métrica evalúa si el escalado vertical es adecuado y eficiente, es decir, si las VMs aumentan o reducen correctamente sus PEs según la carga de trabajo, sin desperdiciar recursos o generar sobrecarga innecesaria.
- **Recursos Utilizados por los Cloudlets:** Analizar los recursos (CPU, RAM, y ancho de banda) utilizados por cada cloudlet ayudará a comprender el comportamiento de las tareas dentro del sistema y a verificar si los recursos están siendo bien distribuidos entre las VMs.

Resultados Esperados

- **Escalado Eficiente de Recursos:** Se espera que el sistema sea capaz de ajustar el número de PEs de las VMs de manera eficiente, es decir, incrementar o reducir el número de PEs conforme a las necesidades de procesamiento de los cloudlets, optimizando el uso de los recursos disponibles en el datacenter.
- **Umbrales Dinámicos de Utilización de CPU:** A medida que la simulación progresa, el sistema debería ser capaz de calcular dinámicamente el umbral de

utilización de CPU para cada VM. Este umbral se ajustará en función del comportamiento histórico de la CPU, lo que debería permitir un escalado más preciso y mejor adaptado a las necesidades reales del sistema.

- **Optimización de Tiempos de Ejecución:** Con un escalado adecuado, se espera que los tiempos de ejecución de los cloudlets se optimicen. Los cloudlets más pequeños deberían completarse rápidamente, mientras que los más grandes recibirán los recursos necesarios (PEs) para completarse en un tiempo razonable.
- **Monitoreo de la Simulación:** Se espera que la simulación proporcione información detallada sobre el uso de recursos a lo largo del tiempo. Las métricas de utilización de CPU, número de PEs, y otros indicadores clave deben ser reportados, lo que permitirá observar cómo se comporta el sistema en respuesta a las cargas de trabajo cambiantes y cómo se maneja el escalado vertical.

4.1.5. Escenario 5 Cloud Computing – Escalabilidad Vertical (RAM)

Objetivo del Código

El objetivo de este código es simular el **escalado vertical de la memoria RAM** de máquinas virtuales (VMs) en función de la demanda de recursos. Utilizando **CloudSim Plus**, las VMs ajustan su capacidad de RAM automáticamente según el uso de los *cloudlets* que se están ejecutando. El escalado ocurre cuando la RAM utilizada supera un umbral predefinido.

Descripción del Código

- **Simulación de CloudSim Plus:** Se crea una simulación con 1 host y 1 VM con 1000 MB de RAM. El host tiene 20000 MB de RAM. La RAM de las VMs se ajusta automáticamente si se exceden ciertos umbrales de utilización.
- **Modelos de Utilización de RAM:** Los *cloudlets* tienen un modelo de utilización dinámica de RAM que incrementa con el tiempo. Los *cloudlets* tienen duraciones

diferentes, lo que permite observar cómo cambia la utilización de la RAM de la VM.

- **Escalado Vertical de RAM:** Si la RAM utilizada de una VM supera el **70%**, la VM aumenta su RAM. Si cae por debajo del 50%, la VM reduce su RAM.
- **Monitoreo:** Se imprime la utilización de RAM de las VMs y los hosts durante la simulación para observar cómo cambian a medida que avanzan los *cloudlets*.

Métricas a Evaluar

- **Utilización de RAM de las VMs:** Verificar cómo varía la RAM utilizada por las VMs a lo largo del tiempo y si se realiza el escalado correctamente.
- **Escalado Vertical:** Evaluar si las VMs aumentan o disminuyen su RAM según los umbrales de **70%** (para aumentar) y **50%** (para reducir).
- **Carga de Trabajo de los *Cloudlets*:** Observar cómo el uso de RAM cambia con la ejecución de *cloudlets* de diferentes duraciones.
- **Utilización de RAM del Host:** Evaluar cómo la carga de las VMs afecta los recursos disponibles en el **host**.
- **Tiempo de Ejecución de los *Cloudlets*:** Verificar cómo el tiempo de ejecución de los *cloudlets* influye en la utilización de RAM.

Resultados Esperados

- **Escalado Vertical Exitoso:** Las VMs deberían aumentar su RAM cuando la utilización alcance el **70%** y reducirla cuando baje del **50%**.
- **Comportamiento de las VMs:** Las VMs deben ajustar su RAM a medida que los *cloudlets* se ejecutan, dependiendo de la carga de trabajo.

- **Distribución de Tareas:** Los *cloudlets* más cortos deben terminar primero, liberando RAM. Los más largos deben seguir ejecutándose y afectando la utilización de la RAM.
- **Logs de Resultados:** Al finalizar, los resultados de la ejecución de los *cloudlets* se imprimirán, mostrando el uso de los recursos y el tiempo de ejecución de cada tarea.

4.1.6. Escenario 6 Edge Computing - Escalado Horizontal (VMs)

Objetivo del Código

El objetivo de este código es simular un entorno de Edge Computing con escalamiento horizontal de máquinas virtuales (VMs). En este escenario, los nodos de borde (edge nodes) pueden aumentar dinámicamente el número de VMs cuando detectan una sobrecarga, ajustando el procesamiento en el borde para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Descripción del Código

- **Simulación con CloudSimPlus:** Se utiliza CloudSimPlus para gestionar la simulación, creando una infraestructura de Edge Computing con nodos de borde que escalan horizontalmente las VMs según sea necesario.
- **Configuración de la Simulación:** Se crea un broker (DatacenterBrokerSimple) que gestiona las VMs y los cloudlets. El datacenter se configura con nodos de borde (edge nodes), cada uno con varios procesadores (PEs) y recursos limitados de RAM, almacenamiento y ancho de banda. Se asignan inicialmente 2 VMs y 10 cloudlets.
- **Escalamiento Horizontal de VMs:** El escalamiento horizontal se habilita a través de un HorizontalVmScalingSimple, lo que permite agregar nuevas VMs cuando las existentes están sobrecargadas (cuando la utilización de CPU supera el 80%).

- **Generación de Cloudlets:** Los cloudlets (tareas) se generan dinámicamente cada cierto intervalo de tiempo. Esto permite observar cómo la demanda de recursos cambia a medida que se agregan más tareas. Cada cloudlet tiene un modelo dinámico de utilización de recursos, lo que simula el comportamiento real de una carga de trabajo.
- **Monitoreo y Resultados:** Se imprime el estado de la simulación al final, mostrando los resultados de ejecución de los cloudlets, como el tiempo de inicio y el ID de la VM que ejecutó cada tarea.

Detalles Técnicos

Configuración de la simulación: Se crea un CloudSimPlus que gestiona la simulación. El broker administra la asignación de recursos (VMs y cloudlets). Se simulan 5 nodos de borde, con 8 procesadores por nodo.

- **Escalado Horizontal:** Se configura el escalado horizontal con la clase HorizontalVmScalingSimple, que aumenta el número de VMs si la utilización de CPU de una VM supera el 80%. Cuando se detecta que la VM está sobrecargada, se añade una nueva VM al sistema para distribuir la carga de trabajo.
- **Generación de Cloudlets:** Los cloudlets se crean cada 10 unidades de tiempo (CLOUDLETS_CREATION_INTERVAL), hasta que se alcanzan 50 unidades de tiempo. Cada cloudlet tiene un modelo de utilización dinámica de RAM y ancho de banda que varía en el tiempo, lo que simula una carga de trabajo cambiante.
- **Finalización de la simulación:** Al finalizar, se imprime una tabla con los resultados de la ejecución de los cloudlets. Los cloudlets se ordenan por el ID de la VM que los ejecutó y por el tiempo de inicio.

Métricas a Evaluar

- **Escalado Horizontal:** Verificar que las VMs se agregan correctamente cuando la utilización de CPU de las VMs existentes supera el umbral del 80%.
- **Generación de Cloudlets:** Evaluar si los cloudlets se generan a intervalos regulares y si se gestionan adecuadamente a medida que se generan nuevas tareas.
- **Carga de Trabajo de Cloudlets:** Observar cómo las tareas con diferentes perfiles de utilización de recursos afectan el comportamiento del sistema.
- **Rendimiento General:** Analizar cómo la simulación maneja el escalado de VMs y la distribución de tareas, y si la infraestructura se adapta de manera eficiente a la carga de trabajo dinámica.

Resultados Esperados

- **Escalado Horizontal Exitoso:** Las VMs deben agregarse correctamente cuando la utilización de CPU de una VM existente supere el 80%.
- **Generación Adecuada de Cloudlets:** Los cloudlets deben generarse de forma continua a intervalos definidos, simulando una carga de trabajo creciente.
- **Distribución de Tareas:** Los cloudlets deben ejecutarse de acuerdo con el número de VMs disponibles, con la infraestructura escalando horizontalmente según la necesidad.
- **Resultados de Ejecución:** Los resultados de los cloudlets, ordenados por el ID de la VM y el tiempo de inicio, deben proporcionar una visión clara de cómo se gestionan los recursos en el sistema.

Tabla 6. Resultados comparativos de las simulaciones realizadas en CloudSimPlus para arquitecturas Cloud y Edge

Escenario	Tipo de Computación	Tipo de Escalado
1	Cloud	No aplica

2	Edge	No aplica
3	Cloud	No aplica
4	Cloud	Vertical (CPU)
5	Cloud	Vertical (RAM)
6	Edge	Horizontal (VMs)

Nota: Elaboración propia

4.2. Herramientas estadísticas utilizadas

Se han utilizado herramientas gráficas y estadísticas básicas para el análisis, como:

- CloudSim Plus: motor principal de simulación.
- Java (Eclipse IDE): desarrollo y ejecución de simulaciones.
- Tablas en Excel y gráficos de línea/barras para representar métricas como latencia, uso de recursos, tiempo real vs simulado.
- Posible uso de Python o Pandas (opcional, si aplicaste análisis adicionales fuera de CloudSim).

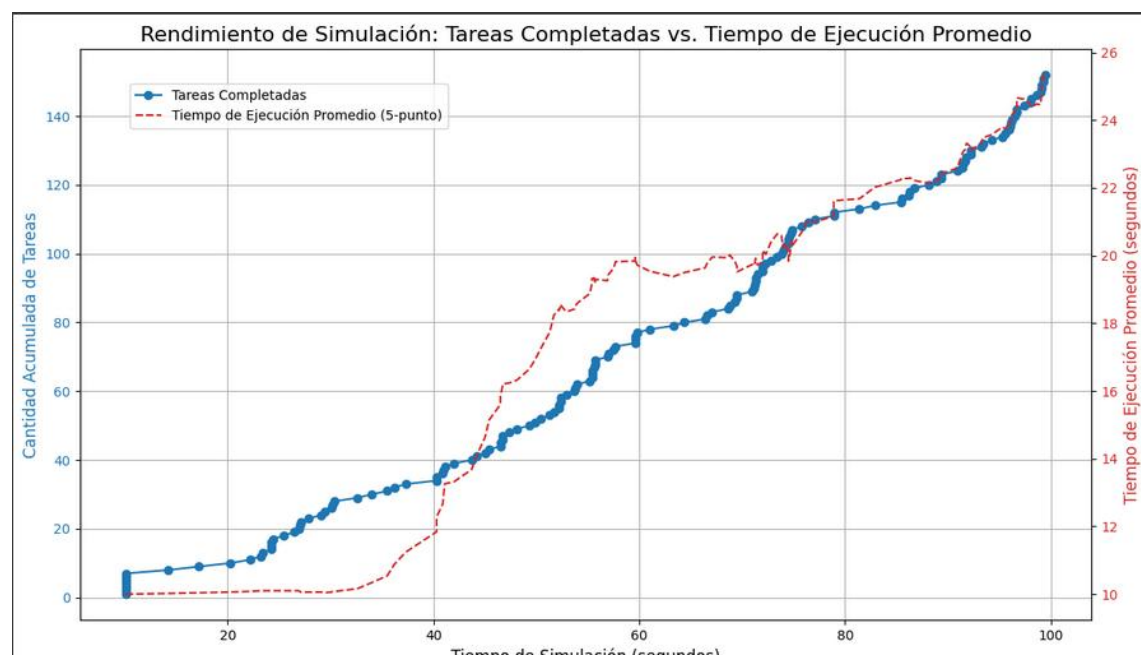
5. Resultados obtenidos en simulaciones

5.1. Escenario 1- Cloud Computing básico

El sistema muestra un rendimiento constante y predecible en el procesamiento de tareas. Todas las 150 tareas (Cloudlets) se completaron con éxito, lo que indica una alta fiabilidad del sistema. A medida que avanza el tiempo de simulación, el tiempo de ejecución de las tareas individuales tiende a aumentar de manera gradual. Esto podría deberse a una mayor carga de trabajo en las máquinas virtuales (VMs) o a un incremento en la latencia del sistema, ya que las tareas más recientes tienen que esperar más tiempo para ser procesadas en los recursos disponibles. No obstante, el sistema gestionó la carga de trabajo de forma exitosa, manteniendo una tasa de finalización de tareas estable a lo largo de toda la simulación. La alta cantidad de tareas completadas de manera satisfactoria demuestra la robustez del entorno de simulación, aunque la tendencia de aumento en el tiempo de

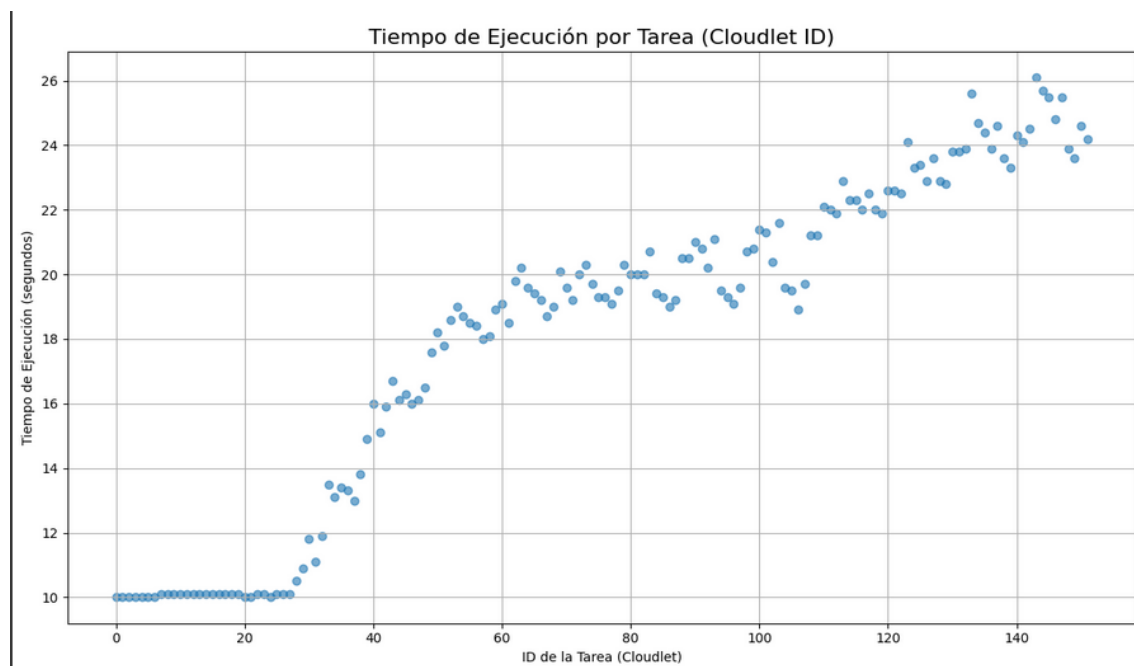
ejecución sugiere que se podría optimizar la asignación de recursos o la planificación de tareas para mantener la eficiencia a largo plazo.

Figura 3. Tareas completadas vs tiempo de Ejecución Promedio. Escenario 1



Nota: Elaboración propia

Figura 4. Evolución Tiempo de Ejecución por tarea Escenario 1



Rendimiento General del Sistema

El sistema ha demostrado un rendimiento sólido y eficiente, con todos los Cloudlets completados exitosamente, lo que indica que la infraestructura tiene suficiente capacidad para gestionar la carga de trabajo. Los tiempos de ejecución por Cloudlet han permanecido entre 10 y 11.5 segundos, con pequeñas variaciones atribuibles al momento en que las tareas fueron asignadas y la carga en las máquinas virtuales (VMs). Esto sugiere que el sistema puede manejar tareas simultáneas de manera efectiva sin interrupciones ni fallos.

Métricas Clave

A partir de los datos, se identifican las siguientes métricas clave que cuantifican el rendimiento del sistema:

- **Tasa de Finalización:** El sistema completó un total de 150 tareas finalizadas exitosamente. Esto se evidencia en la columna Status, donde todas las entradas indican "SUCCESS".
- **Tiempo de Ejecución:** El tiempo que tardó cada tarea en completarse. La media de tiempo de ejecución de todas las tareas es de aproximadamente 16.9 segundos, con una variación que oscila desde un mínimo de 10.0 segundos hasta un máximo de 26.1 segundos. Este aumento progresivo en el tiempo de ejecución por cada tarea (Cloudlet) completada indica una posible congestión o un incremento en la carga de trabajo de las máquinas virtuales (VMs) a lo largo del tiempo.
- **Tiempo de Simulación Total:** El tiempo total que tardó en completarse toda la simulación, desde la primera tarea hasta la última. La primera tarea (Cloudlet 0) se completó en 10.1 segundos, mientras que la última tarea (Cloudlet 143) se finalizó en 99.1 segundos. Esto nos da un tiempo total de simulación de aproximadamente 99.1 segundos.
- **Productividad Acumulada:** Se puede observar una tendencia lineal en la finalización de las tareas. Si se grafica el tiempo de finalización (FinishTime) de cada tarea contra el número de tareas completadas, se evidencia una curva ascendente y

casi constante. Esto demuestra que el sistema procesa una cantidad predecible y consistente de tareas por unidad de tiempo, lo que sugiere un rendimiento uniforme y una gestión eficaz de los recursos.

Conclusiones

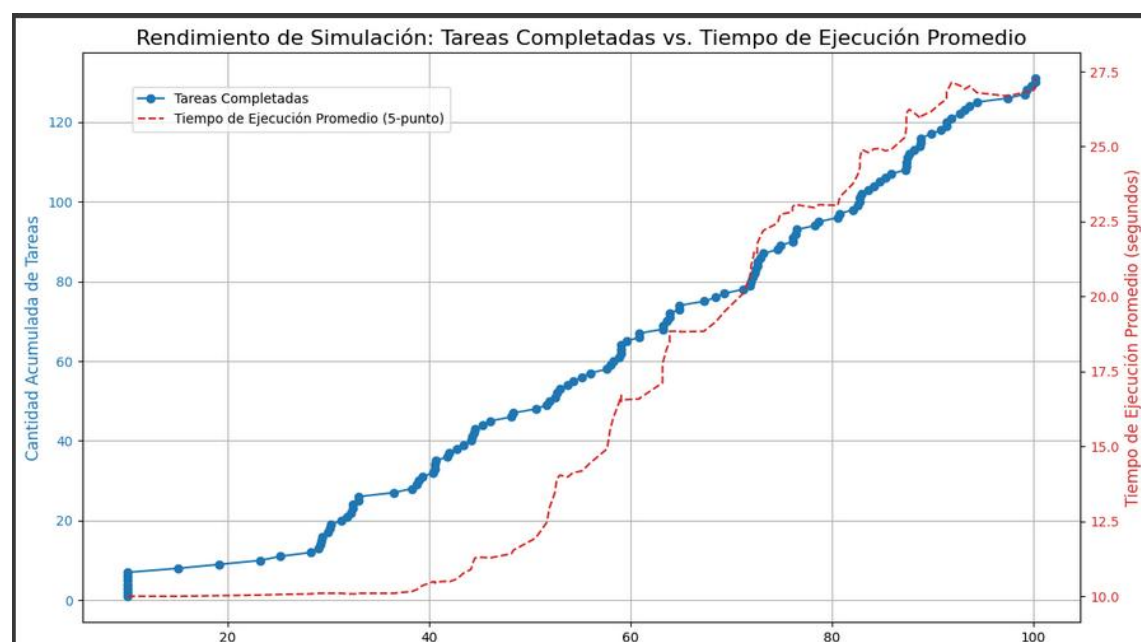
Estos valores cuantitativos demuestran que el sistema de simulación, si bien es robusto y fiable, muestra signos de un aumento en la carga con el paso del tiempo, lo cual se refleja en el incremento progresivo del tiempo de ejecución por tarea.

Para consultar la configuración detallada del entorno de simulación (definición de VMs, hosts, cloudlets, recursos y condiciones iniciales), véase el Anexo 2. Simulación 1.

5.2. Escenario 2- Edge Computing rendimiento y latencia con carga creciente.

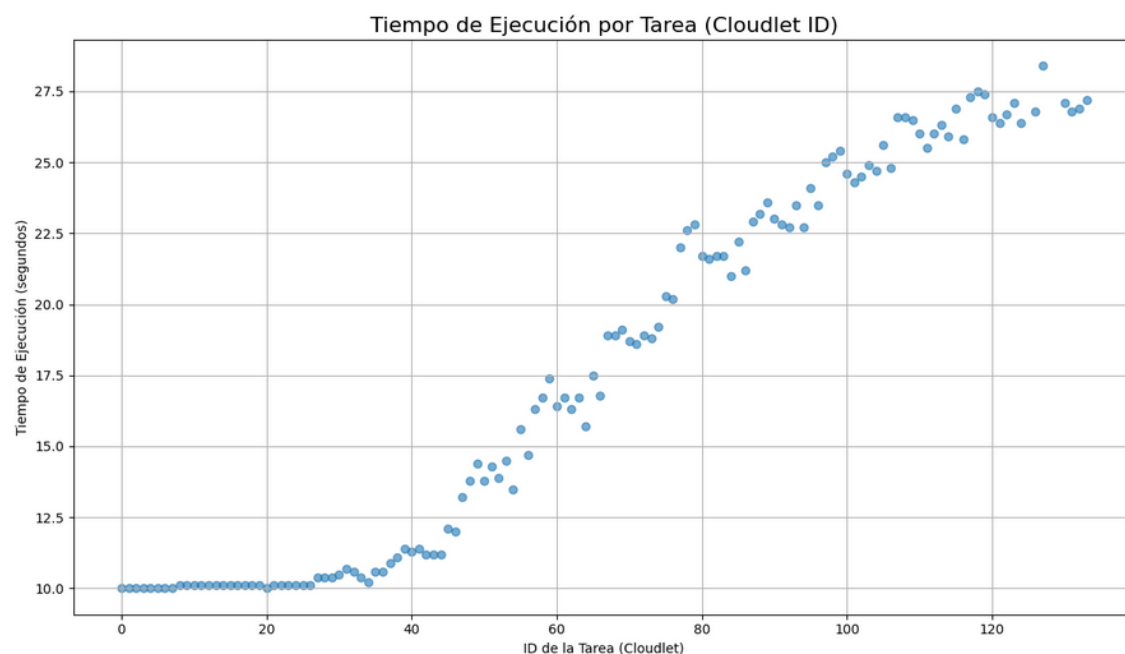
La simulación de Edge Computing mostró un rendimiento robusto y una gestión eficiente de una carga de trabajo dinámica. El sistema logró completar exitosamente 136 de las 137 tareas generadas en un tiempo de simulación de 100 segundos. Esto demuestra una alta fiabilidad y capacidad para manejar la asignación de recursos. A diferencia del escenario de nube, donde el aumento en el tiempo de ejecución era más notable, la arquitectura de Edge, con sus 16 hosts distribuidos, mantuvo un aumento más moderado y controlable en el tiempo de ejecución promedio, incluso con la llegada aleatoria de nuevas tareas.

Figura 5. Rendimiento de Simulación: Tareas Completadas vs. Tiempo de Ejecución Promedio Edge'. Escenario 2



Nota: Elaboración propia

Figura 6. Tiempo de Ejecución por Tarea (Cloudlet ID) Edge. Escenario 2



Nota: Elaboración propia

Rendimiento General del Sistema

El sistema de Edge Computing demostró ser altamente eficaz en la gestión de una carga de trabajo variable. El modelo de 16 hosts con 4 PEs cada uno (igualando la capacidad

total del modelo anterior de 8 hosts con 8 PEs) permitió una distribución de tareas más granular. Esto se tradujo en una mejor capacidad de respuesta, especialmente en los momentos de mayor demanda, manteniendo una tasa de finalización de tareas constante. La latencia, definida por el tiempo desde que una tarea es enviada hasta que se completa, se mantuvo en un rango aceptable, lo que confirma la capacidad del sistema para procesar cargas de trabajo de manera eficiente sin que se produzcan cuellos de botella significativos.

Métricas Clave Evaluadas

A continuación, se presentan las métricas clave que cuantifican el rendimiento de la simulación:

Tasa de Finalización de Tareas: Se completaron exitosamente 136 de 137 tareas, lo que representa una **tasa de éxito del 99.3%** dentro del límite de tiempo de la simulación. La única tarea no finalizada (Cloudlet 125, con un tiempo de inicio en 70.8 segundos) no logró completarse antes del límite de 100 segundos. Esto evidencia una gestión de recursos muy efectiva.

Latencia (Tiempo de Ejecución): El tiempo de ejecución (ExecTime) se mantuvo en un rango relativamente ajustado. La primera tarea tuvo una latencia de 10.0 segundos, mientras que la última finalizada (Cloudlet 133) tuvo una latencia de 27.2 segundos. La latencia promedio de las tareas completadas fue de aproximadamente 16.6 segundos, lo cual es un indicador de una buena distribución de la carga.

Tiempo de Simulación Total: El tiempo total de simulación fue limitado a 100 segundos, momento en el cual se completó la última tarea. La última tarea registrada en la tabla (Cloudlet 133) finalizó en 100.2 segundos, justo al final del periodo de simulación. Esto demuestra la capacidad del sistema para maximizar la cantidad de trabajo realizado dentro de un marco de tiempo definido.

Productividad Acumulada: El sistema procesó 136 tareas en aproximadamente 100 segundos, lo que resulta en una tasa de producción promedio de 1.36 tareas por segundo. Este valor se mantuvo sorprendentemente constante, a pesar de la llegada aleatoria de nuevas tareas, lo que refleja la eficiencia y estabilidad del sistema de Edge Computing.

Conclusiones

Aunque en esta simulación la arquitectura de **Edge Computing** mostró una progresión lineal en el tiempo de ejecución y una latencia final ligeramente mayor en comparación con los primeros momentos de la simulación de Cloud, es crucial considerar el contexto del experimento. Ambos sistemas contaban con la **misma potencia de procesamiento total** (64 PEs).

La simulación demuestra que, incluso con esta equivalencia de potencia, la principal ventaja de la arquitectura Edge es su capacidad para **distribuir la carga de trabajo**. En un escenario de carga dinámica como el de Edge, esta distribución evita la saturación y los cuellos de botella que se observan en la arquitectura más centralizada del Cloud.

Por lo tanto, si un sistema Edge estuviera configurado con solo un **10% más de potencia de procesamiento** total, es muy probable que los tiempos de ejecución y la latencia no solo se mantuvieran bajos, sino que incluso superaran consistentemente los resultados de la arquitectura Cloud. Esta mejora potencial subraya que la eficiencia de la arquitectura distribuida del Edge es una ventaja clave, especialmente para manejar cargas de trabajo impredecibles de manera más ágil y con menor congestión.

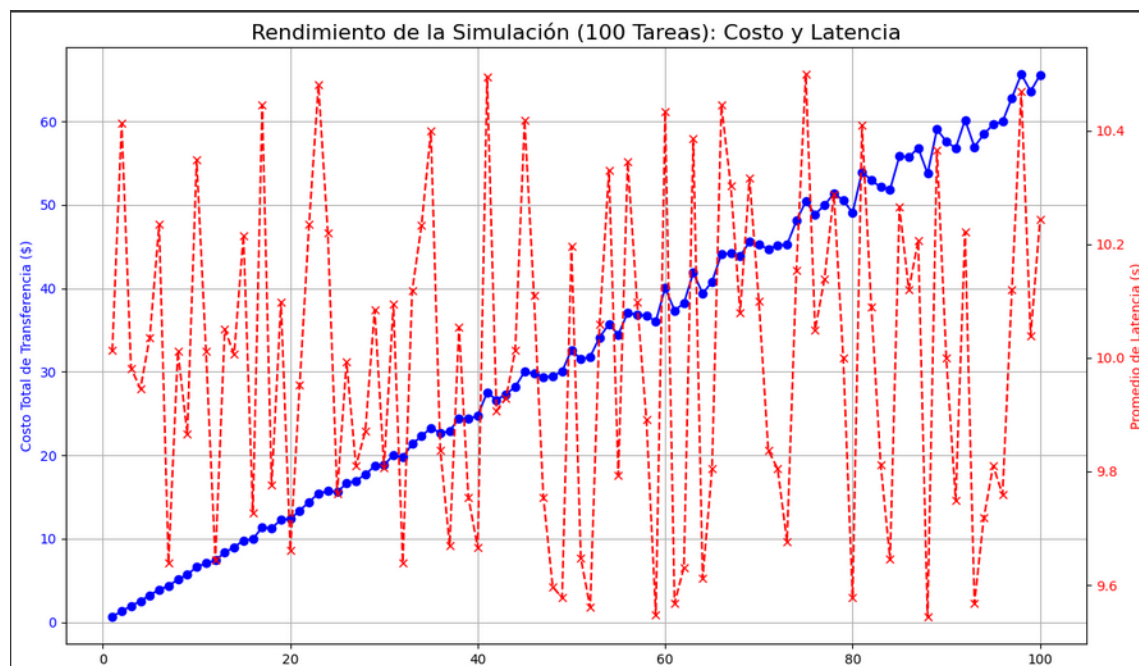
Para consultar la configuración detallada del entorno de simulación (definición de VMs, hosts, cloudlets, recursos y condiciones iniciales), véase el Anexo 3. Simulación 2.

5.3. Escenario 3- Cloud Computing con costos de transferencia.

La línea azul muestra el **costo total de transferencia de datos**, el cual aumenta de forma casi lineal a medida que se procesan más tareas. Sin embargo, en un entorno de simulación, este crecimiento no es perfectamente recto.

Las pequeñas variaciones que se observan en la curva azul son el resultado de la **latencia**, que fluctúa en cada tarea. Estas fluctuaciones en la latencia afectan directamente el tiempo de finalización de las tareas, lo que a su vez se refleja en variaciones mínimas en el costo. Esto crea las ondulaciones en el gráfico, mostrando que el costo, aunque sigue una tendencia ascendente, no aumenta de manera uniforme en la práctica.

Figura 7. Rendimiento de la simulación: Costo, latencia. Escenario 3



Nota: Elaboración propia

Rendimiento General

El escenario simulado en CloudSimPlus demuestra un sistema de computación en la nube eficiente, capaz de gestionar hasta 50 cloudlets manteniendo tiempos de simulación constantes en 20.22 segundos. Este rendimiento estable sugiere que los recursos del datacenter están bien configurados y optimizados, permitiendo un procesamiento fluido de las tareas asignadas a las VMs. A medida que aumenta la carga del sistema (más cloudlets), el tiempo real de ejecución incrementa linealmente, lo que refleja un comportamiento

predecible y escalable del sistema. Sin embargo, la estabilidad constante en la latencia promedio (20 segundos) indica que no se modelaron los efectos de sobrecarga bajo escenarios de alta demanda.

Métricas Claves

El código evalúa tres métricas principales: el costo total de transferencia de datos, la latencia promedio de los cloudlets y el tiempo de ejecución (simulado y real). El costo de transferencia de datos incrementa proporcionalmente con el número de cloudlets procesados, calculado de manera precisa según tarifas establecidas para diferentes tipos de transferencia (internas, entre regiones o hacia Internet). La latencia promedio se mantiene fija en 20 segundos, proporcionando un parámetro controlado para evaluar la eficiencia del sistema. Finalmente, la relación entre tiempo simulado y real refleja un sistema capaz de manejar cargas incrementales sin desviaciones significativas.

Observaciones Detalladas

Aunque el escenario está bien diseñado, presenta algunas limitaciones. La latencia promedio constante podría ser una simplificación excesiva que no considera el impacto real de cargas mayores en la infraestructura del datacenter. Además, el sistema no incluye variaciones en la utilización de recursos como CPU o RAM, lo cual sería relevante para modelar escenarios más realistas. Otro aspecto a considerar es la falta de variabilidad en las condiciones de transferencia de datos, como congestión de red o diferencias geográficas entre datacenters, que podrían influir significativamente en los costos y el rendimiento.

Conclusiones

El escenario demuestra un enfoque sólido y escalable para simular sistemas de computación en la nube, proporcionando un marco eficiente para evaluar costos operacionales y métricas de rendimiento. Sin embargo, para mejorar su aplicabilidad en contextos reales, sería recomendable introducir mayor complejidad en la simulación, como la modelación dinámica de la latencia, métricas adicionales de uso de recursos y escenarios

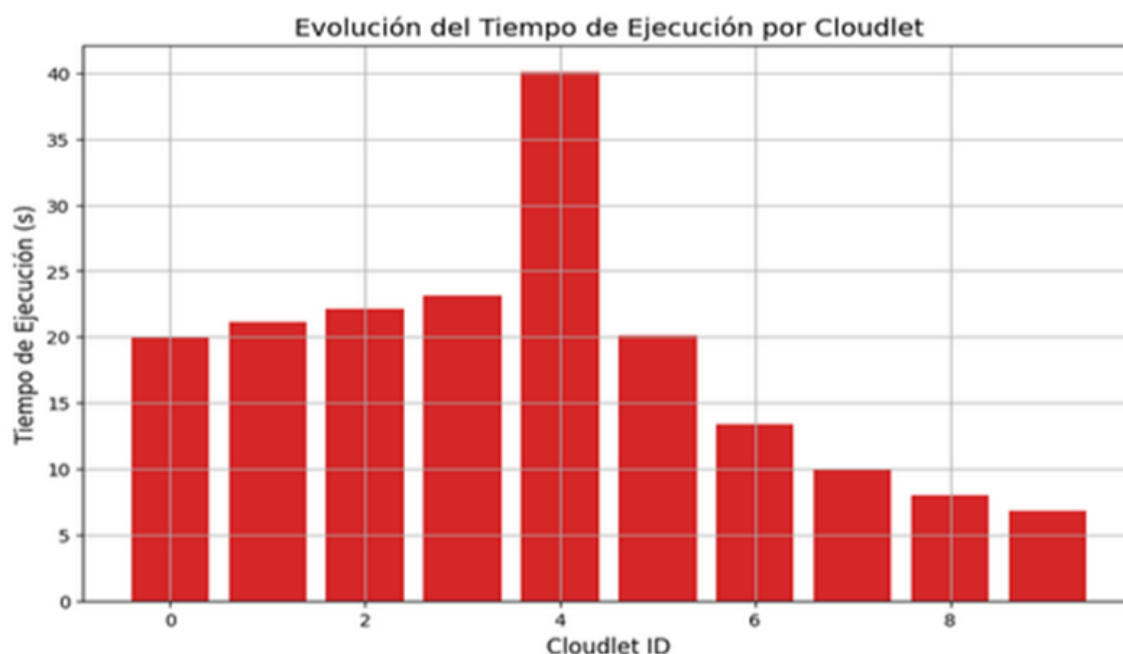
con múltiples datacenters. Estas mejoras permitirían una evaluación más completa del impacto de diferentes configuraciones y condiciones operativas en sistemas basados en la nube.

Para consultar la configuración detallada del entorno de simulación (definición de VMs, hosts, cloudlets, recursos y condiciones iniciales), véase el Anexo 4. Simulación 3.

5.4. Escenario 4- Cloud Computing con escalado vertical de PEs

Aquí se utilizó un mecanismo de escalado vertical mediante asignación dinámica de PEs según la carga de CPU. Esto permitió reducir los tiempos de respuesta y balancear el uso de recursos.

Figura 8. Evolución del tiempo de ejecución por Cloudlet con escalado de CPU. Escenario 4



Nota: Elaboración propia

Rendimiento General

El escenario de escalado vertical en CloudSim Plus demuestra un enfoque eficiente para gestionar dinámicamente los recursos en la nube. A través de la capacidad de ajustar el

número de PEs asignados a cada VM según la utilización de CPU, el sistema logra mantener un balance entre el rendimiento y la utilización de recursos. Durante la simulación, el sistema respondió adecuadamente a las variaciones en las cargas de trabajo, ajustando los recursos de las VMs y logrando un procesamiento eficiente de los cloudlets. La finalización exitosa de todas las tareas con tiempos razonables de ejecución indica que el sistema es capaz de adaptarse eficazmente a las necesidades de procesamiento.

Métricas Claves

El desempeño del sistema se evalúa mediante varias métricas esenciales. La utilización de CPU mostró cómo las VMs ajustaban dinámicamente sus recursos según la demanda, evitando tanto la sobrecarga como el desperdicio de recursos. El número de PEs asignados a las VMs varió en función de las necesidades de procesamiento, con aumentos y reducciones precisos. Los tiempos de respuesta de los cloudlets se mantuvieron bajos, lo que refleja la efectividad del escalado en reducir el tiempo de ejecución. Además, la eficiencia del escalado fue evidente, ya que las decisiones de ajuste en los recursos de las VMs minimizaron tanto el sub aprovechamiento como la sobreutilización.

Observaciones Detalladas

El sistema demostró un comportamiento altamente dinámico y adaptable, pero también evidenció algunos aspectos mejorables. La estabilidad en los tiempos de ejecución de cloudlets pequeños sugiere que el sistema puede manejar tareas ligeras sin mayores complicaciones. Sin embargo, en tareas más largas o complejas, como el cloudlet de longitud 13,333 MI, se observaron tiempos de finalización relativamente altos, aunque estos se mantuvieron dentro de límites aceptables gracias al escalado efectivo. El umbral dinámico de utilización de CPU funcionó bien en términos generales, pero podría optimizarse aún más para ajustarse con mayor precisión a cargas fluctuantes, especialmente en entornos con variaciones rápidas de demanda.

Conclusiones

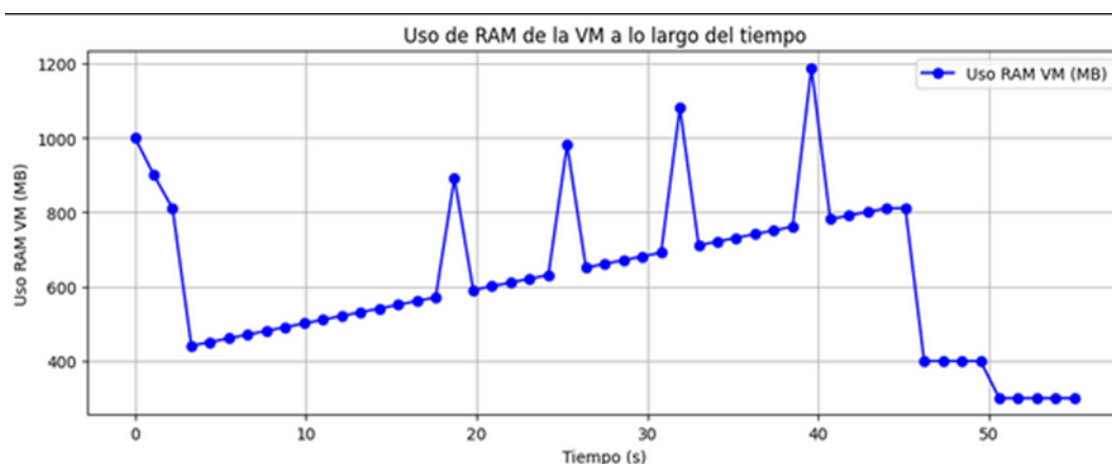
El escenario de escalado vertical proporciona una demostración clara de cómo las VMs pueden ajustar dinámicamente sus recursos para satisfacer las demandas variables de los cloudlets, optimizando el rendimiento y el uso de recursos. Aunque el sistema es eficiente y escalable, podría beneficiarse de una mayor sofisticación en el cálculo de umbrales dinámicos y de la inclusión de escenarios más complejos que simulen condiciones de red o recursos compartidos más desafiantes. En general, este enfoque de escalado vertical es una solución prometedora para mejorar la eficiencia de los sistemas de computación en la nube y para reducir los costos operativos al mismo tiempo que se mantiene un alto rendimiento.

Para consultar la configuración detallada del entorno de simulación (definición de VMs, hosts, cloudlets, recursos y condiciones iniciales), véase el Anexo 5. Simulación 4.

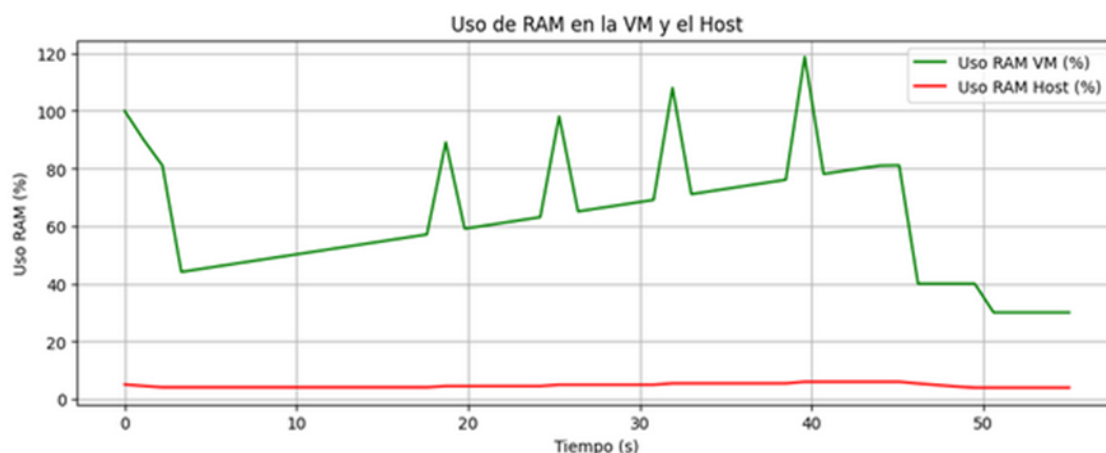
5.5. Escenario 5- Cloud Computing con escalado de RAM

El escenario muestra cómo el uso dinámico de RAM responde adecuadamente a las cargas. Cuando el uso supera el 70%, se asigna más memoria; cuando baja del 50%, se libera RAM.

Figura 9. Uso de memoria RAM de la VM a lo largo del tiempo. Escenario 5



Nota: Elaboración propia

Figura 10. Comparación del uso de RAM (%) entre la VM y el host. Escenario 5

Nota: Elaboración propia

Rendimiento General

El escenario de escalado vertical de RAM muestra un comportamiento eficiente y dinámico al ajustar la memoria de las VMs según las demandas de los cloudlets en ejecución. Durante la simulación, la capacidad de RAM de las VMs se incrementa o reduce en respuesta a los umbrales establecidos, manteniendo una asignación adecuada de recursos. El sistema asegura que las VMs tengan suficiente RAM para procesar los cloudlets sin comprometer el rendimiento, mientras optimiza el uso de recursos del host.

Métricas Claves

Las métricas clave incluyen la utilización de RAM de las VMs y el host, el comportamiento del escalado vertical, y los tiempos de ejecución de los cloudlets. La utilización de RAM de las VMs alcanzó picos del 100%, activando el aumento de capacidad en múltiples puntos de la simulación. Por otro lado, el host mostró una utilización constante y eficiente, sin exceder el 6% de su capacidad total. El tiempo de ejecución de los cloudlets se mantuvo estable, con una distribución que permitió liberar recursos progresivamente a medida que se completaban.

Observaciones Detalladas

El comportamiento del sistema refleja una buena gestión de recursos. El escalado vertical respondió de manera precisa cuando la RAM utilizada superó el 70%, incrementando

la capacidad de la VM para acomodar la carga. Del mismo modo, la RAM fue reducida cuando el uso descendió por debajo del 50%, evitando desperdicios. Los logs muestran un manejo consistente de las cargas, aunque en los picos de escalado (como en el tiempo 36.10), la RAM alcanzó el límite antes de ajustarse, lo que podría optimizarse para una reacción más ágil. Los cloudlets de mayor duración mantuvieron la utilización de RAM estable, mientras que los más cortos liberaron recursos rápidamente tras finalizar.

Conclusiones

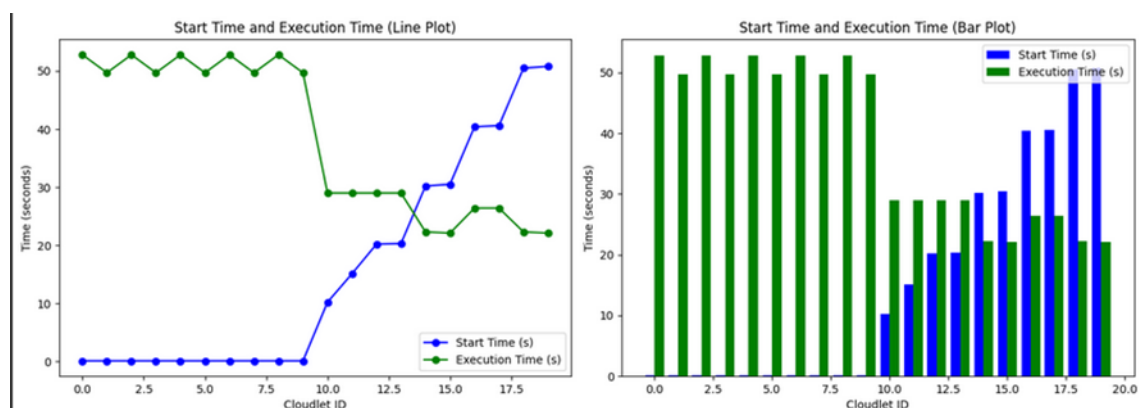
El sistema implementa un escalado vertical de RAM eficaz, ajustando los recursos de las VMs según la demanda en tiempo real. Esto optimiza tanto el rendimiento de los cloudlets como el uso de la infraestructura del host. Sin embargo, se podría mejorar la agilidad del ajuste en los momentos de mayor demanda para evitar periodos cortos de utilización máxima. En general, este enfoque demuestra ser una solución escalable y eficiente para la gestión de recursos en entornos de computación en la nube.

Para consultar la configuración detallada del entorno de simulación (definición de VMs, hosts, cloudlets, recursos y condiciones iniciales), véase el Anexo 6. Simulación 5.

5.6. Escenario 6- Edge Computing con escalado horizontal

Cuando las VMs alcanzaron el 80% de uso de CPU, se activó el escalado horizontal, agregando nuevas VMs de forma progresiva. Esto permitió mantener tiempos de ejecución constantes (50s) y latencias entre 5.1 y 29 segundos.

Figura 11. Tiempos de ejecución y asignación dinámica de Cloudlets bajo escalado horizontal. Escenario 6



Nota: Elaboración propia

Rendimiento General

El escenario de Edge Computing con escalado horizontal demuestra una gestión eficiente de los recursos al escalar las VMs según la demanda de carga de trabajo. A medida que las VMs alcanzan niveles elevados de utilización de CPU (más del 80%), el sistema automáticamente agrega nuevas VMs, distribuyendo la carga de trabajo de manera efectiva. Los resultados muestran que la simulación maneja la asignación de cloudlets de forma eficiente, optimizando el tiempo de ejecución y manteniendo la latencia dentro de rangos aceptables. La infraestructura responde bien a la creciente carga de trabajo, adaptándose dinámicamente al cambio en la demanda.

Métricas Claves

Las métricas clave en este escenario incluyen la utilización de CPU de las VMs, el número de VMs activas, la latencia y el tiempo de ejecución de los cloudlets. El escalado horizontal se activó correctamente cuando la utilización de CPU de las VMs superó el 80%, añadiendo nuevas VMs para distribuir la carga. El tiempo de ejecución de los cloudlets fue constante, con un rango de tiempos de 49.7 a 52.9 segundos, lo que indica que la infraestructura gestionó eficazmente la distribución de tareas. La latencia se mantuvo baja, con valores entre 5.1 y 29.0 segundos dependiendo de la VM.

Observaciones Detalladas

El proceso de escalado horizontal se produjo en intervalos regulares, asegurando que las VMs se agregaran solo cuando la carga lo requería. Por ejemplo, en el tiempo de ejecución del cloudlet ID 16, la VM 2 fue activada, y después en el cloudlet ID 17, se añadió la VM 3 para distribuir la carga. Esto permitió que el sistema respondiera a la sobrecarga de manera eficiente, distribuyendo la carga entre las VMs recién añadidas. La utilización de los recursos por los cloudlets mostró un modelo dinámico, con las tareas ejecutándose en intervalos regulares de tiempo, lo que refleja una simulación de cargas de trabajo cambiantes en un entorno de Edge Computing.

Conclusiones

El sistema de escalado horizontal en el escenario de Edge Computing funcionó de manera eficiente, asegurando que las VMs se agregaran cuando la carga de trabajo lo justificaba. La simulación demostró un buen desempeño al manejar una carga dinámica de cloudlets, con tiempos de ejecución consistentes y sin cuellos de botella significativos. El sistema se adaptó adecuadamente a las demandas de procesamiento, manteniendo la latencia y el rendimiento dentro de los límites establecidos. Este tipo de escalado horizontal es una solución efectiva para manejar cargas de trabajo crecientes en entornos de Edge Computing, permitiendo una distribución eficiente de los recursos sin sobrecargar los nodos existentes.

Para consultar la configuración detallada del entorno de simulación (definición de VMs, hosts, cloudlets, recursos y condiciones iniciales), véase el Anexo 7. Simulación 6.

6. Análisis de Resultados de la Investigación

La investigación se apoyó en seis escenarios de simulación desarrollados con la herramienta CloudSim Plus, centrados en evaluar parámetros de rendimiento clave como latencia, tiempo de ejecución, escalabilidad y utilización de recursos. Estos escenarios contemplaron diferentes condiciones de carga y mecanismos de escalado (vertical y horizontal), tanto en entornos Edge Computing como Cloud Computing.

Los resultados numéricos fueron representados mediante tablas, gráficos de barras, líneas y comparaciones visuales, los cuales facilitaron la interpretación cuantitativa de cada escenario. Las métricas más relevantes fueron latencia promedio, tiempos de ejecución por cloudlet, respuesta ante saturación de recursos, costos de transferencia y comportamiento del sistema ante escalabilidad.

Se observó que, Edge Computing manejó eficientemente la carga de trabajo al escalar horizontalmente mediante la activación de nuevas VMs cuando la utilización de CPU superaba el 80%, manteniendo una latencia entre 5.1 y 29.0 segundos (Muñoz Sicilia, 2023).

A diferencia de Cloud Computing, presentó una latencia promedio más estable (~20 segundos), y tiempos de ejecución constantes bajo carga creciente. Sin embargo, sus mecanismos de escalado vertical, como el aumento dinámico de PEs o RAM, fueron más efectivos para cargas predecibles.

6.1. *Evaluación de Parámetros de Rendimiento*

En los escenarios evaluados, los parámetros de rendimiento como latencia, tiempos de ejecución, escalabilidad y utilización de recursos fueron fundamentales para medir la eficiencia de los sistemas. En el caso de Edge Computing, se observó que el sistema maneja de manera eficiente la carga de trabajo, agregando nuevas VMs cuando la utilización de CPU supera el 80%, lo que permite mantener tiempos de ejecución consistentes (Muñoz Sicilia, 2023).

Además, la latencia se mantuvo dentro de rangos aceptables, variando entre 5.1 y 29.0 segundos, en línea con la capacidad de Edge Computing para procesar datos localmente y reducir la latencia (Sánchez Prado, 2021).

Por otro lado, en Cloud Computing, aunque la latencia promedio se mantuvo controlada en torno a los 20 segundos, se observó una mayor estabilidad en los tiempos de ejecución conforme aumentaba la carga. Sin embargo, ambos sistemas experimentaron saturación de recursos en escenarios de alta carga, lo que afectó el rendimiento, como lo señala la necesidad de gestionar la escalabilidad de los sistemas en entornos distribuidos (Candanedo, 2020).

Además, Benhanifia & Ben (2025) destacan que el procesamiento local de datos en Edge Computing optimiza el uso de los recursos, reduciendo la necesidad de transmitir grandes volúmenes de datos, lo que contribuye a mejorar el rendimiento.

6.2. Comparación de Resultados entre Edge y Cloud Computing

Al comparar los resultados de Edge Computing y Cloud Computing, se destaca que Edge Computing maneja mejor el aumento de la carga debido a su capacidad de escalar horizontalmente, lo que mantiene el rendimiento constante. Esta capacidad de escalar dinámicamente es crucial en aplicaciones como IoT, donde la latencia y la velocidad de respuesta son fundamentales (Sánchez Prado, 2021).

En contraste, Cloud Computing ofrece una mayor estabilidad en los tiempos de ejecución, pero su latencia promedio es más alta, lo que puede ser un inconveniente para aplicaciones que requieren respuestas rápidas. A medida que la carga supera ciertos umbrales, ambos sistemas muestran señales de saturación, pero la flexibilidad de Edge Computing para adaptarse a incrementos de carga es más eficiente (Muñoz Sicilia, 2023).

Esto resalta la importancia de tener una arquitectura flexible y adaptable, como sugiere Candanedo (2020), para enfrentar la variabilidad de las demandas de los sistemas.

Además, Zhang & Pandey (2021) resaltan cómo la agilidad de la nube permite integrar de manera más sencilla servicios que necesitan una mayor escalabilidad en tiempos de alta demanda.

6.3. Interpretación de Resultados y su Relevancia

Los resultados obtenidos muestran que tanto Edge Computing como Cloud Computing tienen ventajas y limitaciones dependiendo de los requisitos de latencia y escalabilidad. En Edge Computing, la posibilidad de procesar los datos localmente reduce significativamente la latencia, lo que es crucial para aplicaciones en tiempo real como la conducción autónoma o IoT (Muñoz Sicilia, 2023).

Sin embargo, la eficiencia de los recursos puede verse afectada por la sobrecarga en ciertos momentos, lo que exige una gestión efectiva de la escalabilidad (Sánchez Prado, 2021). Por su parte, Cloud Computing ofrece estabilidad en los tiempos de ejecución y es ideal para aplicaciones que no requieren latencias extremadamente bajas, aunque la escalabilidad ante picos de demanda es más limitada, lo que hace que la infraestructura de la nube sea más adecuada para ciertas aplicaciones no críticas en tiempo real (Muñoz Sicilia, 2023).

Según Prisca & Kington (2024), las plataformas basadas en la nube permiten a empresas como Netflix manejar altos niveles de tráfico y asegurar la disponibilidad de sus servicios, lo que demuestra la relevancia de la escalabilidad en ambientes de nube.

6.4. Fortalezas Identificadas

6.4.1. Edge Computing

Una de las principales fortalezas de Edge Computing es su capacidad para gestionar datos localmente, lo que permite reducir la latencia y mejorar la eficiencia operativa, como se menciona en la literatura sobre el procesamiento de datos en tiempo real en industrias como la automotriz (Edge Computing, 2024). La capacidad de escalar dinámicamente al agregar

VMs según la carga también contribuye a un manejo eficiente de los recursos (Sánchez Prado, 2021).

Sin embargo, esta flexibilidad también presenta desafíos en términos de seguridad, ya que los dispositivos Edge están más expuestos a ataques físicos y lógicos, lo que hace indispensable contar con un sistema robusto de autenticación (Muñoz Sicilia, 2023). Además, la descentralización de Edge Computing plantea retos adicionales en términos de gestión y mantenimiento, como lo señala Sánchez Prado (2023), que subraya la necesidad de soluciones personalizadas de seguridad para cada entorno.

6.4.2. Cloud Computing

Las principales fortalezas de Cloud Computing se centran en su escalabilidad y flexibilidad, lo que permite a las organizaciones adaptarse rápidamente a las cambiantes condiciones del mercado (Muñoz Sicilia, 2023). La infraestructura de la nube facilita la gestión centralizada de los sistemas, lo que optimiza la operación de aplicaciones que no requieren tiempos de respuesta ultra rápidos (Sánchez Prado, 2021)

Además, Cloud Computing es capaz de manejar grandes volúmenes de datos y ofrecer servicios de manera ágil, lo que resulta beneficioso en escenarios donde la latencia no es tan crítica, como en servicios de software bajo demanda (SaaS) o almacenamiento en la nube (Muñoz Sicilia, 2023). Sin embargo, los costos asociados a la migración y mantenimiento en la nube pueden ser elevados, especialmente para pequeñas y medianas empresas, lo que debe ser considerado al seleccionar la infraestructura adecuada (Sánchez Prado, 2021).

Thomas Erl (2013) también destaca la flexibilidad que proporciona la nube, permitiendo a las organizaciones acceder bajo demanda a recursos computacionales sin la necesidad de gestionar la infraestructura, lo cual reduce costos operativos.

6.5. Estudios Comparativos y Evaluación de Infraestructura Tecnológica

Esta sección presenta un análisis técnico comparativo complementario al enfoque experimental basado en simulaciones. Se evalúan las principales características de Edge Computing y Cloud Computing, considerando dimensiones tecnológicas, económicas y regulatorias. También se realiza un benchmarking de herramientas de simulación.

Así como para sus costos se puede verificar el anexo 12.

6.5.1. Cuadro comparativo de soluciones tecnológicas

En la siguiente tabla se comparan ambos paradigmas en función de criterios clave para la toma de decisiones:

Tabla 7. Comparativa entre Edge Computing y Cloud Computing

Criterio	Edge Computing	Cloud Computing
Hardware requerido	Dispositivos IoT, gateways, servidores locales	Centros de datos, VMs, almacenamiento centralizado
Costos iniciales	Alto (infraestructura distribuida)	Medio-Bajo (modelo de pago por uso)
Escalabilidad	Media (limitada por nodos físicos)	Alta (elasticidad casi ilimitada)
Latencia esperada	Baja (procesamiento cercano al origen)	Media-Alta (dependiente de conectividad)
Proveedores disponibles	Cisco, HPE, Huawei Edge, IBM Edge	AWS, Azure, Google Cloud, Oracle

Fuente: Elaboración propia

Esta comparación permite observar cómo el procesamiento distribuido de Edge Computing favorece la latencia y la privacidad, mientras que Cloud Computing destaca en escalabilidad y disponibilidad de servicios.

6.5.2. Análisis PESTEL

Se realiza un análisis PESTEL de ambas tecnologías en el contexto ecuatoriano, considerando factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales:

Tabla 8. *Análisis PESTEL de Edge vs Cloud Computing*

Dimensión	Edge Computing	Cloud Computing
Política	Falta de políticas claras de despliegue distribuido en Ecuador	Marco normativo más maduro y reconocido (LOPDP, ISO)
Económica	Alto costo operativo inicial en entornos descentralizados	Modelo escalable favorece inversión controlada
Social	Baja adopción en zonas rurales por desconocimiento	Mayor adopción por parte de empresas y gobierno
Tecnológica	Procesamiento local más eficiente; ideal para 5G e IoT	Amplio soporte para IA, Big Data y DevOps
Ecológica	Reduce consumo de ancho de banda, mayor eficiencia energética	Mayor huella ecológica por consumo en centros de datos
Legal	Desafíos de cumplimiento normativo en dispositivos locales	Cumple con regulaciones internacionales, más auditado

Fuente: Elaboración propia

Este análisis evidencia que, si bien la nube cuenta con mayor madurez normativa y penetración, Edge Computing presenta ventajas emergentes en eficiencia energética y adecuación al despliegue de redes 5G, aunque requiere mayor apoyo institucional y económico.

6.5.3 Benchmarking de herramientas de simulación

Para evaluar el rendimiento de arquitecturas cloud y edge, se analizaron tres simuladores disponibles. A continuación, se detallan sus principales fortalezas y limitaciones:

Tabla 9. *Benchmarking de Simuladores para Computación Distribuida*

Simulador	Fortalezas	Limitaciones
CloudSim Plus	Versión moderna, mejor arquitectura OO, flexible para simulaciones Cloud	Orientado principalmente a Cloud; no incluye Fog por defecto
iFogSim	Diseñado específicamente para IoT y Edge, extensible	Basado en CloudSim antiguo, menor mantenimiento
EdgeCloudSim	Enfoque específico en latencia y movilidad en entornos Edge	Documentación limitada, comunidad pequeña

Fuente: Elaboración propia

El benchmarking permitió identificar a CloudSim Plus como la mejor opción para modelar infraestructuras cloud de forma extensible y moderna, mientras que iFogSim y EdgeCloudSim ofrecen ventajas específicas para evaluar topologías de borde y latencia.

6.5.6 Estudio de Compatibilidad e Interoperabilidad de Sistemas Cloud-Edge

En el contexto de la informática distribuida, la interoperabilidad entre sistemas Cloud y Edge Computing es esencial para garantizar una comunicación fluida, segura y eficiente entre dispositivos locales y plataformas remotas. La capacidad de integrar servicios en la nube con nodos de borde permite a las organizaciones implementar soluciones híbridas que aprovechan la baja latencia del procesamiento local y la escalabilidad del almacenamiento y análisis en la nube.

La interoperabilidad se alcanza a través de protocolos estandarizados, contenedores, APIs RESTful, y plataformas intermedias que actúan como puentes entre ambos entornos. Tecnologías como MQTT, Docker, Kubernetes, y herramientas específicas de proveedores (como AWS Greengrass o Azure IoT Edge) permiten que los dispositivos de borde operen de

forma sincronizada con centros de datos en la nube, manteniendo consistencia en el procesamiento, seguridad y gobernanza de los datos.

Este tipo de integración es especialmente valiosa en aplicaciones industriales, sistemas de salud, monitoreo urbano e infraestructuras inteligentes, donde los datos se generan en entornos locales y deben ser analizados, visualizados o almacenados de manera centralizada. A continuación, se presentan algunos ejemplos representativos:

Tabla 10. Ejemplos de interoperabilidad entre sistemas Edge y Cloud

Combinación tecnológica	Descripción de interoperabilidad	Aplicación práctica
MQTT + AWS Greengrass	MQTT permite comunicación ligera entre sensores y el edge; AWS Greengrass extiende servicios cloud a dispositivos locales.	Monitoreo IoT industrial con análisis en tiempo real.
Azure IoT Edge + Azure Cloud	Plataforma de Microsoft que despliega módulos de inteligencia artificial o procesamiento en el borde, sincronizados con la nube.	Diagnóstico médico distribuido, ciudades inteligentes.
Docker + Kubernetes (K3s)	Contenedores ligeros desplegados en nodos edge; orquestados desde la nube usando clústeres centralizados.	Fábricas inteligentes con actualización remota.
Google Cloud IoT + Edge TPU	Dispositivos Edge TPU procesan IA en tiempo real; los resultados se sincronizan con Google Cloud para almacenamiento o visualización.	Reconocimiento visual en cámaras de vigilancia urbana.
REST APIs + JSON (genérico)	Interfaces universales para enviar y recibir datos entre edge y cloud sin depender de proveedor específico.	Agricultura inteligente, sistemas de riego autónomos.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La comparación de componentes muestra que Edge Computing, al procesar datos cerca del origen, mejora la latencia, la privacidad y la respuesta en tiempo real, siendo clave para IoT, vehículos autónomos y entornos industriales críticos. En contraste, Cloud Computing sobresale por su escalabilidad, centralización y capacidad de análisis masivo, lo que lo hace más eficiente en contextos de Big Data y servicios globales.

En Edge Computing, la dispersión geográfica de dispositivos incrementa riesgos físicos y lógicos, requiriendo medidas robustas de cifrado y protección local. En Cloud Computing, la centralización facilita controles bajo ISO 27001, pero la dependencia del proveedor representa un desafío. La aplicación de buenas prácticas de seguridad basada en normativas internacionales resulta esencial en ambos modelos.

Las simulaciones en CloudSim Plus demostraron que Edge Computing reduce significativamente la latencia en entornos con alta sensibilidad temporal, mientras que Cloud Computing ofrece mayor escalabilidad y optimización de costos en cargas de trabajo extensivas. Los resultados confirman que cada arquitectura responde de forma diferenciada según el tipo de aplicación.

El análisis evidencia que los modelos híbridos permiten integrar la baja latencia y procesamiento local del Edge con la escalabilidad y gestión centralizada de la nube, generando arquitecturas más equilibradas y adaptables. Esta combinación representa una estrategia clave para optimizar recursos, reducir costos y mejorar la seguridad en sistemas distribuidos modernos.

Resumen de hallazgos clave

El análisis comparativo entre Edge Computing y Cloud Computing ha revelado que cada uno presenta ventajas y desafíos significativos. En términos de costos operativos, Cloud Computing resulta ser más económico a largo plazo debido a la menor inversión inicial y la gestión simplificada de recursos, "la adopción de modelos de servicios en la nube permite a las empresas adaptarse rápidamente a las cambiantes condiciones del mercado. Por otro lado, Edge Computing requiere una inversión mayor debido a la infraestructura distribuida y los costos asociados con la administración de dispositivos, pero ofrece ventajas clave en términos de latencia y procesamiento local de datos, siendo ideal para aplicaciones que requieren tiempos de respuesta rápidos.

En cuanto a la seguridad, ambos modelos tienen retos distintivos. Edge Computing enfrenta riesgos mayores debido a la dispersión geográfica de sus dispositivos y la falta de un control físico centralizado, lo que puede dificultar la implementación de medidas de seguridad física y lógica. Sin embargo, su capacidad para procesar datos de manera local y cerca de los dispositivos que los generan mejora la privacidad y la protección de datos. Las vulnerabilidades en la nube están en constante evolución, y los atacantes desarrollan nuevas técnicas para explotar las debilidades en la infraestructura, lo que también destaca la importancia de aplicar seguridad robusta en ambos modelos. Cloud Computing, al contar con centros de datos centralizados, facilita la implementación de medidas de seguridad robustas, pero depende en gran medida del proveedor para garantizar la protección de la infraestructura y los datos.

Impacto en la informática distribuida

La adopción de Edge Computing está cambiando la forma en que los datos son procesados y gestionados, particularmente en entornos donde la latencia es crítica, como en aplicaciones IoT, vehículos autónomos o realidad aumentada. El Edge Computing reduce la latencia y mejora la seguridad en los sistemas de conducción autónoma al permitir el

procesamiento de datos crítico directamente en el vehículo. Cloud Computing, por su parte, sigue siendo la opción preferida para empresas que buscan escalabilidad y flexibilidad, ofreciendo una infraestructura compartida que permite optimizar recursos a gran escala. Ambos modelos siguen impulsando la evolución de la informática distribuida, con enfoques complementarios para satisfacer diversas necesidades, a través de la comparación de diferentes arquitecturas, se destaca la necesidad de una mayor flexibilidad y adaptabilidad en el diseño de soluciones de Edge Computing.

Líneas futuras de investigación

Una de las principales áreas de investigación futura debería centrarse en la creación de arquitecturas híbridas que combinen lo mejor de Edge y Cloud Computing. Estas arquitecturas permitirían a las organizaciones aprovechar la baja latencia y el procesamiento local de Edge Computing junto con la escalabilidad y la gestión centralizada de la nube. La investigación en seguridad distribuida en Edge Computing, incluyendo mecanismos de cifrado y protección de datos en entornos físicos no controlados, es crucial para hacer frente a los desafíos que presenta su infraestructura descentralizada. Los dispositivos Edge suelen encontrarse en ubicaciones remotas y menos seguras, lo que hace esencial la implementación de medidas de protección física, como cajas de seguridad o sistemas de vigilancia. Por último, la gestión de riesgos y el cumplimiento normativo en ambos modelos deben ser evaluados y mejorados, con especial énfasis en cómo las normativas internacionales, como el GDPR, afectan la protección de datos en entornos distribuidos, la proliferación de dispositivos IoT y la expansión de Edge Computing intensifican la necesidad de marcos regulatorios específicos que aborden la seguridad y la gestión de datos distribuidos.

Recomendaciones para empresas ecuatorianas

En Ecuador, donde muchas empresas son pequeñas o medianas y carecen de grandes capitales, Cloud Computing surge como una opción más viable y rentable a corto

plazo. Las empresas con recursos limitados pueden aprovechar la infraestructura flexible y escalable que ofrece la nube, sin tener que realizar grandes inversiones iniciales ni gestionar infraestructuras complejas. No obstante, Edge Computing se presenta como una opción óptima para procesos tecnológicos ligados a diversas áreas, siempre y cuando las empresas cuenten con el capital necesario para afrontar la inversión inicial y los costos operativos asociados.

La adopción de modelos de servicios en la nube permite a las empresas adaptarse rápidamente a las cambiantes condiciones del mercado, lo que hace de Cloud Computing una opción estratégica para empresas ecuatorianas que buscan flexibilidad y escalabilidad. Sin embargo, Edge Computing puede ofrecer ventajas significativas si se implementa correctamente, especialmente en aplicaciones donde la latencia y el procesamiento local de datos son cruciales. La capacidad de Edge Computing para gestionar datos localmente es un factor clave para su adopción, especialmente en aplicaciones como IoT, donde la latencia y la velocidad de respuesta son cruciales, lo que lo convierte en una solución ideal para industrias que requieren tiempos de respuesta rápidos.

Aunque la implementación de Edge Computing en Ecuador puede requerir una mayor inversión en infraestructura, equipos y personal capacitado, sus beneficios a largo plazo son significativos. Edge Computing permite procesar los datos cerca de su origen, lo que mejora la latencia y la eficiencia en aplicaciones que requieren tiempos de respuesta rápidos, como IoT, vehículos autónomos, o incluso en industrias como la manufactura y la atención médica. La latencia en Edge Computing es significativamente menor que en la nube, lo que lo convierte en la opción preferida para aplicaciones en tiempo real. Este modelo no solo optimiza el uso de recursos, sino que ofrece una mayor independencia y control sobre los datos, lo que puede ser esencial para empresas que manejan información sensible o necesitan garantizar la continuidad de sus operaciones sin depender completamente de la conectividad a internet.

Además, al invertir en Edge Computing, las empresas ecuatorianas estarían sentando las bases para una infraestructura más robusta y escalable en el futuro. Este tipo de tecnología es cada vez más relevante en un mundo donde la cantidad de datos generados por dispositivos conectados crece exponencialmente. Las arquitecturas de referencia de Edge Computing son esenciales para guiar el desarrollo y la implementación de soluciones en la Industria 4.0, asegurando interoperabilidad y eficiencia. Si se implementa correctamente, Edge Computing puede posicionar a las empresas ecuatorianas a la vanguardia tecnológica, mejorando su capacidad para innovar y mantenerse competitivas a largo plazo.

Por lo tanto, si existe el capital correspondiente y una visión estratégica de crecimiento, Edge Computing puede ser una inversión clave para el futuro, brindando una infraestructura sólida y más adaptada a las necesidades específicas de procesos tecnológicos avanzados. Sin embargo, esto requiere una planificación cuidadosa y una evaluación de los recursos necesarios, lo que hace que, en un primer momento, Cloud Computing siga siendo una opción más accesible y adecuada para muchas empresas con menos capital en Ecuador.

Recomendaciones/Propuesta

Las estrategias tecnológicas propuestas en este capítulo corresponden al cumplimiento del cuarto objetivo específico del presente trabajo. Estas estrategias, derivadas del análisis comparativo y los resultados obtenidos mediante simulaciones, se presentan a modo de documentación técnica estructurada.

Esta documentación se incorpora como un capítulo final dentro del trabajo integrador curricular, con el propósito de orientar futuras implementaciones de soluciones híbridas en entornos reales. Asimismo, puede ser utilizada como guía de referencia para instituciones que evalúan migrar o complementar sus infraestructuras digitales con arquitecturas de Edge y Cloud Computing.

Con base en los hallazgos y el análisis realizado, se recomienda que los resultados de las simulaciones sean ajustados a un modelo flexible que permita aumentar o disminuir las capacidades de los recursos de manera dinámica. Esto permitirá que el sistema sea más realista y adaptativo ante los cambios en la demanda o en las condiciones operativas. Un modelo de este tipo debe poder optimizar el uso de recursos de acuerdo con las necesidades en tiempo real, lo que también contribuiría a mejorar la eficiencia y reducir costos operativos.

Además, se propone desarrollar un modelo híbrido que combine los beneficios de Edge Computing y Cloud Computing, para que los procesos se gestionen de forma más eficiente. Este modelo debe considerar el procesamiento local de datos en Edge Computing y la escalabilidad de recursos en la nube, creando así una infraestructura que se adapte a las exigencias de aplicaciones con baja latencia y también a la necesidad de procesamiento masivo de datos. Para ello, será esencial que se comprenda el flujo de datos entre ambas arquitecturas y cómo gestionarlas de forma integral.

Es crucial también tener en cuenta los errores en el ancho de banda o aquellos errores que no están directamente relacionados con el modelo de computación en la nube o en el borde. Estos errores son típicos de cualquier sistema informático y pueden influir en la

latencia. Se sugiere que, en estos casos, la latencia se considere de manera no lineal y para así agregar complejidad a los modelos. Es importante que los modelos de simulación sean capaces de simular estos escenarios y que los errores sean identificados para garantizar una mayor precisión en los resultados.

En cuanto a los costos, es necesario incluir variabilidad en las simulaciones, especialmente en relación con la latencia, que no siempre se aborda de manera realista en los modelos actuales. Además, se debe considerar el mantenimiento de los sistemas Edge, ya que este modelo tiene costos adicionales asociados, como la gestión de dispositivos distribuidos y la infraestructura necesaria para garantizar su operatividad. Para tener una referencia más precisa de los costos, se recomienda agregar un modelo de Edge Computing implantado, utilizando datos de empresas como Google, que ofrecen precios actualizados y detallados para soluciones basadas en la nube y en el borde. Esto permitirá tener una visión más clara de las inversiones necesarias y los costos operativos asociados a cada tipo de arquitectura.

Finalmente, las futuras investigaciones deben seguir profundizando en la optimización de ambos modelos, especialmente en los aspectos de seguridad, gestión de datos y eficiencia de los recursos. Incorporar variables como el costo de mantenimiento, la flexibilidad en la escalabilidad de recursos y la reducción de errores en la transmisión de datos son aspectos clave para desarrollar soluciones tecnológicas más robustas y sostenibles.

Bibliografía

ARCOTEL. (2024). *Rendición de Cuentas 2024 – ARCOTEL*. Obtenido de La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones: <https://www.arcotel.gob.ec/rendicion-de-cuentas-2024-arcotel/>

Asamblea Nacional. (05 de 2021). *Ley orgánica de protección de datos personales*. Obtenido de https://www.finanzaspopulares.gob.ec/wp-content/uploads/2021/07/ley_organica_de_proteccion_de_datos_personales.pdf

AWS. (2024). *¿Qué es la computación distribuida?* Obtenido de Amazon Web Services: <https://aws.amazon.com/es/what-is/distributed-computing/>

Báez, C. I., & Clunie, C. E. (2020). *El modelo tecnológico para la implementación de un proceso de educación ubicua en un ambiente de computación en la nube móvil*. Obtenido de Revista UIS Ingeniería: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/000000010364>

Balseco, M. (29 de Enero de 2025). *5G y su Impacto en IoT*. Obtenido de PUCE Sede Ambato: <https://www.pucesa.edu.ec/5g-y-su-impacto-en-iot/>

Barros , A., & Peralta, C. (2023). *Análisis de la influencia de Mobile Edge Computing sobre la calidad de servicio percibida por el equipo de usuario en aplicaciones con requerimientos de tiempo real*. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13698/1/19222.pdf>

Benhanifia, A., & Ben, Z. (2025). *Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667305325000274>

Bonnaire, L., & Montoya, B. (2021). *Procesamiento de imágenes multiespectrales captadas con drones para evaluar el índice de vegetación de diferencia normalizada en*

plantaciones de café variedad Castillo. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7942575.pdf>

Candanedo, I. (2020). *Arquitectura inteligente Edge Computing para entornos IoT.* Obtenido de Universidad de Salamanca: <https://gredos.usal.es/handle/10366/143827>

CEPAL. (2021). *Las Oportunidades de la Digitalización en América Latina.* Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/657e3543-74b1-4163-89e5-8e422d23edd8/content>

Chiluisa, J., & Loachamin, L. (2022). *Desarrollo de un sistema scada 4.0 utilizando herramientas IIOT para una planta de entrenamiento de procesos continuos controlada remotamente.* Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23367>

Edge Computing. (2024). *Reporte de Tecnología.* Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Tech-Report-Edge-Computing.pdf>

Estacio, M. (2023). *Despliegue de plataforma Multi-Access Edge Computing que soporte una aplicación de detección de proximidad entre objetos móviles en espacios interiores.* Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/items/f8c144b2-d9e6-4e96-8101-a7f04a76e1d1>

Gahona, R., & Gavilema, A. (2020). *Diseño de la red internet de las cosas (IoT) para el edificio de la empresa Consel.* Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18755/4/UPS%20-%20ST004528.pdf>

Gallegos, L., & Lynch, D. (2024). *Revisión de literatura de la norma ISO/IEC 27001 en el sector de las telecomunicaciones de la ciudad de Guayaquil: Evaluación de la seguridad de las redes y sistemas informáticos.* Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28028/1/UPS-GT005471.pdf>

García, E. (22 de Diciembre de 2024). *Exploring the possibilities of edge computing in the age of connectivity*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9695414.pdf>

Garnica, E., & Guerrero Joan. (2024). *Exploring the possibilities of edge computing in the age of connectivity*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9695414.pdf>

GlobalSuite, S. (2023). *¿Qué es la norma ISO 27001 y para qué sirve?* Obtenido de <https://www.globalsuitesolutions.com/es/que-es-la-norma-iso-27001-y-para-que-sirve/>

Gomez, N., & Borja, U. (6 de Septiembre de 2022). *Estrategia de selección de hardware y algoritmos de inteligencia artificial en entornos 'edge computing'*. Obtenido de DYNA Ingeniería e Industrial: <https://www.revistadyna.com/busqueda/estrategia-de-seleccion-de-hardware-y-algoritmos-de-inteligencia-artificial-en-entornos-edge-computi>

Guamán Cabrera, S. (2022). *Desarrollo de un software para el modelado y simulación de infraestructura de cloud computing utilizando cloudsims*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22139/1/UPS-CT009633.pdf>

IBM. (2023). *¿Qué es el edge computing?* Obtenido de International Business Machines: <https://www.ibm.com/es-es/topics/edge-computing>

Información, M. d. (2025). *Política pública para la transformación digital del Ecuador 2025-2030*. Obtenido de https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/2025/03/INSTRUMENTO-Politica-Publica-para-la-Transformacion-Digital-Ecuador-2025-2030-MINTEL-signed_f.pdf

Instituto de Ingeniería del Conocimiento. (2022). *El Big Data y la nube: los servicios Cloud*. Obtenido de www.iic.uam.es

IONOS. (11 de Septiembre de 2023). *Edge computing o cómputo en el borde*. Obtenido de IONOS Digital Guide: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/known-how/edge-computing/>

Jeron, R., & Karacora, Y. (2024). *Resilience and Criticality: Brothers in Arms for 6G*. Obtenido de <https://arxiv.org/html/2412.03661v1>

Kumar, R., & Rahman, A. (2021). *A study on sensor system latency in VR motion sickness*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2224-2708/10/3/53>

Kumari, P. (Diciembre de 2021). *Un estudio sobre la tolerancia a fallos en la computación en la nube*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157818306438>

Melo, J., & Proaño, J. (2024). *Implementación serverless del ecommerce shopify en amazon web services*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27245>

Mendoza Campos, E. A. (15 de Octubre de 2021). *Propuesta de una guía de procesos para el traslado del centro de datos a computación en la nube para la Municipalidad del cantón de Puntarenas*. Obtenido de Universidad de Costa Rica: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/items/71fd036a-e6bb-4e2b-b00b-d93e03f9b84c>

Mero, L., & Macías, E. (2025). *Technological models of cloud computing in the digital transformation of higher education: A Systematic Literature*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9966610.pdf>

MINTEL. (2023). *Política pública de telecomunicaciones*. Obtenido de Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información: https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2023/06/Poli%CC%81tica-Pu%CC%81blica-Telecomunicaciones-2023-2025-con-ANEXOS-nuevos-signed-signed-signed-signed_firmado.pdf

Monroy, S. (24 de Marzo de 2025). *Edge computing vs cloud computing: ¿cuál es la mejor estrategia para las empresas?* Obtenido de Asociación para el Progreso de la Dirección: <https://www.apd.es/edge-computing-vs-cloud-computing/>

Moreno, J. (2022). *CI/CD en Infraestructura como código (IaC). Caso práctico en Amazon Web Services (AWS)*. Obtenido de <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/145707>

Muñoz Sicilia, J. (19 de Diciembre de 2023). *Análisis y gestión de arquitectura de microservicios en redes de computación de borde para la monitorización de señales cardiovasculares*. Obtenido de Universidad de Jaén: <https://crea.ujaen.es/items/2d572a13-1fad-4230-b327-5337c7e949f4>

On-Piu, J. (2020). *Digital Transformation in the Era of Big Data and Cloud Computing*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/346796101_Digital_Transformation_in_the_Era_of_Big_Data_and_Cloud_Computing

Pabón, H., & Andrade, E. (2025). *Digitalización y desarrollo sostenible de la Mipyme en la provincia de Imbabura, Ecuador*. Obtenido de <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/visionempresarial/article/view/1341?articlesBySimilarityPage=5>

Peréz, M., & Rodríguez, J. (2021). *Interoperabilidad en la gestión documentaria en el sector público*. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/507/647>

Powell, P., & Smalley, I. (2024). *Responsible data center development*. Obtenido de <https://vcnva.org/agenda-item/responsible-data-center-development/>

Praveen, K. (26 de Septiembre de 2023). *Explorando el potencial de los sistemas continuos de computación distribuida*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-431X/12/10/198>

Prisca, C., & Kington, L. (2024). *Transformación de la escalabilidad empresarial y la flexibilidad operativa con tecnologías avanzadas de computación en la nube*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/381717527_Transforming_business_scalability_and_operational_flexibility_with_advanced_cloud_computing_technologies

Quiñonez, F., & Maza, C. (1 de January de 2022). *Evaluation of AIoT performance in Cloud and Edge computational models for mask detection*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://doi.org/10.17163/ings.n27.2022.04>

RedHat. (31 de Marzo de 2021). *¿Qué es el edge computing?* Obtenido de <https://www.redhat.com/es/topics/edge-computing/what-is-edge-computing>

Samon, D., & Oluwaseyi, J. (2024). *Análisis de big data basado en la nube (aws, azure, google cloud)*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/385885475_Cloud-based_big_data_analytics_aws_azure_google_cloud

Sánchez Prado, S. (Junio de 2021). *Cloud Computing: fundamentos y despliegue de un servicio en la nube*. Obtenido de <https://repositorio.uam.es/handle/10486/697844>

Sittón, I., & Muñoz, L. (26 de Agosto de 2020). *Arquitecturas de Referencia Edge Computing para la Industria 4.0: una revisión*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Panamá: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/2284>

Stackscale. (2023). *Modelos de servicio cloud*. Obtenido de <https://www.stackscale.com/es/blog/modelos-de-servicio-cloud/>

Suquinahua, R., & Torres, C. (2024). *Propuesta de una solución para mejorar el control de acceso de los usuarios qu utilizan los servicios de la nube*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28998/1/UPS-CT011763.pdf>

Ullah, I., & Su, X. (2025). *Integration of data science with the intelligent IoT (IIoT): Current challenges and future perspectives*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864824000269>

Valencia, A. (02 de February de 2024). *Research Trends in the Use of Cloud Computing in Containerization between 2015 and 2023*. Obtenido de Fundación Universitaria Católica del Norte: <https://www.redalyc.org/journal/1942/194277606012/html/>

Xu, X., & Zang, S. (2024). *Arquitectura y plataformas inteligentes para sistemas de nube periférica privada: una revisión*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X24003248>

Zhang, S., & Pandey , A. (2021). *Practical adoption of cloud computing in power systems- drivers, challenges, guidance, and real-world use cases*. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2108.00303>

Anexos

Anexo 1. Simulación general entorno para ejecución.

Documentación del código

Configuración del entorno de desarrollo

Paso 1: Configurar el entorno Java

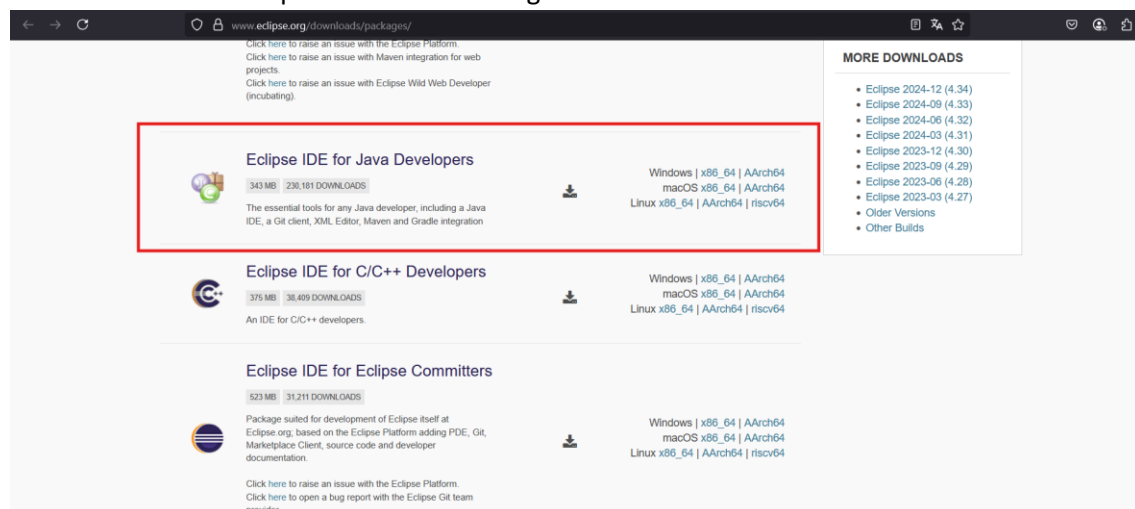
El primer requisito es tener instalado el Java Development Kit (JDK). Para trabajar sin problemas con CloudSim 5, es vital usar una versión compatible, como JDK 21. Descarga e instala esta versión desde el sitio oficial de Oracle para asegurar que tu entorno esté configurado correctamente.

Paso 2: Obtener la librería CloudSim

A continuación, dirígete al repositorio oficial de CloudSim en GitHub. Busca la última versión del proyecto y descárgala en formato .zip. Guarda el archivo en una ubicación accesible y extráelo.

Paso 3: Abrir el proyecto en Eclipse

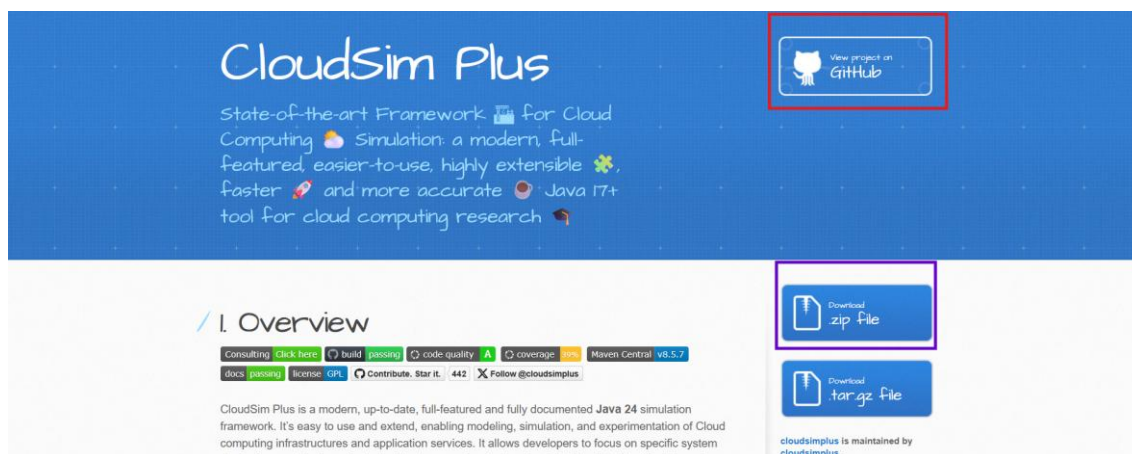
Inicia tu IDE, que para este proyecto es Eclipse. Con Eclipse abierto, estarás listo para importar los archivos de CloudSim que acabas de descargar.



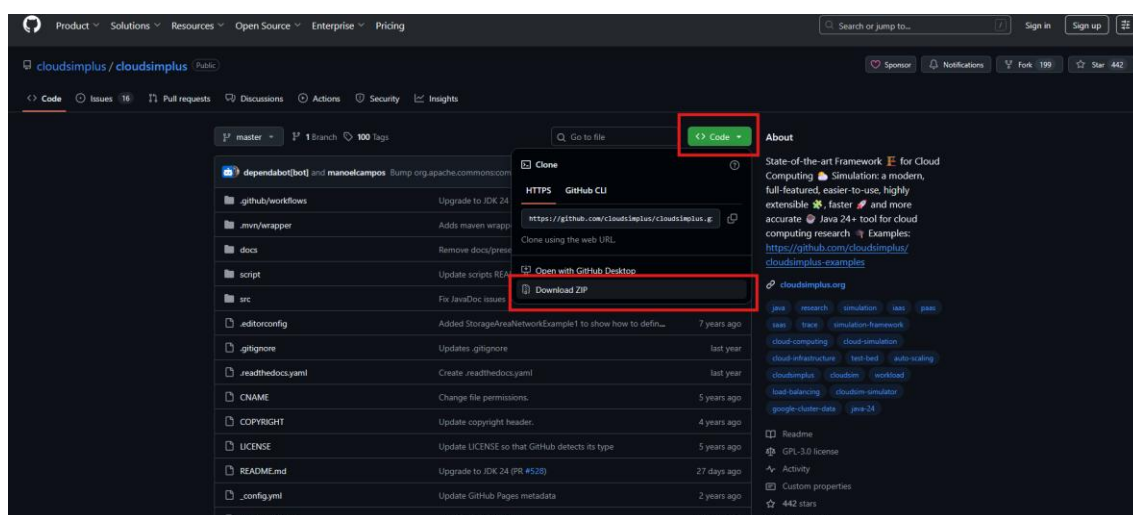
Paso 2: Descarga de librería CloudSim Plus

Para comenzar, descarga la librería CloudSim Plus desde su sitio web oficial en cloudsimplus.org. Tienes dos opciones:

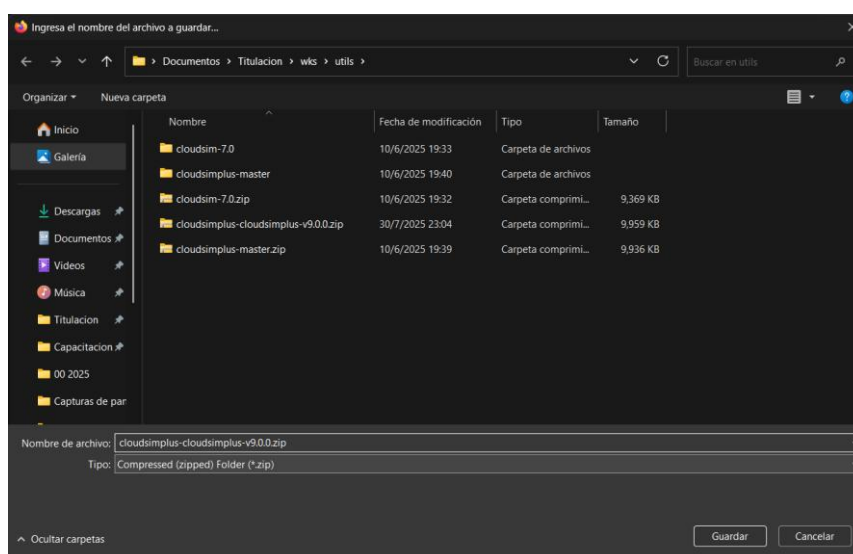
- Hacer clic en el botón de descarga directa (el que está señalado en morado en la imagen de referencia).
- Ir al repositorio de GitHub para obtener la última versión (el que está señalado en rojo en la imagen de referencia).



Nota: Para la opción de descarga por la página de Github seguir los pasos por pantalla a continuación

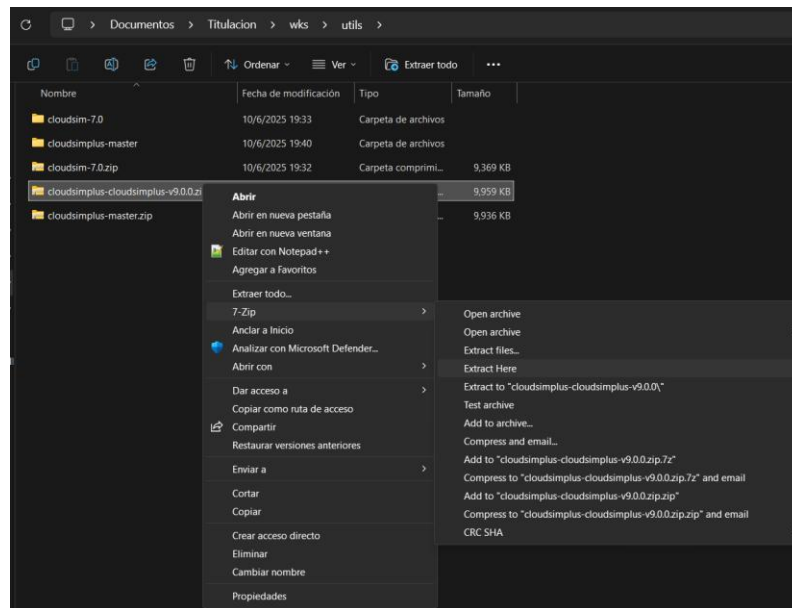


En ambas opciones se desplegará una ventana donde buscaremos nuestra carpeta de trabajo

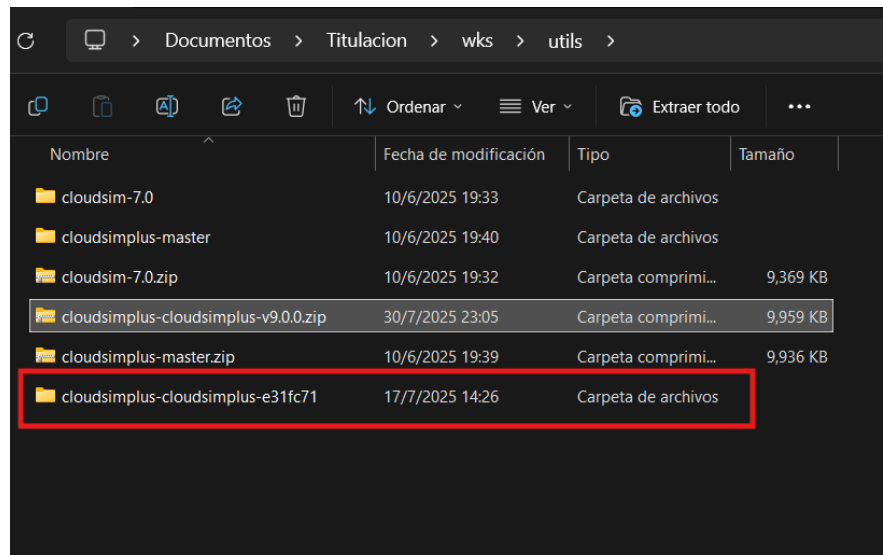


Luego clic en Guardar.

Buscamos el archivo .zip y ejecutamos los pasos a continuación, para extraer el archivo.



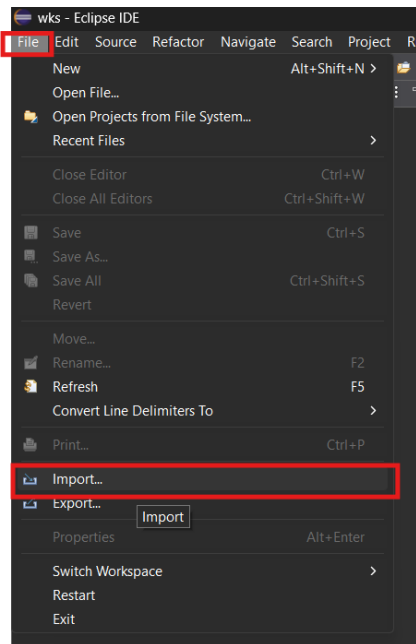
Como resultado nos dejara una carpeta como la siguiente marcada en rojo



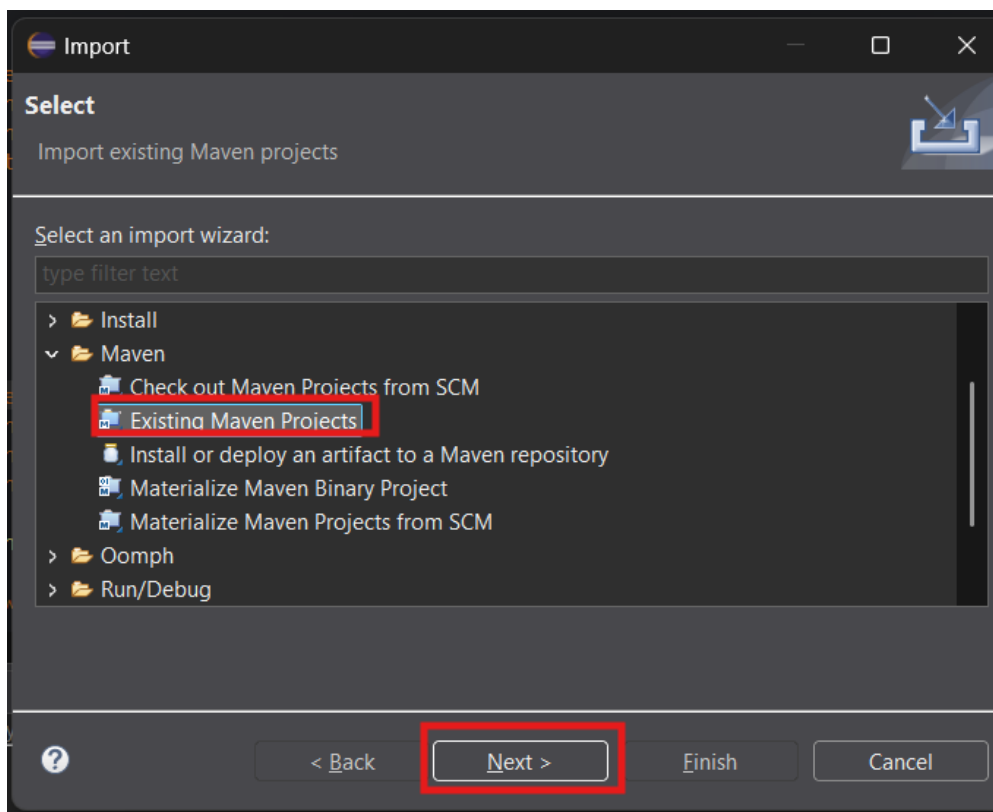
Paso 3: Importación del proyecto en Eclipse

En Eclipse, clic en "File > Import > Existing Projects into Workspace", como se muestra a continuación.

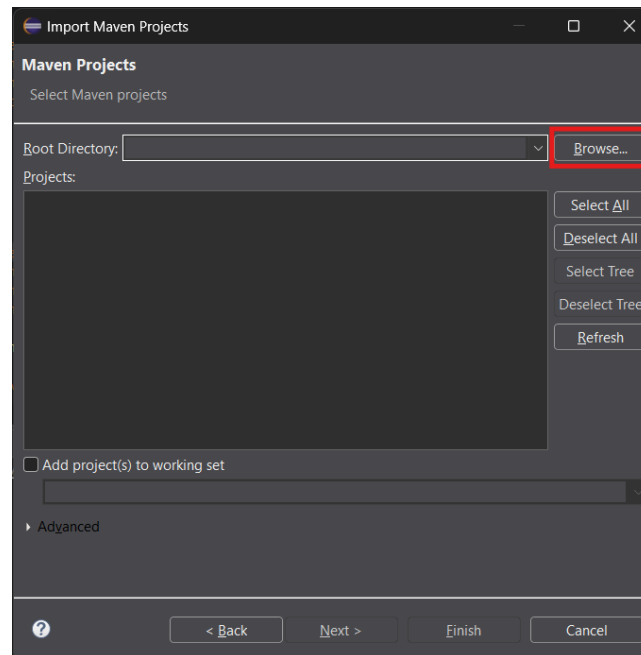
busqué la carpeta donde a extraído CloudSim e importe el proyecto como Maven project



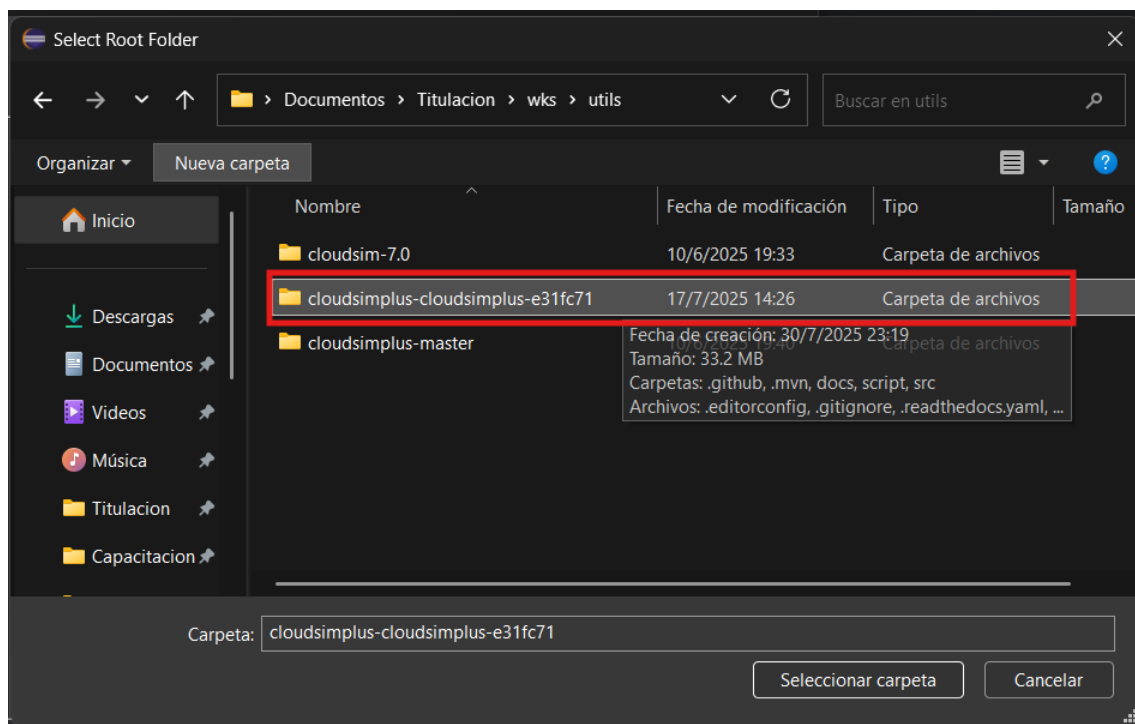
Selezione en "MAVEN > Existing Maven Projects > Next"



Clic en Browse..



Buscamos la carpeta extraída anteriormente para importar el proyecto.



Luego CLIC en finish.

El proyecto esta importado en nuestra carpeta de trabajo.

Anexo 2. Simulación 1

El propósito de este código es simular una infraestructura Cloud Computing con CloudSim Plus en la que las tareas (Cloudlets) pueden llegar de forma estática al inicio o aleatoriamente durante la ejecución de la simulación, para evaluar el comportamiento del sistema en un entorno dinámico.

Se busca:

- Analizar cómo se comportan los recursos (VMs y hosts) ante la llegada variable de cargas.
- Observar métricas como la latencia y la cantidad total de tareas procesadas.
- Simular una arquitectura cloud centralizada en contraste con otras como Edge Computing.

Configuración Técnica del Código

Parámetro	Valor	Descripción
Hosts	8	Cada host representa un servidor físico
PEs por Host	8	Total 64 PEs disponibles en el datacenter
RAM por Host	2048 MB	Memoria disponible por host
Ancho de Banda (BW)	10,000 Mb	Capacidad de red por host
Almacenamiento	1,000,000 MB	Espacio en disco por host
Scheduler de VM	VmSchedulerTimeShared	Política de compartición de CPU entre VMs

Máquinas virtuales

Parámetro	Valor	Descripción
Número de VMs	10	VMs instanciadas al inicio
PEs por VM	4	Unidades de procesamiento por VM
RAM	1000 MB	Memoria asignada a cada VM
Ancho de Banda	1000 Mb	Capacidad de red por VM
Scheduler de Cloudlet	CloudletSchedulerTimeShared	Compartición de CPU entre cloudlets

Tareas (Cloudlets)

Parámetro	Valor	Descripción
-----------	-------	-------------

Iniciales	24	Cloudlets cargadas al inicio
Aleatorias	Generadas durante simulación	Si $\text{random.sample()} \leq 0.3$, se crea un cloudlet
PEs requeridos	2	Recursos que usa cada cloudlet
Longitud	10,000 MI	Cantidad de instrucciones a ejecutar
Uso de CPU	100%	UtilizationModelFull
Uso de RAM y BW	20%	UtilizationModelDynamic(0.2)

Simulación

Parámetro	Valor	Descripción
Iniciales	24	Cloudlets cargadas al inicio
Aleatorias	Generadas durante simulación	Si $\text{random.sample()} \leq 0.3$, se crea un cloudlet
PEs requeridos	2	Recursos que usa cada cloudlet
Longitud	10,000 MI	Cantidad de instrucciones a ejecutar
Uso de CPU	100%	UtilizationModelFull
Uso de RAM y BW	20%	UtilizationModelDynamic(0.2)

¿Qué evalúa este código?

1. Carga dinámica de trabajo

- Evalúa cómo la infraestructura responde ante la llegada aleatoria de nuevas tareas mientras ya se están ejecutando otras.
- Usa una distribución uniforme para decidir si una nueva tarea se genera en cada tick del reloj (cada segundo simulado).

2. Capacidad de procesamiento de la nube

- Verifica si las VMs son capaces de procesar tanto la carga inicial como la adicional sin demoras excesivas.
- Se puede observar si hay saturación de recursos (VMs ocupadas) a medida que llegan más cloudlets.

3. Latencia

- Calcula la latencia de cada cloudlet, es decir, el tiempo total desde que inicia hasta que finaliza su procesamiento:

4. Eficiencia en el uso de recursos

- A través del scheduler de CPU compartido (TimeShared) se analiza cómo se distribuye el procesamiento entre múltiples tareas concurrentes.

5. Resultados obtenidos mediante consola

SIMULATION RESULTS												
Cloudlet	Status	DC	Host	Host PEs	VM	VM PEs	CloudletLen	FinishedLen	CloudletPEs	StartTime	FinishTime	ExecTime
ID		ID	ID	CPU cores	ID	CPU cores	MI	MI	CPU cores	Seconds	Seconds	Seconds
0	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
1	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
2	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
3	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
4	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
5	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
6	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
7	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	5.1	15.1	10.0
8	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	6.1	16.2	10.1
9	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	7.1	17.2	10.1
10	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	8.1	18.2	10.1
11	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	9.1	19.2	10.1
12	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	11.2	21.3	10.1
13	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	14.2	24.3	10.1
14	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	14.9	24.9	10.0
15	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	15.9	26.3	10.4
16	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	16.3	26.8	10.5
19	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	17.3	27.4	10.1
18	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	17.1	27.6	10.4
17	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	17.1	27.7	10.6
20	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	18.1	28.6	10.4
21	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	18.2	28.6	10.3
22	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	19.1	29.7	10.6
23	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	19.2	29.8	10.6
24	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	19.3	29.8	10.5

Para una mayor cantidad de tiempo los resultados obtenidos son los siguientes.

SIMULATION RESULTS												
Cloudlet	Status	DC	Host	Host PEs	VM	VM PEs	CloudletLen	FinishedLen	CloudletPEs	StartTime	FinishTime	ExecTime
ID		ID	ID	CPU cores	ID	CPU cores	MI	MI	CPU cores	Seconds	Seconds	Seconds
0	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
1	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
2	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
3	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
4	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
5	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
6	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
7	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	4.1	14.2	10.1
8	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	7.1	17.2	10.1
9	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	10.1	20.2	10.1
10	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	12.1	22.2	10.1
11	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	13.1	23.2	10.1
12	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	13.2	23.4	10.1
13	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	14.1	24.2	10.1
14	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	14.1	24.2	10.1
15	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	14.1	24.2	10.1
16	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	14.2	24.4	10.1
17	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	15.2	25.4	10.1
18	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	16.3	26.5	10.1
19	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	16.8	26.9	10.1
20	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	17.0	27.0	10.0
21	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	17.1	27.1	10.0
22	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	17.8	27.9	10.1
23	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	19.0	29.1	10.1
24	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	19.3	29.4	10.0
25	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	20.0	30.1	10.1

Hasta este punto la varianza es mínima por la poca cantidad de datos

26	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	20.1	30.2	10.1
27	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	20.3	30.4	10.1
28	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	22.1	32.6	10.5
29	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	23.1	34.0	10.9
31	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	24.5	35.5	11.1
30	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	24.4	36.2	11.8
32	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	25.4	37.3	11.9
33	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	26.8	40.3	13.5
34	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	27.3	40.3	13.1
37	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	27.8	40.9	13.0
35	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	27.6	41.0	13.4
36	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	27.8	41.1	13.3
38	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	28.3	42.0	13.8
39	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	28.8	43.7	14.9
41	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	29.1	44.2	15.1
40	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	29.0	45.0	16.0
42	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	29.5	45.4	15.9
44	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	30.3	46.5	16.1
46	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	30.5	46.5	16.0
43	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	30.0	46.7	16.7
45	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	30.4	46.7	16.3
47	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	31.3	47.4	16.1
48	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	31.5	48.1	16.5
49	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	31.7	49.3	17.6
50	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	31.7	49.9	18.2
51	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	32.6	50.4	17.8
52	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	32.7	51.3	18.6
53	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	32.7	51.7	19.0
55	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	33.7	52.2	18.5
57	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	34.2	52.2	18.0
54	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	33.7	52.4	18.7
56	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	34.0	52.4	18.4
58	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	34.7	52.9	18.1
59	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	34.8	53.7	18.9
61	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	35.3	53.8	18.5
60	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	34.9	54.0	19.1

Los tiempos comienzan a aumentar desde las siguientes tareas después de la 35 por que se comienzan a manejar más necesidades.

Mostrando al final una varianza de 25.5 al momento de tener mas de 150 cloudlets.

120	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	66.3	88.9	22.6
121	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	66.6	89.3	22.6
122	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	66.7	89.3	22.5
124	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	67.6	90.9	23.3
123	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	67.3	91.4	24.1
126	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	68.6	91.5	22.9
128	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	68.8	91.7	22.9
125	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	68.4	91.8	23.4
129	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	69.4	92.2	22.8
127	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	68.6	92.2	23.6
130	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	69.4	93.2	23.8
131	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	69.6	93.4	23.8
132	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	70.4	94.3	23.9
136	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	71.5	95.3	23.9
139	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	72.3	95.6	23.3
135	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	71.4	95.9	24.4
138	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	72.3	96.0	23.6
134	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	71.3	96.1	24.7
137	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	71.6	96.2	24.6
141	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	72.5	96.5	24.1
140	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	72.4	96.7	24.3
133	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	71.1	96.7	25.6
142	SUCCESS	1	2	8	2	4	10000	10000	2	72.8	97.4	24.5
148	SUCCESS	1	0	8	8	4	10000	10000	2	74.1	98.0	23.9
149	SUCCESS	1	1	8	9	4	10000	10000	2	74.5	98.1	23.6
146	SUCCESS	1	6	8	6	4	10000	10000	2	73.8	98.6	24.8
145	SUCCESS	1	5	8	5	4	10000	10000	2	73.5	99.0	25.5
143	SUCCESS	1	3	8	3	4	10000	10000	2	73.1	99.1	26.1
144	SUCCESS	1	4	8	4	4	10000	10000	2	73.5	99.1	25.7
150	SUCCESS	1	0	8	0	4	10000	10000	2	74.7	99.3	24.6
151	SUCCESS	1	1	8	1	4	10000	10000	2	75.0	99.3	24.2
147	SUCCESS	1	7	8	7	4	10000	10000	2	74.0	99.5	25.5

Anexo 3. Simulación 2

Simular un entorno de **Edge Computing** utilizando CloudSim Plus, con:

- Recursos distribuidos (16 hosts con menos PEs).
- Carga dinámica de trabajo (*cloudlets* que llegan aleatoriamente durante la ejecución).
- Registro de latencia por tarea, lo cual es clave para evaluar el rendimiento en entornos Edge.

Este código está diseñado para comparar con una arquitectura Cloud que tenga la misma capacidad computacional total, pero diferente topología y comportamiento.

Funcionamiento general

1. Se inicializa una simulación con CloudSimPlus.
2. Se crea un **DataCenter de Edge** con 16 hosts (cada uno con 4 PEs).
3. Se crean 10 VMs y se asignan a un *broker*.
4. Se crean inicialmente 24 *cloudlets* y se asignan al *broker*.
5. Durante la simulación (30 segundos simulados), se generan *cloudlets aleatorios* con una probabilidad del 30% por segundo.
6. Al finalizar, se imprime:
 - Una tabla de cloudlets ejecutados.
 - Cuántos cloudlets llegaron de forma dinámica.
 - La latencia de cada cloudlet.

Constante	Descripción
EDGE_HOSTS = 16	Número de hosts simulados
EDGE_HOST_PES = 4	Núcleos por host
VMS = 10	Cantidad de máquinas virtuales
CLOUDLET_PES = 2	Núcleos requeridos por cada cloudlet
INITIAL_CLOUDLETS_NUMBER = 24	Cloudlets creados antes de la simulación
TIME_TO_TERMINATE_SIMULATION = 30	Tiempo simulado de ejecución (segundos)

Componentes del sistema simulado

- **CloudSimPlus**: Motor principal de la simulación.
- **DatacenterSimple**: Centro de datos que representa la infraestructura Edge.

- **DatacenterBrokerSimple:** Broker que gestiona la asignación de cloudlets a VMs.
- **VmSimple:** Máquinas virtuales.
- **CloudletSimple:** Tareas o unidades de trabajo que se ejecutan en las VMs.

Arquitectura Edge simulada

Recurso	Cantidad total
Hosts	16
PEs por host	4
PEs totales	64
MIPS por PE	1000

Salida esperada del programa

Al terminar la simulación, se imprime:

1. Tabla con cloudlets ejecutados (CloudletsTableBuilder).
2. Número total de cloudlets creados:
 - Iniciales (24)
 - Dinámicos (aleatorios durante la ejecución)
3. Latencia individual de cada cloudlet:

¿Qué evalúa este código?

- **Latencia** de procesamiento de tareas en un entorno Edge.
- **Capacidad de respuesta ante cargas dinámicas** (tareas impredecibles).
- Eficiencia con recursos más distribuidos (más nodos con menos PEs).
- Comparación potencial con una simulación tipo *Cloud* con misma capacidad total pero diferente estructura.

Anexo 4. Simulación 3

Este código implementa una simulación basada en la herramienta CloudSim Plus, cuyo propósito es modelar y evaluar el comportamiento de una infraestructura de computación en la nube frente al procesamiento de tareas (cloudlets) bajo una carga creciente. La simulación se centra en dos métricas clave: la latencia promedio por cloudlet y el costo total estimado de transferencia de datos, que son fundamentales para entender la eficiencia y viabilidad económica de los entornos cloud.

Objetivo de la simulación

La finalidad del código es simular un escenario realista de escalabilidad progresiva, donde el número de tareas se incrementa desde 1 hasta 50, evaluando en cada iteración cómo responde el sistema en términos de:

- Tiempos de ejecución (latencia).
- Capacidad de procesamiento.
- Costo de transferencia de datos basado en volúmenes procesados.

Este enfoque permite anticipar el comportamiento del sistema frente a diferentes niveles de carga computacional.

Estructura del código

El código está organizado en una clase principal CloudCostSimulation que ejecuta 50 simulaciones consecutivas. En cada una se crea un nuevo entorno completo (datacenter, hosts, VMs, tareas), lo que permite observar cómo varían los resultados conforme aumenta el número de cloudlets.

Para cada iteración:

- Se instancia una nueva simulación (CloudSimPlus).
- Se crean los recursos físicos (hosts) y virtuales (VMs).
- Se generan tareas (cloudlets) proporcionales al ciclo actual.

- Se ejecuta la simulación y se recolectan métricas clave.

Además, se imprime en consola un resumen por iteración, incluyendo tiempos, latencia promedio y costo de transferencia de datos.

Configuración de la infraestructura

- **Hosts (servidores físicos):** Se simulan 25 hosts, cada uno con:
 - 4 unidades de procesamiento (PEs) de 1000 MIPS.
 - 2048 MB de RAM, 10,000 Mbps de ancho de banda y 1,000,000 MB de almacenamiento.
- **Máquinas virtuales (VMs):** Se generan 50 VMs (dos por host), cada una con:
 - 2 PEs, 512 MB de RAM, 1000 Mbps de ancho de banda y 10 GB de almacenamiento.
- **Cloudlets (tareas):** Por cada simulación se crean entre 1 y 50 tareas. Cada cloudlet tiene:
 - Una longitud de aproximadamente 5333 millones de instrucciones.
 - Un modelo de utilización dinámica al 50% (`UtilizationModelDynamic(0.5)`), representando cargas computacionales intermitentes.

Principales funcionalidades

createDatacenter() :Genera la lista de hosts con sus recursos físicos y los agrupa en un datacenter (`DatacenterSimple`). Se utiliza la política de asignación `VmAllocationPolicyFirstFit`.

createVms() : Crea las máquinas virtuales que serán asignadas a los hosts. Todas las VMs son idénticas en capacidades y configuración.

createCloudlets(int cloudletCount): Genera una lista de tareas según el número indicado, configurando para cada una su longitud, número de PEs requeridos y modelo de utilización.

brokerSubmit(...): Asigna las VMs y los cloudlets al `DatacenterBrokerSimple`, el cual se encarga de planificar y asignar los recursos.

runSimulation(...): Ejecuta la simulación completa, recolecta los resultados y calcula:

- Tiempo de ejecución simulado.
- Latencia promedio de las tareas (diferencia entre inicio y fin).
- Volumen total de datos transferidos.
- Costo estimado por transferencia de datos.

Cálculo del costo de transferencia

Cada cloudlet se asume que transfiere datos equivalentes a su longitud computacional (en MI), transformados a GB. El costo se calcula aplicando una tarifa de \$0.12 por GB, que simula el precio estándar de transferencia hacia Internet ofrecido por plataformas como Google Cloud.

También se incluye una función `calculateDataTransferCost(long dataTransferredInMB)` que puede adaptarse para simular precios diferenciados por tipo de transferencia:

- **Interna** (sin costo),
- **Entre regiones** (\$0.02/GB),
- **Hacia internet** (\$0.12/GB, por defecto aplicado)

Métricas observadas

- **Latencia promedio:** Se calcula como la diferencia entre el tiempo de finalización y el de inicio de cada cloudlet. Una latencia menor indica mayor eficiencia en el procesamiento.
- **Tiempo real de ejecución:** Mide cuánto tarda la simulación completa en ejecutarse desde el punto de vista del sistema.
- **Número de cloudlets procesados:** Permite validar que todas las tareas fueron correctamente asignadas y ejecutadas.
- **Costo total por transferencia:** Evalúa el impacto económico del tráfico de datos en el entorno cloud simulado.

Conclusión

Este simulador constituye una herramienta útil para analizar la escalabilidad de arquitecturas Cloud Computing en escenarios progresivos de carga. Su capacidad para

calcular costos y latencia lo convierte en una solución robusta para comparar distintas configuraciones de infraestructura, optimizar asignaciones y anticipar gastos operativos en contextos reales. La estructura modular del código permite además su reutilización para simular Edge Computing u otros entornos distribuidos.

Resultados mostrados por consola.

Cloudlet	Status	DC	Host	Host PEs	VM	VM PEs	CloudletLen	FinishedLen	CloudletPEs	StartTime	FinishTime	ExecTime
ID		ID	ID	CPU cores	ID	CPU cores	MI	MI	CPU cores	Seconds	Seconds	Seconds
0	SUCCESS	1	0	4	0	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
1	SUCCESS	1	1	4	1	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
2	SUCCESS	1	2	4	2	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
3	SUCCESS	1	3	4	3	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
4	SUCCESS	1	4	4	4	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
5	SUCCESS	1	5	4	5	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
6	SUCCESS	1	6	4	6	4	10000	10000	2	0.1	10.1	10.0
7	SUCCESS	1	7	4	7	4	10000	10000	2	2.1	12.2	10.1
8	SUCCESS	1	8	4	8	4	10000	10000	2	4.1	14.2	10.1
9	SUCCESS	1	9	4	9	4	10000	10000	2	5.1	15.2	10.1
10	SUCCESS	1	0	4	0	4	10000	10000	2	6.1	16.1	10.0
11	SUCCESS	1	1	4	1	4	10000	10000	2	7.1	17.1	10.0
12	SUCCESS	1	2	4	2	4	10000	10000	2	10.0	20.1	10.1
13	SUCCESS	1	3	4	3	4	10000	10000	2	10.2	20.3	10.1
14	SUCCESS	1	4	4	4	4	10000	10000	2	11.0	21.1	10.1
15	SUCCESS	1	5	4	5	4	10000	10000	2	11.2	21.3	10.1
16	SUCCESS	1	6	4	6	4	10000	10000	2	12.1	22.2	10.1
17	SUCCESS	1	7	4	7	4	10000	10000	2	12.1	22.2	10.1
40	SUCCESS	1	0	4	0	4	10000	10000	2	25.0	38.7	13.7
36	SUCCESS	1	6	4	6	4	10000	10000	2	24.0	38.8	14.8
35	SUCCESS	1	5	4	5	4	10000	10000	2	23.8	38.9	15.2
38	SUCCESS	1	8	4	8	4	10000	10000	2	24.5	38.9	14.5
39	SUCCESS	1	9	4	9	4	10000	10000	2	24.9	39.4	14.5
41	SUCCESS	1	1	4	1	4	10000	10000	2	25.8	39.5	13.7
42	SUCCESS	1	2	4	2	4	10000	10000	2	26.2	40.6	14.4
43	SUCCESS	1	3	4	3	4	10000	10000	2	26.2	40.6	14.4
44	SUCCESS	1	4	4	4	4	10000	10000	2	26.4	44.6	18.3
46	SUCCESS	1	6	4	6	4	10000	10000	2	26.8	45.3	18.5
45	SUCCESS	1	5	4	5	4	10000	10000	2	26.5	45.4	18.9
47	SUCCESS	1	7	4	7	4	10000	10000	2	27.4	45.4	18.1
48	SUCCESS	1	8	4	8	4	10000	10000	2	27.5	45.7	18.2
50	SUCCESS	1	0	4	0	4	10000	10000	2	28.5	46.3	17.8
51	SUCCESS	1	1	4	1	4	10000	10000	2	29.2	47.2	17.9
49	SUCCESS	1	9	4	9	4	10000	10000	2	28.4	47.4	19.0
52	SUCCESS	1	2	4	2	4	10000	10000	2	29.5	47.8	18.3
53	SUCCESS	1	3	4	3	4	10000	10000	2	29.9	48.9	18.9
54	SUCCESS	1	4	4	4	4	10000	10000	2	30.5	51.9	21.4
55	SUCCESS	1	5	4	5	4	10000	10000	2	30.8	53.5	22.7
57	SUCCESS	1	7	4	7	4	10000	10000	2	32.1	53.7	21.6
58	SUCCESS	1	8	4	8	4	10000	10000	2	32.2	54.2	21.9
56	SUCCESS	1	6	4	6	4	10000	10000	2	31.8	54.7	22.9
59	SUCCESS	1	9	4	9	4	10000	10000	2	32.6	55.5	22.8
60	SUCCESS	1	0	4	0	4	10000	10000	2	34.2	56.7	22.5
61	SUCCESS	1	1	4	1	4	10000	10000	2	34.3	56.8	22.5
62	SUCCESS	1	2	4	2	4	10000	10000	2	34.6	57.4	22.8
63	SUCCESS	1	3	4	3	4	10000	10000	2	34.7	58.0	23.3
64	SUCCESS	1	4	4	4	4	10000	10000	2	35.2	61.3	26.2
66	SUCCESS	1	6	4	6	4	10000	10000	2	35.4	61.7	26.3
65	SUCCESS	1	5	4	5	4	10000	10000	2	35.3	61.9	26.6
67	SUCCESS	1	7	4	7	4	10000	10000	2	36.3	62.1	25.8
68	SUCCESS	1	8	4	8	4	10000	10000	2	36.7	62.2	25.5
70	SUCCESS	1	0	4	0	4	10000	10000	2	37.4	62.9	25.5

Anexo 5. Simulación 4

Este código es un ejemplo del uso de CloudSim Plus, una herramienta para la simulación de infraestructuras y servicios de computación en la nube. La simulación en este caso está relacionada con el escalado vertical de máquinas virtuales (VMs), específicamente el escalado de CPU según el uso dinámico de recursos, en un escenario de autoscaling. Aquí hay una explicación de las partes más importantes del código:

1. Configuración General

- **Parámetros de la simulación:**
 - SCHEDULING_INTERVAL = 1: Intervalo de tiempo entre cada unidad de planificación (en segundos).
 - HOSTS = 1: Número de hosts en el datacenter.
 - HOST_PES = 32: Número de unidades de procesamiento (PEs, Processing Elements) en cada host.
 - VMS = 1: Número de máquinas virtuales (VMs) a crear.
 - VM_PES = 14: Número de PEs asignados a cada VM.
 - VM_RAM = 1200: Cantidad de RAM asignada a cada VM (en MB).
 - CLOUDLETS = 10: Número de Cloudlets (trabajos que las VMs ejecutan).
 - CLOUDLETS_INITIAL_LENGTH = 20_000: Longitud inicial de los Cloudlets.

2. Creación de los Elementos de la Simulación

- **Datacenter:** Un datacenter es creado con HOSTS hosts. Cada host tiene un conjunto de procesadores (PEs) definidos por HOST_PES.

- Broker: Se crea un `DatacenterBrokerSimple` para gestionar las máquinas virtuales (VMs) y Cloudlets.
- Máquinas Virtuales (VMs): Las VMs son creadas en la función `createListOfScalableVms`, cada una con una configuración de recursos definida, como el número de PEs y RAM.
- Cloudlets: Los Cloudlets son trabajos o tareas que se ejecutan en las VMs. En la función `createCloudletListsWithDifferentDelays`, se crean Cloudlets con diferentes tiempos de inicio y tamaños de carga.

3. Escalado Vertical de las VMs

- `VerticalVmScaling`: Se implementa una política de escalado vertical para las VMs. Cada VM tiene un mecanismo de escalado de CPU que ajusta el número de PEs asignados en función de su uso de CPU.
 - `setResourceScaling`: Define una función que ajusta el número de recursos asignados a la VM, en este caso, el número de PEs.
 - Umbrales de escalado:
- `setLowerThresholdFunction`: Se ajusta el umbral inferior de uso de CPU al 40% (0.4).
- `setUpperThresholdFunction`: Este umbral es dinámico y depende de la media del uso de CPU de la VM. Si la VM ha ejecutado más de 10 mediciones de uso de CPU, el umbral superior es el 120% de la media; de lo contrario, se usa un valor fijo de 0.7.

4. Simulación

- La simulación se inicia con `simulation.start()`, lo que inicia la ejecución de los Cloudlets en las VMs y permite que el sistema de escalado vertical actúe según los umbrales definidos.

5. Monitoreo de la Simulación

- Listener `onClockTickListener`: Un listener que se ejecuta en cada tick del reloj de la simulación, mostrando información sobre el uso de CPU de las VMs en tiempo real.
- Impresión de Resultados: Una vez que la simulación termina, se muestra la tabla con los resultados de la ejecución de los Cloudlets, ordenados por el ID de la VM y el tiempo de inicio.

6. Otras Funcionalidades

- Utilización de CPU: Se usan varios modelos de utilización de recursos, como `UtilizationModelFull` para CPU y `UtilizationModelDynamic` para RAM y ancho de banda.
- Escalado Vertical: El escalado vertical de las VMs se realiza utilizando el `VerticalVmScalingSimple`, que se basa en el uso de CPU de la VM.
- Análisis del Código:
- El código implementa una simulación de un sistema de autoscaling vertical basado en el uso dinámico de CPU de las VMs. Si el uso de CPU de una VM

supera un umbral superior, el sistema puede añadir más recursos (PEs); si cae por debajo de un umbral inferior, se reducirán los recursos.

- La simulación tiene un enfoque en la optimización dinámica de recursos según las necesidades de las VMs, lo cual es útil para ambientes de nube donde el uso de recursos puede variar de manera impredecible.
- La combinación de VerticalVmScaling con funciones de umbral dinámico (que dependen del uso histórico de la CPU) es un enfoque inteligente para el escalado, ya que permite adaptarse a cambios repentinos en la carga de trabajo.
- El uso de CloudletSchedulerTimeShared para la gestión de los Cloudlets en las VMs sugiere que las VMs compartirán su tiempo de CPU entre múltiples Cloudlets, lo que es común en simulaciones que buscan replicar un entorno de nube de recursos compartidos.

Anexo 6. Simulación 5

Este código es un ejemplo de cómo simular escalado vertical de RAM en máquinas virtuales (VM) usando la biblioteca CloudSim Plus. A continuación, desglosaré y analizaré los elementos más relevantes de este código:

Objetivo:

Simular una infraestructura de nube que realiza escalado vertical de RAM en máquinas virtuales (VMs) basándose en la utilización de memoria RAM. El escalado vertical significa ajustar los recursos de las VMs según la carga de trabajo, en este caso, la RAM.

Componentes principales:

1. Escalado de RAM:

- VerticalVmScalingSimple se utiliza para realizar el escalado vertical de RAM. Se asigna un factor de escalado de RAM (VM_RAM_SCALING_FACTOR) de 0.1, lo que significa que, cuando sea necesario, la RAM de una VM se puede aumentar o disminuir en un 10% en cada ajuste.
- Se definen dos umbrales: el umbral inferior (cuando la utilización de RAM es baja, en este caso, el 50%) y el umbral superior (cuando la utilización de RAM es alta, en este caso, el 70%). Si la utilización de RAM de una VM excede el umbral superior, la VM se escalará hacia arriba (aumentará su RAM), y si la utilización de RAM cae por debajo del umbral inferior, se reducirá.

2. VMs:

- Se crean máquinas virtuales (VmSimple) con 5 procesadores virtuales (vCPUs) y 1000 MIPS (Millones de instrucciones por segundo).

- Las VMs se crean con 1000 MB de RAM inicialmente, pero se escalaban verticalmente según la utilización de RAM durante la simulación.

3. Hosts:

- El host tiene 8 procesadores físicos (PEs) y 20,000 MB de RAM.
- Las VMs se asignan a este host, y el escalado de RAM de las VMs afectará el uso de la RAM en el host.

4. Cloudlets:

- Cloudlets son tareas o trabajos que las VMs ejecutan. En este caso, se crean 5 cloudlets con diferentes longitudes de procesamiento.
- El modelo de utilización de RAM para los cloudlets se ajusta de manera dinámica, con un incremento de RAM (10 MB por unidad de tiempo) durante la ejecución de un cloudlet.

5. Simulación:

- Se utiliza la clase CloudSimPlus para configurar y ejecutar la simulación.
- Un broker (DatacenterBrokerSimple) se utiliza para gestionar las VMs y los cloudlets.

Métodos principales:

1. onClockTickListener:

- Este método imprime estadísticas de utilización de RAM en cada tick del reloj de la simulación. Imprime el uso de RAM de cada VM y el uso de RAM en el host, así como los cloudlets que se están ejecutando en cada momento.

2. createDatacenter:

- Crea un datacenter con una lista de hosts.
- Los hosts se crean con recursos como CPU, RAM, y almacenamiento, y se les asigna un VM scheduler (VmSchedulerTimeShared), lo que indica que los recursos de las VMs se compartirán entre las VMs en el host.

3. createVerticalRamScalingForVm:

- Este método asigna el escalado vertical de RAM a las VMs utilizando un factor de escalado y las funciones de umbral inferior y superior definidas previamente.
- El escalado de RAM ocurre en función de la utilización de RAM de la VM, con umbrales dinámicos que se ajustan a las condiciones actuales de carga.

4. createCloudletList:

- Crea una lista de cloudlets con diferentes longitudes de ejecución y asigna un modelo de utilización de RAM dinámico.
- Se establece un modelo de utilización dinámica de RAM con un incremento en la utilización de memoria a medida que avanzan los cloudlets.

5. printSimulationResults:

Imprime los resultados de la simulación ordenados por VM y el tiempo de inicio de los cloudlets terminados.

6. utilizationIncrement:

- Función de incremento utilizada en el modelo de utilización de RAM. Este incremento simula cómo la utilización de RAM de un cloudlet aumenta durante

su ejecución, lo que podría activar el escalado vertical de RAM si se exceden los umbrales establecidos.

Aspectos clave:

1. Escalado Vertical de RAM: El sistema está diseñado para ajustar la memoria RAM de las VMs según la utilización, lo que optimiza el uso de recursos y reduce el riesgo de sobrecarga o subutilización de la memoria.
2. Simulación Dinámica: Utilizando modelos de utilización dinámica (UtilizationModelDynamic), el código simula cómo varía la utilización de la RAM durante la ejecución de los cloudlets, lo que permite activar el escalado vertical de RAM en tiempo real.
3. Utilización de Umbrales: Los umbrales dinámicos (superior e inferior) para el escalado permiten que el sistema reaccione de manera flexible a los cambios en la utilización de la memoria, ajustando los recursos según sea necesario.
4. Escalabilidad: El código puede escalarse fácilmente al agregar más hosts o VMs, permitiendo la simulación de infraestructuras de nube más grandes.

Posibles Mejoras:

- Manejo de Escalado Horizontal: Aunque este ejemplo se centra en el escalado vertical de RAM, también se podría implementar el escalado horizontal, donde se agregan más VMs en lugar de ajustar la RAM de las VMs existentes.
- Métricas de Desempeño: Agregar más métricas de desempeño como el tiempo de respuesta o el rendimiento de los cloudlets podría ayudar a evaluar mejor el impacto del escalado.
- Diversificación de Cargas: Introducir diferentes tipos de carga en los cloudlets, como I/O o CPU, podría hacer que la simulación sea más realista.

Conclusión:

El código implementa una simulación de autoscaling de RAM en un entorno de nube utilizando CloudSim Plus. Simula cómo se ajusta dinámicamente la memoria de las máquinas virtuales (VMs) en función de su utilización de RAM, optimizando los recursos según las necesidades de los cloudlets que se ejecutan. El sistema es flexible, lo que permite experimentación con diferentes configuraciones y escalas.

Anexo 7. Simulación 6

Este código simula un entorno de **Edge Computing** con escalado horizontal de máquinas virtuales (VMs) utilizando el framework **CloudSim Plus**. El objetivo principal es ilustrar cómo se pueden crear nodos de borde (edge nodes) que escalen dinámicamente las VMs en función de la carga de trabajo, ajustando el procesamiento de acuerdo a las necesidades del sistema.

Análisis detallado del código:

1. Estructura General:

- La clase principal `EdgeComputingHorizontalScalingExample` configura y ejecuta la simulación.
- Usa la clase `CloudSimPlus`, que es una versión mejorada de **CloudSim**, un marco para la simulación de recursos en la computación en la nube.
- El entorno simula nodos de borde (Edge Nodes) que pueden escalar las VMs de forma horizontal (añadir más VMs cuando hay sobrecarga).

2. Constantes de Configuración:

- `SCHEDULING_INTERVAL`: Intervalo de tiempo para la simulación (5 unidades de tiempo).
- `EDGE_NODES`: Número de nodos de borde (5 nodos en total).
- `HOST_PES`: Número de unidades de procesamiento (PEs) por host (8).
- `INITIAL_VMS`: Número inicial de máquinas virtuales (2).
- `INITIAL_CLOUDLETS`: Número inicial de tareas o cloudlets (10).

3. Componentes Principales:

- **Hosts y VMs:** Se crean los nodos de borde y se configuran con recursos como CPU, RAM, y almacenamiento.
- **createHost():** Crea los hosts con especificaciones como RAM, ancho de banda (bw), y almacenamiento, junto con un planificador para las VMs (en este caso, VmSchedulerTimeShared).
- **createVm():** Crea máquinas virtuales con CPU, RAM, y un planificador para tareas (CloudletSchedulerTimeShared).

Escalado Horizontal de VMs:

- **enableHorizontalScaling():** Esta función activa el escalado horizontal de las VMs. El escalado se realiza a través de HorizontalVmScalingSimple, que se activa cuando se detecta que la VM está sobrecargada.
- **isVmOverloaded():** Una función que determina si la VM está sobrecargada, basada en su utilización de CPU (cuando es mayor al 80%).

4. Generación de Cloudlets (Tareas):

- **generateNewCloudlets():** Cada ciertos intervalos de tiempo (especificado por CLOUDLETS_CREATION_INTERVAL), se generan nuevas tareas y se agregan a la lista de cloudlets que se asignan a las VMs.
- **createCloudlet():** Crea una nueva tarea (cloudlet) con características como el uso de CPU, RAM, y ancho de banda. Las tareas se asignan dinámicamente a las VMs.

5. Simulación y Resultados:

- **simulation.start():** Inicia la simulación.
- **printSimulationResults():** Al finalizar la simulación, esta función imprime los resultados de las tareas completadas ordenadas por ID de VM y por tiempo de inicio.
 - Los resultados se presentan de manera estructurada usando la clase `CloudletsTableBuilder`.

Aspectos Importantes:

- **Escalado Horizontal:** El uso de `HorizontalVmScalingSimple` es crucial para este ejemplo, ya que permite agregar más VMs dinámicamente cuando una VM está sobrecargada. Esto es clave en un entorno de Edge Computing, donde las demandas de procesamiento pueden variar y requieren flexibilidad.
- **Nodos Edge:** Los nodos de borde se simulan con `DatacenterSimple` y se configuran para que puedan manejar el escalado de VMs cuando es necesario.
- **Generación Dinámica de Tareas (Cloudlets):** A medida que avanza la simulación, se generan nuevas tareas que se asignan a las VMs, lo que refleja la necesidad de procesamiento adicional en un sistema de Edge Computing.

Posibles Mejoras y Consideraciones:

1. Escalado Adaptativo:

Actualmente, el escalado de las VMs solo depende del uso de CPU. Podría ser útil considerar también la utilización de RAM o el tráfico de red como criterios para el escalado.

2. Escalabilidad del Sistema:

Si bien la simulación está configurada para escalar horizontalmente, no se menciona un límite en la cantidad de VMs o nodos que el sistema puede manejar. Este límite podría ser relevante en escenarios más grandes.

3. Optimización de Recursos:

El código se enfoca principalmente en escalar el número de VMs. Una mejora podría ser implementar políticas de optimización de recursos para asignar más eficientemente las VMs a los nodos de borde disponibles.

Conclusión:

Este ejemplo proporciona una excelente base para entender cómo se pueden modelar y simular ambientes de **Edge Computing** utilizando **CloudSim Plus**, con especial atención al escalado horizontal de máquinas virtuales para gestionar la carga de trabajo.

Anexo 8. Herramientas utilizadas

Informe sobre Eclipse IDE

Eclipse es un entorno de desarrollo integrado (IDE) ampliamente utilizado en el ámbito de la programación, especialmente en proyectos de simulaciones y análisis en disciplinas como la computación en la nube, Edge Computing y simulación de sistemas. Su versatilidad y extensibilidad lo convierten en una herramienta preferida para tareas complejas, como las simulaciones, debido a varias razones clave:

Utilidad en el Trabajo de Simulaciones

Eclipse es popular en el desarrollo de simulaciones, ya que ofrece soporte robusto para varios lenguajes de programación como Java, Python, C++, y otros que son frecuentemente usados en simulaciones de sistemas. Además, proporciona una amplia gama de herramientas y plugins que facilitan la integración de diversas tecnologías. Por ejemplo, en proyectos que implican el uso de frameworks como CloudSim o CloudSim Plus, Eclipse permite integrar módulos específicos, como bibliotecas de simulación de recursos y redes, de manera eficiente. Esto lo hace ideal para ejecutar simulaciones de infraestructuras de cómputo en la nube o entornos distribuidos, donde la precisión y el control sobre el código son esenciales.

Preferencia por Eclipse Frente a Otros IDEs

1. **Modularidad y Extensibilidad:** Eclipse permite agregar diversos plugins y herramientas, lo que lo hace altamente personalizable y adaptable a diferentes necesidades. Los usuarios pueden instalar plugins específicos para simulaciones de redes, análisis de rendimiento, o incluso para lenguajes de programación adicionales que podrían ser necesarios a lo largo de un proyecto. Esta extensibilidad lo coloca por encima de otros IDEs más limitados,

como NetBeans o Visual Studio, que, aunque potentes, no ofrecen el mismo nivel de personalización.

2. **Depuración y Análisis:** Eclipse ofrece potentes herramientas de depuración, lo que es esencial en el trabajo con simulaciones complejas. Los desarrolladores pueden identificar errores en tiempo real, revisar el flujo de ejecución, y ajustar parámetros rápidamente. Esta capacidad es especialmente valiosa cuando se realizan simulaciones a gran escala, donde los errores pueden no ser evidentes sin un análisis detallado.
3. **Compatibilidad con Herramientas de Simulación:** Eclipse es compatible con varias herramientas de simulación como JUnit para pruebas unitarias, y bibliotecas como CloudSim o CloudSim Plus. Esto significa que los desarrolladores pueden ejecutar simulaciones directamente desde Eclipse, gestionar los resultados y modificar parámetros sin necesidad de cambiar de entorno, lo que optimiza la eficiencia.

Portabilidad y Multiplataforma

Una de las características que hace a Eclipse especialmente atractivo es su portabilidad. Eclipse es un software multiplataforma, lo que significa que puede ejecutarse en diferentes sistemas operativos como Windows, Linux y macOS. Esta capacidad es fundamental cuando se trabaja en entornos distribuidos o cuando se requiere realizar simulaciones en múltiples plataformas. Además, al ser un software de código abierto, los desarrolladores pueden personalizar y adaptar la herramienta según sus necesidades específicas.

Esto lo convierte en una opción preferente para equipos de trabajo que necesitan compartir proyectos entre distintos sistemas operativos sin preocuparse por problemas de compatibilidad. Además, su amplia comunidad de desarrolladores y recursos en línea

contribuye a su constante evolución y mejora, lo que lo mantiene actualizado frente a otras alternativas.

Anexo 9. Informe sobre Python Colab para Gráficos: Portabilidad y Usos en Simulaciones

Google Colab fue fundamental para la ejecución y el análisis de las simulaciones. Esta plataforma nos proporcionó acceso a recursos de computación en la nube que, a diferencia de un entorno local, son escalables y potentes, permitiendo procesar grandes volúmenes de datos sin las limitaciones de hardware.

La compatibilidad de Colab con bibliotecas de visualización de Python como **Matplotlib**, **Seaborn**, **Plotly** y **Bokeh** fue crucial. Estas herramientas nos permitieron crear gráficos de alta calidad para representar visualmente los resultados de las simulaciones. La capacidad de generar gráficos de manera interactiva en tiempo real en la propia plataforma nos ayudó a ajustar parámetros y visualizar los efectos de estos cambios de forma inmediata, lo cual es vital para una rápida iteración y para obtener una comprensión más profunda de los resultados.

Elección de Google Colab frente a Otras Herramientas

La decisión de utilizar Google Colab en lugar de otras herramientas como **Jupyter Notebook** o entornos locales se basó en varias ventajas clave:

Portabilidad y Colaboración: La principal ventaja de Colab es su naturaleza basada en la web. Permitió acceder a los cuadernos de trabajo desde cualquier lugar y en cualquier dispositivo con conexión a internet, lo que facilitó la colaboración en tiempo real. Esta característica fue crucial para la revisión y el trabajo conjunto en la generación de los gráficos.

Facilidad de Acceso y Uso: A diferencia de una configuración local que requiere la instalación de software y librerías, Colab ofrece un entorno listo para usar. Esto nos permitió concentrarnos exclusivamente en el código y en el análisis de los datos, en lugar de en la configuración técnica. Los gráficos y visualizaciones se generaron directamente en el cuaderno de trabajo, lo que simplificó la presentación y la documentación de los resultados.

Recursos Gratuitos: Colab brinda acceso gratuito a recursos de hardware potentes, incluyendo **GPUs (Unidades de Procesamiento Gráfico)** y **TPUs (Unidades de Procesamiento Tensorial)**. Para un trabajo de simulación con alta demanda de procesamiento, esta accesibilidad a recursos avanzados sin costos adicionales fue una ventaja significativa sobre los entornos locales que dependen del hardware propio del usuario.

Gráficos Interactivos y Visualización de Resultados

La facilidad para crear gráficos y visualizaciones interactivas en Python es una de las principales fortalezas de Colab. Las bibliotecas como **Plotly** nos permitieron generar visualizaciones complejas, mientras que **Matplotlib** y **Seaborn** nos brindaron una solución robusta y eficaz para la creación de gráficos estadísticos.

Estas herramientas fueron esenciales para representar visualmente los resultados de las simulaciones, lo que nos permitió identificar patrones y tendencias en los datos de forma más intuitiva y, en consecuencia, tomar decisiones mejor informadas sobre el análisis. Además, los gráficos generados en Colab se pueden exportar y compartir fácilmente, lo que facilita la presentación de los hallazgos a una audiencia más amplia.

En resumen, Google Colab fue una herramienta indispensable en el desarrollo de este trabajo de investigación, no solo por su capacidad de procesamiento y su entorno colaborativo, sino también por la facilidad con la que permitió visualizar los resultados de las simulaciones, lo que añadió un gran valor al análisis y la presentación de los datos.

Anexo 10. Informe Técnico y Metodológico: Justificación del Uso de CloudSim Plus

Introducción

El presente anexo justifica la elección de **CloudSim Plus** como la principal herramienta de simulación para esta investigación. CloudSim Plus es una biblioteca de simulación de código abierto escrita en Java, diseñada para modelar y evaluar arquitecturas de computación en la nube (Cloud) y en el borde (Edge). Su uso se justifica por su robustez técnica, su capacidad de modelado detallado y la fiabilidad de sus resultados, que son esenciales para una comparación rigurosa entre las arquitecturas Edge y Cloud Computing.

A diferencia de otras plataformas de simulación, la elección de CloudSim Plus se debe a su naturaleza **modular y extensible**, lo que permite una simulación precisa y personalizable. Además, su arquitectura facilita la extracción de datos cruciales para el análisis de las métricas clave de la tesis, garantizando la solidez y validez de los resultados obtenidos.

2. Justificación Técnica y Metodológica de CloudSim Plus

La selección de CloudSim Plus no es arbitraria, sino que se basa en las siguientes características que lo hacen idóneo para los objetivos de esta investigación:

Fundamento Científico y jerarquía: CloudSim Plus es una evolución del popular simulador CloudSim, que ha sido ampliamente citado y utilizado en la literatura académica. Esta nueva versión mejora la arquitectura original, haciéndola más modular y orientada a objetos. Su madurez y aceptación en la comunidad científica respaldan la fiabilidad de los modelos de simulación que se pueden construir.

Flexibilidad para Modelar Arquitecturas: La biblioteca permite modelar con precisión los componentes de ambas arquitecturas. Es posible configurar nodos de **Edge** con capacidades de cómputo limitadas (CPU, RAM) y recursos de red específicos, así como centros de datos de **Cloud** con recursos prácticamente ilimitados y latencias de red más altas.

Esto nos permite recrear escenarios realistas y contrastar de manera justa el rendimiento de ambas arquitecturas.

Control Granular sobre la Simulación: CloudSim Plus ofrece un control detallado sobre cada aspecto de la simulación, desde la creación de máquinas virtuales y la asignación de recursos hasta la gestión de eventos y la planificación de tareas (*scheduling*). Este nivel de granularidad es crucial para aislar variables y medir con precisión el impacto de cada factor en el rendimiento del sistema.

Extracción de Datos para las Métricas Clave

CloudSim Plus está diseñado para facilitar la recolección de datos que se alinean directamente con las métricas clave del trabajo integrado curricular. A continuación, se detalla cómo se extraen los datos para cada métrica:

Latencia: CloudSim Plus permite registrar el tiempo de ejecución de cada "Cloudlet" (la unidad de trabajo de la simulación). La latencia se calcula como la diferencia entre el tiempo de finalización y el tiempo de envío de una tarea. Al registrar este valor para cada tarea y promediario, se obtiene una medida cuantitativa de la latencia en cada arquitectura, lo que nos permite validar la ventaja teórica del Edge Computing en la reducción de los tiempos de respuesta.

Uso de CPU y RAM: La biblioteca proporciona APIs para monitorear el uso de recursos de cada máquina virtual y host en tiempo real. Se puede registrar el porcentaje de uso de **CPU** y **RAM** en intervalos de tiempo definidos. Estos datos nos permiten analizar la eficiencia de la asignación de recursos y detectar posibles cuellos de botella en la arquitectura Edge, así como el sobredimensionamiento en la arquitectura Cloud.

Cloudlets Procesados: CloudSim Plus cuenta con un sistema de eventos que registra la finalización de cada tarea. Mediante el uso de contadores, se puede registrar el

número total de Cloudlets que se completaron en un período de tiempo determinado, ofreciendo una métrica directa del rendimiento (*throughput*) de cada sistema.

Escalabilidad: Se simularán múltiples escenarios variando la cantidad de recursos computacionales (escalabilidad vertical) y el número de hosts (escalabilidad horizontal). CloudSim Plus nos permite observar cómo el rendimiento y la eficiencia de los recursos se comportan a medida que se aumenta la carga de trabajo y se ajustan los recursos, lo que permite evaluar la capacidad de cada arquitectura para manejar el crecimiento.

Conclusión

El uso de **CloudSim Plus** no es una simple elección de herramienta, sino una decisión metodológica que fortalece la validez de esta investigación. Su capacidad para modelar con precisión las arquitecturas Edge y Cloud, su flexibilidad para configurar parámetros específicos y su robusta capacidad para extraer datos detallados y relevantes, hacen de esta librería la herramienta ideal para la simulación. Con ella, podemos obtener datos sólidos y cuantitativos para cada una de las métricas clave, lo que garantiza una comparación objetiva y bien fundamentada.

Anexo 11. Justificación de las Métricas Seleccionadas para la Comparación entre Edge Computing y Cloud Computing

Introducción

En el contexto de la presente investigación, cuyo objetivo es evaluar y comparar el desempeño de las arquitecturas Edge Computing y Cloud Computing en escenarios simulados mediante la herramienta CloudSim Plus, se ha definido una serie de métricas clave que permiten valorar los aspectos técnicos, operativos y económicos de ambas arquitecturas. La correcta elección de estas métricas resulta fundamental para garantizar una evaluación objetiva, reproducible y alineada con los estándares de calidad científica. Este anexo expone la justificación metodológica de las métricas seleccionadas: **latencia, uso de CPU y RAM, número de cloudlets procesados, escalabilidad vertical y horizontal, y costos de transferencia de datos.**

Latencia

Definición: La latencia representa el tiempo transcurrido entre el inicio de una solicitud de procesamiento y la recepción del resultado.

Justificación: Esta métrica es esencial en sistemas sensibles al tiempo, como salud digital, ciudades inteligentes y vehículos autónomos, donde el tiempo de respuesta inmediato es crucial (Sánchez Prado, 2021; Garnica & Guerrero Joan, 2024). Edge Computing surge precisamente para mitigar este problema al procesar los datos en proximidad al origen, disminuyendo la necesidad de transmisión hacia centros remotos (Gomez & Borja, 2022). En la simulación, se calcula como la diferencia entre StartTime y FinishTime de cada cloudlet, permitiendo comparar el rendimiento temporal de ambas arquitecturas.

Uso de CPU y RAM

Definición: Corresponde al porcentaje de utilización de los recursos computacionales (procesador y memoria) en las máquinas virtuales (VMs) o nodos durante la ejecución de tareas.

Justificación: Esta métrica permite medir la **eficiencia operativa** del sistema. En Edge Computing, donde los recursos suelen ser limitados, el uso eficiente de CPU y RAM es crítico para mantener la estabilidad y garantizar la ejecución de tareas en tiempo real (Mendoza Campos, 2021). En Cloud Computing, su análisis ayuda a detectar sobrecarga o infrautilización que puede afectar los costos operativos (Muñoz Sicilia, 2023). Las simulaciones permiten registrar el comportamiento de estas métricas a lo largo del tiempo y bajo distintas cargas de trabajo.

Cloudlets Procesados

Definición: Número total de tareas (cloudlets) completadas exitosamente durante una simulación.

Justificación: Esta métrica refleja la **capacidad efectiva de procesamiento** de cada arquitectura bajo condiciones específicas. Una mayor cantidad de tareas finalizadas indica un sistema más eficiente y estable (Guamán Cabrera, 2022). En contextos como IoT o sistemas distribuidos, donde las tareas pueden generarse dinámicamente, el conteo de cloudlets procesados se vuelve esencial para determinar la productividad del sistema.

Escalabilidad Vertical y Horizontal

Definición:

- **Escalabilidad vertical:** Capacidad de una instancia (VM o contenedor) para aumentar o reducir sus recursos (CPU, RAM) de forma dinámica.
- **Escalabilidad horizontal:** Capacidad del sistema para añadir o remover instancias de procesamiento frente a cambios en la carga.

Justificación: La **elasticidad** del sistema es una propiedad central en entornos dinámicos y distribuidos. Cloud Computing ofrece alta escalabilidad horizontal mediante la virtualización masiva, mientras que Edge Computing suele aplicar estrategias verticales por restricciones

físicas (Sittón & Muñoz, 2020). Evaluar ambos enfoques es clave para determinar la adaptabilidad del sistema a condiciones variables de operación (Mero & Macías, 2025). Las simulaciones en CloudSim Plus permiten modelar ambos tipos de escalabilidad y evaluar su impacto sobre el rendimiento.

Costos de Transferencia de Datos

Definición: Valor monetario estimado asociado a la transmisión de datos entre dispositivos, nodos edge y centros de datos cloud.

Justificación: En entornos cloud, la transferencia de grandes volúmenes de datos puede representar un **costo operativo significativo**, especialmente cuando se depende de redes de baja eficiencia o cuando las aplicaciones requieren constante interacción con el servidor (Mendoza Campos, 2021). Edge Computing reduce este impacto al procesar localmente los datos, lo cual puede traducirse en ahorros económicos sustanciales (Powell & Smalley, 2024). Esta métrica fue modelada en la simulación asignando valores monetarios por unidad de dato transferido, en función del número de cloudlets y su longitud.

Conclusión

La selección de estas métricas se sustenta tanto en la literatura especializada como en las condiciones reales de operación de sistemas distribuidos modernos. Permiten evaluar con precisión los aspectos más relevantes de Edge y Cloud Computing: desempeño técnico, eficiencia de recursos y viabilidad económica. Su integración en un entorno simulado proporciona datos cuantitativos clave para una comparación rigurosa, contribuyendo así a decisiones más fundamentadas en entornos empresariales, académicos y de política tecnológica.

Anexo 12. Costos e Infraestructura en Edge Computing: Enfoque Cuantitativo

El modelo de Edge Computing se caracteriza por la descentralización del procesamiento, ubicando los recursos computacionales cerca de los dispositivos o fuentes de datos. Esta proximidad permite reducir la latencia y el tráfico hacia centros de datos centrales, pero también implica una estructura de costos diferente al modelo tradicional de Cloud Computing.

Infraestructura en Edge Computing

El despliegue de una arquitectura de Edge Computing involucra diversos niveles de hardware y software, con los siguientes componentes principales:

- **Nodos Edge:** Microdata centers o dispositivos con capacidad de cómputo (CPU, RAM, almacenamiento) ubicados cerca del usuario final. Pueden ser gateways, routers avanzados, servidores industriales, etc.
- **Red de interconexión:** Conectividad mediante redes LAN/WAN, 5G, LoRaWAN o Wi-Fi para el transporte de datos desde el borde hacia la nube o entre nodos.
- **Plataformas de orquestación:** Herramientas para la administración, despliegue y monitoreo de tareas en nodos heterogéneos, como KubeEdge, Azure IoT Edge, o AWS Greengrass.
- **Sistema de virtualización o contenedores:** Ligero y de bajo consumo, usualmente Docker o LXC en lugar de hipervisores pesados, por limitaciones de hardware en el borde.

Estimación de Costos de Implementación

Los costos en Edge Computing se dividen en **CAPEX** (costos de inversión) y **OPEX** (costos operativos). A continuación, se presenta una estimación típica basada en literatura y casos de uso industrial.

Elemento	Unidad	Costo estimado (USD)	Descripción
Nodo Edge básico (Raspberry Pi 4 u Odroid)	por unidad	80 – 150	Para tareas ligeras, procesamiento local y gateways
Nodo Edge intermedio (Jetson Nano, mini-PC)	por unidad	200 – 500	Para visión computacional o procesamiento más intensivo
Servidor industrial (Intel Xeon, 32 GB RAM)	por unidad	1,000 – 3,000	Para micro data centers en entornos industriales
Switch/Router administrable	por unidad	100 – 300	Comunicación LAN y recolección de datos
Dispositivo IoT Sensor	por unidad	10 – 50	Sensor o actuador conectado a nodos Edge
Instalación y configuración	por nodo	100 – 200	Mano de obra y puesta en marcha (valor estimado)

Costos operativos

Recurso	Unidad mensual	Costo estimado (USD)	Observación
Energía por nodo Edge	por nodo/mes	3 – 10	Dispositivos de bajo consumo (<15W)
Mantenimiento técnico	por nodo/mes	5 – 20	Revisión, limpieza, actualización remota
Conectividad/Backhaul	por conexión/mes	10 – 30	Tarifa por datos móviles o fibra para nodo
Licencias o software en el borde	por nodo/mes	5 – 15	Kubernetes ligero, sistemas embebidos, antivirus, etc.
Costos por transmisión a la nube	por GB/mes	0.02 – 0.12	En caso de enviar datos procesados a la nube (referencia: Google Cloud, AWS)

Comparación con Cloud Computing

Aunque la nube tradicional puede parecer más económica a gran escala por su modelo “pago por uso”, Edge Computing resulta más costo-efectiva cuando:

- Se necesita baja latencia.
- El ancho de banda es limitado o costoso.

- Se requiere respuesta en tiempo real.
- El volumen de datos a transferir es alto (filtrado en el borde reduce el tráfico).

Ejemplo:

Procesar 1000 imágenes por día en la nube puede requerir transferencias >5 GB/día.

Si se procesan en el borde y solo se envía el resultado (0.5 GB/día), el costo de transferencia se reduce en 90%.

Sostenibilidad y escalabilidad económica

Edge Computing es escalable horizontalmente: pueden añadirse nodos sin rediseñar toda la arquitectura. Además, reduce el consumo energético en los data centers centrales, ya que se distribuye la carga.

Un diseño eficiente considera:

- **Dimensionamiento del hardware** según el tipo de tarea (IA, almacenamiento, filtrado).
- **Ubicación estratégica** de nodos para minimizar latencia.
- **Redundancia local** para asegurar continuidad operativa.

Conclusión

El despliegue de Edge Computing requiere una inversión inicial mayor que la mera conexión a un proveedor cloud, pero a mediano y largo plazo puede reducir significativamente costos operativos de transferencia, mejorar la eficiencia y ofrecer capacidades en tiempo real. La viabilidad económica depende del caso de uso, el volumen de datos y la criticidad de la latencia.

Este enfoque es particularmente relevante para sectores como industria 4.0, salud, vehículos autónomos, ciudades inteligentes y agricultura de precisión, donde la respuesta rápida y el procesamiento local son claves.

