



Computación en la nube en un contexto de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental

Cloud computing in a context of energy efficiency and environmental sustainability

A computação em nuvem num contexto de eficiência energética e sustentabilidade ambiental

Patricio Yáñez-Moretta ^I
ayanez@yachaytech.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4436-7632>

Erick Yáñez-Loaiza ^{II}
eyanez2002@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-6221-6290>

Correspondencia: ayanez@yachaytech.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de mayo de 2025 * **Aceptado:** 21 de junio de 2025 * **Publicado:** 10 de julio de 2025

- I. Universidad de Investigación y Tecnología Experimental Yachay, Escuela de Ciencias Biológicas e Ingeniería, Carreras de Biología y de Biomedicina, Urcuquí, Ecuador.
- II. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, Sangolquí, Ecuador.

Resumen

La computación en la nube ha transformado profundamente la provisión de servicios tecnológicos, ofreciendo soluciones escalables, flexibles y de alta eficiencia. No obstante, su creciente adopción plantea desafíos significativos en cuanto al consumo energético y al impacto ambiental de las infraestructuras digitales. El presente análisis constituye una revisión crítica de los principales enfoques y estrategias orientadas a la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental en entornos de computación en la nube. A través de un análisis sistemático de literatura reciente, se abordan aspectos clave como la evolución tecnológica de la nube, los modelos de servicio y despliegue, el consumo energético en centros de datos, la eficiencia de componentes de hardware y software, y las mejores prácticas para el desarrollo sostenible de esta tecnología. Se destaca la importancia de políticas de virtualización, gestión inteligente de recursos, uso de energías renovables y métricas específicas para monitorear la eficiencia. Finalmente, se discuten oportunidades de implementación contextualizadas en países en desarrollo, donde la transición hacia una computación verde representa tanto un reto como una oportunidad para alinear innovación tecnológica con objetivos ambientales globales.

Palabras clave: Computación en la nube; eficiencia energética; sostenibilidad ambiental; centros de datos; computación verde; gestión de recursos.

Abstract

Cloud computing has profoundly transformed the provision of technological services, offering scalable, flexible, and highly efficient solutions. However, its growing adoption poses significant challenges in terms of energy consumption and the environmental impact of digital infrastructures. This analysis constitutes a critical review of the main approaches and strategies aimed at energy efficiency and environmental sustainability in cloud computing environments. Through a systematic analysis of recent literature, key aspects such as the technological evolution of the cloud, service and deployment models, energy consumption in data centers, the efficiency of hardware and software components, and best practices for the sustainable development of this technology are addressed. The importance of virtualization policies, intelligent resource management, the use of renewable energy, and specific metrics to monitor efficiency are highlighted. Finally, implementation opportunities are discussed, contextualized in developing countries, where the

transition to green computing represents both a challenge and an opportunity to align technological innovation with global environmental goals.

Keywords: Cloud computing; energy efficiency; environmental sustainability; data centers; green computing; resource management.

Resumo

A computação em nuvem transformou profundamente a prestação de serviços tecnológicos, oferecendo soluções escaláveis, flexíveis e altamente eficientes. No entanto, a sua crescente adoção impõe desafios significativos em termos de consumo de energia e impacto ambiental das infraestruturas digitais. Esta análise constitui uma revisão crítica das principais abordagens e estratégias orientadas para a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental em ambientes de computação em nuvem. Através de uma análise sistemática da literatura recente, são abordados aspectos-chave como a evolução tecnológica da cloud, os modelos de serviço e de implementação, o consumo de energia nos data centers, a eficiência dos componentes de hardware e software e as melhores práticas para o desenvolvimento sustentável desta tecnologia. Destaca-se a importância das políticas de virtualização, da gestão inteligente dos recursos, da utilização de energia renovável e de métricas específicas para monitorizar a eficiência. Por fim, são discutidas as oportunidades de implementação, contextualizadas nos países em desenvolvimento, onde a transição para a computação verde representa tanto um desafio como uma oportunidade para alinhar a inovação tecnológica com as metas ambientais globais.

Palavras-chave: Computação em nuvem; eficiência energética; sustentabilidade ambiental; data centers; computação verde; gestão de recursos.

Introducción

La computación en la nube se ha convertido en un pilar fundamental de los sistemas tecnológicos contemporáneos, proporcionando acceso a servicios informáticos de alto rendimiento a través de Internet (Mell y Grance, 2011). Este modelo permite a individuos y empresas utilizar recursos como almacenamiento, procesamiento y software sin necesidad de poseer ni gestionar la infraestructura subyacente (Armbrust et al., 2010). Gracias a su escalabilidad y flexibilidad, la

computación en la nube ha revolucionado la manera en que las organizaciones optimizan sus costos operativos y mejoran la eficiencia de sus sistemas (Marston et al., 2011).

Los servicios en la nube se basan en la virtualización y están distribuidos en centros de datos ubicados estratégicamente en distintas regiones del mundo (Buyya et al., 2009). Esta arquitectura permite un acceso dinámico y remoto a los recursos, facilitando la colaboración y la movilidad de los usuarios (Zhang et al., 2010). A través de modelos como Infraestructura como Servicio (IaaS), Plataforma como Servicio (PaaS) y Software como Servicio (SaaS), las organizaciones pueden seleccionar las soluciones que mejor se ajusten a sus necesidades tecnológicas (Rimal et al., 2009). Sin embargo, a pesar de sus ventajas económicas y operativas, la computación en la nube plantea desafíos significativos en términos de consumo energético y sostenibilidad ambiental (Baliga et al., 2011). Los centros de datos que respaldan estos servicios requieren enormes cantidades de energía para operar y mantener condiciones óptimas de temperatura, lo que se traduce en una alta emisión de carbono (Kooimey, 2011). Por esta razón, la investigación en eficiencia energética y el desarrollo de estrategias para la optimización del consumo energético en varios ámbitos, pero particularmente en la computación en la nube, han cobrado gran relevancia en los últimos años (Beloglazov et al., 2012; Elfizon et al., 2023).

Ante el crecimiento sostenido del uso de servicios digitales y la expansión de infraestructuras tecnológicas, surge la necesidad urgente de evaluar el impacto energético y ambiental de estos sistemas (Yáñez-Moretta y Rea-Vaca, 2022), particularmente en el ámbito de la computación en la nube. Si bien se han documentado avances importantes en eficiencia tecnológica, persiste una escasez de estudios contextualizados en América Latina -y especialmente en Ecuador- que analicen este fenómeno desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental. La presente investigación fue planteada como una contribución inicial para cerrar dicha brecha, proponiendo una revisión crítica sobre las relaciones entre computación en la nube, consumo energético y sostenibilidad ambiental. El objetivo del presente estudio es analizar los retos y perspectivas de la computación en la nube en un contexto de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, con énfasis en las oportunidades de desarrollo responsable en países en desarrollo como Ecuador.

Materiales y métodos

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de carácter exploratorio-descriptivo, fundamentado en una revisión bibliográfica sistemática. La elección de esta metodología responde

a la necesidad de examinar críticamente el estado actual del conocimiento relacionado con la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental en el ámbito de la computación en la nube. Se buscó identificar tendencias, brechas y perspectivas relevantes que permitan comprender los desafíos y oportunidades que enfrenta esta tecnología en el contexto del desarrollo sostenible.

La recopilación de fuentes se realizó entre enero a abril de 2025, utilizando bases de datos científicas reconocidas como Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, Google Scholar y Redalyc. Se emplearon palabras clave en español e inglés tales como “computación en la nube”, “eficiencia energética”, “green computing”, “sostenibilidad ambiental”, y “cloud computing sustainability”. Se aplicaron criterios de inclusión que consideraron publicaciones entre 2005 y 2025, artículos revisados por pares, documentos con enfoque técnico o ambiental, y estudios relevantes para América Latina. Se excluyeron fuentes redundantes o sin respaldo metodológico riguroso.

Tras la selección inicial, los documentos fueron organizados y evaluados mediante análisis de contenido. Se aplicó una categorización temática que permitió clasificar la información en tres ejes principales: eficiencia energética en entornos de nube, impactos ambientales de infraestructuras digitales, y enfoques de sostenibilidad tecnológica. Este proceso analítico facilitó la identificación de patrones comunes, contradicciones y vacíos de conocimiento, lo que a su vez permitió construir una interpretación crítica del corpus bibliográfico.

Resultados y discusión

Evolución de los paradigmas en la nube

No existe una fecha exacta para determinar el nacimiento de la computación en la nube. Se trata de un proceso de relativamente largo plazo enfocado en la optimización de recursos. El origen del concepto de computación en la nube es incierto, aunque fue introducido por John McCarthy en 1960 y explorado por primera vez en 1966 por Douglas, un ingeniero eléctrico, en su libro. En los inicios de esta era, la arquitectura cliente-servidor era popular, junto con la arquitectura de mainframe.

La computación en la nube ha evolucionado a lo largo de varias décadas (Figura 1), impulsada por tecnologías clave como los sistemas distribuidos, la virtualización, la Web 2.0, la orientación a servicios y la computación utilitaria (Armbrust et al., 2010).

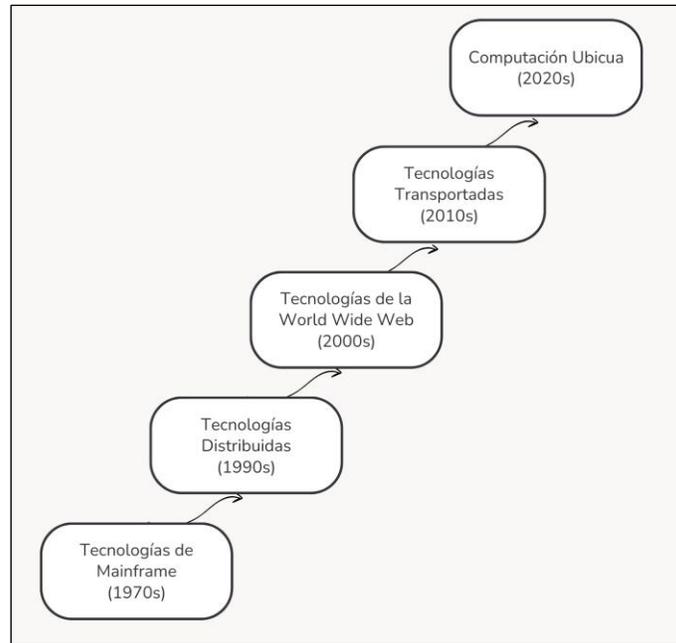


Figura 1: Evolución de la Computación en la Nube (adaptado a partir de Laverde et al., 2023)

Sistemas distribuidos y arquitecturas de mainframe

En las primeras etapas (1960s-1970s), las arquitecturas cliente-servidor y los mainframes (computadoras centrales de gran capacidad, diseñadas para procesar enormes volúmenes de datos y ejecutar múltiples tareas simultáneamente con alta fiabilidad.) eran predominantes (Buyya et al., 2011; Silberschatz et al., 2018).

Los mainframes, introducidos originalmente en la década de 1950, fueron máquinas informáticas altamente potentes y confiables, frecuentemente utilizadas para operaciones masivas de entrada y salida (Buyya et al., 2009), pero ante la ausencia de redes de conexión de largo alcance, se encontraban en sus inicios prácticamente aislados unos de otros.

Virtualización

La virtualización, desarrollada hace casi 40 años (1980s), permitió crear versiones virtuales de recursos computacionales, lo que aumentó la utilización y flexibilidad al permitir que múltiples sistemas operativos y aplicaciones se ejecuten simultáneamente en una misma máquina (Smith y Nair, 2005).

Web 2.0 y orientación a servicios

La aparición de la Web 2.0 (inicios de la década de los 2000) facilitó la creación de páginas web interactivas y dinámicas, aumentando la flexibilidad y permitiendo la interacción entre servicios

de computación en la nube y clientes. La orientación a servicios introdujo conceptos como la Calidad de Servicio (QoS) y el Software como Servicio (SaaS), fundamentales en los primeros años de la computación en la nube (Mell & Grance, 2011).

Modelos de servicio y despliegue

Los modelos de servicio en la nube se clasifican en:

Software como Servicio (SaaS): Un proveedor externo aloja aplicaciones y permite a los usuarios acceder a ellas sin necesidad de instalar infraestructura nueva (Marinescu, 2013).

Plataforma como Servicio (PaaS): Proporciona plataformas y marcos de trabajo para que los desarrolladores puedan crear y ejecutar aplicaciones (Foster et al., 2008).

Infraestructura como Servicio (IaaS): Ofrece recursos de infraestructura fundamentales, como almacenamiento y procesamiento, asegurando su disponibilidad para clientes y aplicaciones (Buyya et al., 2011).

Los modelos de despliegue suelen incluir a su vez cuatro tipos generales (Figura 2):

Nube pública: Disponible para todos los usuarios.

Nube privada: Utilizada por un solo individuo o una sola organización.

Nube híbrida: Combina nubes públicas y privadas interconectadas para optimizar el uso de los recursos.

Nube comunitaria: Varias organizaciones comparten recursos como parte de una comunidad basada en el servicio o departamento (Mell y Grance, 2011).

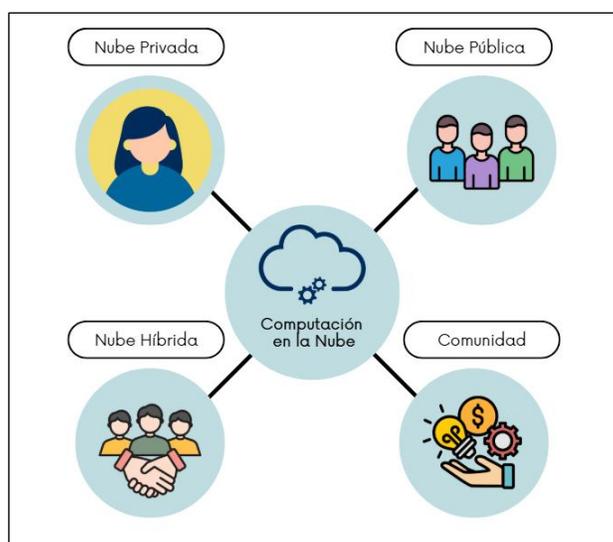


Figura 2. Tipos generales de Computación en la nube (adaptado a partir de Laverde et al., 2023)

Datos sobre el consumo de energía

La computación en la nube debe estar operativa en todo momento para garantizar fiabilidad y disponibilidad. Sin embargo, los métodos utilizados para el almacenamiento y procesamiento de datos consumen grandes cantidades de energía, lo que representa un desafío para la sostenibilidad ambiental (Kooimey, 2007).

El consumo de energía depende de la aplicación o del tipo de cómputo que se ejecuta en el servidor. Además, el tiempo de inactividad del servidor, así como el consumo de los equipos eléctricos y de red, también influyen en el gasto energético total (Barroso & Hölzle, 2009).

Además, el tiempo de inactividad del servidor, así como el consumo de los equipos eléctricos y de red, también influyen en el gasto energético total; pudiendo este evento ser resumido en la siguiente ecuación (Laverde et al., 2023):

$$PC_{total} = PC_{idle} + PC_{proc}$$

Siendo:

PC_{total} = Consumo total de energía

PC_{idle} = Consumo de energía en estado de inactividad

PC_{proc} = Consumo de energía durante el procesamiento

La demanda de la nube está en su punto más alto debido a su modelo de servicio bajo demanda. Actualmente, muchas organizaciones están migrando a la nube, lo que ha provocado un aumento significativo en el número y tamaño de los centros de datos. Los servidores tienen que operar las 24 horas del día, los 365 días del año, y, debido al enfoque de servicio continuo, no es posible apagarlos, incluso cuando no están en uso (Laverde et al., 2023).

Para lograr una infraestructura de computación en la nube energéticamente eficiente, es fundamental adoptar un enfoque integral que contemple tanto el hardware como el software. A nivel de hardware, la eficiencia energética depende en gran medida del diseño de servidores de bajo consumo, la optimización del sistema de refrigeración y el uso de redes de alto rendimiento con bajo consumo eléctrico. En cuanto al software, los avances en sistemas de gestión de recursos en la nube, junto con algoritmos de asignación dinámica de cargas de trabajo y virtualización, desempeñan un papel clave en la reducción del consumo energético general.

Según Beloglazov et al. (2012b), el uso de técnicas de consolidación de cargas y escalado dinámico puede reducir significativamente el consumo de energía en centros de datos basados en la nube.

Dominio del Centro de Datos

Un esquema de los componentes del Dominio del Centro de Datos puede observarse en la Figura 3.

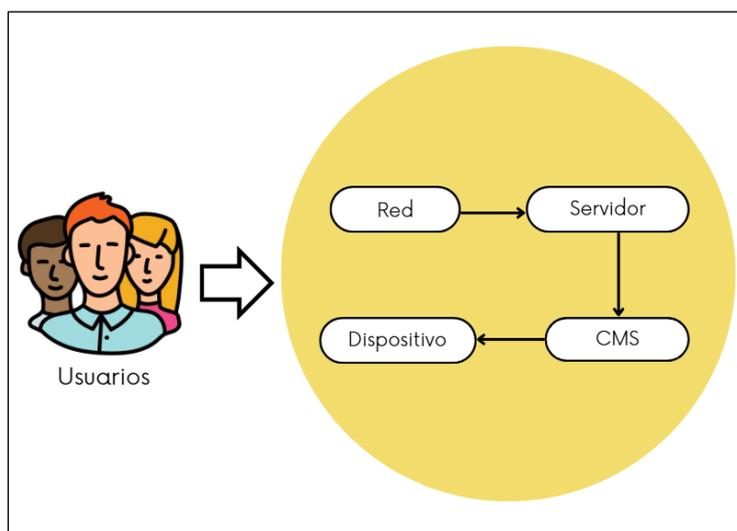


Figura 3: Dominio del Centro de Datos en Computación en la Nube, CMS: Sistema de Gestión de Contenidos.

El servidor es la parte clave del concepto de computación en la nube, ya que comprende los sistemas de almacenamiento y cómputo. En un centro de datos, los componentes de un servidor, como el procesador, la memoria y el cableado, están organizados en racks (estructuras metálicas estandarizadas utilizadas para montar y asegurar equipos electrónicos de forma eficiente). Cabe mencionar que los dispositivos de comunicación y otros elementos del dominio de red, junto con el hardware de soporte, representan una fuente significativa de consumo energético. Este consumo puede volverse ineficiente si no se aplican políticas adecuadas de gestión y uso de recursos, lo que podría llevar a un considerable desperdicio energético (Beloglazov et al., 2012b).

La eficiencia general de un servidor depende en gran medida de la eficiencia energética de sus componentes. Para reducir la pérdida de energía, se pueden aplicar diversas estrategias, como:

- **Uso de componentes energéticamente eficientes:** incluyendo CPUs de bajo consumo, sistemas de almacenamiento optimizados y diseños que favorezcan la disipación térmica, lo cual reduce la pérdida de energía por calor. Además, excluir o apagar componentes del servidor que no estén en uso es una estrategia efectiva (Barroso et al., 2013).

- **Limitación del uso de subsistemas de hardware:** responsables de la alimentación y la refrigeración. Muchos sistemas UPS tradicionales presentan baja eficiencia, por lo que el reemplazo por sistemas más modernos o baterías de respaldo más eficientes puede representar una mejora significativa (Beloglazov et al., 2011).
- **Uso de cachés de tamaño adecuado:** ya que una mayor cantidad de memoria caché no siempre garantiza una menor tasa de fallos. Tecnologías recientes integran mecanismos de administración eficiente de caché que equilibran rendimiento y consumo energético (Kooimey, 2011).
- **Implementación de componentes adaptativos:** como procesadores, módulos de memoria y unidades de almacenamiento que ajustan dinámicamente su consumo energético según la carga de trabajo o cuando están inactivos. Esta capacidad de adaptación (*dynamic voltage and frequency scaling* - DVFS), ha sido clave en el diseño de sistemas verdes (*green computing*) (Beloglazov & Buyya, 2010).

La **red** representa el componente fundamental que permite la comunicación entre las secciones de cómputo, almacenamiento y el usuario final en la nube. Su papel se extiende desde la comunicación interna en los centros de datos hasta la interacción con usuarios remotos, y su eficiencia también debe ser optimizada para evitar cuellos de botella y pérdidas energéticas.

Existen diversas estrategias para reducir el consumo energético en las redes de centros de datos y entornos de computación en la nube. Una de las más efectivas consiste en **reducir la carga térmica de los equipos de red** ubicados en los centros de datos, lo cual no solo disminuye el consumo eléctrico directo de dichos dispositivos, sino que también reduce la energía necesaria para su enfriamiento, ya que el sistema de climatización representa una porción significativa del consumo total de un centro de datos (Dayarathna et al., 2016).

Asimismo, la adopción de topologías y dispositivos de red energéticamente eficientes puede aportar mejoras sustanciales en la eficiencia general. Esto incluye la utilización de switches y routers con modos de operación adaptativa que permiten desactivar puertos o reducir su velocidad en momentos de baja carga, sin comprometer la calidad del servicio (Bianzino et al., 2012).

Desde el punto de vista del software y la gestión de recursos, la optimización del tráfico de red y las técnicas de asignación de máquinas virtuales pueden reducir también significativamente la congestión de red y, por ende, el consumo energético. Estas optimizaciones consideran el diseño

lógico de la red, los patrones de comunicación entre servidores, y los algoritmos de enrutamiento dinámico (Beloglazov y Buyya, 2010b).

Finalmente, **en el dominio del usuario**, estrategias como el desarrollo de software más ligero, la compresión de datos y la minimización del número de solicitudes redundantes a servidores también contribuyen a una menor demanda energética en la red. Cuando se integran con técnicas de gestión inteligente de cargas de trabajo, estas medidas pueden permitir un uso más sostenible de los recursos de conectividad en entornos distribuidos.

Sistema de Gestión en la Nube y Aplicaciones

El Sistema de Gestión en la Nube (Cloud Management System, CMS) desempeña un rol fundamental en la administración eficiente de los recursos de un entorno *cloud*, al permitir el monitoreo, la automatización y la asignación dinámica de tareas. Su impacto sobre el consumo energético es significativo, ya que una gestión ineficiente puede generar sobredimensionamiento o infrautilización de recursos. Para mejorar la eficiencia energética, el CMS puede imponer funciones que controlen no solo el hardware del servidor, sino también redes y sistemas de enfriamiento, contribuyendo así a la reducción del consumo total (Beloglazov et al., 2012b).

Una estrategia clave consiste en el uso de subsistemas de virtualización y monitoreo livianos, en lugar de sistemas pesados con funciones innecesarias, lo cual minimiza el uso de CPU y memoria. Además, al diseñar el CMS de forma modular -cargando y descargando componentes según su necesidad- se puede evitar el uso continuo de funcionalidades redundantes, reduciendo el consumo energético durante periodos de baja carga (Calheiros et al., 2011).

Por otra parte, el "appliance" representa la capa funcional del software en la nube, y es donde se ejecutan las aplicaciones reales utilizadas por el usuario. Este incluye el entorno de ejecución, la aplicación específica y el sistema operativo. La eficiencia energética del appliance depende de múltiples factores, como la elección de un lenguaje de programación optimizado, la eliminación de bibliotecas innecesarias, y la adopción de estrategias como el procesamiento por lotes, la reducción de hilos activos o la programación eficiente de *backups* y *checkpoints* (Orgerie et al., 2014).

Finalmente, una ejecución energética eficiente de *appliances* en la nube requiere coordinación entre el software y otros dominios -como redes, servidores y sistemas de refrigeración- para que el CMS pueda tomar decisiones integrales. En este contexto, la integración de compiladores ecológicos y herramientas de desarrollo optimizadas para el ahorro energético emerge como una

línea de investigación y desarrollo crucial para mejorar la sostenibilidad de la infraestructura en la nube.

Enfoques de Eficiencia Energética en la Computación en la Nube

La computación en la nube verde o *Green Cloud Computing* se centra en el diseño y uso de servicios de computación que reduzcan el impacto ambiental negativo. Este enfoque considera tanto el uso eficiente de los recursos tecnológicos como la incorporación de principios de sostenibilidad ambiental. Entre las estrategias clave se incluyen la utilización de energía renovable, el reciclaje del calor residual, el empleo de hardware con larga vida útil, la reducción del uso de materiales tóxicos y la mejora de la eficiencia energética general del centro de datos (Buyya et al., 2010).

Desde la perspectiva técnica, uno de los métodos más aplicados es el *Dynamic Voltage and Frequency Scaling* (DVFS), una técnica que reduce el consumo de energía ajustando de forma dinámica el voltaje y la frecuencia de operación de los procesadores según la carga de trabajo. Esta estrategia es eficaz en reducir el consumo de energía dinámica, especialmente en servidores con alta fluctuación de tareas (Beloglazov & Buyya, 2010b).

Además, la consolidación de máquinas virtuales (VM) permite agrupar múltiples cargas de trabajo en un menor número de servidores físicos, incrementando así la utilización de recursos y permitiendo apagar servidores inactivos. Por otro lado, la migración de máquinas virtuales posibilita transferir VMs en ejecución desde servidores sobrecargados o ineficientes a otros más eficientes, lo que contribuye a la optimización energética del centro de datos. Ambas técnicas son fundamentales en los entornos de virtualización orientados a la eficiencia energética (Xu et al., 2010).

En conjunto, estas estrategias forman parte de un modelo integral de computación en la nube “verde”, que busca no solo reducir los costos operativos de los proveedores, sino también avanzar hacia infraestructuras digitales sostenibles y con menor huella de carbono.

El desarrollo de software, las pruebas, la implementación y las operaciones también son factores que afectan la eficiencia energética (Figura 4). Tanto el hardware como el software en su ciclo de vida desempeñan un papel importante en la eficiencia energética. En la sección de software, la energía no solo es consumida por el ciclo de la CPU, sino que también tiene un papel en la sección de almacenamiento y en la sección de transferencia de datos.

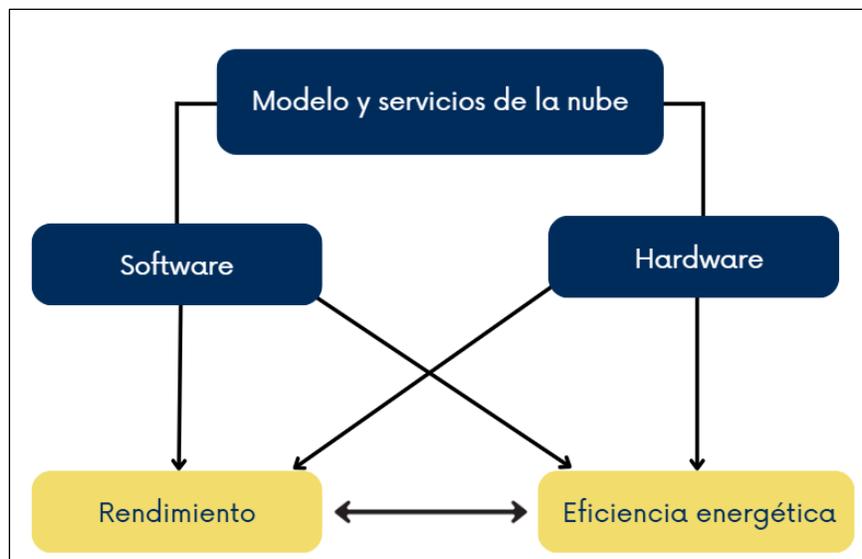


Figura 4: Sistemas de servicios en la nube

Para estimar el consumo de energía de las declaraciones y estructuras de los programas, debemos considerar ciertos aspectos que incluyen:

- Las operaciones complejas y las estructuras de datos consumen más energía que las simples.
- Las tareas que aumentan la utilización de la CPU y reducen el tiempo inactivo de la CPU disminuyen el consumo de energía.
- Las tareas que prefieren utilizar almacenamiento de alto rendimiento tienen un menor consumo de energía.

Actualmente, los proveedores de centros de datos están adoptando arquitecturas diseñadas para minimizar la huella de carbono, priorizando el uso de recursos energéticos renovables y tecnologías que reduzcan al máximo la emisión de gases de efecto invernadero. Este enfoque responde a la creciente demanda global por soluciones tecnológicas sostenibles y responsables con el medio ambiente (Shehabi et al., 2016).

Uso de energía

La denominada computación verde en la nube propone un enfoque integral basado en tres principios fundamentales:

- Verde en el diseño, que implica la optimización del diseño de servidores, infraestructura digital y aplicaciones para minimizar el uso de energía desde el inicio.

- Verde en la producción, que promueve el reciclaje de equipos electrónicos, la reutilización de materiales, y el desarrollo de software eficiente.
- Verde en el uso, que considera prácticas sostenibles en la operación de los centros de datos, desde la distribución de cargas hasta el control térmico y la eficiencia en los recursos (Buyya et al., 2010).

En definitiva, optimizar el desarrollo del software no solo mejora el rendimiento, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental en los entornos de computación distribuida.

El primer factor es el usuario, específicamente cómo se diseñan e implementan las aplicaciones de software. En la arquitectura de la nube, se pueden ejecutar aplicaciones de un usuario individual o las aplicaciones de un proveedor de servicios en la nube. Ambos utilizan SaaS y, en ambos casos, el consumo de energía depende de la eficiencia de la aplicación. Las ineficiencias en la aplicación, como algoritmos subóptimos o el uso inadecuado de recursos compartidos, conducen a un aumento en el uso de la CPU, lo que a su vez genera un alto consumo de energía (Li et al., 2014).

Otra área que contribuye significativamente al consumo total de energía son los dispositivos de red. Antes de que los datos sean procesados en el centro de datos, deben viajar a través de numerosos dispositivos (Figura 5), como conmutadores Ethernet, puertas de enlace de banda ancha y enrutadores. La eficiencia energética de estos dispositivos depende principalmente de la topología de la red, el sistema y el diseño del protocolo implementado (Bianzino et al., 2012).

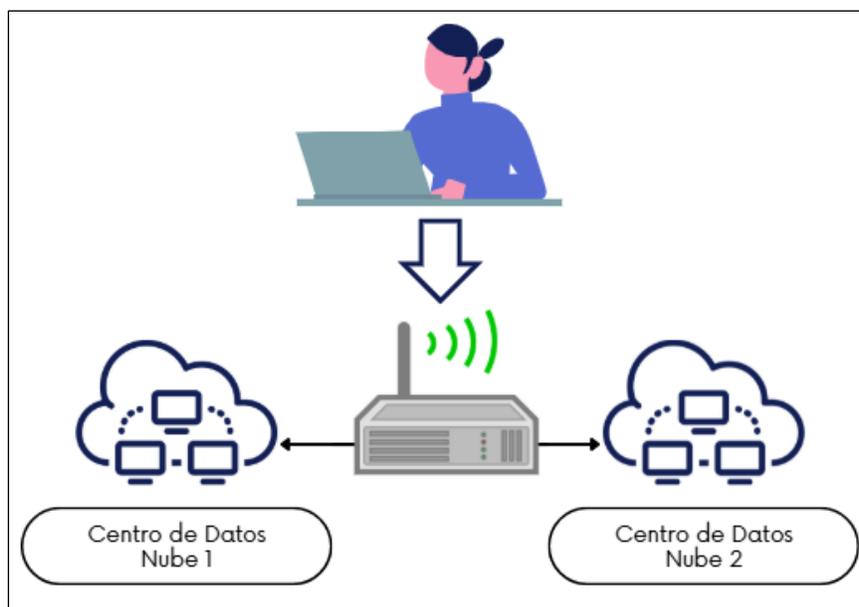


Figura 5: Elementos de consumo de energía en un modelo simple de computación en la nube

Cabe mencionar también que debido a la gran cantidad de equipos que albergan, los centros de datos consumen importantes cantidades de energía y son responsables de emisiones de carbono. En la infraestructura de la nube, no solo los servidores y sistemas de almacenamiento consumen energía, sino que también los dispositivos de refrigeración requieren un consumo energético equivalente al de los sistemas de tecnología de la información (Beloglazov et al., 2012).

Hacia la eficiencia energética

Aplicaciones y Software

Es muy importante centrarse en la eficiencia energética a nivel de aplicación. Para lograr eficiencia en este nivel, SaaS debe prestar atención a la infraestructura para desplegar y ejecutar eficientemente. Además, se deben utilizar diversas técnicas de eficiencia energética para reducir el consumo a nivel de compilador y código, incluyendo optimización del código y selección de algoritmos eficientes (Nathuji y Schwan, 2007; Kusic et al., 2009).

Virtualización y Aprovisionamiento

La consolidación de máquinas virtuales, la programación, la proyección de demanda, la migración, la asignación consciente de la temperatura y el equilibrio de carga son diversas técnicas para minimizar el consumo de energía en centros de datos. La reconfiguración automática del sistema de gestión de carga térmica también se centra en el ahorro de energía, mediante el monitoreo continuo y ajustes dinámicos de recursos (Beloglazov y Buyya, 2012; Verma et al., 2008).

Medición de Energía

Para mejorar el rendimiento energético, es fundamental medir o monitorear el consumo energético. La energía consumida en la gestión, procesamiento, almacenamiento y enrutamiento de datos dentro del centro de datos y el servidor se mide utilizando métricas específicas, como PUE (*Power Usage Effectiveness*) y DCiE (*Data Center infrastructure Efficiency*), que permiten comparar la eficiencia y establecer objetivos claros de optimización (Greenberg et al., 2009; Berl et al., 2010).

Conclusiones

La computación en la nube se consolida como una herramienta clave en la transformación digital, al ofrecer servicios flexibles, escalables y eficientes que optimizan el uso de recursos tecnológicos. No obstante, su despliegue masivo implica importantes desafíos relacionados con el consumo energético, especialmente en lo que respecta a la operación continua de centros de datos, la gestión

de infraestructura distribuida y la demanda creciente de procesamiento de datos. En este contexto, es imperativo replantear su desarrollo desde una perspectiva de sostenibilidad.

Uno de los aportes más relevantes del modelo de computación en la nube es su potencial para mejorar la eficiencia energética mediante técnicas avanzadas de virtualización, gestión dinámica de cargas y monitoreo inteligente de recursos. Estos mecanismos permiten una utilización más racional de los componentes de hardware y software, reduciendo significativamente los niveles de inactividad, el desperdicio energético y la emisión de calor. La correcta implementación de estas estrategias constituye un factor decisivo para lograr infraestructuras tecnológicas más sostenibles. La sostenibilidad ambiental en entornos de computación distribuida no solo depende del diseño físico de los centros de datos, sino también de decisiones relacionadas con el desarrollo de software, el comportamiento de los usuarios y la eficiencia de los sistemas de gestión en la nube. Factores como la elección de algoritmos, la programación de tareas, la compresión de datos y el uso de redes eficientes tienen un impacto directo en el consumo energético total. Por ello, resulta fundamental integrar prácticas sostenibles en cada etapa del ciclo de vida tecnológico.

Finalmente, el artículo pone de relieve la urgencia de contextualizar la transición hacia una computación en la nube verde en regiones como América Latina, donde las brechas en infraestructura y políticas energéticas requieren soluciones adaptadas. Países como Ecuador enfrentan el reto de modernizar sus sistemas tecnológicos sin comprometer los objetivos ambientales. En ese sentido, la computación en la nube, si se implementa con enfoque ecológico, puede ser una aliada estratégica para avanzar hacia un desarrollo más responsable y resiliente.

Referencias

1. Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A., Katz, R., Konwinski, A., Lee, A., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., & Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.
2. Baliga, J., Ayre, R. W., Hinton, K., & Tucker, R. S. (2011). Green cloud computing: Balancing energy in processing, storage, and transport. *Proceedings of the IEEE*, 99(1), 149-167.
3. Barroso, L., & Hölzle, U. (2009). *The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines*. Morgan & Claypool Publishers.

4. Barroso, L. A., Clidaras, J., & Hölzle, U. (2013). *The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines* (2nd ed.). Morgan & Claypool Publishers.
5. Beloglazov, A., & Buyya, R. (2010). Energy Efficient Resource Management in Virtualized Cloud Data Centers. *Proceedings of the 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing*, 826–831.
6. Beloglazov, A., & Buyya, R. (2010b). Energy efficient allocation of virtual machines in cloud data centers. In *10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing* (pp. 577–578).
7. Beloglazov, A., & Buyya, R. (2012). Optimal online deterministic algorithms and adaptive heuristics for energy and performance efficient dynamic consolidation of virtual machines in cloud data centers. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 24(13), 1397-1420.
8. Beloglazov, A., Abawajy, J., & Buyya, R. (2011). Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for Cloud computing. *Future Generation Computer Systems*, 28(5), 755–768.
9. Beloglazov, A., Buyya, R., Lee, Y. C., & Zomaya, A. (2012). A taxonomy and survey of energy-efficient data centers and cloud computing systems. *Advances in Computers*, 82, 47-111.
10. Beloglazov, A., Abawajy, J., & Buyya, R. (2012b). Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for Cloud computing. *Future Generation Computer Systems*, 28(5), 755–768.
11. Berl, A., Gelenbe, E., Di Girolamo, M., Giuliani, G., de Meer, H., Dang, M. Q., & Pentikousis, K. (2010). Energy-efficient cloud computing. *The Computer Journal*, 53(7), 1045-1051.
12. Bianzino, A. P., Chaudet, C., Rossi, D., & Rougier, J. L. (2012). A Survey of Green Networking Research. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(1), 3–20.
13. Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J., & Brandic, I. (2009). Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation Computer Systems*, 25(6), 599-616.

14. Buyya, R., Beloglazov, A., & Abawajy, J. (2010). Energy-efficient management of data center resources for cloud computing: A vision, architectural elements, and open challenges. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'10)*.
15. Buyya, R., Broberg, J., & Goscinski, A. (2011). *Cloud computing: Principles and paradigms*. Wiley.
16. Dayarathna, M., Wen, Y., & Fan, R. (2016). Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 732–794.
17. Calheiros, R. N., Ranjan, R., Beloglazov, A., De Rose, C. A., & Buyya, R. (2011). CloudSim: A toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms. *Software: Practice and Experience*, 41(1), 23–50.
18. Elfizon, E., Nuñez Alvarez, J. R., Chammam, A., Al-Kharsan, I. H., Jweeg, M. J., Yáñez-Moreta, P., Alayi, R., Khan, I., Byun, Y., & Madsen, D. Ø. (2023). Design-based system performance assessment of a combined power and freshwater cogeneration system. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1265309.
19. Foster, I., Zhao, Y., Raicu, I., & Lu, S. (2008). Cloud computing and grid computing 360-degree compared. In *Proceedings of the Grid Computing Environments Workshop (GCE '08)* (pp. 1–10). IEEE.
20. Greenberg, S., Hamilton, J. R., Maltz, D. A., & Patel, P. (2009). The cost of a cloud: Research problems in data center networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(1), 68-73.
21. Koomey, J. G. (2011). *Growth in data center electricity use 2005 to 2010*. Oakland, CA: Analytics Press.
22. Kusic, D., Kephart, J. O., Hanson, J. E., Kandasamy, N., & Jiang, G. (2009). Power and performance management of virtualized computing environments via lookahead control. *Cluster Computing*, 12(1), 1-15.
23. Laverde, C., Venkatesan, S., Torres, A. Y., Yáñez-Moreta, P., & Vargas, J. C. J. (2023). Exploration on cloud computing techniques and its energy concern. *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, 72(1), 749-758.

24. Li, K., Xu, G., Zhao, G., Dong, Y., & Wang, D. (2014). Cloud task scheduling based on load balancing ant colony optimization. *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 7(2), 1-10.
25. Marinescu, D. C. (2013). *Cloud computing: Theory and practice*. Morgan Kaufmann.
26. Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing-The business perspective. *Decision Support Systems*, 51(1), 176-189.
27. Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing*. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg.
28. Nathuji, R., & Schwan, K. (2007). VirtualPower: Coordinated power management in virtualized enterprise systems. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 41(6), 265-278.
29. Orgerie, A. C., Lefèvre, L., & Gelas, J. P. (2014). Demystifying energy consumption in grids and clouds. In *Green Computing: Tools and Techniques for Saving Energy, Money, and Resources* (pp. 97–121). CRC Press.
30. Rimal, B. P., Choi, E., & Lumb, I. (2009). A taxonomy and survey of cloud computing systems. *5th International Joint Conference on INC, IMS and IDC*, 44-51.
31. Shehabi, A., Smith, S. J., Masanet, E., & Koomey, J. (2016). Data center growth in the United States: decoupling the demand for computing from electricity use. *Environmental Research Letters*, 11(11), 114007.
32. Silberschatz, A., Galvin, P. B., & Gagne, G. (2018). *Operating system concepts* (10th ed.). Wiley.
33. Smith, J. E., & Nair, R. (2005). *Virtual machines: Versatile platforms for systems and processes*. Morgan Kaufmann.
34. Verma, A., Ahuja, P., & Neogi, A. (2008). pMapper: Power and migration cost aware application placement in virtualized systems. *IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*, 62-71.
35. Xu, J., Zhao, M., Fortes, J., Carpenter, R., & Yousif, M. (2010). Autonomic resource management in virtualized data centers using fuzzy logic-based approaches. *Cluster Computing*, 11(3), 213–227.
36. Yáñez-Moretta, P., & Rea-Vaca, F. (2022). Sistemas Integrados de Gestión en un contexto de responsabilidad social. *Polo del Conocimiento*, 7(1), 311-326.

37. Zhang, Q., Cheng, L., & Boutaba, R. (2010). Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications*, 1, 7-18.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).