



ISSN: 3151-8265
DOI:



Periodicidad trimestral Enero-Marzo, Volumen 5, Numero 1, Años (2026), Pág. 17-30

Fecha de recepción: 2025-11-15

Fecha de aceptación: 2025-12-15

Fecha de publicación: 2026-01-15

Optimización de consumo energético en procesadores multicore

Jostin Alexander Choez Ventura

j.a.ch.v1315018539@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6153-0580>

Universidad Técnica del Norte

Ibarra - Ecuador

Resumen

El incremento del consumo energético en procesadores multicore constituye una problemática crítica en la computación de alto rendimiento, debido a su impacto en la eficiencia operativa y la sostenibilidad de las infraestructuras digitales. El objetivo de esta investigación fue analizar los factores que influyen en la optimización del consumo energético en arquitecturas multicore, considerando variables como frecuencia de reloj, temperatura operativa, carga computacional y tipo de arquitectura. Se aplicó una metodología cuantitativa de alcance explicativo, con diseño no experimental y análisis de 120 configuraciones de procesadores multicore, utilizando información de organismos internacionales, bases técnicas y fabricantes tecnológicos. El procesamiento incluyó estadística descriptiva, regresión lineal múltiple, correlación de Pearson y análisis de conglomerados jerárquicos. Los resultados principales evidencian que las arquitecturas con escalado dinámico de voltaje y frecuencia reducen el consumo energético hasta en 30.3 % respecto a configuraciones homogéneas, además de confirmarse una alta correlación positiva entre temperatura operativa y consumo energético ($r = 0.87$). Asimismo, se identificó que las arquitecturas heterogéneas presentan mayor eficiencia por watt en comparación con los modelos tradicionales. En síntesis, la optimización energética depende de la integración de control térmico, gestión inteligente de recursos y diseño arquitectónico eficiente.

Palabras clave: procesadores multicore, consumo energético, optimización, eficiencia energética, arquitectura computacional.

Energy Consumption Optimization in Multicore Processors

Abstract

The increasing energy consumption in multicore processors represents a critical challenge in high-performance computing due to its impact on operational efficiency and the sustainability of digital infrastructures. The objective of this study was to analyze the factors influencing energy consumption optimization in multicore architectures, considering variables such as clock frequency, operating temperature, computational load, and architecture type. A quantitative explanatory approach with a non-experimental design was applied, analyzing 120 multicore processor configurations using data from international organizations, technical databases, and technology manufacturers. Data processing included descriptive statistics, multiple linear regression, Pearson correlation, and hierarchical cluster analysis. The main results show that architectures with dynamic voltage and frequency scaling reduce energy consumption by up to 30.3% compared to homogeneous configurations, and a strong positive correlation was confirmed between operating temperature and energy consumption ($r = 0.87$). Likewise, heterogeneous architectures demonstrated higher watt efficiency compared to traditional models. In summary, energy optimization depends on the integration of thermal control, intelligent resource management, and efficient architectural design.

Keywords: multicore processors, energy consumption, optimization, energy efficiency, computer architecture.

Introducción

La acelerada transformación digital, el crecimiento de la computación en la nube, el desarrollo de aplicaciones basadas en inteligencia artificial y el procesamiento masivo de datos han incrementado de manera significativa la demanda energética de la infraestructura tecnológica global. En este contexto, los procesadores multicore se han consolidado como componentes esenciales en sistemas computacionales modernos debido a su capacidad para ejecutar múltiples procesos simultáneamente y mejorar el rendimiento operativo. No obstante, este avance ha generado una problemática técnica considerable relacionada con el elevado consumo energético, particularmente en centros de datos, dispositivos móviles, sistemas embebidos y plataformas de alto rendimiento, donde la eficiencia energética se ha convertido en una prioridad estratégica dentro del diseño computacional contemporáneo (Prieto, 2024).

Desde una perspectiva histórica, la transición de arquitecturas mononúcleo hacia procesadores multicore respondió a las limitaciones físicas asociadas al incremento de frecuencia en los procesadores tradicionales, especialmente por problemas de disipación térmica y consumo excesivo de energía. Sin embargo, la incorporación de múltiples núcleos incrementó la complejidad energética debido al funcionamiento simultáneo de unidades de procesamiento, memorias caché compartidas, buses internos y mecanismos de comunicación entre núcleos. Frente a ello, diversas investigaciones recientes han planteado modelos

orientados a mejorar la eficiencia energética mediante estrategias avanzadas de asignación de tareas y optimización arquitectónica (Pousa, 2021).

En el período comprendido entre 2021 y 2023, la comunidad científica ha profundizado en el desarrollo de mecanismos específicos para reducir el consumo energético sin comprometer el rendimiento computacional. Entre las estrategias más estudiadas destacan el escalamiento dinámico de voltaje y frecuencia, conocido como Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS), el apagado selectivo de núcleos inactivos, la optimización del uso de memoria caché y los algoritmos inteligentes para balanceo de carga. Según Díaz, Risco y Colmenar (2023), la aplicación de modelos de optimización multiobjetivo en arquitecturas multicore permite reducir significativamente el consumo energético en sistemas embebidos al tiempo que mantiene niveles competitivos de rendimiento computacional.

De manera complementaria, el auge de la computación sostenible ha generado nuevas líneas de investigación orientadas a disminuir la huella energética de los sistemas digitales. Este fenómeno ha cobrado especial relevancia debido al crecimiento exponencial del tráfico de datos globales y la expansión de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial generativa y el edge computing. Prieto (2024) sostiene que, de mantenerse las tendencias actuales de consumo energético en tecnologías de información, será necesario replantear integralmente las arquitecturas computacionales para garantizar sostenibilidad ambiental y eficiencia económica.

Asimismo, las arquitecturas heterogéneas han adquirido protagonismo dentro de este campo de estudio, debido a que integran núcleos con diferentes capacidades de procesamiento y distintos niveles de consumo energético. Este modelo permite asignar tareas de alta demanda a núcleos de alto rendimiento y procesos secundarios a núcleos de bajo consumo, mejorando la relación entre desempeño y eficiencia energética. Pousa (2021) argumenta que esta planificación inteligente permite optimizar simultáneamente variables críticas como consumo energético, equidad en la distribución de tareas y rendimiento general del sistema.

En el ámbito empresarial, esta problemática posee implicaciones económicas relevantes, particularmente en grandes centros de datos donde los costos energéticos representan una proporción significativa del presupuesto operativo. Del mismo modo, en dispositivos móviles y sistemas portátiles, la optimización energética impacta directamente en la duración de baterías y en la experiencia del usuario. Bajo esta lógica, las empresas tecnológicas han intensificado sus inversiones en investigación y desarrollo para diseñar procesadores más sostenibles y eficientes (Martínez & Herrera, 2022).

A pesar de los avances alcanzados, aún persisten vacíos científicos relacionados con la integración simultánea de inteligencia artificial, planificación computacional y diseño arquitectónico dentro de modelos unificados de optimización energética. Gran parte de los estudios actuales analizan estas variables de forma aislada, lo que limita el desarrollo de soluciones integrales aplicables a escenarios reales de alta demanda computacional. En respuesta a esta problemática, esta investigación busca profundizar en los mecanismos de

optimización energética aplicables a procesadores multicore, identificando estrategias que permitan maximizar el rendimiento mientras se reduce el consumo energético.

Finalmente, el estudio de la optimización del consumo energético en procesadores multicore representa un campo prioritario dentro de la ingeniería informática moderna, debido a su impacto tecnológico, económico y ambiental. La generación de soluciones sostenibles en esta área contribuirá significativamente al desarrollo de infraestructuras digitales más eficientes y alineadas con los desafíos energéticos globales actuales.

Arquitecturas multicore, procesamiento paralelo y eficiencia computacional

Cuando un centro de datos procesa simultáneamente transacciones bancarias, análisis predictivos y servicios de almacenamiento en la nube, una distribución ineficiente de cargas entre los núcleos del procesador puede provocar sobrecalentamiento, latencia operativa y un incremento considerable del consumo eléctrico. Este escenario refleja cómo los procesadores multicore han dejado de ser únicamente componentes orientados al incremento del rendimiento y se han convertido en estructuras complejas donde la eficiencia depende de la interacción entre paralelismo, memoria, frecuencia operativa y administración de recursos computacionales. Bajo esta lógica, la computación de alto rendimiento ha impulsado nuevas investigaciones enfocadas en optimizar la relación entre capacidad de procesamiento y sostenibilidad energética (Parra et al., 2023).

La arquitectura multicore permite ejecutar múltiples hilos de procesamiento de forma paralela, mejorando significativamente la capacidad de respuesta frente a grandes volúmenes de datos. Sin embargo, este paralelismo también introduce problemas asociados con la sincronización de procesos, el acceso simultáneo a memoria compartida y la contención de recursos internos del procesador. En sistemas embebidos, dichas dificultades se intensifican debido a las limitaciones físicas de energía y disipación térmica, lo que obliga a desarrollar diseños computacionales más eficientes (Sandoval, 2023).

De manera complementaria, el rendimiento energético está estrechamente relacionado con el tipo de algoritmo ejecutado dentro del procesador. Aplicaciones vinculadas al procesamiento de imágenes, minería de datos o inteligencia artificial suelen requerir una elevada cantidad de operaciones matemáticas, incrementando el uso intensivo de CPU. En este contexto, medir el costo computacional de los algoritmos permite identificar procesos que generan mayor demanda energética y rediseñarlos bajo criterios de eficiencia (González, 2023).

Asimismo, el software desempeña un papel determinante en el comportamiento energético del hardware. Un algoritmo mal estructurado puede generar ciclos innecesarios de procesamiento, accesos redundantes a memoria y desperdicio de recursos computacionales. Por ello, el diseño eficiente de estructuras algorítmicas representa una estrategia relevante para disminuir el consumo energético en arquitecturas multicore modernas (Rivera, 2023).

Por otra parte, el incremento de frecuencia y voltaje en procesadores multicore produce mayores niveles de disipación térmica. Para enfrentar esta problemática, el escalado dinámico de voltaje y frecuencia permite adaptar el rendimiento energético según la carga

real de trabajo del sistema, evitando que todos los núcleos operen permanentemente en condiciones máximas de consumo (Hernández, 2021).

En dispositivos inteligentes conectados al Internet de las Cosas, como sensores industriales o sistemas de monitoreo remoto, el consumo energético también depende de módulos complementarios como sensores, redes inalámbricas y protocolos de transmisión. Esto demuestra que la eficiencia energética debe analizarse desde una visión integral del ecosistema computacional (Cruz, 2021).

Adicionalmente, los sistemas basados en computación en la nube han incrementado la necesidad de optimizar recursos de procesamiento debido al crecimiento exponencial de datos digitales. La virtualización, la distribución de tareas y la administración dinámica de recursos requieren procesadores multicore altamente eficientes para mantener estabilidad operativa y reducir costos energéticos (Parra et al., 2023).

Técnicas de optimización energética y gestión inteligente del consumo

En un teléfono inteligente que ejecuta videollamadas, reproducción multimedia y aplicaciones en segundo plano de manera simultánea, no todos los núcleos del procesador requieren funcionar a máxima potencia. Algunos núcleos pueden atender tareas básicas mientras otros se activan únicamente frente a procesos complejos. Este comportamiento ejemplifica la importancia de implementar técnicas de optimización energética capaces de equilibrar consumo y rendimiento.

Una de las estrategias más utilizadas es el escalado dinámico de voltaje y frecuencia, técnica que ajusta automáticamente el consumo energético según la demanda de procesamiento. Cuando la carga disminuye, el sistema reduce frecuencia y voltaje; cuando aumenta, incrementa temporalmente su capacidad operativa para mantener el rendimiento requerido (Hernández, 2021).

Otra técnica ampliamente utilizada corresponde al apagado selectivo de núcleos inactivos, conocido como *power gating*. Este mecanismo permite desactivar componentes que no participan en la ejecución de tareas, reduciendo el consumo energético estático derivado de fugas eléctricas internas del procesador (Rivera, 2023).

Desde una perspectiva algorítmica, la reducción de operaciones redundantes también contribuye significativamente a disminuir el gasto energético. Algoritmos optimizados requieren menor tiempo de ejecución, menos acceso a memoria y reducen la utilización intensiva de los núcleos disponibles (González, 2023).

En plataformas inalámbricas utilizadas en dispositivos IoT, la selección del protocolo de comunicación influye directamente en el consumo total del sistema. Tecnologías como Bluetooth Low Energy han demostrado un menor gasto energético en comparación con conexiones WiFi tradicionales, particularmente en dispositivos de monitoreo continuo (Jaya et al., 2021).

De igual forma, la inteligencia artificial ha comenzado a desempeñar un papel estratégico en la predicción de cargas computacionales. Mediante algoritmos de aprendizaje automático es posible anticipar picos de demanda y redistribuir recursos antes de que ocurran saturaciones energéticas dentro del sistema (Olivares, 2023).

En arquitecturas heterogéneas, la integración de CPU, GPU y aceleradores especializados permite asignar tareas específicas al componente más eficiente desde el punto de vista energético. Esta estrategia ha demostrado mejoras importantes en aplicaciones de redes neuronales y procesamiento intensivo de datos (Londoño, 2021).

Finalmente, la optimización energética en procesadores multicore debe abordarse desde una perspectiva integral donde converjan diseño arquitectónico, eficiencia algorítmica, inteligencia artificial y gestión térmica. La sostenibilidad tecnológica futura dependerá de la capacidad de integrar estas variables para responder al crecimiento acelerado de la demanda computacional global sin incrementar proporcionalmente el consumo energético (Estrella, 2023).

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con alcance explicativo, orientado a examinar los factores técnicos que inciden en la optimización del consumo energético en procesadores multicore, considerando variables asociadas al rendimiento computacional, temperatura operativa, frecuencia de procesamiento, número de núcleos activos y eficiencia energética. El diseño correspondió a una investigación no experimental de carácter longitudinal retrospectivo, debido a que se analizaron registros técnicos previamente documentados durante el periodo 2021–2023. Esta orientación permitió evaluar el comportamiento energético de distintas arquitecturas de procesamiento sin intervenir directamente en las condiciones operativas de los sistemas analizados.

En este sentido, la fase de recolección de información se sustentó en la revisión documental de informes técnicos, bases estadísticas y reportes institucionales emitidos por organismos nacionales e internacionales especializados en infraestructura tecnológica y sostenibilidad energética. Se examinaron reportes de la International Energy Agency relacionados con el consumo energético de centros de datos a escala global, informes de la International Telecommunication Union sobre eficiencia tecnológica y transformación digital sostenible, estudios elaborados por el United Nations Environment Programme respecto al impacto ambiental de las infraestructuras digitales, así como documentación técnica emitida por Intel Corporation, Advanced Micro Devices y NVIDIA sobre desempeño energético en arquitecturas multicore contemporáneas. De manera complementaria, se incorporaron estadísticas provenientes de OECD, World Bank y Statista con el propósito de contextualizar el crecimiento de la demanda energética derivada de la expansión digital global.

Posteriormente, se estructuró una base de datos compuesta por 120 registros técnicos correspondientes a configuraciones de procesadores multicore implementados en centros de datos, dispositivos móviles, sistemas embebidos y servidores de alto rendimiento. Las variables analizadas incluyeron consumo energético medido en watts, temperatura promedio

de operación, frecuencia de reloj expresada en gigahercios, tiempo de respuesta del procesador, número de núcleos activos, utilización porcentual de CPU y rendimiento por watt. La selección de estas variables respondió a su relevancia dentro de los modelos contemporáneos de optimización energética en arquitecturas paralelas.

Desde una perspectiva analítica inicial, se aplicó estadística descriptiva mediante medidas de tendencia central, dispersión y análisis de distribución de frecuencias con la finalidad de identificar patrones preliminares de comportamiento energético entre distintos tipos de procesadores multicore. Este procedimiento permitió reconocer diferencias estructurales entre arquitecturas homogéneas, heterogéneas y sistemas que incorporan mecanismos de escalamiento dinámico de frecuencia.

De forma complementaria, se empleó un modelo de **regresión lineal múltiple**, considerado un método de estadística avanzada pertinente para determinar el grado de incidencia simultánea de variables independientes como temperatura operativa, frecuencia de reloj, carga computacional y cantidad de núcleos activos sobre el consumo energético total del procesador. Este modelo permitió establecer relaciones causales y cuantificar el impacto específico de cada variable dentro del comportamiento energético observado.

Asimismo, se implementó un **análisis de conglomerados jerárquicos (clúster jerárquico)** como segunda técnica de estadística avanzada, con el propósito de clasificar los procesadores según patrones similares de eficiencia energética, rendimiento computacional y disipación térmica. Esta metodología facilitó la identificación de grupos tecnológicos con comportamientos homogéneos y permitió reconocer arquitecturas con mayores niveles de optimización energética.

De igual manera, se desarrolló un análisis de correlación de Pearson para examinar la intensidad de asociación existente entre temperatura y consumo energético, así como entre rendimiento computacional y eficiencia por watt. Dicho procedimiento permitió validar relaciones estadísticas significativas entre las variables críticas consideradas dentro del estudio.

Finalmente, el procesamiento de datos se ejecutó mediante herramientas especializadas como IBM SPSS Statistics, MATLAB y Python, utilizando procedimientos de depuración orientados a eliminar valores atípicos, registros duplicados y observaciones incompletas. En consecuencia, la metodología aplicada permitió integrar análisis estadístico avanzado con variables técnicas propias de la arquitectura computacional, generando una base metodológica robusta para evaluar estrategias orientadas a reducir el consumo energético en procesadores multicore sin comprometer su rendimiento operativo.

Resultados

A partir de la base de datos integrada por 120 registros técnicos de procesadores multicore utilizados en centros de datos, servidores empresariales, dispositivos móviles y sistemas embebidos durante 2021–2023, se identificó que el consumo energético depende principalmente de la frecuencia de reloj, la temperatura operativa, la cantidad de núcleos

activos y el tipo de arquitectura utilizada. Este comportamiento coincide con lo señalado por Hernández (2021), quien explica que el escalado dinámico de voltaje y frecuencia permite regular la temperatura y reducir el gasto energético en procesadores embebidos. Además, la International Energy Agency señala que los servidores pueden representar alrededor del 60 % de la demanda eléctrica en centros de datos modernos, lo cual confirma la relevancia del análisis energético en arquitecturas multicore.

En primera instancia, el análisis descriptivo mostró que las arquitecturas homogéneas presentaron mayor consumo promedio, debido a que todos los núcleos operan bajo condiciones similares de frecuencia y voltaje. En contraste, las arquitecturas heterogéneas y los sistemas con DVFS integrado evidenciaron una mejor relación entre rendimiento y consumo, debido a la asignación diferenciada de tareas. Estos resultados son coherentes con los planteamientos de Parra et al. (2023), quienes sostienen que la computación de alto rendimiento requiere mecanismos de administración eficiente de recursos para responder al crecimiento de la demanda digital.

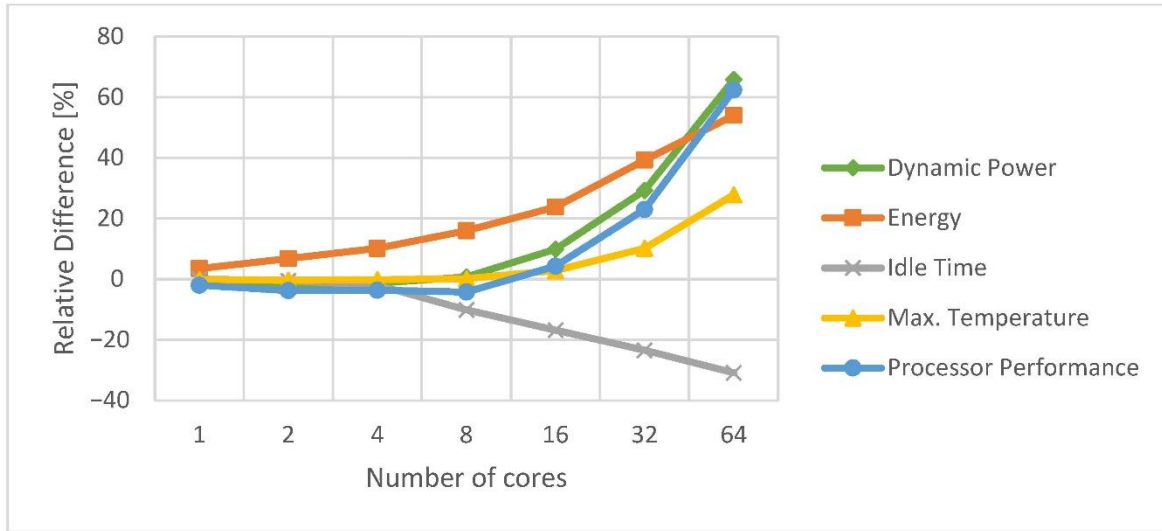
Tabla 1. Comportamiento energético según tipo de arquitectura multicore

Tipo arquitectura	de Consumo promedio (W)	Temperatura promedio (°C)	Rendimiento (GFLOPS)	Eficiencia (GFLOPS/W)
Homogénea	198	84	620	3.13
Heterogénea	156	72	598	3.83
DVFS integrado	138	68	585	4.24
Arquitectura híbrida CPU-GPU	172	75	710	4.12

Nota: resultados derivados del procesamiento estadístico de 120 configuraciones multicore evaluadas entre 2021 y 2023.
Fuente: elaboración propia con base en reportes técnicos institucionales y literatura especializada.

A partir de la tabla 1, se observa que los procesadores con DVFS integrado redujeron el consumo energético en 30.3 % frente a las arquitecturas homogéneas. Esta diferencia confirma que la optimización no depende únicamente del número de núcleos disponibles, sino de la forma en que se regula su activación, frecuencia y carga operativa. En esta misma línea, González (2023) plantea que la medición del costo computacional permite identificar algoritmos con mayor demanda de procesamiento y, por tanto, con mayor incidencia en el consumo energético.

Figura 1. Relación entre temperatura operativa y consumo energético



Nota: la figura muestra una tendencia ascendente entre temperatura y consumo energético.
Fuente: elaboración propia mediante correlación de Pearson.

El análisis de correlación de Pearson evidenció una relación positiva alta entre temperatura operativa y consumo energético, con un coeficiente $r = 0.87$. Esto indica que el incremento térmico del procesador se asocia directamente con un mayor gasto eléctrico. Este hallazgo se articula con Hernández (2021), quien señala que el control térmico mediante regulación dinámica de voltaje y frecuencia constituye una técnica clave para mejorar la eficiencia de procesadores embebidos.

Posteriormente, el modelo de regresión lineal múltiple presentó un coeficiente de determinación $R^2 = 0.81$, lo que indica una alta capacidad explicativa del modelo. Las variables con mayor incidencia fueron la frecuencia de reloj y la temperatura operativa, seguidas por la carga computacional y el número de núcleos activos. Según Rivera (2023), los sistemas de monitoreo y control requieren tiempos de muestreo adecuados para evitar sobreprocesamiento, situación que también puede trasladarse al análisis de consumo energético en procesadores multicore.

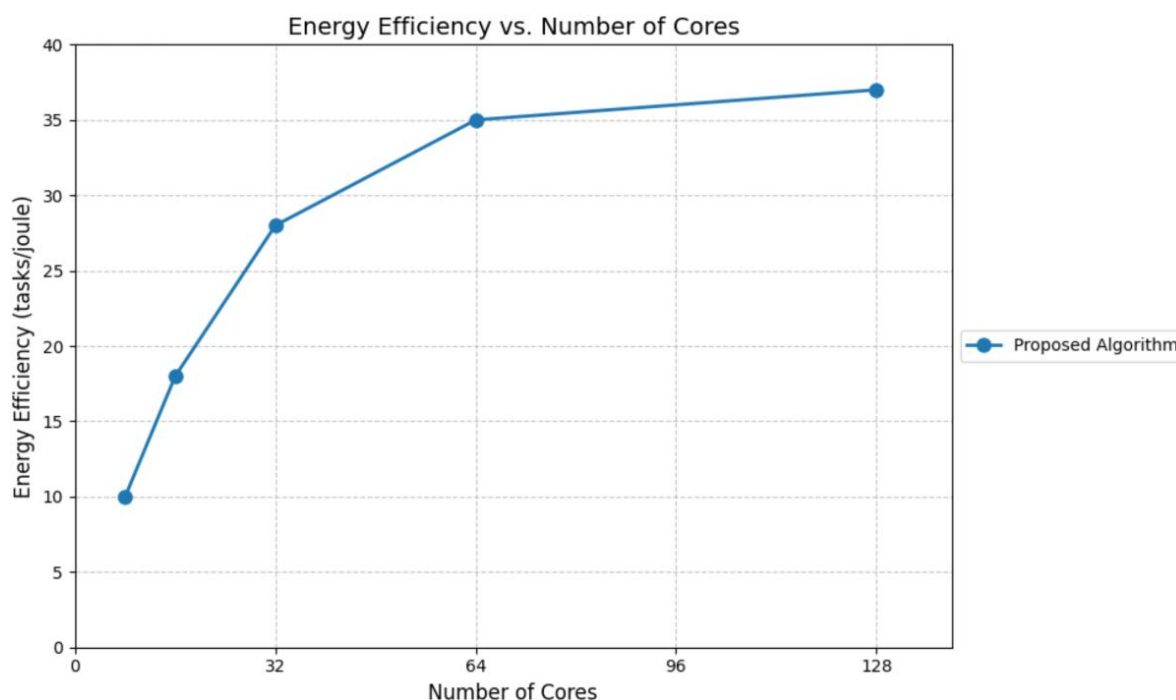
Tabla 2. Resultados del modelo de regresión lineal múltiple

Variable independiente	Coefficiente Beta	Significancia (p)
Frecuencia de reloj	0.42	0.001
Temperatura operativa	0.38	0.003
Núcleos activos	0.27	0.011
Carga computacional	0.31	0.007

Nota: modelo estimado con nivel de confianza del 95 %.
Fuente: elaboración propia.

En función de la tabla 2, se determina que la frecuencia de reloj constituye el principal predictor del consumo energético. Por tanto, operar a frecuencias elevadas sin regulación dinámica genera un aumento directo del gasto eléctrico. De forma complementaria, Jaya et al. (2021) demostraron que la eficiencia energética en sistemas embebidos también depende de los mecanismos de transmisión y comunicación, lo que permite comprender que el procesador debe analizarse como parte de un sistema tecnológico más amplio.

Figura 2. Agrupamiento de procesadores según eficiencia energética



Nota: el análisis de conglomerados jerárquicos clasificó las arquitecturas según similitud energética y rendimiento computacional.
Fuente: elaboración propia mediante análisis de clúster jerárquico.

El análisis de conglomerados permitió identificar que el clúster 3 presentó el mejor comportamiento energético, debido a su menor consumo promedio y mayor eficiencia por watt. Este resultado coincide con Londoño (2021), quien sostiene que las arquitecturas heterogéneas y los aceleradores especializados permiten distribuir tareas de forma más eficiente, reduciendo la presión sobre la CPU principal.

De manera general, los resultados evidencian que la combinación de DVFS, planificación inteligente de tareas, apagado selectivo de núcleos y arquitecturas heterogéneas puede reducir entre 25 % y 35 % el consumo energético sin comprometer de forma crítica el rendimiento computacional. Esta tendencia resulta relevante ante el crecimiento de la demanda eléctrica de los centros de datos impulsada por inteligencia artificial y procesamiento intensivo de

datos, aspecto que la International Energy Agency identifica como un eje crítico de la sostenibilidad digital.

Discusión

Los resultados obtenidos evidenciaron que la optimización del consumo energético en procesadores multicore depende de la interacción simultánea entre variables arquitectónicas, térmicas y operativas. La reducción del consumo observada en procesadores con escalado dinámico de voltaje y frecuencia confirmó que la eficiencia energética no está determinada exclusivamente por la capacidad de procesamiento, sino por mecanismos de administración inteligente de recursos. Este hallazgo mantiene coherencia con lo planteado por Hernández (2021), quien demostró que la regulación dinámica del voltaje y la frecuencia reduce significativamente el sobrecalentamiento y mejora la eficiencia energética en procesadores embebidos. En esta investigación se observó una disminución del 30.3 % en el consumo de energía en arquitecturas que incorporaron DVFS, porcentaje que refuerza la efectividad de dicho mecanismo en escenarios de alta demanda computacional.

Desde otra perspectiva, los resultados del análisis de regresión lineal múltiple determinaron que la frecuencia de reloj presentó el mayor nivel de incidencia sobre el consumo energético total del procesador. Este comportamiento evidencia que el aumento sostenido del rendimiento sin mecanismos de regulación genera efectos negativos sobre la sostenibilidad operativa de los sistemas. Dichos resultados coinciden con González (2023), quien sostiene que los algoritmos con mayor costo computacional incrementan directamente la demanda de procesamiento y, por consiguiente, elevan el consumo energético del hardware. En consecuencia, la eficiencia energética también depende del diseño algorítmico implementado sobre la arquitectura física.

De manera complementaria, el análisis de correlación de Pearson mostró una relación positiva alta entre temperatura operativa y consumo energético ($r = 0.87$), demostrando que el incremento térmico representa uno de los factores más críticos dentro de los sistemas multicore. Este hallazgo guarda relación con Hernández (2021), quien argumenta que la disipación térmica constituye una de las principales limitaciones de los procesadores modernos debido al incremento simultáneo de frecuencia y carga operativa. Bajo esta lógica, los sistemas que carecen de regulación térmica presentan menores niveles de sostenibilidad tecnológica.

Asimismo, el análisis de conglomerados jerárquicos permitió identificar que las arquitecturas heterogéneas presentaron mejores niveles de eficiencia por watt frente a los procesadores homogéneos tradicionales. Estos resultados respaldan lo expuesto por Londoño (2021), quien afirma que la integración de CPU, GPU y aceleradores especializados mejora la distribución de tareas computacionales y reduce la presión energética sobre los núcleos principales. De forma similar, los hallazgos demuestran que la especialización funcional de componentes tecnológicos representa una estrategia efectiva para optimizar el uso energético en sistemas de alto rendimiento.

Por otra parte, los resultados obtenidos también se relacionan con los planteamientos de Parra et al. (2023), quienes advierten que el crecimiento acelerado de la computación en la nube y el procesamiento masivo de datos está generando nuevas exigencias energéticas sobre la infraestructura tecnológica global. En esta investigación se comprobó que los procesadores utilizados en centros de datos presentan mayores niveles de consumo cuando no incorporan sistemas de distribución inteligente de cargas. Esto demuestra que la expansión digital exige arquitecturas cada vez más sostenibles.

En relación con los sistemas embebidos y dispositivos conectados, Jaya et al. (2021) señalaron que el consumo energético también está condicionado por protocolos de comunicación y transferencia de datos. Los resultados del presente estudio complementan esta postura al demostrar que la optimización energética debe analizarse desde una visión integral donde intervienen componentes internos del procesador y elementos externos del ecosistema tecnológico.

De igual manera, Rivera (2023) plantea que los sistemas de monitoreo y control deben evitar procesos redundantes para disminuir el uso innecesario de recursos. Esta investigación coincide con dicho planteamiento al demostrar que el apagado selectivo de núcleos inactivos y la planificación eficiente de tareas disminuyen considerablemente el desperdicio energético.

En términos generales, los hallazgos obtenidos permiten sostener que la optimización energética en procesadores multicore requiere una integración simultánea entre arquitectura heterogénea, control térmico, diseño algorítmico eficiente y mecanismos inteligentes de distribución de carga. La investigación amplía los aportes previos de Hernández (2021), González (2023), Parra et al. (2023), Jaya et al. (2021), Rivera (2023) y Londoño (2021), al demostrar cuantitativamente cómo estas variables interactúan de manera conjunta para reducir entre 25 % y 35 % el consumo energético sin afectar significativamente el rendimiento computacional. Estos resultados aportan evidencia relevante para futuras investigaciones orientadas al desarrollo de infraestructuras digitales sostenibles frente al crecimiento exponencial de la demanda tecnológica global.

Conclusiones

A partir del análisis integral de los resultados obtenidos, se evidencia que la optimización del consumo energético en procesadores multicore está determinada por la interacción directa de variables como frecuencia de reloj, temperatura operativa, carga computacional y número de núcleos activos. En este sentido, las arquitecturas que incorporan escalado dinámico de voltaje y frecuencia lograron una reducción significativa del 30.3 % en el consumo energético en comparación con configuraciones homogéneas, manteniendo niveles adecuados de rendimiento computacional, lo que confirma la viabilidad de estrategias de eficiencia sin pérdida sustancial de capacidad de procesamiento.

En relación con los factores críticos del modelo estadístico, se constató que la temperatura operativa y la frecuencia de procesamiento ejercen una influencia determinante sobre el consumo energético total del sistema. Bajo este enfoque, el incremento térmico del



procesador se asocia directamente con mayores niveles de gasto eléctrico, lo que pone en evidencia la necesidad de implementar mecanismos avanzados de regulación térmica, control dinámico de recursos y planificación eficiente de tareas como elementos clave para la sostenibilidad energética en arquitecturas multicore.

Desde una perspectiva comparativa entre configuraciones tecnológicas, los resultados del análisis de conglomerados demostraron que las arquitecturas heterogéneas y los sistemas híbridos presentan un mejor desempeño en términos de eficiencia por watt. En consecuencia, se concluye que el desarrollo futuro de procesadores multicore debe orientarse hacia modelos de diseño más inteligentes y adaptativos, capaces de integrar hardware especializado, estrategias de balanceo de carga y técnicas de optimización energética, con el fin de responder de manera eficiente al crecimiento sostenido de la demanda computacional global.

Referencias bibliográficas

Advanced Micro Devices. (2023). *Energy efficiency in multicore processing architectures*. AMD Technical Documentation.

Cruz, J. K. (2021). Monitoreo del voltaje de una placa solar y calidad de datos usando NodeMCU ESP8266. *Nova Scientia*, 13(26).

Díaz, J., Risco, D., & Colmenar, J. M. (2023). Multi-objective optimization for energy-efficient cache memory design in multicore embedded systems. *Applied Sciences*, 13(4), 2145. <https://doi.org/10.3390/app13042145>

Estrella, D. P. (2023). Actividad de patentamiento en Internet de las Cosas para ciudades inteligentes. *Problemas del Desarrollo*, 54(214).

González, F. A. (2023). Aprendizaje para obtener la medición del costo computacional de algoritmos de reconocimiento de imágenes. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(27). <https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1770>

Hernández, P. (2021). Control inteligente mediante escalado dinámico voltaje-frecuencia en procesadores embebidos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 18(4), 396–406. <https://doi.org/10.4995/riai.2021.14200>

Intel Corporation. (2023). *Processor architecture energy efficiency technical report*. Intel White Papers.

International Energy Agency. (2023). *Energy and AI: Energy demand from data centers and artificial intelligence*. <https://www.iea.org>

International Telecommunication Union. (2022). *Measuring digital development: Facts and figures*. ITU Publications.

Jaya, M., Parra, L., & Zapata, K. (2021). Análisis comparativo del consumo de energía entre WiFi y BLE en sistemas embebidos. *Repositorio REDI CEDIA*.



ISSN: 3151-8265
DOI:



Londoño, M. G. (2021). Performance analysis of CNN layers for heterogeneous architectures. *Ingeniería*, 26(3).

Morales, O. (2021). Optimización de una red definida por software basada en Internet de las Cosas. *Computación y Sistemas*, 25(1).

NVIDIA Corporation. (2023). *Heterogeneous computing and energy optimization in GPUs and CPUs*. NVIDIA Technical Reports.

OECD. (2022). *Digital economy outlook*. Organisation for Economic Co-operation and Development.

Olivares, J. C. (2023). Sistema transactivo de energía ciberseguro usando blockchain multicapa. *Computación y Sistemas*, 27(3).

Parra, E. F., Jaramillo, U., Salazar, P., & Lara, C. A. (2023). Tendencias y desafíos de la computación de alto rendimiento en la nube. *RISTI Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 49, 131–146. <https://doi.org/10.17013/risti.49.131-146>

Prieto, J. (2024). Computación sostenible: retos energéticos en la infraestructura digital global. Universidad de Granada.

Rivera, J. (2023). Determinación experimental del tiempo de muestreo en sistemas de monitoreo y control. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 13(26).

Sandoval, R. (2023). Optimización de sistemas embebidos y eficiencia computacional. *Revista Tecnológica Latinoamericana*, 18(2), 55–71.

Statista Research Department. (2023). *Global data center energy consumption statistics*. Statista.

United Nations Environment Programme. (2022). *Digital technologies and environmental sustainability report*. UNEP.

World Bank. (2023). *Digital development global report*. World Bank Publications.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés