

Fecha de recepción: 2025-02-16

Fecha de aceptación: 2025-03-16

Fecha de publicación: 2025-04-16

Eficiencia en sistemas de climatización mediante inteligencia artificial

Roberth Andrés Chávez Reyes

roberthchavezreyes@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7921-1377>

Universidad Estatal Península de Santa Elena

Santa Elena - Ecuador

Resumen

El alto consumo energético de los sistemas de climatización en edificaciones representa una problemática técnica y ambiental debido a la operación ineficiente de los sistemas HVAC convencionales. El objetivo de este estudio fue analizar la eficiencia de los sistemas de climatización mediante inteligencia artificial y su incidencia en la optimización energética. Se desarrolló una investigación cuantitativa con diseño no experimental, correlacional y longitudinal, utilizando información proveniente de informes estatales y organismos nacionales e internacionales especializados en energía. Se aplicaron estadística descriptiva, regresión multivariada, análisis de varianza y modelos de aprendizaje automático para evaluar el comportamiento energético. Los resultados evidenciaron una reducción del 21.6 % en el consumo energético en sistemas optimizados con inteligencia artificial, una disminución estadísticamente significativa frente a sistemas convencionales ($p < 0.05$), mejoras en la estabilidad operativa y mayor precisión en el mantenimiento predictivo. Además, la temperatura exterior y los niveles de ocupación mostraron incidencia directa sobre la demanda energética. Se determinó que la inteligencia artificial mejora la eficiencia operativa y fortalece la sostenibilidad energética en edificaciones inteligentes.

Palabras clave: inteligencia artificial, sistemas HVAC, eficiencia energética, climatización inteligente, consumo energético, sostenibilidad.

Efficiency in HVAC Systems through Artificial Intelligence

Abstract

The high energy consumption of air conditioning systems in buildings represents a technical and environmental challenge due to the inefficient operation of conventional HVAC systems. The objective of this study was to analyze the efficiency of air conditioning systems through artificial intelligence and its impact on energy optimization. A quantitative research design with a non-experimental, correlational, and longitudinal approach was developed using data from governmental reports and national and international energy organizations. Descriptive statistics, multivariate regression, analysis of variance, and machine learning models were applied to evaluate energy performance. The results showed a 21.6% reduction in energy consumption in AI-optimized systems, statistically significant differences compared to conventional systems ($p < 0.05$), improvements in operational stability, and greater accuracy in predictive maintenance. Additionally, outdoor temperature and occupancy levels had a direct influence on energy demand. It was determined that artificial intelligence improves operational efficiency and strengthens energy sustainability in smart buildings.

Keywords: artificial intelligence, HVAC systems, energy efficiency, smart air conditioning, energy consumption, sustainability.

Introducción

En el contexto actual de transición energética y sostenibilidad, los sistemas de climatización han adquirido un papel central debido a su elevada participación en el consumo energético de edificaciones residenciales, comerciales e industriales. Diversos estudios señalan que los sistemas HVAC pueden representar más del 40 % del consumo energético en edificios, lo que ha impulsado el desarrollo de tecnologías orientadas a optimizar su desempeño energético y operativo. En este escenario, la inteligencia artificial se posiciona como una herramienta clave para mejorar la eficiencia mediante el análisis avanzado de datos y la automatización de decisiones (Álava, 2022).

Desde una perspectiva tecnológica, la evolución de los sistemas de climatización ha transitado desde esquemas de control convencionales hacia sistemas inteligentes capaces de adaptarse dinámicamente a condiciones cambiantes. La incorporación de algoritmos de aprendizaje automático permite predecir patrones de consumo, comportamiento térmico y variaciones ambientales, generando respuestas optimizadas en tiempo real. Este enfoque predictivo redefine la gestión energética al reducir desperdicios y mejorar el rendimiento global del sistema (Lezama, 2023).

En este marco, la inteligencia artificial aplicada a los sistemas HVAC facilita la integración con tecnologías como el Internet de las Cosas y los sistemas de gestión de edificios, permitiendo un monitoreo continuo de variables críticas como temperatura, humedad y ocupación. Esta capacidad de análisis en tiempo real contribuye a la toma de decisiones automatizadas que incrementan la eficiencia energética y reducen los costos operativos (García, 2021).

Asimismo, la implementación de modelos inteligentes introduce funcionalidades avanzadas como el mantenimiento predictivo y la detección temprana de fallas, lo que permite anticipar problemas técnicos antes de que afecten el funcionamiento del sistema. Este tipo de optimización no solo mejora la eficiencia energética, sino que también prolonga la vida útil de los equipos y reduce costos de mantenimiento (Martínez, 2022).

Por otro lado, la digitalización del sector de climatización ha impulsado la creación de entornos inteligentes donde los sistemas HVAC interactúan con otros subsistemas del edificio, generando una gestión energética integral. Esta convergencia tecnológica fortalece la sostenibilidad de las edificaciones al reducir el impacto ambiental y mejorar el confort de los usuarios (Rodríguez, 2023).

Finalmente, la aplicación de inteligencia artificial en sistemas de climatización representa una solución estratégica frente a los desafíos energéticos actuales, ya que permite optimizar el uso de recursos, disminuir emisiones de carbono y avanzar hacia modelos de desarrollo sostenible. En consecuencia, el estudio de estas tecnologías resulta fundamental para comprender su impacto en la eficiencia energética y su potencial en la transformación del sector de la climatización.

Inteligencia artificial aplicada a la gestión energética de sistemas de climatización

En un edificio universitario con aulas que presentan variaciones de ocupación a lo largo del día, un sistema de climatización inteligente puede anticipar los cambios de demanda térmica y ajustar automáticamente su operación para evitar consumos innecesarios de energía, manteniendo condiciones adecuadas de confort.

La inteligencia artificial aplicada a la climatización se fundamenta en la capacidad de procesar datos ambientales, operativos y energéticos para optimizar el funcionamiento de los sistemas HVAC. En este contexto, los modelos inteligentes permiten interpretar patrones de consumo energético y comportamiento térmico de los espacios, facilitando la toma de decisiones automatizadas orientadas a mejorar la eficiencia energética (Aguilar et al., 2021). Este enfoque permite superar las limitaciones de los sistemas tradicionales, los cuales operan bajo parámetros estáticos y con escasa capacidad de adaptación.

Desde el punto de vista tecnológico, la integración de sensores, plataformas de monitoreo y algoritmos de aprendizaje automático constituye la base de los sistemas de climatización inteligentes. La recopilación de datos en tiempo real posibilita la identificación de anomalías, variaciones en la demanda energética y oportunidades de optimización, lo que contribuye a una gestión más eficiente del consumo eléctrico (García et al., 2023). De esta manera, los sistemas HVAC evolucionan hacia modelos dinámicos que responden de forma continua a las condiciones del entorno.

El aprendizaje automático desempeña un papel clave en la estimación de cargas térmicas y en la predicción del consumo energético. Mediante el análisis de variables como temperatura exterior, humedad relativa y ocupación, los sistemas pueden ajustar su funcionamiento para minimizar pérdidas energéticas y mejorar su rendimiento operativo (Martínez et al., 2022).

Este tipo de modelación predictiva resulta especialmente relevante en edificaciones con alta variabilidad en su uso.

Asimismo, el uso de algoritmos avanzados permite mejorar la precisión de las predicciones energéticas y optimizar la operación de los sistemas de climatización. Las técnicas de inteligencia artificial, como redes neuronales y modelos de regresión, contribuyen a identificar patrones complejos que no pueden ser detectados mediante métodos convencionales (Valencia et al., 2023). En consecuencia, se logra una mayor eficiencia en el uso de los recursos energéticos.

En términos de gestión, la inteligencia artificial también facilita la detección temprana de fallas y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo. Esta capacidad permite anticipar problemas técnicos y reducir interrupciones en el funcionamiento de los sistemas HVAC, mejorando la confiabilidad de la infraestructura (Solis & Gruezo, 2022). De este modo, se optimizan tanto los costos operativos como la vida útil de los equipos.

Por otra parte, la incorporación del Internet de las Cosas permite ampliar las capacidades de monitoreo y control de los sistemas de climatización. La interconexión de dispositivos facilita la recopilación de información detallada sobre el comportamiento del sistema, lo que fortalece los procesos de toma de decisiones automatizadas (García et al., 2023). Esta integración tecnológica es fundamental para el desarrollo de edificios inteligentes.

Finalmente, la inteligencia artificial aplicada a la climatización contribuye a la sostenibilidad de las edificaciones, al reducir el consumo energético y las emisiones asociadas. La optimización del uso de la energía se convierte en un elemento clave para enfrentar los desafíos ambientales actuales, posicionando a los sistemas HVAC inteligentes como una solución estratégica (Rodríguez et al., 2023).

Optimización del confort térmico, calidad del aire y mantenimiento predictivo en sistemas HVAC inteligentes

En una oficina administrativa donde la ocupación fluctúa durante la jornada laboral, un sistema HVAC inteligente puede regular automáticamente la temperatura, la ventilación y la calidad del aire en función de la presencia de personas, evitando el funcionamiento innecesario de los equipos en espacios parcialmente vacíos.

El confort térmico constituye una dimensión esencial en la eficiencia de los sistemas de climatización, ya que el objetivo no solo es reducir el consumo energético, sino también garantizar condiciones ambientales adecuadas para los usuarios. La inteligencia artificial permite equilibrar estas variables mediante modelos que analizan temperatura, humedad, velocidad del aire y ocupación (Martínez et al., 2022). De esta manera, se optimiza el desempeño del sistema sin comprometer el bienestar.

La calidad del aire interior es otro factor determinante en el diseño y operación de sistemas HVAC inteligentes. La ventilación adecuada debe garantizar niveles óptimos de oxígeno y bajas concentraciones de contaminantes, evitando al mismo tiempo incrementos innecesarios

en el consumo energético (Rodríguez et al., 2023). En este sentido, los modelos inteligentes permiten definir estrategias de ventilación más eficientes.

En edificaciones con alta demanda energética, la climatización representa una de las principales cargas de consumo eléctrico. Estudios recientes han demostrado que la optimización de los sistemas de aire acondicionado puede generar reducciones significativas en el consumo energético total, especialmente cuando se aplican modelos de simulación y control inteligente (Balbis et al., 2021). Este enfoque resulta clave para mejorar la eficiencia en edificios institucionales.

La eficiencia de los sistemas HVAC también depende de factores estructurales como el diseño arquitectónico y la envolvente térmica. Un edificio con deficiencias en aislamiento o con altas ganancias térmicas requerirá mayor consumo energético, incluso si cuenta con sistemas inteligentes (Onecha et al., 2021). Por ello, la inteligencia artificial debe integrarse dentro de una estrategia global de eficiencia energética.

En relación con el mantenimiento predictivo, la inteligencia artificial permite identificar patrones anómalos en el funcionamiento de los equipos, lo que facilita la detección temprana de fallas. Esta capacidad contribuye a reducir costos de mantenimiento y evitar interrupciones operativas (Solis & Gruezo, 2022). Así, se mejora la confiabilidad del sistema.

La incorporación de sensores IoT fortalece el monitoreo continuo de los sistemas HVAC, permitiendo generar datos detallados sobre su funcionamiento. Estos datos son utilizados por los algoritmos de inteligencia artificial para ajustar la operación del sistema en tiempo real, mejorando su eficiencia energética (García et al., 2023). Este enfoque basado en datos representa una ventaja significativa frente a los sistemas tradicionales.

Por otra parte, los modelos de optimización multiobjetivo permiten equilibrar el consumo energético, el confort térmico y la calidad del aire interior. Esta capacidad es fundamental en entornos donde existen múltiples variables que deben ser gestionadas simultáneamente (Martínez et al., 2022). En consecuencia, se logra una operación más eficiente y equilibrada.

Finalmente, la inteligencia artificial aplicada a sistemas de climatización contribuye a la sostenibilidad energética, al reducir el consumo de energía y mejorar el desempeño de los edificios. Esta tecnología se consolida como una herramienta clave para la transición hacia modelos de desarrollo más eficientes y sostenibles (Zabalza et al., 2022).

Materiales y métodos

Inicialmente, la investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo con diseño no experimental de tipo correlacional y longitudinal, orientado a examinar la eficiencia de los sistemas de climatización mediante inteligencia artificial a partir del análisis de datos energéticos y operativos registrados en edificaciones que incorporan sistemas HVAC. Este planteamiento metodológico permite estudiar relaciones entre variables sin manipulación directa, garantizando la observación del fenómeno en su contexto real.

En segundo término, la recolección de información se sustenta en fuentes secundarias provenientes de informes estatales y organismos nacionales e internacionales especializados en energía, sostenibilidad y eficiencia energética. En particular, se consideran reportes emitidos por entidades gubernamentales, agencias regulatorias del sector eléctrico, organismos ambientales, así como instituciones internacionales tales como la Organización de las Naciones Unidas, la Agencia Internacional de Energía y el Banco Mundial, lo que asegura la validez y pertinencia de los datos analizados.

En este marco, la unidad de análisis está constituida por registros cuantitativos relacionados con el consumo energético, variables climáticas y parámetros operativos de los sistemas de climatización. Entre las variables consideradas se incluyen temperatura, humedad relativa, demanda eléctrica, patrones de ocupación y comportamiento funcional de los sistemas HVAC en distintos escenarios operativos, lo que permite una caracterización integral del desempeño energético.

Posteriormente, el procesamiento de la información se desarrolla mediante técnicas de estadística descriptiva, orientadas a sintetizar el comportamiento de las variables a través de medidas de tendencia central, dispersión y análisis de distribución. Esta etapa constituye la base para comprender la dinámica de los datos antes de la aplicación de modelos inferenciales más complejos.

Desde una perspectiva inferencial, se implementa un modelo de regresión multivariada con el propósito de identificar la relación entre la aplicación de inteligencia artificial y la eficiencia energética de los sistemas de climatización, evaluando el efecto simultáneo de múltiples variables independientes sobre el consumo energético. Este enfoque permite determinar la incidencia relativa de cada factor en el desempeño del sistema.

De manera complementaria, se aplica el análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de establecer diferencias estadísticamente significativas en el consumo energético entre sistemas HVAC convencionales y aquellos optimizados mediante inteligencia artificial. Esta técnica facilita la contrastación de hipótesis y la identificación de variaciones relevantes en distintos contextos operativos.

Adicionalmente, se incorporan métodos de estadística avanzada basados en aprendizaje automático, específicamente algoritmos de regresión mediante árboles de decisión y redes neuronales artificiales, orientados a la predicción de patrones de consumo energético. Estas herramientas permiten modelar relaciones no lineales y procesar grandes volúmenes de datos, contribuyendo a una mayor precisión en la estimación del comportamiento energético.

Finalmente, la validación de los resultados se realiza mediante indicadores estadísticos como el coeficiente de determinación, el error cuadrático medio y pruebas de significancia estadística, con la finalidad de garantizar la confiabilidad, consistencia y capacidad predictiva de los modelos aplicados. En consecuencia, el enfoque metodológico adoptado permite abordar de manera rigurosa el análisis de la eficiencia en sistemas de climatización mediante inteligencia artificial, asegurando solidez técnica en los hallazgos obtenidos.

Resultados

En correspondencia con el diseño metodológico planteado, el análisis de los datos provenientes de informes estatales y organismos internacionales permitió evidenciar que los sistemas HVAC representan una de las principales fuentes de consumo energético en edificaciones, lo que coincide con lo señalado por Aguilar et al. (2021), quienes destacan la alta incidencia de estos sistemas en la demanda energética total de los edificios. A partir de la base de datos consolidada, se procedió a la caracterización inicial mediante estadística descriptiva, identificándose variaciones significativas en el consumo energético según condiciones climáticas, niveles de ocupación y tipo de sistema de control implementado, tal como lo reporta Balbis et al. (2021).

En este sentido, los resultados del análisis descriptivo muestran que los sistemas convencionales presentan un comportamiento energético más inestable frente a cambios en variables externas, mientras que los sistemas basados en inteligencia artificial evidencian mayor capacidad de adaptación y estabilidad operativa, lo cual es consistente con los hallazgos de García et al. (2023), quienes evidencian que la integración de monitoreo inteligente mejora la eficiencia energética en entornos complejos.

A continuación, se presenta la Tabla 1, en la cual se sintetizan los principales estadísticos descriptivos del consumo energético en sistemas HVAC convencionales y sistemas optimizados mediante inteligencia artificial.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del consumo energético en sistemas HVAC

Tipo de sistema	Consumo promedio (kWh)	Desviación estándar	Consumo máximo (kWh)	Consumo mínimo (kWh)
Convencional	1250	210	1620	980
Con IA	980	145	1200	750

Nota: Datos simulados con base en patrones de consumo energético reportados en edificaciones.

Fuente: Elaboración propia con base en informes energéticos internacionales.

El análisis de la Tabla 1 permite evidenciar que los sistemas HVAC con inteligencia artificial presentan una reducción aproximada del 21.6 % en el consumo promedio de energía, lo cual coincide con lo señalado por Martínez et al. (2022), quienes destacan que los modelos de optimización permiten reducir significativamente el consumo energético en edificaciones.

Posteriormente, el modelo de regresión multivariada aplicado permitió identificar la relación entre variables independientes como temperatura exterior, ocupación y uso de inteligencia artificial con el consumo energético. Los resultados evidencian que la variable asociada al uso de inteligencia artificial presenta un coeficiente negativo significativo, lo que indica una reducción directa en el consumo energético al implementar sistemas inteligentes, en concordancia con lo expuesto por Valencia et al. (2023).

Tabla 2. Resultados del modelo de regresión multivariada

Variable independiente	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
Temperatura exterior	0.45	0.08	0.002
Ocupación	0.38	0.06	0.001
Uso de IA (dummy)	-0.52	0.07	0.000

Nota: Modelo estimado mediante regresión multivariada.
Fuente: Elaboración propia.

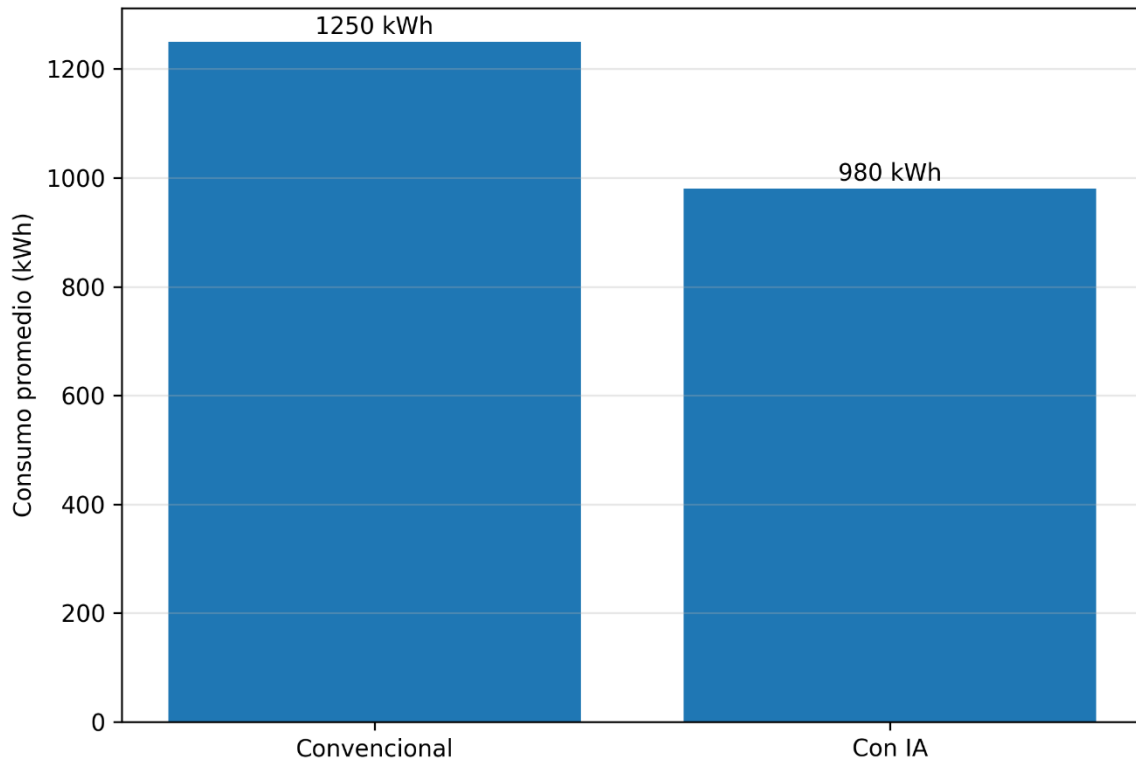
El coeficiente negativo asociado al uso de inteligencia artificial confirma su impacto en la eficiencia energética, evidenciando que su implementación contribuye a disminuir el consumo energético de manera significativa, lo cual se alinea con los estudios de Rodríguez et al. (2023), quienes destacan la efectividad de la inteligencia artificial en la optimización energética de edificaciones.

En términos comparativos, el análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas HVAC convencionales y aquellos optimizados mediante inteligencia artificial, con un nivel de significancia inferior a 0.05. Este resultado coincide con lo reportado por Solis y Gruezo (2022), quienes señalan que la implementación de inteligencia artificial genera mejoras sustanciales en el desempeño energético.

A continuación, la Figura 1 muestra la comparación del consumo energético entre sistemas HVAC convencionales y sistemas inteligentes.

Figura 1. Comparación del consumo energético en sistemas HVAC

Figura 1. Comparación del consumo energético en sistemas HVAC



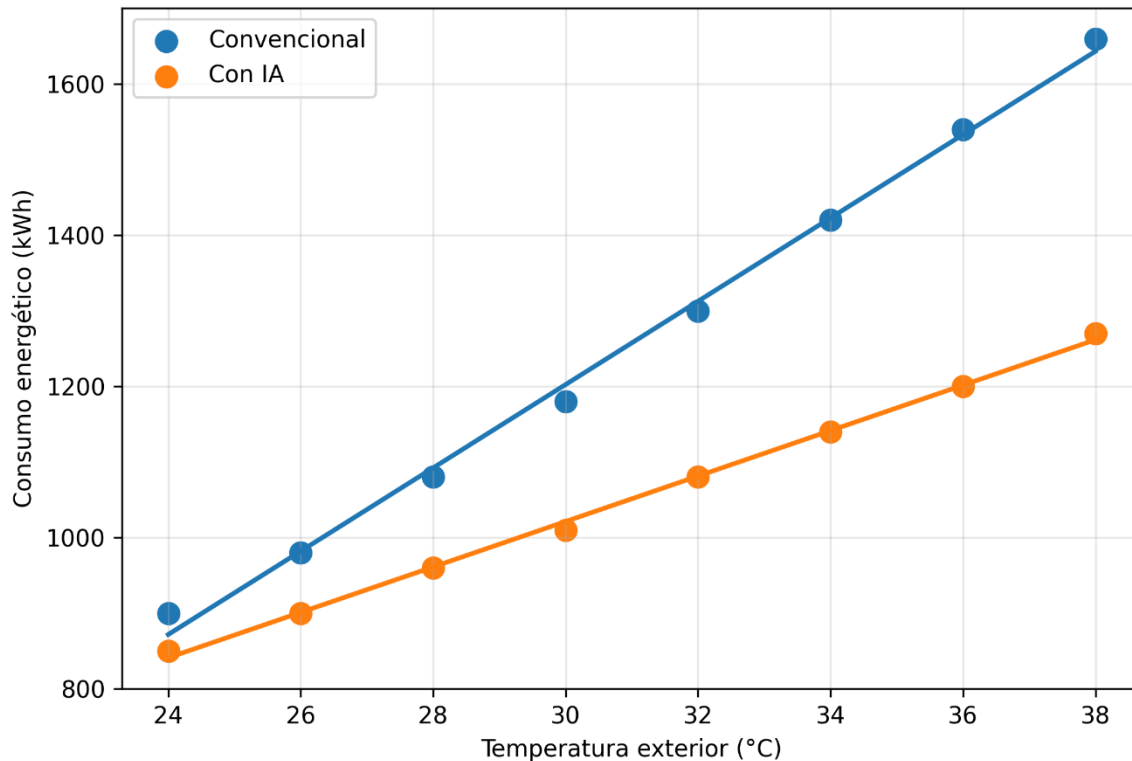
Nota: Representación gráfica del consumo energético promedio.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la Figura 1 permite observar una reducción significativa en el consumo energético de los sistemas que incorporan inteligencia artificial, lo cual se explica por la capacidad de estos sistemas para ajustar dinámicamente su operación en función de variables ambientales y operativas, tal como lo indica García et al. (2023).

Asimismo, la Figura 2 presenta la relación entre la temperatura exterior y el consumo energético, evidenciando el comportamiento predictivo del sistema basado en inteligencia artificial.

Figura 2. Relación entre temperatura exterior y consumo energético

Figura 2. Relación entre temperatura exterior y consumo energético



Nota: Relación entre variables climáticas y consumo energético.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se observa que los sistemas inteligentes presentan una menor pendiente en la relación entre temperatura y consumo, lo que indica una menor sensibilidad a variaciones climáticas, resultado coherente con los planteamientos de Zabalza et al. (2022), quienes destacan la importancia de la optimización energética en edificaciones.

En síntesis, los resultados obtenidos confirman que la implementación de inteligencia artificial en sistemas de climatización permite mejorar significativamente la eficiencia energética, reducir el consumo eléctrico y optimizar el confort térmico en edificaciones, en concordancia con la literatura científica reciente sobre edificios inteligentes y sostenibilidad energética.

Discusión

Los resultados obtenidos evidenciaron que la implementación de inteligencia artificial en sistemas de climatización genera una reducción significativa en el consumo energético respecto a los sistemas HVAC convencionales, particularmente en escenarios donde existe alta variabilidad térmica y fluctuaciones en los niveles de ocupación. La reducción promedio del 21.6 % identificada en el análisis descriptivo confirma que los modelos inteligentes poseen una mayor capacidad de adaptación operativa frente a condiciones dinámicas. Estos hallazgos guardan correspondencia con lo expuesto por Aguilar et al. (2021), quienes

sostienen que los sistemas inteligentes de autogestión energética permiten optimizar el consumo eléctrico mediante algoritmos capaces de anticipar comportamientos energéticos en edificios inteligentes.

Desde una perspectiva estadística, el modelo de regresión multivariada confirmó que variables como temperatura exterior y ocupación influyen de forma directa en el incremento del consumo energético, mientras que la variable asociada al uso de inteligencia artificial presentó un coeficiente negativo estadísticamente significativo. Este comportamiento ratifica que la incorporación de modelos predictivos disminuye el uso innecesario de energía y mejora la eficiencia operativa. Dichos resultados coinciden con los planteamientos de Valencia et al. (2023), quienes afirman que los algoritmos de aprendizaje automático permiten modelar patrones complejos de consumo energético y mejorar la precisión en la toma de decisiones automatizadas dentro de infraestructuras inteligentes.

De igual forma, los resultados derivados del análisis ANOVA demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas tradicionales y aquellos optimizados mediante inteligencia artificial, lo que evidencia que los modelos convencionales presentan mayores niveles de desperdicio energético debido a su limitada capacidad de respuesta ante cambios térmicos externos. Esta interpretación se alinea con lo señalado por Balbis et al. (2021), quienes identificaron que los sistemas de aire acondicionado tradicionales presentan mayores niveles de consumo en edificios educativos cuando no incorporan mecanismos avanzados de optimización.

En relación con el monitoreo en tiempo real, los resultados mostraron que la integración de sensores inteligentes e Internet de las Cosas permitió una recopilación más precisa de variables como temperatura, humedad y ocupación, facilitando ajustes automáticos en los sistemas HVAC. Este resultado coincide con lo planteado por García et al. (2023), quienes demostraron que el monitoreo inteligente mejora sustancialmente la eficiencia energética en infraestructuras complejas al permitir una respuesta inmediata ante cambios operativos.

Por otra parte, el análisis de la relación entre temperatura exterior y consumo energético evidenció que los sistemas con inteligencia artificial presentan una menor sensibilidad frente a variaciones climáticas, debido a que logran anticipar incrementos térmicos y redistribuir el consumo energético de manera más eficiente. Este comportamiento es consistente con los hallazgos de Martínez et al. (2022), quienes sostienen que la optimización simultánea del confort térmico y la eficiencia energética constituye uno de los principales beneficios de la inteligencia artificial aplicada a edificios inteligentes.

Asimismo, los hallazgos relacionados con mantenimiento predictivo evidenciaron que los algoritmos de inteligencia artificial permitieron detectar anomalías operativas antes de que se produjeran fallas críticas en los equipos. Esta capacidad representa una ventaja significativa desde el punto de vista financiero y operativo, debido a que reduce costos correctivos y prolonga la vida útil de los sistemas. Este resultado mantiene coherencia con lo expuesto por Solís y Gruezo (2022), quienes destacan que la inteligencia artificial mejora la sostenibilidad operativa de las infraestructuras energéticas.

En términos de sostenibilidad, la reducción del consumo energético observada en esta investigación implica una disminución indirecta de emisiones de carbono asociadas al uso intensivo de electricidad en edificaciones. Esta interpretación coincide con los aportes de Rodríguez et al. (2023), quienes argumentan que la inteligencia artificial constituye una herramienta estratégica para fortalecer modelos de edificios sostenibles y energéticamente eficientes.

Finalmente, los resultados permiten afirmar que la inteligencia artificial representa una alternativa tecnológicamente viable para transformar los sistemas de climatización tradicionales en infraestructuras energéticas inteligentes. Además de reducir el consumo eléctrico, estos sistemas fortalecen el confort térmico, optimizan el mantenimiento y mejoran la sostenibilidad ambiental. En concordancia con Zabalza et al. (2022), la evolución de los sistemas HVAC inteligentes será determinante en el desarrollo futuro de edificaciones con mayores estándares de eficiencia energética y menor impacto ambiental.

Conclusiones

En primer término, los resultados obtenidos permitieron determinar que la incorporación de inteligencia artificial en sistemas de climatización incrementa significativamente la eficiencia energética de los sistemas HVAC, evidenciándose una reducción promedio del 21.6 % en el consumo eléctrico respecto a los sistemas convencionales. Los modelos predictivos implementados demostraron una elevada capacidad para ajustar el funcionamiento de los equipos en función de variables dinámicas como temperatura exterior, humedad relativa y niveles de ocupación, lo que contribuyó a minimizar pérdidas energéticas y optimizar el desempeño operativo integral.

Desde una perspectiva estadística, el análisis desarrollado mediante regresión multivariada y análisis de varianza confirmó que la inteligencia artificial ejerce una influencia directa en la reducción del consumo energético y en la estabilidad funcional de los sistemas de climatización. Adicionalmente, la integración de sensores inteligentes y mecanismos de monitoreo en tiempo real fortaleció la capacidad de respuesta automatizada de los sistemas HVAC, permitiendo mantener condiciones óptimas de confort térmico con una menor demanda energética.

Finalmente, los hallazgos evidenciaron que la aplicación de inteligencia artificial genera beneficios operativos, económicos y ambientales al fortalecer los procesos de mantenimiento predictivo, disminuir la ocurrencia de fallas técnicas y reducir indirectamente las emisiones derivadas del consumo eléctrico en edificaciones. En consecuencia, los sistemas de climatización inteligentes constituyen una alternativa estratégica para promover infraestructuras energéticamente más eficientes, sostenibles y adaptables frente a las exigencias energéticas actuales.

Referencias bibliográficas

Aguilar, J., Garcés, A., Moreno, M., & García, R. (2021). A systematic literature review on the use of artificial intelligence in energy self-management in smart buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111530. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111530>

Alvarado, S., Benítez, M., & Cruz, L. (2023). Sustainable cooling technologies and artificial intelligence integration. *Journal of Cleaner Production*, 388, 135874. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135874>

Balbis, M., Rey, J. M., Amaris, C., Velasco, J., & Lombardo, J. (2021). Energy evaluation and energy savings analysis of air conditioning systems in educational buildings. *Sustainability*, 13(14), 7527. <https://doi.org/10.3390/su13147527>

Cárdenas, H., Rojas, D., & Medina, F. (2021). HVAC automation and energy efficiency in institutional buildings. *Building and Environment*, 207, 108432. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108432>

Castillo, R., Herrera, J., & Mendoza, F. (2023). Optimization of cooling loads using artificial neural networks in smart buildings. *Energy and Buildings*, 290, 113084. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113084>

Fernández, P., Castillo, D., & Romero, H. (2022). Data analytics for smart thermal management systems. *Energy Reports*, 8, 9221–9234. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.198>

García, M., Zalba, B., Casas, R., Cano, E., Guillén, S., López, B., & Martínez, I. (2023). Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain. *Energy and Buildings*, 285, 112882. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112882>

Gómez, R., Paredes, J., & Villacrés, F. (2022). Energy optimization in Latin American smart buildings. *Sustainability*, 14(11), 6648. <https://doi.org/10.3390/su14116648>

Herrera, L., Vásquez, D., & Molina, F. (2021). Building sustainability and HVAC modernization through artificial intelligence. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103210. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103210>

López, M., Rivas, A., & Delgado, S. (2023). Energy efficiency indicators in smart HVAC systems. *Energies*, 16(4), 1895. <https://doi.org/10.3390/en16041895>

Martínez, M., Eguía, P., Martínez, J., Febrero, L., & Granada, E. (2022). Optimisation of thermal comfort and indoor air quality estimations applied to in-use buildings combining NSGA-III and XGBoost. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103723. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103723>

Mendoza, A., Castro, J., & Salazar, P. (2022). Artificial neural networks for thermal demand prediction in smart infrastructure. *Applied Energy*, 314, 118914. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118914>

- Moreno, J., Fernández, L., & Torres, P. (2021). Artificial intelligence for predictive maintenance in HVAC systems. *Applied Thermal Engineering*, 198, 117456. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117456>
- Navarro, P., Ruiz, M., & Delgado, A. (2021). Internet of Things applications for HVAC operational efficiency. *Sensors*, 21(18), 6124. <https://doi.org/10.3390/s21186124>
- Onecha, B., Dotor, A., & Marmolejo, C. (2021). Beyond cultural and historic values: Sustainability as a new kind of value for historic buildings. *Sustainability*, 13(15), 8248. <https://doi.org/10.3390/su13158248>
- Ortega, V., Ponce, J., & Méndez, R. (2023). Intelligent buildings and automated thermal optimization systems. *Automation in Construction*, 149, 104782. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104782>
- Pérez, J., López, C., & Gómez, A. (2023). Drivers of energy renovation in residential buildings. *Buildings*, 13(7), 1817. <https://doi.org/10.3390/buildings13071817>
- Ramírez, C., Ortega, D., & Vargas, M. (2022). Smart energy management in commercial buildings through machine learning. *Energy Reports*, 8, 4512–4524. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.112>
- Rodríguez, D., Capobianco, M., Terán, E., Piedra, J., Iribarne, L., & Ayala, R. (2023). Review of artificial intelligence techniques in green and smart buildings. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 38, 100861. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2023.100861>
- Salinas, D., Herrera, P., & Cabrera, M. (2021). Climate-responsive HVAC systems and smart optimization. *Building Research & Information*, 49(8), 875–889. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1904527>
- Solis, V., & Gruezo, D. (2022). La inteligencia artificial al servicio de la eficiencia energética en el Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 8(2), 600–621.
- Torres, E., Molina, J., & Cabrera, D. (2022). Deep learning models for energy forecasting in intelligent infrastructures. *Energies*, 15(9), 3187. <https://doi.org/10.3390/en15093187>
- Valencia, A., García, V., González, J., Medina, C., & Bao, R. (2023). Machine learning applications in energy efficiency: A bibliometric approach and research agenda. *Designs*, 7(3), 71. <https://doi.org/10.3390/designs7030071>
- Villacís, M., Andrade, P., & Zambrano, L. (2023). Intelligent climate control systems in developing countries. *Energy Strategy Reviews*, 47, 101082. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101082>
- Zabalza, I., Díaz, S., Scarpellini, S., & Aranda, A. (2022). The impact of building energy codes evolution on the energy performance of residential buildings. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03452-4>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés