

Inmótica: una estrategia para la optimización de la seguridad en una universidad de Paraguay*Building automation: a strategy for optimizing security in a university in Paraguay*Frank Cruz Ortega^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6598-3392>Milagros Arce Lezcano¹ <https://orcid.org/0009-0002-6006-5570>Ingrid Ayala Faría¹ <https://orcid.org/0009-0003-3686-9154>¹ Universidad Americana, Paraguay*Autor para la correspondencia: frank.cruz@americana.edu.py**RESUMEN**

El objetivo de la investigación fue analizar cómo la inmótica puede constituirse en una estrategia de optimización de la seguridad tecnológica en una universidad de Paraguay. El estudio se desarrolló con enfoque cuantitativo de tipo aplicado y diseño no experimental-descriptivo, empleando encuestas y observaciones directas sobre los sistemas de iluminación, climatización, seguridad y gestión energética del edificio. Los resultados evidenciaron un uso ineficiente de la energía eléctrica, vinculado a la falta de control automatizado, tiempos prolongados de funcionamiento y una escasa integración de los sistemas tecnológicos. Asimismo, se identificó una percepción mayoritariamente favorable de la comunidad universitaria hacia la automatización y la eficiencia energética, aunque con un conocimiento limitado del concepto de inmótica. Se concluyó que la implementación de un sistema inmótico integral permitiría optimizar la seguridad, mejorar el confort de los usuarios y fortalecer la operatividad institucional, consolidándose como una alternativa viable, sostenible y aplicable en edificaciones universitarias.

Palabras Clave: inmótica; eficiencia energética; gestión energética; universidades.**ABSTRACT**

The objective of this research was to analyze how building automation systems can be used as a strategy to optimize security in a university in Paraguay. The study employed a quantitative, applied research approach with a non-experimental, descriptive design, using surveys and direct observations of the building's lighting, HVAC, security, and energy management systems. The results revealed inefficient use of electrical energy, linked to a lack of automated control, prolonged operating times, and limited integration of technological systems. Furthermore, the study identified a predominantly favorable perception among the university community

toward automation and energy efficiency, although with limited knowledge of the concept of building automation. It was concluded that implementing a comprehensive building automation system would optimize security, improve user comfort, and strengthen institutional operations, thus establishing itself as a viable, sustainable, and applicable alternative for university buildings.

Keywords: building automation; energy efficiency; energy management, universities.

Recibido: 25/12/25

Aceptado: 30/12/25

Introducción

La automatización de edificios ubicados en entornos urbanos, mediante el empleo de la domótica, la inmótica y la urbótica ha sido un tema de estudio. Asimismo, se demuestra que los sistemas de automatización edilicia integrados permiten optimizar el consumo energético y fortalecer la seguridad operativa mediante la coordinación de iluminación, climatización y vigilancia [1]. Ello se debe a que estas disciplinas se utilizan tanto en edificaciones residenciales, institucionales, empresariales y en sistemas urbanos, con el objetivo de integrar tecnologías para la optimización de los recursos, pero también de mejorar el confort de los ambientes y fortalecer la seguridad de los inmuebles. En ese contexto, la inmótica se comprende como el empleo de sistemas inteligentes en instalaciones no residenciales, que tiene una función relevante en el diseño, operación y gestión de edificios que tienen un uso intensivo como son las universidades, los hospitales y los centros corporativos [1].

Relacionado a lo expuesto, el diseño de los sistemas inmóticos posibilita incorporar estrategias de control para la gestión de cuestiones asociadas a la iluminación, la climatización, las comunicaciones y la seguridad en diversos entornos [2]. Ello se debe a que su fin se corresponde con la necesidad de optimizar la eficiencia energética y la sostenibilidad operativa y optimizar la articulación progresiva de la gestión inteligente de las redes eléctricas inteligentes o *Smart Grids*, atendiendo a las tendencias que se vinculan con Industria 4.0.

Una mirada teórica a la inmótica permite definirla como el conjunto de tecnologías de *hardware* y *software* orientadas a la automatización general de edificaciones institucionales, comerciales y educativas, proporcionando la supervisión, el control y la gestión inteligente de sus sistemas internos. Por otro lado, la automatización integrada mejora simultáneamente la eficiencia energética, el confort térmico y la seguridad. Asimismo, se destaca que la falta de integración limita los beneficios, reforzando la necesidad de enfoques inmóticos completos [2].

Aunado a lo expuesto, la configuración de sistemas inmóticos contribuye a la instrumentación de estrategias que permiten controlar la gestión de la iluminación, la climatización, la seguridad y las comunicaciones en entornos variados. Este tipo

de estrategia favorece la generación de ahorros energéticos, que buscan la mejora de aspectos como el confort térmico, la optimización de los recursos en aras de aumentar la seguridad de las personas y bienes, a partir de la detección temprana de las posibles fallas e incidentes que posibilitan el monitoreo continuo de los procesos [2;3].

El planteamiento realizado se sustenta en que la inmótica encuentra su origen en la automatización industrial y se expande a las edificaciones no domiciliarias. El concepto de *smart campus* se fundamenta en la integración inmótica para gestionar energía, seguridad y confort, demostrando mejoras significativas en sostenibilidad institucional y control operativo en universidades [3]. Además, el empleo es pertinente dada la complejidad que tienen este tipo de instalaciones debido a su variabilidad de ocupación, los amplios horarios de operación que tienen, así como la diversidad de funcionalidad que ofrecen. Luego de lo señalado, se puede plantear que, en el entorno universitario, la inmótica brinda beneficios ya que facilita la reducción de costos operativos y contribuye a la mejora de la eficiencia energética de los edificios. La revisión del estado del arte destaca que los sistemas de gestión energética basados en sensores y automatización reducen consumos innecesarios y la teoría sustenta la inmótica como eje central para la eficiencia energética y la toma de decisiones basada en datos [4].

Becchio et al. [5] indican que la inmótica viabiliza la vigilancia y la optimización de procedimientos asociados a la iluminación y climatización con el propósito de disminuir el consumo energético y aumentar el confort de los ocupantes y incrementa la resiliencia operativa y la continuidad del servicio en infraestructuras universitarias.

De manera complementaria, se resalta la relevancia de integrar sistemas de seguridad, tales como detección de incendios, control de accesos y videovigilancia, para elevar la protección de instalaciones y usuarios. Asimismo, se señalan los riesgos cibernéticos en edificios inteligentes, teniendo en cuenta que la integración de sistemas inmóticos exige la aplicación de normas de ciberseguridad para proteger la información y garantizar la operación segura de los sistemas automatizados [6]. Estas contribuciones posicionan a la inmótica como un enfoque multifuncional que articula eficiencia y habitabilidad, mediante la convergencia entre tecnologías de control, comunicación y gestión centralizada. Es por ello que se puede afirmar que la automatización basada en ocupación mejora el confort térmico y reduce el consumo energético, validando la inmótica como solución eficiente en edificios educativos [7].

Paralelamente, los sistemas energéticos constituyen un entramado de medios, recursos, dispositivos y tecnologías orientados a la generación, transmisión y distribución de la energía desde las fuentes productoras hasta los usuarios finales. Para garantizar su operación estable, segura y conforme a estándares de eficiencia energética y protección ambiental, los usuarios conectados al Sistema Interconectado Nacional del Paraguay deben administrar racionalmente los recursos energéticos, en cumplimiento de los artículos 104 y 105 de la Ley N.º 966/64, Carta Orgánica de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) [8]. Este marco

normativo refuerza la necesidad de diseñar e implementar estrategias de gestión energética en edificaciones de uso intensivo, particularmente en instituciones de educación superior, donde la demanda de energía asociada a iluminación, climatización y equipamiento tecnológico representa un componente sustantivo del costo operativo.

En este contexto, la investigación se orienta al análisis de la optimización energética en instalaciones universitarias mediante la inmótica, con énfasis en la gestión de la energía eléctrica, integrando sistemas de control de accesos, circuito cerrado de videovigilancia y protección contra incendios y los sistemas de climatización, incorporando criterios de eficiencia, sostenibilidad y uso racional de recursos. En este marco, se incorporan lineamientos de la norma ISO 27032 del 2023 [9] en materia de ciberseguridad. Asumiendo que la digitalización e interconexión de sistemas industriales incrementa la exposición a riesgos. En tal sentido, la arquitectura de red y la selección de equipos tecnológicos son elementos necesarios para garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información.

El objeto de estudio se centró en una universidad privada de Paraguay, donde se identificaron problemáticas asociadas al consumo energético, la ausencia de automatización y una limitada integración de sistemas tecnológicos. El diagnóstico inicial evidenció un uso ineficiente de los sistemas de iluminación, caracterizado por tiempos prolongados de operación sin relación directa con la ocupación real de los espacios. Así como por la predominancia de tecnologías de menor rendimiento energético. En el caso de la climatización, se observó un funcionamiento extendido de equipos tipo *Split* y *Roof-Top* sin control, con implicaciones sobre el consumo eléctrico y el confort térmico. A estas condiciones se suman deficiencias de integración en sistemas de seguridad, tales como la operación aislada de alarmas respecto de la detección de incendios y la videovigilancia, así como limitaciones en la protección y gestión de la infraestructura eléctrica, lo que incrementa riesgos técnicos y operacionales. El estado del arte muestra avances relevantes en el diseño e implementación de soluciones inmóticas en entornos universitarios [9;10;11]; sin embargo, persiste una tensión entre el enfoque integral atribuido a la inmótica y la tendencia a implementar subsistemas de manera fragmentada [3;4;5]. Acorde con lo citado, se puede afirmar que un sistema inmótico integral es un conjunto de tecnologías que automatizan y gestionan de forma centralizada los servicios de un edificio (como iluminación, climatización, seguridad y energía) para mejorar su eficiencia, confort y seguridad. La literatura reporta experiencias orientadas a la instrumentación de soluciones IoT para monitoreo de ocupación y consumo, así como propuestas de automatización mediante arquitecturas distribuidas e interfaces de supervisión. No obstante, se identifican limitaciones recurrentes vinculadas con la ausencia de integración plena entre iluminación, climatización, seguridad, comunicaciones y gestión energética dentro de una arquitectura unificada de control y telegestión [6]. En consecuencia, se evidencia una brecha metodológica y empírica, particularmente marcada en contextos donde la adopción tecnológica es incipiente, como el paraguayo, en el

cual la implementación de sistemas inmóticos integrales en instituciones educativas se encuentra limitada.

La justificación teórica del estudio se sustenta, en primer término, en el enfoque de la optimización de la eficiencia energética aplicado a edificaciones, que prioriza la reducción del consumo sin menoscabo del desempeño funcional ni del confort, mediante estrategias de automatización, control por demanda y gestión basada en datos. En segundo término, se apoya en el concepto de edificación sostenible, que concibe al edificio o industria como un sistema que debe asegurar calidad ambiental y eficiencia energética a lo largo de su ciclo de vida [3]. En tercer término, incorpora los principios de integración ciberfísica propios de la Industria 4.0, en los que la interoperabilidad, la conectividad y la telegestión constituyen condiciones necesarias para la operación inteligente; bajo esta lógica, la ciberseguridad se vuelve un requisito transversal, por lo que la adopción de la norma ISO 27032:2023 se asume como referencia para orientar decisiones de diseño en redes y dispositivos.

El diagnóstico realizado evidencia márgenes sustantivos de mejora en la eficiencia energética y la optimización productiva, derivados de la falta de control por ocupación y de la operación prolongada de sistemas de iluminación y climatización. En tal sentido, el objetivo general de esta investigación fue diseñar un sistema de inmótica orientado a la optimización de la seguridad en una universidad de Paraguay, integrando tecnologías de automatización que permitan mejorar el control, la supervisión y la protección de las instalaciones.

Métodos

El método de investigación se enmarca en un enfoque aplicado, sustentado en el diagnóstico del estado actual del edificio mediante la observación y el análisis técnico-energético; complementado con una revisión crítica del estado del arte para derivar criterios de diseño y selección tecnológica. A partir de este proceso, se estructura una arquitectura inmótica que articula iluminación inteligente, control automatizado de climatización, gestión energética, videovigilancia, control de accesos y detección de incendios, con una propuesta de comunicaciones y telegestión alineada con requerimientos de ciberseguridad.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo [12], orientado a la recopilación sistemática de datos medibles, con el propósito de describir y analizar las condiciones del edificio de grado de la universidad privada de los sistemas técnicos, como etapa diagnóstica previa a la eventual implementación de un sistema de control inmótico. El diseño metodológico fue de tipo no experimental, ya que no hubo una manipulación deliberada de las variables, pues los datos fueron recolectados en su contexto original para su posterior análisis.

El estudio fue de tipo longitudinal, dado que la recolección de datos se efectuó en distintos momentos del tiempo, lo que permitió realizar inferencias acerca de la evolución del fenómeno investigado y de las condiciones del edificio a lo largo del período de observación. El alcance de la investigación se define como descriptivo, a

partir de la enunciación de las propiedades, características y comportamientos de la inmótica.

La población se conformó por los distintos espacios y actores vinculados al edificio de grado de la universidad objeto de estudio. En tal sentido, se accedió a aulas, baños, cantina, laboratorios, documentación técnica, personal de mantenimiento, estudiantes, docentes y personal administrativo. Se realizó un muestreo no probabilístico o dirigido, que posibilitó la obtención de información relevante y contextualizada sobre la infraestructura edilicia de la universidad, así como de los sistemas de iluminación, climatización, seguridad, mantenimiento, así como sobre las falencias, oportunidades de mejora e impactos asociados a una posible implementación de soluciones inmóticas.

Para la recolección de datos se utilizaron técnicas e instrumentos cuantitativos. Se manejó un cuestionario estructurado como instrumento de medición, aplicado a través de una encuesta auto administrado individual dirigido a estudiantes, docentes y funcionarios de la institución educativa. Asimismo, se realizaron entrevistas estructuradas, aplicadas al gerente de mantenimiento y al técnico de laboratorio, con la finalidad de recabar información detallada y específica sobre el estado general del edificio, el comportamiento energético, los procedimientos de mantenimiento y el funcionamiento de los sistemas técnicos existentes. Además, se realizó una observación sistemática, consistente en el registro válido, confiable y planificado de situaciones y comportamientos relacionados con los sistemas de iluminación, climatización, seguridad y protección contra incendios, a partir de categorías y subcategorías previamente definidas. También, como parte del proceso metodológico, se empleó el *software HiTools Design* como herramienta de apoyo para el diseño del sistema de inmótica propuesto. Permitted modelar la arquitectura del sistema, seleccionar y dimensionar los dispositivos tecnológicos requeridos, así como simular escenarios de funcionamiento vinculados a la seguridad, videovigilancia, control de accesos y gestión energética del edificio. Para la medición de los niveles de iluminación en los espacios se empleó el luxómetro digital mIm-1011 –MINIPA.

Resultados

La encuesta se aplicó a 207 participantes pertenecientes a la comunidad universitaria. El 90,3 % correspondió a estudiantes, el 5,3 % a docentes y el 4,3 % a funcionarios administrativos. Distribución que permitió obtener información representativa de los principales usuarios del edificio de grado, atendiendo al uso cotidiano de aulas, laboratorios, áreas comunes y espacios administrativos y su relación con la seguridad tecnológica.

En relación con la percepción del confort y del ambiente térmico en aulas, salones comunes, cantina, biblioteca y otros espacios del edificio, los resultados mostraron que más del 85 % de los participantes calificó dichas condiciones como aceptables. No obstante, se registró un porcentaje significativo (78 %) de respuestas que indicaron percepción de frío en los ambientes evaluados, así como una proporción menor (22 %) que manifestó percepción de calor. Estos resultados evidenciaron la coexistencia de diferentes sensaciones térmicas entre los usuarios del edificio.

Respecto a la percepción de la iluminación en aulas de clases, cantina, biblioteca y salas comunes, los datos obtenidos reflejaron que la mayoría de los encuestados la consideró moderada. En segundo lugar, se registró una proporción importante de participantes que percibió la iluminación como alta, mientras que un porcentaje reducido la calificó como baja. Esta distribución permitió caracterizar la percepción general de la iluminación en los distintos espacios académicos y comunes del edificio. Como parte de la recolección de datos, se midieron los luxes por cada espacio analizado, empleando un luxómetro, lo que permitió contrastar los percibido por los encuestados y el estado en de cada sitio dentro de la universidad.

Ante la consulta sobre la conveniencia de que los sistemas de iluminación y climatización fueran controlados de forma autónoma, los resultados indicaron que más del 50 % de los encuestados consideró favorable dicha modalidad de control. Mientras que un 35 % se mantuvo indeciso ante la propuesta de automatización. Por su parte, el 15 % no considera conveniente la automatización de estos sistemas. Los datos muestran las distintas posturas que se tiene frente a la adopción de sistemas automáticos en el entorno edilicio de la universidad. Es preciso señalar que, desde una perspectiva de la seguridad del edificio, se debe reflexionar que la automatización de los sistemas de iluminación y climatización puede favorecer a la prevención de riesgos, al facilitar un control más preciso y constante de las condiciones ambientales. También, estos sistemas viabilizan la detección temprana de fallas, la optimización del consumo energético y la reducción de errores humanos, elementos que inciden directamente en la seguridad y el bienestar de los usuarios. Los encuestados señalaron que los sistemas tecnológicos que conocían que se aplicaban a los edificios son en mayor medida el sistema de detección de incendios, seguido por el sistema de circuito cerrado de seguridad, el sistema de extinción de incendios y, en menor proporción, los sistemas de control de acceso. De forma complementaria, al consultar cuáles de estos sistemas consideraban que se encontraban instalados en la universidad, los resultados mostraron una percepción mayoritaria de la presencia del sistema de detección de incendios, seguido por el sistema de extinción de incendios, el circuito cerrado de seguridad y el control de acceso.

En cuanto al grado de familiaridad con el concepto de inmótica y su aplicación en la automatización de edificios, se constató que el 87 % de los encuestados no se encontraba familiarizado con dicho término. El grupo que manifestó conocer el concepto estuvo conformado, mayoritariamente, por estudiantes, seguido por docentes. Esta información permitió identificar el nivel de conocimiento general de la comunidad universitaria respecto a tecnologías de automatización edilicias.

La eficiencia energética en edificios universitarios, acorde con la norma ISO 5001, fue considerada importante por una amplia mayoría de los participantes. Solo una proporción reducida (8 % de los encuestados) manifestó no considerarla relevante. Asimismo, al consultar sobre la percepción de uso de la iluminación en áreas desocupadas del edificio de grado, se registró que el 76 % de los encuestados afirmó haber notado esta situación, mientras que el resto indicó no haberla percibido.

En relación con el impacto potencial de la automatización en el consumo energético, el 92 % de los encuestados consideró que un sistema automatizado de control de iluminación podría contribuir al ahorro energético, mientras que el 8 % expresó desacuerdo. De manera similar, al consultar sobre experiencias de incomodidad térmica en las áreas del edificio de grado, se observó que una proporción elevada de participantes manifestó haber experimentado incomodidades relacionadas con la temperatura, en contraste con un grupo menor que indicó no haberlas experimentado.

El 96 % de los encuestados consideró que implementar sistemas automatizados para la climatización del espacio es algo que podría coadyuvar al confort en el edificio, mientras que un 4 % no tiene esa percepción. Por otro lado, respecto a la seguridad, el 92 % tenía conocimiento sobre los sistemas de seguridad.

Relacionado con la disposición frente al cambio tecnológico, el 98 % de los encuestados manifestó estar dispuestos a aceptar modificaciones en los sistemas de iluminación y climatización con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y el confort. Los resultados evidenciaron un alto nivel de consenso respecto a la importancia de la aplicación de tecnologías inteligentes en edificios universitarios como aporte al desarrollo sostenible y a la mejora de la seguridad.

Los resultados obtenidos a partir de las entrevistas permitieron complementar la información recopilada mediante las encuestas y profundizar en aspectos técnicos y operativos del edificio. De la entrevista realizada al gerente de mantenimiento se registró la existencia de falencias recurrentes asociadas a variaciones y desfases en el suministro eléctrico externo, las cuales afectaron circuitos eléctricos del edificio, particularmente componentes de las luminarias, como las reactancias. Asimismo, se constató la existencia de un prototipo de automatización implementado en una sala específica del edificio, el cual incorporó contactores y sensores de movimiento.

Durante la entrevista se reportó que el apagado de luminarias y equipos de climatización en áreas que no requerían su uso en determinados horarios representó un factor relevante en el consumo energético, considerando la vida útil de los equipos de iluminación medida en horas de funcionamiento. También se registró información relacionada con el consumo de energía activa y reactiva en la red eléctrica del edificio, así como la identificación de los motores como uno de los principales aportes al consumo energético. Esta identificación es consistente con enfoques de gestión energética basados en redes inteligentes, donde la monitorización de cargas resulta clave para la optimización del consumo. Se indicó que se había realizado un análisis previo del consumo por sala, cuyo valor estimado fue informado durante la entrevista.

En relación con la renovación de equipamientos (realizado por el personal de mantenimiento de la universidad) se registró que, al finalizar la vida útil de los dispositivos, estos fueron reemplazados progresivamente por equipos de tecnología más avanzada, tales como la sustitución de luminarias fluorescentes por plafones de *Light Emitting Diode* (LED), y el reemplazo gradual de equipos de climatización que utilizaban refrigerantes convencionales por otros con refrigerantes de menor

impacto ambiental. La propuesta realizada posiciona a la inmótica como una estrategia integral para la sostenibilidad universitaria, integrando eficiencia energética, seguridad y reducción de la huella ambiental, en consonancia con los Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) [13]. En tal sentido, esta sustitución progresiva de luminarias fluorescentes por tecnología LED y el reemplazo de equipos de climatización por otros de menor impacto ambiental se alinean con prácticas orientadas al uso eficiente de la energía y a la reducción de impactos ambientales [14]. Asimismo, se informó la implementación progresiva de sistemas de control de acceso biométrico en áreas específicas del edificio, con el fin de restringir el ingreso a personal autorizado.

En cuanto a los sistemas de seguridad, se confirmó que el edificio contaba con un sistema completo de protección contra incendios, que incluyó detección de humo y calor, sistemas de rociadores automáticos, brigadas internas organizadas en áreas de combate contra incendios, evacuación y primeros auxilios. Además, se registró la existencia de cámaras de seguridad distribuidas en puntos estratégicos del edificio y medidas de ciberseguridad asociadas. Sin embargo, esta instalación de cámaras no garantiza la total automatización para satisfacer los criterios de seguridad. En tal sentido, en la Figura 1 se puede observar la arquitectura distribuida propuesta de las cámaras para la seguridad interior en el piso 1 de la universidad. Se debe mencionar que esta arquitectura se ha replicado en los pisos 2, 3, 4 y la planta baja. Se ha optado por esta distribución considerando la norma de cableado estructurado. Para las conexiones de las cámaras y los switches se ha seleccionado un cable *Unshielded Twisted Pair* (UTP) categoría 6A. Los equipos de enlace están conectados con una topología anillo lo que garantiza la redundancia y la tolerancia a fallas.

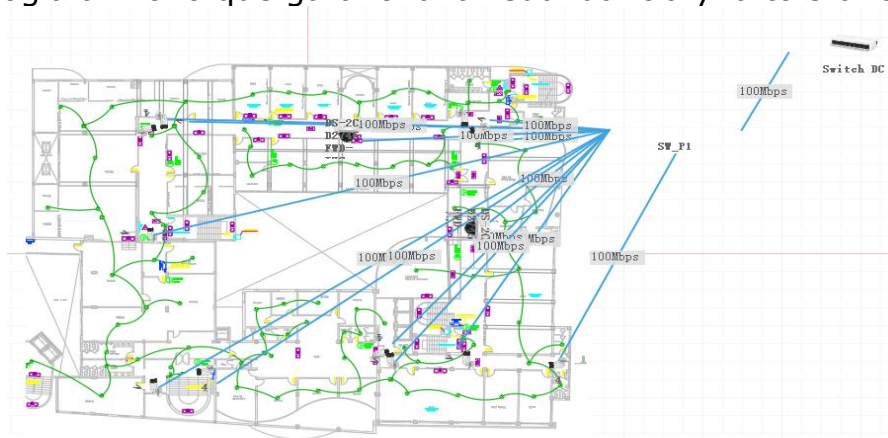


Fig. 1 - Topología de conexión del sistema de videovigilancia del primer piso.

La entrevista realizada al técnico de laboratorio permitió identificar otras condiciones técnicas del edificio. Se constató la persistencia del uso de luminarias fluorescentes dobles con reactancias, las cuales presentaron bajo rendimiento energético y bajo factor de potencia en comparación con luminarias LED. Asimismo, se registró la ausencia de automatización en el encendido de luminarias en pasillos y baños, y se identificaron posibilidades de automatización mediante sensores de presencia y movimiento. También se reportó la existencia de puertas automáticas con sensores

ópticos temporizados en áreas administrativas y el uso de cerraduras magnéticas con reconocimiento facial en espacios de acceso restringido.

En relación con la observación in situ, esta permitió evaluar directamente el funcionamiento de los sistemas de iluminación, climatización y detección de incendios en su entorno real. Se constató que el edificio de grado se encontraba distribuido en aulas y laboratorios ubicados entre el primer y el quinto piso, áreas comunes como cantina, lobby, biblioteca, salas administrativas y servicios sanitarios, así como zonas destinadas al flujo de personas, tales como pasillos, escaleras y ascensores. En términos generales, las instalaciones, equipamientos y mobiliarios se encontraron en buen estado de conservación, con disponibilidad de servicios de red y sistemas de seguridad operativos; condición similar a la reportada en estudios previos realizados en edificaciones universitarias con características funcionales comparables.

En cuanto a los sistemas de iluminación, se registró un total de 2.439 luminarias fluorescentes de 40 W, 25 plafones LED de 40 W, 1.006 plafones LED de 24 W, 259 luminarias tipo spot de 10 W, 51 luminarias tipo spot de 7 W y seis reflectores cuya potencia no pudo ser determinada. Se observó que las luminarias permanecieron encendidas durante períodos prolongados, incluso en ausencia de personas, con tiempos de funcionamiento estimados entre 10 y 14 horas diarias.

Respecto a los equipos de climatización, se identificaron 39 equipos tipo split de 60.000 BTU, 111 equipos *split* de 18.000 BTU y 47 equipos tipo cassette. Se constató que estos equipos se mantuvieron encendidos sin considerar la presencia de personas en los espacios y que no se observaron sistemas de control de temperatura ni humedad relativa en las salas evaluadas.

En materia de seguridad, se verificó la existencia de sistemas de protección contra incendios, circuito cerrado de televisión y alarmas de seguridad, así como la presencia de personal de seguridad que realizaba controles de ingreso mediante detectores de metales. Los tableros eléctricos del edificio se encontraron identificados y en buen estado general; sin embargo, se detectaron situaciones de riesgo asociadas a la ausencia de dispositivos de cierre en algunos de ellos.

El relevamiento por niveles permitió cuantificar luminarias y equipos de climatización en cada piso del edificio, incluyendo planta baja, primer, segundo, tercer, cuarto y quinto piso. Asimismo, se constató la presencia de una central electrónica inteligente para el sistema de detección y alarma contra incendios, modelo AD600C de Advantronic, ubicada en el lobby del edificio. A través de la observación se pudieron registrar características técnicas y aspectos relacionados con la capacidad operativa y las funciones principales que tiene el edificio.

Acorde con la observación realizada, en la Figura 2 se presenta el esquema del aula modelo, el cual ilustra la integración de los sistemas de climatización e iluminación bajo un enfoque inmótico. En el diagrama se observa el conexionado de las luminarias mediante el protocolo DALI, así como la incorporación de sensores de presencia, temperatura y humedad relativa, y su vinculación con el controlador FMS-2000C y la plataforma de gestión Metasys. Este diseño representa una solución tipo

replicable para las distintas aulas del edificio de grado, manteniendo la misma lógica de control, topología y criterios de eficiencia energética y confort ambiental.

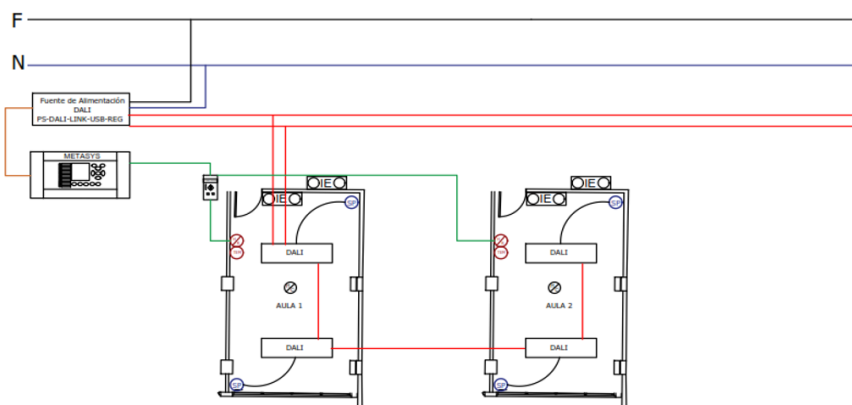


Fig. 2 - Estructura del sistema DALI tomando como referencia un aula modelo.

Cabe recalcar que este diseño es replicable en todas las aulas, ya que se basa en una arquitectura modular y estandarizada que permite su implementación en distintos espacios sin necesidad de modificaciones sustanciales en el esquema de control. La utilización de protocolos abiertos y ampliamente adoptados, como DALI para iluminación y BACnet MS/TP para climatización, facilita su adaptación a variaciones en la cantidad de luminarias, sensores y equipos HVAC, garantizando escalabilidad, interoperabilidad y eficiencia operativa en todo el edificio.

En concordancia con la integración de sistemas que se propone, en la Figura 3 se observa la arquitectura de red integrada del sistema inmótil para el edificio. El diagrama representa la interconexión entre el centro de control, el data center y los distintos pisos del edificio, integrando los sistemas de CCTV, climatización, iluminación y detección de incendios mediante protocolos estandarizados como BACnet MS/TP y DALI, así como enlaces de comunicación a través de cableado UTP categoría 6A y fibra óptica multimodo. Esta arquitectura permite la centralización del monitoreo, la gestión eficiente de los subsistemas y la supervisión continua del estado de las comunicaciones y los equipos, garantizando escalabilidad, redundancia y confiabilidad operativa.

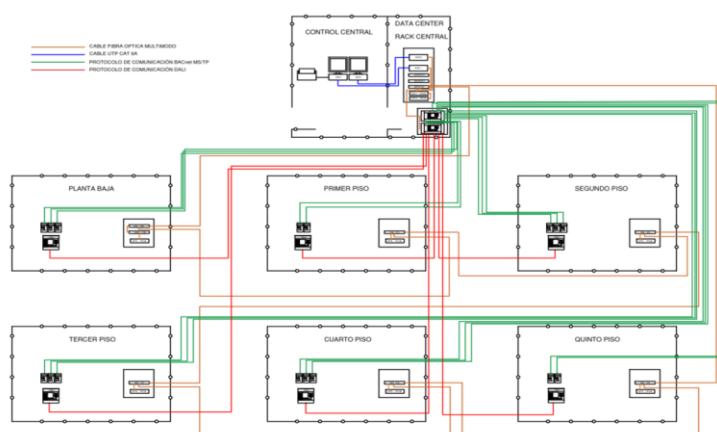


Fig. 3 - Esquema de integración de los sistemas de video vigilancia, iluminación, detección de incendio y climatización.

En la figura 4 se aprecia el esquema de integración funcional de los sistemas inmóticos del edificio, donde se simboliza la interconexión entre los sistemas de climatización, iluminación, Circuito Cerrado de Televisión (CCTV) y Sistema de Detección de Incendios (SDI) a través de una arquitectura centralizada. El diagrama modela cómo los dispositivos de campo y subsistemas de confort y seguridad se vinculan a través de un *switch* central y son gestionados desde la plataforma Metasys, permitiendo la visualización, supervisión y control desde el centro de monitoreo mediante estaciones de trabajo y sistemas de grabación *Network Video Recorder* (NVR). Esta integración facilita una gestión coordinada de los sistemas, optimizando la operación, la seguridad y la eficiencia energética del edificio.

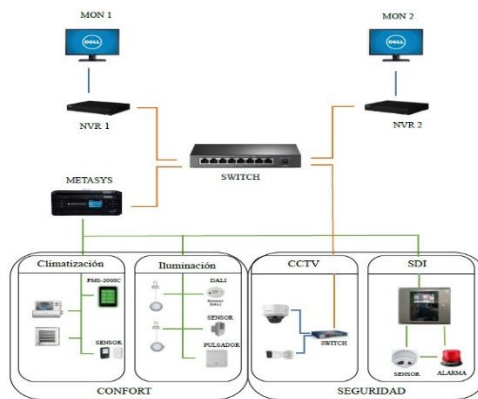


Fig. 4 - Arquitectura de la red integrada.

Discusión

Los resultados alcanzados contribuyeron al análisis del desempeño energético y operativo del edificio desde una mirada integral, considerando los principios teóricos de la inmótica y las experiencias reportadas en la literatura especializada. La calificación realizada permitió reconocer la ausencia de un sistema de automatización y de integración funcional entre los elementos tecnológicos del edificio. Aspectos que son factores determinantes en el uso eficiente de la energía eléctrica, especialmente en los sistemas de iluminación y climatización, los cuales operan de manera prolongada sin responder a la ocupación real de los espacios y una estrategia para garantizar la seguridad institucional.

Los hallazgos concuerdan con lo señalado por diversos autores [1; 3; 5], quienes subrayan que la ausencia de control por demanda y la gestión aislada de subsistemas restringen de forma evidente los beneficios potenciales de la automatización en edificaciones universitarias. En este sentido, si bien la institución ha incorporado progresivamente equipamientos de mayor eficiencia energética, como luminarias LED y equipos de climatización con mejores prestaciones, la ausencia de una arquitectura inmótica integrada reduce el impacto global de estas mejoras, al no permitir un control centralizado ni una optimización coordinada de los recursos energéticos.

Para garantizar una mejora en la seguridad se ha propuesto la implementación de CCTV basado en tecnología Hikvision, seleccionado tras el análisis comparativo de distintas soluciones disponibles en el mercado. La propuesta contempla el uso de cámaras de red de alta resolución con tecnologías 4K, AcuSense y ColorVu, las cuales permiten una vigilancia precisa, la reducción de falsas alarmas mediante inteligencia artificial y la captura de imágenes en color incluso en condiciones de baja iluminación. Estas características resultan especialmente adecuadas para entornos universitarios con alta circulación de personas. El diseño del sistema presenta una arquitectura de red híbrida, que asume una topología estrella para la conexión de cámaras a switches y una topología en anillo para la interconexión entre switches, lo que posibilita centralización, escalabilidad y tolerancia a fallos. Además, se emplea cableado estructurado conforme a las normas TIA/EIA (*Telecommunications Industry Association / Electronic Industries Alliance*) 568-B-2-1 e ISO/IEC (*International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission*) 11801, utilizando cable UTP categoría 6A para enlaces horizontales y fibra óptica multimodo OM3 LSZH (*Optical Multimode 3/ Low Smoke Zero Halogen*) para enlaces verticales y troncales, asegurando alto ancho de banda, confiabilidad y preparación para futuras expansiones.

La infraestructura que se plantea concentra elementos de respaldo energético mediante *Uninterruptible Power Supply* (UPS), segmentación de red y segregación de tráfico conforme a criterios de ciberseguridad establecidos en las normas ISO/IEC 27001 y ANSI (*American National Standards Institute*)/TIA-942. Al mismo tiempo, el sistema fue diseñado a través del empleo de software especializado de acceso abierto, lo que permitió una planificación precisa de los dispositivos, direccionamiento IP estático y gestión eficiente de la red. En conjunto, la solución propuesta fortalece la seguridad edilicia, optimiza la operación del sistema inmótico y aporta un enfoque sostenible y escalable alineado con estándares internacionales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible [14].

Para el sistema de climatización del edificio, se identificó la coexistencia de equipos tipo *Split* y *Roof-Top*, por lo que se propuso un esquema de control centralizado mediante el controlador FMS-2000C de Johnson Controls. Si bien su aplicación principal se orienta a entornos críticos (laboratorios, áreas con requerimientos de cumplimiento), su versatilidad permite su integración con sistemas HVAC convencionales, aportando monitoreo y ajuste continuo de variables que influyen en la seguridad y el confort.

El FMS-2000C permite supervisar y regular parámetros ambientales clave como presión diferencial, temperatura, humedad relativa, CO₂, flujo de aire y renovaciones por hora, lo que contribuye a mantener condiciones interiores estables y seguras. Además, puede integrarse con plataformas de automatización como Metasys y soluciones de terceros, habilitando una gestión operativa más eficiente. Sus salidas digitales por relé también favorecen estrategias de ahorro energético, al activar reducciones de consumo conforme a criterios de cumplimiento y operación del edificio.

En cada aula se previó la instalación del sensor NS8000 de Johnson Controls, el cual integra múltiples mediciones (temperatura, humedad, CO₂ y ocupación), facilitando el control inteligente del *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (HVAC). Debido a que el control automatizado de HVAC mejora la estabilidad ambiental y reduce riesgos operativos, aportando eficiencia energética y seguridad en edificios institucionales [15]. Su pantalla permite visualizar el estado del ambiente en tiempo real y su sensor de ocupación posibilita ahorros energéticos significativos. Asimismo, se propuso BACnet MS/TP, como protocolo compatible con el FMS-2000C, lo que favorece la interoperabilidad y la configuración tanto local como remota dentro de un esquema de edificio inteligente.

Para el control de iluminación se seleccionó el sistema *Digital Addressable Lighting Interface* (DALI), debido a su capacidad de direccionamiento individual de luminarias, su flexibilidad para crear escenas y grupos, y su comunicación bidireccional que facilita monitoreo y mantenimiento. Al ser un estándar abierto (IEC 60929 e IEC 62386), permite integración con distintas marcas y escalabilidad mediante topología bus, simplificando el cableado. La propuesta contempla la implementación por piso, dado que el sistema permite controlar hasta 4096 luminarias, resultando adecuado para las 3790 luminarias existentes. Finalmente, se plantea la integración de CCTV, climatización, iluminación y detección de incendios bajo una plataforma unificada (Metasys), con el objetivo de optimizar operación, seguridad y eficiencia energética del edificio.

Con una mirada hacia la seguridad en instalaciones, se debe indicar que la integración de los sistemas de climatización e iluminación dentro de una plataforma inmótica permite no solo optimizar el confort y la eficiencia energética, sino también reforzar la seguridad operativa del edificio. El monitoreo continuo de variables ambientales y la gestión centralizada de los sistemas facilita una respuesta temprana ante situaciones anómalas, como fallas de equipos, sobrecargas eléctricas o condiciones ambientales fuera de los rangos seguros. De esta forma, la automatización favorece a la reducción de riesgos vinculados al error humano y proporciona la implementación de protocolos de emergencia, fortaleciendo la protección de los usuarios y la continuidad operativa de las instalaciones.

La integración del CCTV, la climatización, la iluminación y el SDI constituye un elemento central del diseño inmótico propuesto para el edificio de una universidad. Este enfoque permite optimizar el funcionamiento conjunto de los distintos subsistemas, mejorando la eficiencia operativa, la seguridad y la gestión energética mediante una arquitectura unificada y coordinada.

Como plataforma de integración se optó por Metasys de Johnson Controls, dada su capacidad para centralizar el control de múltiples sistemas edilicios mediante protocolos de comunicación abiertos y estandarizados. Ello se debe a que Metasys posibilita el monitoreo en tiempo real, la visualización avanzada de datos, el acceso remoto desde dispositivos móviles y la generación de reportes inteligentes, facilitando la toma de decisiones y reduciendo los tiempos de configuración, puesta en marcha y resolución de fallas. La arquitectura de red propuesta armoniza una topología estrella para la integración de los controladores con el sistema central y

una topología anillo para la interconexión entre switches por piso, garantizando escalabilidad, redundancia y tolerancia a fallos. Esta configuración permite supervisar el estado de los equipos, las comunicaciones y los sistemas energéticos desde un centro de monitoreo, asegurando continuidad operativa y confiabilidad en el funcionamiento del edificio.

El centro de monitoreo se delineó empleando soluciones de Hikvision, integradas mediante la plataforma HikCentral Professional, que actúa como sistema de *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) para la supervisión y control de los subsistemas inmóticos. Esta solución admite la gestión centralizada de alarmas, eventos y acciones automatizadas, posibilitando respuestas inteligentes ante situaciones críticas, como la activación automática de cámaras, iluminación o sistemas de climatización frente a emergencias. Asimismo, se incorporó un firewall FortiGate NGFW, garantizando la ciberseguridad del sistema mediante inspección avanzada del tráfico, prevención de intrusiones y control de aplicaciones.

El diseño comprende redundancia energética y de almacenamiento, mediante UPS en paralelo, servidores dedicados y NVR con soporte RAID, asegurando la continuidad del servicio ante fallas eléctricas o de hardware. El análisis económico denota que, si bien la inversión inicial es significativa, la automatización de la iluminación y la climatización permite generar ahorros energéticos sostenidos en el tiempo, mejorando la eficiencia, la sostenibilidad y la seguridad del edificio. En conjunto, la integración inmótica propuesta representa una solución escalable, segura y alineada con estándares internacionales, adecuada para entornos universitarios de gran envergadura.

Por otro lado, la gestión de mantenimiento preventivo en sistemas inmóticos es un componente esencial para garantizar su funcionamiento continuo, seguro y eficiente, así como para alargar la vida útil de los equipos. Este enfoque proactivo se fundamenta en la ejecución periódica de inspecciones, calibraciones, pruebas funcionales y actualizaciones de *software* y *firmware*, orientadas a prevenir fallas antes de que se produzcan. En entornos automatizados, donde confluyen sistemas de seguridad, climatización, iluminación y comunicaciones, el mantenimiento preventivo resulta primordial para asegurar la confiabilidad operativa y minimizar interrupciones en las actividades del edificio.

El plan propuesto observa la revisión sistemática de cámaras de video vigilancia, switches de red, sensores y dispositivos de control, junto con la verificación de la infraestructura física y lógica de la red. Además, se establece la actualización periódica de *firmware* y configuraciones para robustecer la ciberseguridad, la realización de pruebas de conectividad y redundancia, y la calibración anual de sensores ambientales. Estas acciones se perfeccionan con la capacitación del personal y el registro detallado de las tareas de mantenimiento e incidentes, permitiendo una gestión ordenada, trazable y orientada a la mejora continua del sistema inmótico.

Desde la perspectiva de la comunidad universitaria, los resultados, antes presentados, mostraron una valoración favorable hacia la eficiencia energética y una disposición positiva hacia la automatización de los sistemas edilicios. Sin

embargo, el bajo nivel de familiaridad con el concepto de inmótica revela una brecha de conocimiento que debe ser considerada en los procesos de modernización tecnológica. En este sentido, los resultados sugieren que la incorporación de soluciones inmóticas requiere ser acompañada por estrategias de sensibilización y capacitación, orientadas a facilitar la comprensión, aceptación y uso adecuado de los sistemas automatizados. Este aspecto resulta particularmente relevante desde el enfoque de la ingeniería industrial, en tanto la eficiencia de los sistemas técnicos depende en gran medida de su interacción con los usuarios y de una adecuada gestión del cambio organizacional.

En relación con la seguridad y la operatividad institucional, el estudio muestra que el edificio cuenta con sistemas de detección de incendios, video vigilancia y control de accesos que cumplen satisfactoriamente su función de manera individual. No obstante, la ausencia de integración entre estos subsistemas limita la posibilidad de una gestión coordinada e inteligente, reduciendo el potencial de optimización de la respuesta ante eventos críticos y la mitigación de riesgos técnicos y operativos. Esta situación coincide con lo reportado en la literatura especializada, particularmente en contextos donde la adopción de soluciones inmóticas es aún incipiente y predomina la implementación fragmentada de sistemas tecnológicos.

Los resultados obtenidos refuerzan la pertinencia de avanzar hacia un enfoque integral de automatización, en el cual los sistemas de iluminación, climatización, gestión energética, seguridad y comunicaciones se articulen dentro de una arquitectura inmótica unificada [14]. Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, dicha integración no solo contribuye a la optimización del consumo energético, sino que también favorece la mejora de la eficiencia operativa, el confort de los usuarios y la sostenibilidad de las instalaciones, promoviendo una gestión más racional y estratégica de los recursos en edificaciones universitarias. Asimismo, el diseño inmótico propuesto pone de manifiesto que la integración de los sistemas de iluminación, climatización y monitoreo energético constituye una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia energética en el contexto universitario. El control automatizado basado en sensores de ocupación y variables ambientales permite reducir consumos innecesarios, en concordancia con estudios previos que identifican a la automatización edilicia como una herramienta clave para la optimización del uso energético en entornos educativos. De igual forma, la incorporación de dispositivos de medición en tiempo real posibilita el análisis continuo de los patrones de consumo, facilitando la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas correctivas orientadas a la sostenibilidad y al uso racional de la energía.

Con una visión integral de confort, seguridad y sostenibilidad [15], los resultados confirman que la inmótica tiene un impacto positivo en la calidad del ambiente interior y en la experiencia de los usuarios. La regulación automática de la iluminación y la climatización contribuye al mantenimiento de condiciones ambientales adecuadas, lo que puede incidir favorablemente en el bienestar y el rendimiento académico, tal como lo reporta la literatura especializada. Asimismo, la integración de los sistemas de seguridad y detección de incendios fortalece la protección del edificio y permite una gestión más eficiente de situaciones críticas.

En conjunto, los hallazgos respaldan la pertinencia de la inmótica como una solución integral para edificaciones universitarias, al articular eficiencia operativa, seguridad y compromiso con los objetivos de sostenibilidad institucional.

Conclusiones

1. El estudio permitió caracterizar de manera integral las condiciones energéticas, tecnológicas y operativas del edificio de grado de una universidad privada de Paraguay, evidenciando que la ausencia de sistemas de automatización y de control por ocupación en la iluminación y la climatización constituye uno de los principales factores asociados al uso ineficiente de la energía eléctrica. Esta situación refleja una brecha significativa entre el funcionamiento actual del edificio y los criterios contemporáneos de eficiencia energética aplicados a edificaciones universitarias.
2. Asimismo, se constató que la operación prolongada de los sistemas de iluminación y climatización, desvinculada de la ocupación real de los espacios, genera consumos energéticos elevados y condiciones de incomodidad térmica, afectando tanto la eficiencia operativa del edificio como la percepción de confort por parte de los usuarios. Estos hallazgos ponen de relieve la necesidad de incorporar mecanismos de control automatizado que permitan ajustar el funcionamiento de los sistemas a la demanda real.
3. En relación con la seguridad y la operatividad institucional, si bien la edificación cuenta con sistemas funcionales de detección de incendios, video vigilancia y control de accesos, su funcionamiento de manera aislada limita el desempeño global del conjunto. La falta de integración entre estos subsistemas reduce las posibilidades de una gestión coordinada, orientada tanto a la prevención de riesgos como a una respuesta más eficiente ante situaciones críticas. Los resultados de las encuestas evidenciaron una alta valoración de la eficiencia energética y una disposición favorable de la comunidad universitaria hacia la automatización de los sistemas del edificio, lo que configura un escenario propicio para la implementación de soluciones inmóticas; sin embargo, el bajo nivel de conocimiento sobre estas tecnologías señala la necesidad de incorporar acciones de capacitación y sensibilización.
4. La investigación demuestra que la inmótica constituye una alternativa viable y pertinente para la optimización del consumo energético, la mejora del confort y el fortalecimiento de la seguridad en edificaciones universitarias, al permitir la integración de iluminación, climatización, gestión energética y sistemas de seguridad dentro de una arquitectura de control unificada. La propuesta de un sistema inmótico integral, contextualizada al entorno paraguayo, aporta una base metodológica y técnica que puede ser replicada o adaptada por otras instituciones educativas con características similares, contribuyendo a una gestión más eficiente, sostenible y alineada con los principios de la ingeniería industrial y la Industria 4.0.

Referencias bibliográficas

- 1.** Ramos F, Gouveia JP, Dias L. Smart building automation systems for energy efficiency and security integration: A systematic review. *Energy and Buildings*. 2022; 262:111988. ISSN: 0378-7788.
- 2.** Ascione F, Bianco N, De Stasio C, Mauro GM. Building automation and control systems: Impacts on energy, comfort and security. *Building and Environment*. 2022; 207:108498. ISSN: 0360-1323.
- 3.** Mahmoud S, Zafar S, Tariq M. Integrated smart building management systems for university campuses. *Sustainable Cities and Society*. 2023; 92:104463. ISSN: 2210-6707.
- 4.** Li X, Wen J. Review of building energy management systems for smart buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022; 152:111718. ISSN: 1364-0321.
- 5.** Becchio C, Bottero MC, Corgnati SP. Smart buildings and energy security: Challenges for university facilities. *Applied Energy*. 2023;331:120367. ISSN: 0306-2619.
- 6.** Almeida RM, Ferreira P. Cybersecurity in smart buildings: Risks and mitigation strategies. *IEEE Access*. 2023;11:56789–56804. ISSN: 2169-3536.
- 7.** Péan TQ, Salom J, Ortiz J. Energy efficiency and comfort optimization through building automation. *Journal of Building Engineering*. 2022;45:103484. ISSN: 2352-7102.
- 8.** Ley N° 966/1964. Carta Orgánica de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) [Internet]. Paraguay; 1964 [citado 21 dic 2025]. Disponible en: <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2417/ley-n-966-crea-la-administracion-nacional-de-electricidad-ande-como-ente-autarquico-y-establece-su-carta-organica>.
- 9.** International Organization for Standardization. ISO/IEC 27032:2023. Cybersecurity — Guidelines for internet security. Geneva: ISO; 2023.
- 10.** Khan MA, Rehman A, Alharbi A. Smart campus infrastructure: Security and energy perspectives. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2024; 98:101908. ISSN: 0198-9715.
- 11.** Mojerón Labrada S. Principios del proceso de diseño de interfaz de usuario. *Revista Cubana de Transformación Digital*. 2020; 1(2). <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/96>.
- 12.** Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Metodología de la investigación. 6ª ed. México: McGraw-Hill; 2014.
- 13.** Silva A, Costa A, Neves J. Intelligent building systems as a strategy for sustainable universities. *Journal of Cleaner Production*. 2024; 418:140201. ISSN: 0959-6526.
- 14.** Naciones Unidas. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Santiago de Chile: CEPAL; 2018.
- 15.** Zhou Y, Wang S, Yan C. Advanced HVAC control and indoor security in smart buildings. *Energy Reports*. 2023; 9:8732–8745. ISSN: 2352-4847.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de cada autor:

Frank Cruz Ortega: Guía y asesoría técnica y metodológica. Colaborador en la planificación del estudio, la elaboración y validación de instrumentos. Redacción y revisión del artículo científico.

Milagros Arce Lezcano: Recolección de datos en el campo, diseño del instrumento de recolección, selección de la muestra y realización de las encuestas a los participantes mediante Google Forms. Coordinación en el trabajo con el tutor.

Ingrid Ayala Faría: Recolección de datos en el campo, diseño del instrumento de recolección, selección de la muestra y realización de las encuestas a los participantes mediante Google Forms. Coordinación en el trabajo con el tutor.

Sobre los autores:

Frank Cruz Ortega: Doctor en Ciencias de la Educación. Profesor e Investigador de la Universidad Americana de Paraguay. Investigador Categorizado por el CONACYT de Paraguay.

Milagros Arce Lezcano: Ingeniería Industrial por la Universidad Americana de Paraguay. Especialista en Análisis de Datos y Mejora Continua en la industria farmacéutica. Trabaja en Laboratorios Catedral - Pharmetica

Ingrid Ayala: Ingeniería Industrial por la Universidad Americana de Paraguay. Especialista en Logística industrial. Trabaja en Cervepar SA