

Proposal for a Cooperative System of Autonomous Robots

Shanella Begazo-Sullca, Bach¹, Alexis Subia-Luna, Bach¹, Carlos Yopez-Corimanya, Bach¹, Alejandro Ayme-Salas, Bach¹, Edmundo Aparicio-Maldonado, Mg¹, Paola Meza-Gomez, Mg¹, Elizabeth Mamani-Machaca, Ing¹

¹Universidad Católica de Santa María, Peru,

shanella.begazo@estudiante.ucsm.edu.pe, alexis.subia@estudiante.ucsm.edu.pe, carlos.yopez@estudiante.ucsm.edu.pe, alejandro.ayme@estudiante.ucsm.edu.pe, eaparicio@ucsm.edu.pe, pmezag@ucsm.edu.pe, elizabeth.mamani297@gmail.com

Abstract- *In recent years, many tasks traditionally performed by human workers have been progressively automated, particularly in areas such as security and maintenance. In this context, this study presents the design and implementation of a cooperative cleaning system based on an autonomous robot aimed at supporting cleaning staff in higher education institutions. The system is designed to operate collaboratively with human operators, enhancing efficiency through effective human-machine interaction. User survey results indicate a high level of acceptance, despite limited prior exposure to such technologies. The system features a modular architecture incorporating components such as Raspberry Pi 3, ESP32, sensors, and cameras, enabling adaptability to commercial robotic platforms. The usability evaluation, based on the System Usability Scale (SUS), yielded a score of 74.7/100, indicating good user acceptance and a positive experience. These findings suggest that the proposed system is a viable solution that contributes to regional technological development while improving operational efficiency without replacing human labor.*

Keywords- *Automation, Autonomous Robotics, Cooperative Cleaning, Staff Support, Institutes and Universities*

Propuesta para un Sistema Cooperativo de Robots Autónomos

Shanella Begazo-Sulca, Bach¹, Alexis Subia-Luna, Bach¹, Carlos Yopez-Corimanya, Bach¹, Alejandro Ayme-Salas, Bach¹, Edmundo Aparicio-Maldonado, Mg¹, Paola Meza-Gomez, Mg¹, Elizabeth Mamani-Machaca, Ing¹

¹Universidad Católica de Santa María, Perú,

shanella.begazo@estudiante.ucsm.edu.pe, alexis.subia@estudiante.ucsm.edu.pe, carlos.yopez@estudiante.ucsm.edu.pe,
alejandro.ayme@estudiante.ucsm.edu.pe, eapario@ucsm.edu.pe, pmezag@ucsm.edu.pe,
elizabeth.mamani297@gmail.com

Resumen: En la actualidad, la automatización ha permitido optimizar diversas tareas tradicionalmente realizadas por personas, especialmente en ámbitos como la seguridad y el mantenimiento. En este contexto, el presente estudio propone el diseño e implementación de un sistema de limpieza cooperativa basado en un robot autónomo, orientado a apoyar al personal de limpieza en instituciones de educación superior. El sistema está diseñado para trabajar de manera colaborativa con los operarios, promoviendo una interacción humano-máquina eficiente. Su arquitectura modular, basada en tecnologías como Raspberry Pi 3, ESP32, sensores y cámaras, permite su adaptación a plataformas robóticas comerciales. Los resultados de la encuesta evidencian una alta aceptación del sistema, incluso en usuarios con conocimiento limitado sobre automatización. Asimismo, la evaluación de usabilidad (SUS) obtuvo un puntaje de 74.7/100, lo que indica una experiencia positiva y una adecuada aceptación. En conjunto, la propuesta se presenta como una solución viable que contribuye al desarrollo tecnológico regional, mejorando la eficiencia operativa sin reemplazar al personal humano.

Keywords—Automatización, Robótica Autónoma, Limpieza Cooperativa, Apoyo al personal, Institutos y Universidades.

I. INTRODUCCIÓN

Vivimos hoy una en época de automatización por la continua búsqueda de la reducción de costes que permiten automatizar y mejorar los procesos que anteriormente llevaban a cabo equipos humanos [1]. Gracias a tecnologías como el Internet de las Cosas y la inteligencia artificial ha sido posible la automatización de tareas complejas, cosa que ha llevado a la sustitución progresiva de puestos de trabajo, sobre todo aquellos que son de menor cualificación porque son aquellos que son más fácilmente mecanizables [2].

A pesar del avance global, en América Latina y el Caribe la automatización aún presenta baja visibilidad y adopción limitada. Sin embargo, estudios proyectan una rápida incorporación con fuertes implicancias sociales y económicas, como el aumento de la desigualdad, el desempleo estructural y la informalidad laboral, acentuando brechas en el acceso a oportunidades y competencias técnicas [3],[4],[5],[6].

Este estudio explora la posibilidad de aplicar un sistema automatizado de limpieza en escuelas de nivel superior en Arequipa, Perú. Varios trabajos de investigación anteriores [7],[8],[9] demuestran que los sistemas colaborativos de limpieza en entornos industriales, que combinan el trabajo humano con máquinas, mejoran la eficacia, la seguridad y el

bienestar de los trabajadores al potenciar la interacción humano-computador [10],[11].

El sistema propuesto se llevará a cabo mediante el uso de placas de desarrollo como Arduino [12] y ESP32 [13], con los correspondientes sensores y actuadores, similar a una arquitectura modular viable como el de [14], con un funcionamiento autónomo en entornos complicados. Se tomarán como referencia los modelos existentes como los robots Pudu CC1 [15], Phantas [16] y Ecobot 40 [17]. Sin embargo, se propondrá una arquitectura más flexible de un módulo principal, con capacidad para ajustarse a muchas de las plataformas comerciales como el modelo Roomba [18] (ver Fig. 1), reforzado con una infraestructura IoT de la arquitectura SDN para garantizar la comunicación fácil, sin congestión entre los módulos de limpieza [19].



Fig. 1. Robot trapeador-recolector modelo Roomba.

Por último, se realizará un análisis del resultado obtenido de una encuesta a usuarios para evaluar la aceptación del Sistema de Limpieza Cooperativa, la funcionalidad percibida y la viabilidad de su introducción en instituciones educativas. El análisis permitirá conocer el efecto que tendría su adopción de cara al entorno laboral y sus posibles repercusiones sociales y operativas si su aplicación fuera a nivel nacional o en otros sectores más allá del sector educativo.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El avance de la automatización ha sido fundamental en la evolución tecnológica, que va desde mecanismos simples hasta la reciente aproximación de inteligencia artificial y computación cuántica [20],[21]. En América Latina y en el Caribe la automatización hace posible el beneficio para sectores específicos, pero a la vez genera riesgos como un aumento de la informalidad laboral y de la desigualdad en algunos casos, sobre todo en determinados contextos relacionados con poco acceso a la información [22],[23].

De esta manera, se decidió realizar una encuesta con preguntas enfocadas en la automatización y la limpieza en el ámbito académico, tomando como referencia a una muestra aproximada a la del 2024: 65,000 alumnos aproximadamente [24],[25]. Para determinar el espacio de muestra se utilizó la siguiente formula [26]:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \dots (1)$$

Donde: n: Representa el tamaño de muestra. N: Representa el tamaño total de la población. z: Nivel de confianza adoptado. (Se utilizará el 90%, por lo que $Z = 1.645$). e: Margen de error. (Se utilizará el 7,5%). p: Probabilidad de que ocurra el evento. q: Probabilidad de que no ocurra el evento ($1 - p$).

$$n = \frac{65000 * 1.645^2 * 0.5 * 0.5}{0.075^2 * (65000 - 1) + 1.645^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 120 \text{ encuestados}$$

Los resultados de la encuesta realizada a 120 personas entre estudiantes, docentes y personal institucional sobre la limpieza en sus instituciones o zonas de estudio revelan que aproximadamente el 36% confirma una limpieza efectiva, mientras que alrededor del 35% percibe que la limpieza es usualmente ordenada. Por otro lado, un 22% y un 7% de los encuestados, respectivamente, encuentran que sus instituciones se mantienen en una limpieza correcta en pocas o casi nulas ocasiones. (Ver Fig. 2).

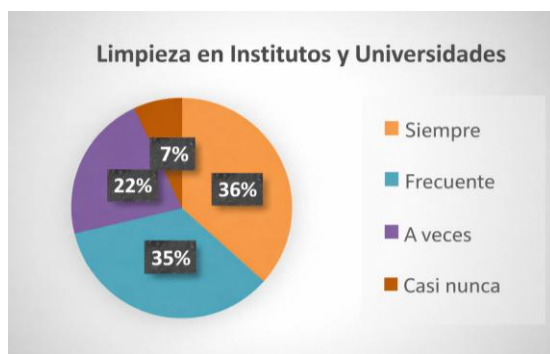


Fig. 2. Limpieza en Institutos y Universidades.

Respecto al conocimiento en automatización, se consultó a la misma muestra de 120 personas, en su mayoría estudiantes. Aproximadamente el 76% del total de encuestados demuestra conocer sobre automatización, con una ligera diferencia de cerca del 1% entre quienes poseen un conocimiento completo y quienes tienen un conocimiento intermedio. En contraste, cerca del 23% presenta un conocimiento relativamente básico en relación con el tema. (Ver Fig. 3).

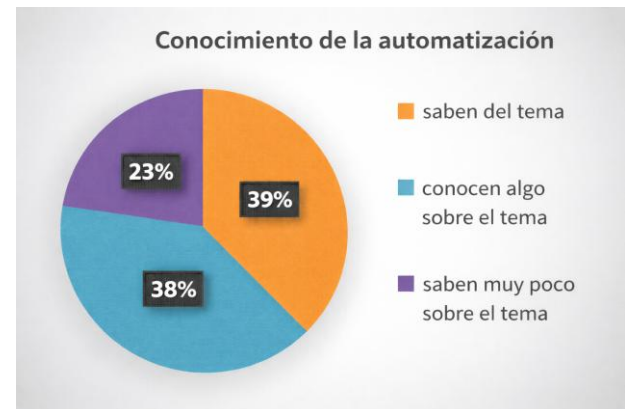


Fig. 3. Conocimiento de automatización.

Finalmente, se consultó a los encuestados sobre el reconocimiento de sistemas en el sector de limpieza y su opinión respecto a su implementación. Gráficamente (Ver Fig.4), se observa que la mayoría (aproximadamente el 56%) no reconoce estos sistemas, a diferencia del 27% que sí lo hace, y un 17% que no está seguro. Es relevante notar que, en cada grupo, la opinión expresada tiende fuertemente a "aceptar" dichos sistemas a pesar del nivel de conocimiento o desconocimiento de estos mismos.

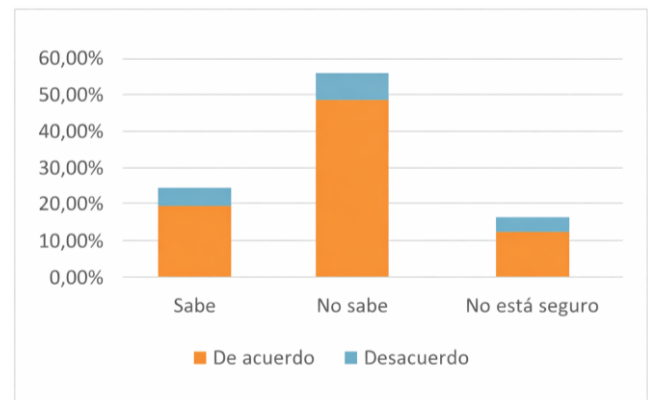


Fig. 4. Reconocimiento y aprobación de un sistema de limpieza.

Los resultados de la encuesta revelan una oportunidad de mejora en la percepción y el conocimiento sobre sistemas de limpieza modernos. En este contexto, esta investigación propone una innovación significativa en los métodos de limpieza mediante el desarrollo e implementación de un sistema cooperativo de robots autónomos. Dicha

automatización se basará en la integración con tecnologías IoT (Internet de las Cosas) [27], utilizando sensores y actuadores para optimizar sus operaciones y la asignación de tareas.

IV. SITUACIÓN ACTUAL

En la ciudad de Arequipa, la automatización de procesos aún se encuentra en una etapa inicial, lo que representa una gran oportunidad para el desarrollo económico y tecnológico regional. Según el diario El Correo [28], Jorge Chávez, gerente académico nacional del SENATI, señaló que se necesitan al menos 2,000 técnicos capacitados en automatización industrial para atender la demanda emergente del sector productivo. Esta demanda está alineada con la transformación ocupacional que proviene de la automatización, la misma que ha sido abordada en recientes informes que reflejan las necesidades del mercado laboral en la región [29]. A nivel universitario, destacan recientes proyectos de automatización como los “Prototipos para mantenimiento de aviones y limpieza de pistas” [30] y el “Sistema de limpieza de gases de hornos finos” [31]. En el ámbito de la limpieza, se pueden mencionar los conocidos modelos Pudu CC1 [15], Phantas [16] y Ecobot 40 [17] que se centran en la limpieza en distintas zonas en países con alta tasa de automatización. En los institutos del Perú, principalmente en Arequipa, no son implementados por distintos motivos, por lo que la implementación de nuestro sistema puede llegar a impactar en nuestra sociedad.

V. SISTEMA COOPERATIVO DE ROBOTS AUTÓNOMOS

Tras analizar detalladamente los resultados de la encuesta, que han evidenciado las áreas de oportunidad en la percepción y conocimiento sobre sistemas de limpieza avanzados, esta investigación procede a presentar una propuesta de mejora innovadora. Dicha propuesta se centra en la implementación de un sistema de limpieza colaborativo humano-computador, diseñado para potenciar la eficiencia y calidad del servicio mediante la sinergia entre operadores humanos y herramientas tecnológicas. Para asegurar su correcta operatividad, los componentes esenciales que el sistema requiere son:

- Placa Raspberry Pi 3 y ESP32

La placa Raspberry Pi 3 (Ver Fig. 5a), es una placa de bajo costo de tamaño compacto que se utilizará para el control de la pantalla TFT y de la cámara web [32]. Por otro lado, la placa ESP32 (Ver Fig. 5b), es una tarjeta de desarrollo WIFI/Bluetooth [33].

Se utilizará para el movimiento y manejo de las llantas.



Fig. 5. Placas Electrónicas principales

- Sensores Ópticos de Proximidad y Celdas de Carga
Los sensores ópticos de proximidad (Ver Fig. 6a) y celdas de carga (Ver Fig. 6b), permiten detectar datos del entorno. El sensor óptico se utilizará para detectar obstáculos y la celda de carga limitará el peso máximo que puede cargar [34] [35].

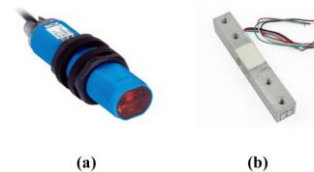


Fig. 6. Sensores

- Módulo de Carga, Fuente de Alimentación y Batería
Los módulos de carga (Ver Fig. 7a), fuente de alimentación (Ver Fig. 7b) y batería (Ver Fig. 7c). Componentes que transmiten la energía al dispositivo y al módulo de limpieza interno [33]. Además, los motores electrónicos (Ver Fig. 7d), permiten el movimiento de las ruedas y de la rampa interna [34].

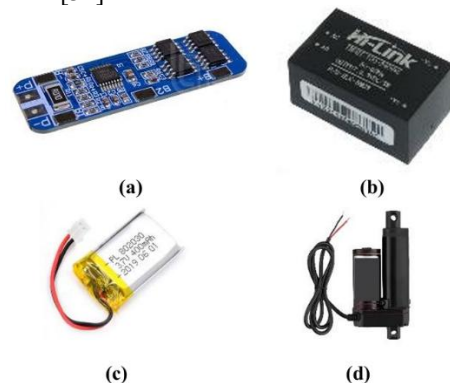


Fig. 7 Elementos de carga

- Pantalla LCD y Altavoz

La pantalla LCD (Ver Fig. 8a) y altavoz (Ver Fig. 8b). Componentes de salida, permiten al robot mostrar su estado mediante la pantalla y el altavoz [38][39].



Fig. 8 Elementos de pantalla y altavoz

- **Aplicación Móvil**
Nuestro sistema será monitoreado a través de una aplicación móvil. El personal accederá a su perfil donde podrá registrarse y configurar diversas opciones. En este perfil, otros usuarios podrán ver información relevante como su zona de trabajo y horarios. La interfaz principal de la aplicación

mostrará los espacios y zonas de limpieza que el robot ha registrado. Además, la aplicación permitirá ubicar y llamar al robot mediante una función de búsqueda, mostrando su ubicación actual en tiempo real. También incluye una aplicación incluirá un chat integrado para facilitar la comunicación, que permitirá interactuar tanto con otros usuarios como directamente con el robot (Ver Fig.9).

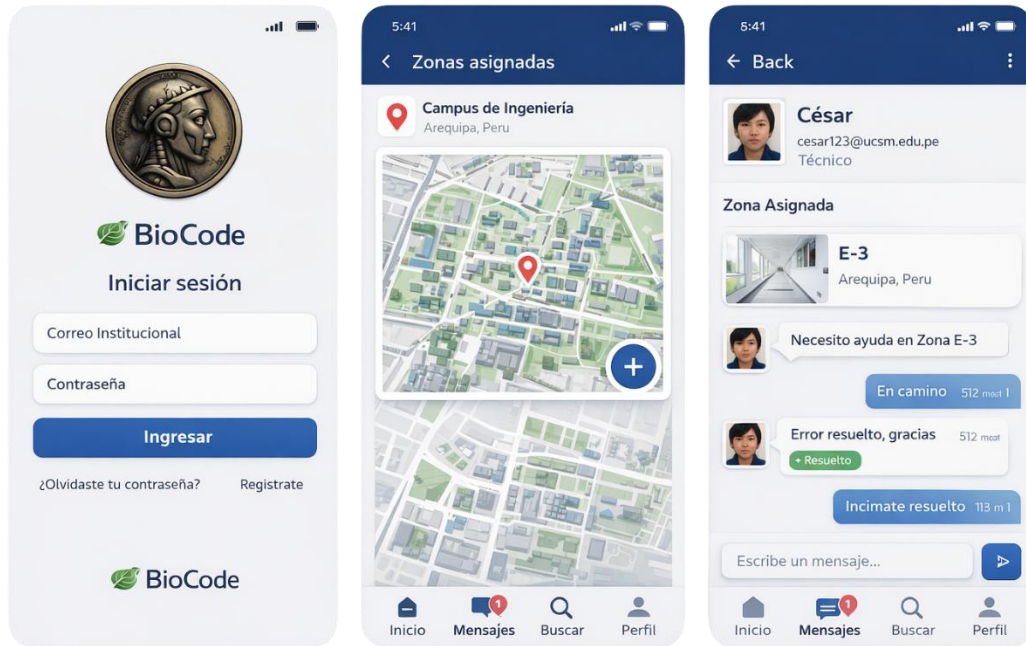


Fig. 9. Interfaces de la aplicación móvil para el control del robot

VI. PRESUPUESTO

Durante el proceso de investigación se realizó la planificación y ejecución presupuestal para el desarrollo del proyecto, con el objetivo de que se haga una gestión adecuada de los recursos económicos.

TABLA I
COSTOS DEL PRESUPUESTO

Componente	Descripción	Total (\$/.)
Raspberry pi 3	Unidad central con conectividad WiFi, Bluetooth, GPIO y Ethernet	47.41
Placa de desarrollo ESP32 DevkitC-V4	Placa de 38 pines con WiFi/Bluetooth, doble núcleo a 240 MHz, 4 MB de Flash	11.9
Sensor capacitivo CJM30-10A2-S	Sensor de proximidad capacitivo con detección de metales y líquidos	65.88
Célula de carga de 20 kg	Transductor de peso basado en galgas extensométricas, precisión de 0.02 % FS	3.97
Actuador lineal eléctrico de 12 V CC (100 N)	Motor lineal con carrera de 9,843 pulgadas, velocidad de 90 mm/s, 20 W	114.74
Batería de iones de litio de 12 V y 7800 mAh	Batería recargable 3S3P, protección BMS incluida, para proyectos electrónicos	9.90
Fuente de alimentación CA/CC HLK-5M03	Módulo de 5 W, 3,3 V CC, salida regulada para PCB, alta eficiencia	7.00

Componente	Descripción	Total (\$/.)
Módulo BMS 3S 10A 12V	Placa de protección de carga para baterías de iones de litio 18650	7.55
Pantalla táctil LCD SPI ILI9341 de 2,4"	Módulo TFT 20x240 con panel táctil y lápiz, interfaz SD incluida	11.99
Altavoz MFC01 Tamiya 307295012	Subwoofer para chasis RC con función tweeter, montaje empotrado	24.00
Total (USD \$)		304.43

El sistema de monitoreo planteado tiene como cerebro a la placa Raspberry Pi 3 Modelo B+, la cual se encarga de realizar el procesamiento de datos como la gestión de la comunicación. Para ello se complementó con un sensor de proximidad, el capacitivo CJM30-10A2-S, y la celda de carga de 20kg, apta para la medida de la fuerza introducida por un objeto. La LCD Touch 2,4" (SPI ILI9341) se conecta a los pines GPIO del módulo Raspberry Pi, permitiendo así la visualización y control directo del sistema. La alimentación del sistema es realizada por medio de una batería de iones de litio de 12V 7800mAh, que está protegida por un módulo BMS 3S 10A, la cual permite, a su vez, alimentar un actuador lineal DC 12V, el cual, se alimenta y controla mediante la propia Raspberry pi. Para componentes que requieran 3.3VDC se tiene en cuenta como alimentación la fuente AC/DC HLK-5M03. La conectividad inalámbrica es proporcionada por el módulo WiFi/Bluetooth implementado

en la propia Raspberry Pi, y para obtener salida de audio se tiene en cuenta un altavoz MFC01 Tamiya, el cual requerirá un amplificador no considerado. El coste total es de USD \$304.43 (ver Tabla 1.).

VII. FUNCIONALIDAD

La propuesta se desarrolla en tres partes funcionales (Ver Fig. 10) con una función específica: ayudar a optimizar el rendimiento del sistema y el trabajo con los usuarios.

Este enfoque modular permite mantener el sistema, reducir costos y realizar actualizaciones tecnológicas futuras sin tener que cambiar el sistema completo. El módulo principal de limpieza ha sido diseñado para cooperar con el personal, y llevarlo hasta las zonas donde se lleva a cabo el aseo; así pues, una vez llegado a la zona que le corresponde comienza el trabajo de forma autónoma; una rampa inferior despliega automáticamente un robot secundario —similar a un modelo Roomba— que se encarga de limpiar el suelo de forma programada o autónoma, según el entorno.

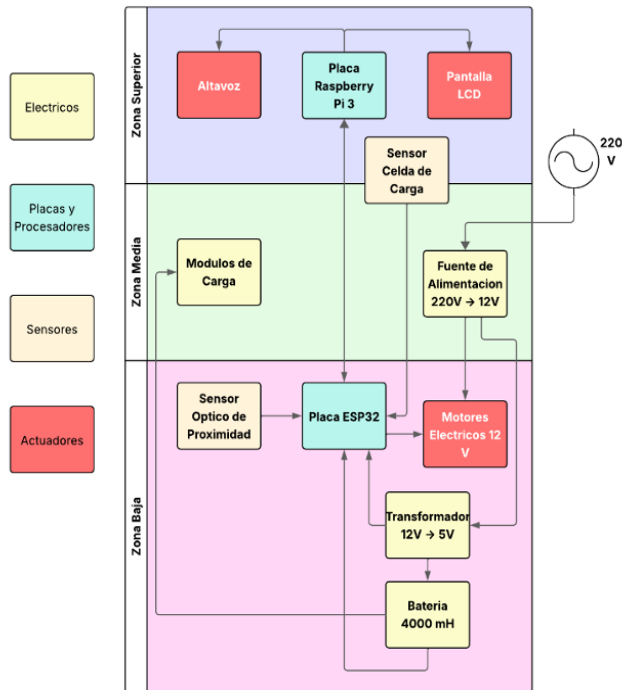


Fig. 10. Diagrama de flujo de la conexión del sistema

El robot se encuentra diseñado con tres niveles funcionales. En la parte superior se da cabida a la Raspberry Pi 3 como cerebro del sistema; la pantalla LCD; el altavoz; y un compartimento destinado al depósito manual de residuos. Todos estos elementos permiten gestionar la comunicación entre módulos, brindar retroalimentación visual y auditiva, y la interacción con el usuario a través de sensores de proximidad que detectan la presencia del usuario, deteniendo el sistema y abriendo una compuerta para desechar basura. Por otra parte, esta interacción se ve mejorada gracias a machine learning y al reconocimiento de imágenes, de forma

que pueda adaptarse a los gestos y hábitos del entorno cotidiano. Además, el robot cuenta con visión por computador, cámara RGB y un brazo actuador que proporciona impulso a los botones de ascensores para poder trasladarse entre los pisos.

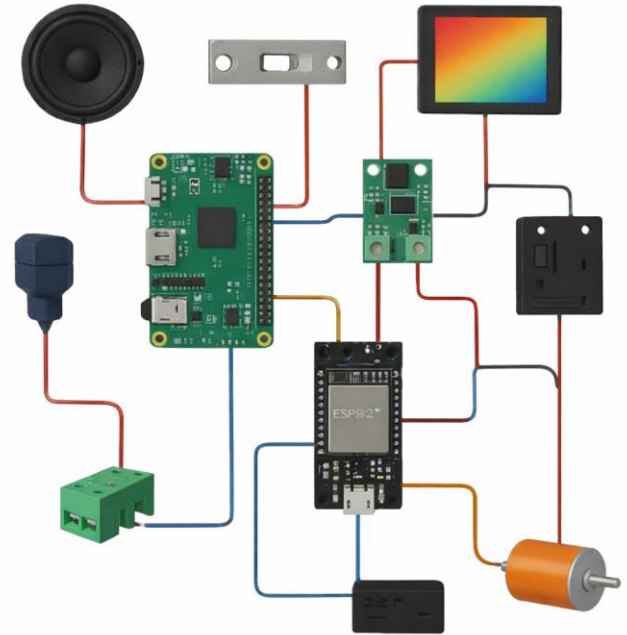


Fig. 11. Diagrama de flujo de la conexión del sistema

La zona central del robot se compone de los módulos de carga automática y el almacenamiento de los robots secundarios garantizando así su operatividad continua sin necesidad de ser manejados. En la parte inferior se encuentra la placa ESP32, los motores, los transformadores y la batería que permiten el funcionamiento autónomo de los módulos con un mínimo de intervención humana. Además, se mueve a través de ruedas antideslizantes y mientras se mueve pone en marcha funciones de modo limpieza "trapeador", recogiendo eficientemente restos del suelo. Se generó un prompt de cómo se visualizaría el robot mediante Inteligencia Artificial Generativa, para apreciar el modelado final del sistema (Ver Fig. 12).



Fig. 12. Imagen generada

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La encuesta realizada ha dejado claro que más de la mitad de los encuestados considera ordenada su sala de estudio, lo cual se aprecia el compromiso del personal de limpieza en las instituciones. También se observa que una parte importante de los encuestados ve deficiencias en la limpieza general de la limpieza, lo que reafirma la necesidad de trabajar en este sentido. De ahí que el Sistema de Limpieza Cooperativa trabajara en la limpieza de las zonas más dejadas al descuido. Mientras que en instituciones donde ya hay una limpieza óptima, este sistema se utiliza como un refuerzo específico de acuerdo a las necesidades de cada usuario.

En torno al conocimiento sobre automatización, sobre un 23% de los encuestados referenciaba un conocimiento básico global del tema, que puede ser debido a una falta de información, una preparación técnica limitada o una falta de exposición a tecnologías autónomas. Este hallazgo se corresponde con lo que comentan Salazar Santamaría [4] y la CEPAL [6], que apuntan que se mantiene una brecha tecnológica en zonas distantes de los centros asentados. Por el contrario, el 76% restante afirmaba un conocimiento intermedio o experto, lo que puede ser un buen punto de partida para introducir soluciones automatizadas en el ambiente escolar, tal como indicaban Maurizio et al. [3], los cuales defendían que la familiaridad técnica era un factor facilitador para aterrizar con los procesos de automatización.

Finalizado el modelo del sistema, se tomó la decisión de aplicar una encuesta de satisfacción a los usuarios con el fin de, en última instancia, evaluar el impacto que el sistema ha tenido en sus entornos de estudios. Para dicho análisis, se utilizó el instrumento de la Escala de Usabilidad del Sistema (System Usability Scale - SUS) que fue creado por Brooke en 1996 [40]. Este sistema permite evaluar tanto la usabilidad como los niveles de experiencia de usuario a partir de una única escala que va de 0 a 100.

Los resultados obtenidos de la encuesta (Ver Fig. 13), aplicada a 42 participantes, revelaron un puntaje promedio SUS de 74.7, lo que se clasifica como una calificación 'B'. Este valor indica una buena aceptación y una usabilidad positiva del sistema por parte de los usuarios, sugiriendo que las funcionalidades de la aplicación fueron evaluadas favorablemente por los estudiantes.

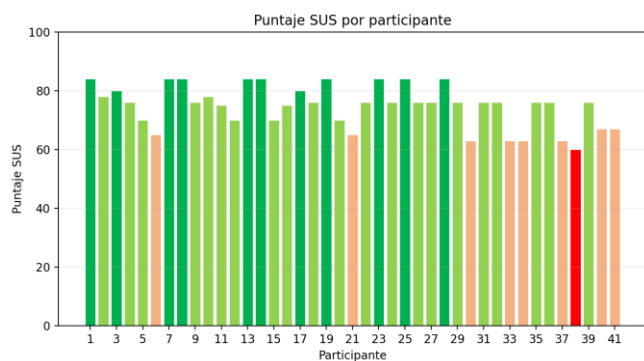


Figura 13. Puntajes SUS obtenidos por participante.

IX. CONCLUSIÓN

La implementación del Sistema de Limpieza Cooperativa en instituciones educativas superiores en la ciudad de Arequipa se presenta como una solución innovadora con un nicho de mercado, ya que los resultados de la encuesta revelaron oportunidades de mejora en la limpieza profunda a pesar del arduo trabajo del personal actual. Este modelo integrador, distingue con claridad frente los modelos de limpieza automatizada total en el hecho que favorece la cooperación entre personas y máquinas con el fin de evitar la deshumanización del trabajo y efectos nocivos que radican en el peligro del despojo del empleo. A pesar de que una parte de los encuestados tiene conocimiento básico sobre automatización o no ha tenido contacto previo con sistemas autónomos, la alta aceptación de esta propuesta indica una apertura al cambio tecnológico, siempre que esté orientado al beneficio conjunto del personal y el estudiantado.

El sistema propuesto, con un diseño modular y flexible, utiliza componentes como Raspberry Pi 3 y ESP32 para control y movimiento, sensores ópticos y cámaras web para reconocimiento de imágenes, permitiendo su adaptabilidad a diversos robots comerciales como el de modelo Roomba. Además de operar de forma autónoma, el robot interactúa con el personal de limpieza y facilita el depósito de residuos mediante sensores de proximidad, aprendizaje automático y celdas de carga, para controlar el peso de los desechos, adaptándose a los hábitos de los usuarios para una interacción más eficiente. La evaluación de la usabilidad mediante la Escala SUS (System Usability Scale) mostró un promedio de 74.7 sobre un máximo de 100, lo que indica una buena aceptación y experiencia del usuario, sugiere que la propuesta tiene viabilidad técnica y lo más importante, presenta una validación de su buena recepción por parte de los usuarios.

En el contexto de Arequipa, donde la automatización aún está en etapas iniciales y existe una demanda de técnicos capacitados, este sistema de limpieza cooperativa se plantea como una alternativa responsable a la automatización total, contribuyendo al avance tecnológico de la región y mejorando la eficiencia operativa sin desplazar al personal. La propuesta del Sistema de Limpieza Cooperativa busca optimizar las tareas de limpieza en las instituciones educativas, favoreciendo un avance tecnológico inclusivo y el bienestar de los trabajadores, lo que lo distingue de otros modelos comerciales ya existentes. La única limitante es el precio elevado de la propuesta, que en trabajos futuros se hará posible reducir los costos para que sea una propuesta de bajo costo.

RECONOCIMIENTO

Queremos reconocer a la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, Perú, por brindarnos los espacios y los conocimientos necesarios para el desarrollo de este proyecto. Este trabajo ha sido realizado con fines formativos y tiene como objetivo contribuir con ideas y posibles soluciones en beneficio de la ciudad de Arequipa.

REFERENCIAS

- [1] M. Z. Hussin, J. Jalani, M. H. Powdzi, S. M. Rejab, and M. K. Ishak, "Smart Robot Cleaner Using Internet of Things," *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 46, no. 1, pp. 175-186, 2025. <https://doi.org/10.37934/araset.46.1.175186>
- [2] V. Sima, I. G. Gheorghe, J. Subić, and D. Nancu, "Influences of the Industry 4.0 revolution on the human capital development and consumer behavior: A systematic review," *Sustainability*, vol. 12, no. 10, p. 4035, 2020, doi: 10.3390/SU12104035.
- [3] R. Maurizio, A. L. Fernandez y M. S. Catania, "Automatización, ocupaciones y tareas. Una mirada desde América Latina / Automation, Occupations and Tasks. A Look from Latin America," *H-industria*, vol. 17, no. 32, pp. 27-55, 2023. <https://doi.org/10.56503/H-Industria/n.32>
- [4] M. F. Salazar Santamaría, "El temor a la automatización en américa latina," Tesis de Grado, Facultad de Ciencias (FC) Ingeniería en Ciencias Económicas y Financieras (ICEF), EPN (Escuela Politécnica Nacional), Quito, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21887> [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [5] L. Ripani, N. Soler, A. Kugler, M. Kugler y R. Rodrigo, "El futuro del trabajo en América Latina y el Caribe: ¿Cuál es el impacto de la automatización en el empleo y los salarios?," Banco Interamericano de Desarrollo, 2020. <https://doi.org/10.18235/0002960>
- [6] J. Weller, "Las transformaciones tecnológicas y el empleo en América Latina: Oportunidades y desafíos," CEPAL Review, vol. 130, pp. 7-27, Mayo 2020. <https://doi.org/10.18356/ce83a6d1-es>
- [7] X. Li, Z. Wang, Z. Li y Y. Xia, "Dispositivo de limpieza autónomo," Patente ES2902416T3, 28 de Marzo de 2022.
- [8] G. H. Susanibar Sipan, "Diseño de un robot autónomo de limpieza utilizando aprendizaje de máquina," Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2024. [En línea]. en: <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/eec2ecc4-ddd7-44d9-a0619830dbf4a475> [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [9] D. Bitonneau et al., "Design of an Industrial Human-Robot Tank Cleaning System Through Participative Simulations," en 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Taipei, Taiwan, Dic. 2017. <https://doi.org/10.1109/SII.2017.8279363>
- [10] S. Hjorth y D. Chrysostomou, "Human-robot collaboration in industrial environments: A literature review on non-destructive disassembly," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 73, Febrero 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102208>
- [11] M. Karyotaki, A. Drigas, and C. Skianis, "Mobile/VR/Robotics/IoT-Based Chatbots and Intelligent Personal Assistants for Social Inclusion," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 18, no. 08, pp. pp. 40–51, Apr. 2024. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i08.46473>
- [12] J. Esquicha-Tejada, A. Cornejo-Paredes, C. Cuya-Zevallos, E. Portilla-Vilca, J. Angulo-Osorio, A. Montesinos-Murillo, and C. Sapaico-del-Castillo, "Cultivating Creativity: A Journey in the Fundamentals of Information Technology Infrastructure Course," in Proc. 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0, San Jose, Costa Rica, Jul. 17-19, 2024. doi: 10.18687/LACCEI2024.1.1.1000.
- [13] N. E. Lopez, M. I. C. Avila, J. U. V. Montalvo, V. J. G. Villela, and F. M. Chagolla, "Design of an ESP32 compatible development board for mobile robot control in social robotics," in *Proc. 23rd LACCEI Int. Multi-Conf. Eng., Educ., Technol.: Eng., Artif. Intell., Sustain. Technol. Service Soc.*, Mexico City, Mexico, Jul. 2025.
- [14] A. Ariss, I. Ennejjai, A. Lamjid, J. Mabrouki, N. Kharmoum, and S. Ziti, "IoT-Enabled Smart Greenhouse for Robotic Enhancement of Tomato Production: Leveraging 5G and Edge Computing for Advanced Data-Driven Automation, Precision Irrigation, and Scalable Zoning Principles," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 18, no. 21, pp. pp. 88–116, Nov. 2024. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i21.50829>
- [15] Pudu Robotics, "PUDU CC1 Product Intro," 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.superiorsany.com/images/uploaded/Pudu%20CC1%20Product%20Intro%20241009EN.pdf>. [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [16] Gaussian Robotics, "Phantas," 2022. [En línea]. en: https://clients.dibosch.com/biblioteca/img_articles/fitxes_productes/F_T_ANG_GA000011.pdf. [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [17] Gausium, "Ecobot Vacuum 40," 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.remaconcept.de/hubfs/Robotik_Gaussian/Ecobot%20Vacuum%2040%20Produktb_latt%2020524.pdf. [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [18] C. E. Taylor et al., "Robot vacuum cleaner," Patente de EE. UU. US20060020369A1, 26 de Enero de 2006.
- [19] R. Tamri, J. Antari, and R. Iqdour, "A New WRR Algorithm for an Efficient Load Balancing System in IoT Networks under SDN", *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 18, no. 03, pp. pp. 45–59, Feb. 2024. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i03.42813>
- [20] B. M. Szeszák, I. G. Kerékjártó, L. Soltész, y P. Galambos, "Industrial Revolutions and Automation: Tracing Economic and Social Transformations of Manufacturing," *MDPI Societies*, vol. 15, no. 4, Mar. 2025, Art. no. 0088. doi: 10.3390/soc15040088. <https://doi.org/10.3390/soc15040088>
- [21] J. Ocaña Olivares, "Tendencias tecnológicas claves en 2025," Telefónica, 4 de Marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/tendencias-tecnologicas-claves-2025/>. [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [22] Banco de México, "La Automatización en México desde una Perspectiva Regional," Dic. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/reportes-sobre-las-economias-regionales/recuadros/%7BE3665296-DCDE-78FD-54CB-0420E1CD9A36%7D.pdf>
- [23] T. Rivera Taiba, "Efectos de la automatización en el empleo en Chile," *Revista de análisis económico*, vol. 34, no. 1, abr. 2019. doi: 10.4067/S0718-88702019000100003. <https://doi.org/10.4067/S0718-88702019000100003>
- [24] Sistema de Información Universitaria (SIU), "Base de Datos Tuni.Pe," Perú. [En línea]. Disponible en: <http://tuni.pe/datos>. [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [25] Gobierno Regional de Arequipa, "Este 11 de marzo retoman a las aulas educativas más de 385 mil escolares," Plataforma del Estado Peruano, 22 de Febrero de 2024. [En línea]. Disponible <https://www.gob.pe/institucion/regionarequipa/noticias/910043-este-11-de-marzo-retoman-a-las-aulas-educativas-mas-de-385-mil-escolares>. [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [26] P. López-Roldán i S. Fachelí, "El procés d'investigació," a Metodologia de la Investigació Social Quantitativa, Capítol I.2, Bellaterra. (Cerdanyola del Vallès): Dipòsit Digital de Documents, Universitat Autònoma de Barcelona, 2015. [En línea]. Disponible a: <http://ddd.uab.cat/record/163564> [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [27] J. Esquicha-Tejada and J. Copa-Pineda, "Alternatives of IoT Irrigation Systems for the Gardens of Arequipa," *Int. J. Interact. Mobile Technol.*, vol. 15, no. 22, pp. 4–21, 2021, doi: 10.3991/IJIM.V15I22.22653
- [28] D. La Torre, "Mercado arequipeño requiere 2 mil técnicos en automatización," *Diario Correo*, Septiembre de 2023. [En línea]. Disponible <https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/mercado-arequipeno-requiere-2-mil-tecnicos-en-automatizacion-noticia/>. [Consultado: 06 de Mayo de 2025]
- [29] Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, "Demanda de ocupaciones en Arequipa 2024: Encuesta de Demanda Ocupacional - EDO," Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, Lima, Perú, Jun. 2024. Disponible <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6547569/5705784-informe-edo-al-2024-arequipa.pdf> [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [30] Universidad Nacional de San Agustín, "UNSA fabricará prototipos de robots para mantenimiento de aviones de combate y limpieza de pistas," 17 de Febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.unsa.edu.pe/unsa-fabricara-prototipos-de-robots-para-mantenimiento-de-aviones-de-combate-y-limpieza-de-pistas/>. [Consultado: 06 de Mayo de 2025].
- [31] L. M. Castillo Quenaya, "Proyecto de control y monitoreo para un sistema de limpieza de gases de hornos afinos mediante tecnología de la marca Rockwell Automation," Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, 2022. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/1acb783b-c233-4311-a2b4-cde4b83d6a71>. [Consultado: 06 de Mayo de 2025].

- [32] J. Alpaca Rendón, J. Esquicha Tejada, and K. Rosas Paredes, "Hospitalized patients caring system using Raspberry Pi with megapixel camera and OpenCV [Sistema de atención a pacientes hospitalizados utilizando Raspberry Pi con Cámara Megapixel y OpenCV]," Proceedings of the LACCEI International Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2017-July, DOI: 10.18687/LACCEI2017.1.1.223.
- [33] V. S. Midhun, M. Pondurai, and S. Vairaprakash, "Floor Cleaning Robot with Android Based Voice Command," in 2024 International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, India, 2024, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET61464.2024.10533035>
- [34] V. Fetisov, O. Melnichuk, and O. Dmitriyev, "EFFECTIVE CLEANING OF WINDOWS IN FIELD TURBIDIMETERS," presented at the XX IMEKO World Congress, Busan, República Corea, Sep. 9-14, 2012. [En línea]. Disponible <https://imeko.net/index.php/proceedings/3164-effective-cleaning-of-windows-in-field-turbidimeters>
- [35] F. Pla, J. M. Sanchiz Martí, and J. S. Sánchez, "An integral automation of industrial fruit and vegetable sorting by machine vision," in Emerging Technologies and Factory Automation, 2001. Proceedings. 2001 8th IEEE International Conference on, vol. 2, Feb. 2001. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2001.997731>
- [36] X.-R. Huang et al., "An AI Edge Computing-Based Robotic Automatic Guided Vehicle System for Cleaning Garbage," in 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech), Osaka, <https://doi.org/10.1109/LifeTech53646.2022.9754931>
- [37] R. S. Gonçalves et al., "Drone-Robot to Clean Power Line Insulators," Sensors, vol. 23, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23125529>
- [38] X. Ji, X. Qiu, and M. Geng, "Research on the control system of intelligent epidemic prevention robot based on microcontroller," in 2022 IEEE Conference on Telecommunications, Optics and Computer Science <https://doi.org/10.1109/TOCS56154.2022.10015997>
- [39] J. Miniotaite and Y. Fernaeus, "JoyTilt: Between Autonomy and Control of a Robot Vacuum Cleaner," presented at the CHIIOT 2, Eindhoven, Países Bajos, Jun. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://ceur-ws.org/Vol-2996/paper7.pdf>
- [40] J. Brooke, "SUS -- a quick and dirty usability scale," in Usability Evaluation in Industry, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, and I. L. McClelland, Eds. Taylor & Francis, 1996, pp. 189-194.