

Portable Security System for Real-Time Monitoring of Vulnerable Individuals

Melanie Barrios-Lopez, Bach¹, Felix Limache-Quispe, Bach¹, Orlando Palao-Vilca, Bach¹, Ruby Mollo-Lopez, Bach¹,
Carla Cuya-Zevallos, Mg¹, Dely Lazo-Barreda, Mg¹, Elizabeth Mamani-Machaca, Ing¹

¹Universidad Católica de Santa María, Peru,

*melanie.barrios@estudiante.ucsm.edu.pe, felix.limache@estudiante.ucsm.edu.pe, orlando.palao@estudiante.ucsm.edu.pe,
ruby.mollo@estudiante.ucsm.edu.pe, ccuya@ucsm.edu.pe, dlazo@ucsm.edu.pe, elizabeth.mamani297@gmail.com*

Abstract- *The present invention relates to a portable security system designed for the real-time monitoring of vulnerable individuals, such as children, the elderly, or people with medical conditions. The system comprises a compact GPS device and a protective charging case. The device features a polycarbonate casing and components including a high-precision GPS module, a SIM module for mobile connectivity, a noise canceling microphone, a humidity sensor, and a rechargeable battery. A magnetic fastening system allows it to be securely attached to the user's clothing. Operating via mobile networks, the system connects to a mobile application that enables caregivers to track location, receive alerts, and monitor safety in real time. The average score is 3.94 out of 5, confirming the relevance of the proposal.*

Keywords- *Security, GPS, Monitoring, Alert, Vulnerable*

Sistema de seguridad portátil para monitorear en tiempo real a personas vulnerables

Melanie Barrios-Lopez, Bach¹, Felix Limache-Quispe, Bach¹, Orlando Palao-Vilca, Bach¹, Ruby Mollo-Lopez, Bach¹,
Carla Cuya-Zevallos, Mg¹, Dely Lazo-Barreda, Mg¹, Elizabeth Mamani-Machaca, Ing¹

¹Universidad Católica de Santa María, Peru,

melanie.barrios@estudiante.ucsm.edu.pe, felix.limache@estudiante.ucsm.edu.pe, orlando.palao@estudiante.ucsm.edu.pe, ruby.mollo@estudiante.ucsm.edu.pe, ccuya@ucsm.edu.pe, dlazo@ucsm.edu.pe, elizabeth.mamani297@gmail.com

Resumen: La presente investigación está relacionada con un sistema de seguridad portátil diseñado para el monitoreo en tiempo real de personas vulnerables, como niños, adultos mayores o personas con condiciones médicas. El sistema consta de un dispositivo GPS compacto y un estuche de carga protector. El dispositivo cuenta con una carcasa de policarbonato y componentes como un módulo GPS de alta precisión, módulo SIM para conectividad móvil, micrófono con cancelación de ruido, sensor de humedad y batería recargable. Un sistema de fijación magnética permite sujetarlo firmemente a la ropa del usuario. El sistema funciona mediante redes móviles y se conecta a una aplicación móvil que permite a los cuidadores rastrear la ubicación, recibir alertas y monitorear la seguridad en tiempo real. El resultado promedio presenta una valoración de 3.94 de 5, confirmando la pertinencia de la propuesta.

Keywords—Seguridad, GPS, Monitoreo, Alerta, Vulnerables

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la protección de personas vulnerables como niños, adultos mayores o individuos con condiciones médicas representa una prioridad tanto a nivel familiar como institucional. Las situaciones de riesgo, como desorientación, caídas o exposiciones a entornos inseguros requieren soluciones tecnológicas eficaces que permitan una intervención oportuna por parte de los cuidadores. En este contexto, los dispositivos portátiles de monitoreo han emergido como una herramienta clave para mejorar la seguridad y la calidad de vida de estos grupos.

En respuesta a esta necesidad, el estado de la técnica ha propuesto diversas soluciones, que van desde sistemas complejos con pulseras y unidades de alarma remotas [1], hasta dispositivos más sencillos como colgantes o relojes de pulsera [2], [4]. A pesar de los avances, estas tecnologías presentan importantes limitaciones. Los dispositivos portátiles como relojes o colgantes son, por su naturaleza, visibles y pueden ser retirados fácilmente por un tercero o por el propio usuario, comprometiendo su eficacia. Otras propuestas, como los transmisores ocultos, operan con tecnología de radiofrecuencia (RF), lo que limita su alcance a un rango predeterminado cercano a un receptor [3]. Asimismo, la mayoría de estos sistemas dependen de mecanismos de carga con conectores convencionales y basan su monitoreo exclusivamente en la localización GPS, sin incorporar otros sensores que puedan alertar sobre diferentes tipos de riesgos.

La presente investigación introduce un sistema portátil de seguridad con capacidad de rastreo en tiempo real, diseñado específicamente para superar estas deficiencias. A diferencia de otros dispositivos que dependen de conexiones Wi-Fi o de proximidad con teléfonos móviles, este sistema asegura conectividad constante y autónoma mediante redes móviles y señal GPS, garantizando cobertura en diversas condiciones geográficas. Para lograrlo, utiliza un sistema de sujeción magnético que permite fijarlo de forma segura y oculta en cualquier prenda de vestir.

El diseño se complementa con un sistema de carga por contacto que aumenta la durabilidad y la facilidad de uso, y la inclusión de sensores adicionales de humedad y audio para un monitoreo contextual avanzado. Su diseño ergonómico, funcionalidad inteligente y facilidad de uso lo convierten en una solución accesible y eficaz para el monitoreo preventivo y reactivo de personas en situación de vulnerabilidad.

II. ANTECEDENTES

El desarrollo de sistemas de monitoreo avanzados se fundamenta en los riesgos significativos y documentados que enfrentan las poblaciones vulnerables. A nivel global, las caídas constituyen la segunda causa de muerte por lesiones accidentales, siendo los adultos mayores de 60 años el grupo que sufre el mayor número de caídas mortales [5].

Este riesgo se agrava con condiciones cognitivas como la demencia, la cual presenta el peligro adicional de la desorientación y la deambulación. Según la Alzheimer's Association, se estima que seis de cada diez personas con demencia deambularán en algún momento de su condición, y si no son localizadas en un plazo de 24 horas, hasta la mitad de ellas puede sufrir lesiones graves o incluso morir [6].

En respuesta a esta problemática, el contexto tecnológico ha visto la evolución de los Sistemas de Alerta Médica [7]. Estos dispositivos han superado su concepción original como simples botones de pánico para el hogar [8] y se han transformado en herramientas de seguridad móviles y proactivas. Los sistemas modernos frecuentemente incorporan conectividad celular, lo que les permite funcionar tanto dentro como fuera de casa; además, integran tecnología de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para el rastreo de la ubicación del usuario. Una de las innovaciones más importantes es la inclusión de la detección automática de caídas, una función que puede solicitar ayuda sin que el usuario necesite presionar un botón, abordando así

situaciones en las que la persona queda incapacitada tras un incidente [7].

En consecuencia, el presente propuesta aborda las deficiencias mencionadas mediante la creación de un sistema de seguridad integral y discreto. Este sistema incorpora un dispositivo portátil y compacto que se sujeta de forma magnética y oculta a la vestimenta del usuario, eliminando el problema de la visibilidad y fácil remoción que presentan otras soluciones. Su funcionamiento se basa en una arquitectura de conectividad celular autónoma, asegurando el monitoreo constante sin depender de dispositivos externos como un smartphone. Además del rastreo por GPS, el sistema integra un enfoque de monitoreo multimodal, utilizando un sensor de movimiento para la detección automática de caídas y un micrófono cuyo audio es analizado en la nube por una inteligencia artificial para identificar situaciones de riesgo a partir de sonidos ambientales.

III. SITUACIÓN ACTUAL

Según proyecciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el Perú contará con más de 34 millones de habitantes para el año 2025, de los cuales una proporción significativa responde a la población vulnerable (niños, adultos mayores, personas con condiciones especiales) [10]. Esta situación resalta la importancia de implementar mecanismos preventivos y soluciones tecnológicas nos ayuden a salvaguardar la integridad de las personas más vulnerables cuando se encuentran solos. Con el objetivo de conocer la percepción de los potenciales usuarios del sistema propuesto, se aplicó una encuesta dirigida a padres de familia, cuidadores de adultos mayores y cuidadores de personas con condiciones especiales. Para garantizar la validez de los resultados, se calcula un tamaño de muestra representativo respecto a la población objetiva.

Para ello, se empleó la formula estadística para el cálculo del tamaño de muestra en poblaciones finitas.

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

Donde: p: Proporción de individuos que tienen una característica. q: Proporción de individuos que no tienen la característica. Z: El número de unidades de desviación que indica el nivel de confianza adoptado, se usa elevado al cuadrado (Se utiliza el 90% siendo el valor de Z= 1.645). N: Tamaño de la población. d: El error muestral considerado, elevado al cuadrado (Se utiliza el 90% siendo el valor d= 0.1). n: Tamaño de la muestra de la población. Considerando que la población (N) a nivel nacional en el año 2025 según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), es de 34.038.457 habitantes.

$$n = \frac{34,038,457 \cdot 1,645^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{0,1^2 \cdot (34,038,457 - 1) + 1,645^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5} = 67,5$$

Por lo tanto, se encuestó a un total de 68 personas (Entre padres de familia y cuidadores de personas vulnerables) con el fin de conocer el punto de vista de los posibles usuarios y su predisposición a la adquisición del sistema propuesto.

Asimismo, para validar la receptividad de la solución, se realizó un sondeo de percepción. Un 92.77% de los padres de familia y de cuidadores de personas vulnerables manifestó un alto interés en contar con un dispositivo de monitoreo en tiempo real que les brinde seguridad y tranquilidad, mientras que solo un 7.23% consideró que las soluciones actuales son suficientes. Estos datos evidencian una clara y mayoritaria aceptación hacia la propuesta tecnológica planteada. (ver fig. 1.)

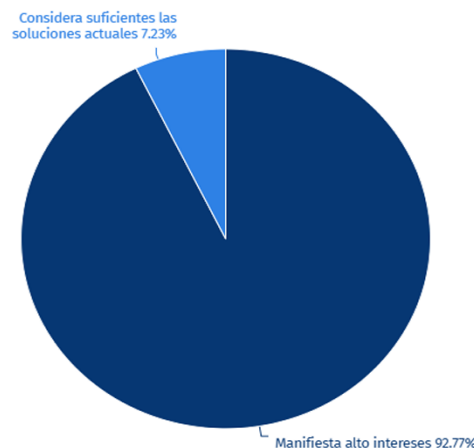


Fig. 1. Porcentaje de interés en el Sistema de Seguridad Portátil

En cuanto a los hábitos y preocupaciones, los resultados reflejan una necesidad constante de supervisión. El 58% de los cuidadores admite sentir preocupación por la seguridad de la persona a su cargo varias veces al día, mientras que un 35% experimenta esta ansiedad al menos una vez al día. Esto refleja una frecuencia de preocupación moderada-alta que impacta directamente en la calidad de vida tanto del cuidador como de la persona vulnerable.

En base a estos datos obtenidos, se tiene información cuantitativa sobre la brecha de seguridad en el cuidado diario de personas vulnerables. Los encuestados señalaron que la principal fuente de estrés es la falta de herramientas para una intervención inmediata en caso de accidentes como caídas o episodios de desorientación. Cabe destacar que la ausencia de una solución de monitoreo proactivo puede derivar no solo en posibles gastos médicos, sino también en un elevado costo emocional para la familia y en una reducción de la autonomía de la persona cuidada. La falta de soluciones eficientes para este problema hace que este tipo de casos, lamentablemente, ocurran con frecuencia.

IV. MÉTODOS Y MATERIALES

El desarrollo de la propuesta se llevó a cabo mediante un enfoque iterativo centrado en el usuario, integrando metodologías de ingeniería de sistemas embebidos y principios de diseño de experiencia de usuario (UX).

El proceso se estructuró en tres fases fundamentales:

A. Análisis de requerimientos

Esta fase inicial tuvo como objetivo identificar las necesidades específicas de los usuarios objetivo: niños, adultos mayores y personas con condiciones médicas especiales. Se identificó también la necesidad de incorporar sensores ambientales y conectividad móvil autónoma (LTE), para asegurar operatividad fuera de entornos con red Wi-Fi. Este enfoque responde a los principios del diseño centrado en el usuario en sistemas de asistencia médica [11].

B. Diseño del sistema

Por el lado de hardware, se seleccionaron componentes eficientes y de bajo consumo energético, como el microcontrolador ESP32-C3, el módulo SIM7000L para conectividad LTE y el receptor GPS U-Blox SAM-M8Q. Para el caso del firmware, se ha desarrollado en C/C++ bajo el framework ESP-IDF, el firmware gestiona la adquisición de datos, la comunicación mediante protocolos HTTP/MQTT [12]. Del software de monitoreo, se está desarrollando una aplicación móvil multiplataforma que permite al cuidador visualizar en tiempo real la ubicación del usuario, configurar zonas seguras y recibir alertas por eventos críticos. La arquitectura del software se fundamenta en estándares de interoperabilidad y escalabilidad en sistemas IoT [13], [14].

El sistema de seguridad objeto de este estudio se compone de dos elementos principales: un dispositivo GPS portátil (1) y un estuche de carga y protección (2). El sistema propuesto se compone de un ecosistema tecnológico integral que incluye un dispositivo GPS de rastreo, un estuche de carga y protección, y una aplicación móvil para el monitoreo remoto.

C. Materialización del sistema

El sistema se materializa a través de dos dispositivos de hardware principales, cuyos componentes se detallan a continuación (ver fig. 2):

1) *Dispositivo GPS*: Es la unidad de rastreo que porta el usuario. Sus componentes clave son:

- Placa ESP32-C3: Actúa como el cerebro del dispositivo. Su microcontrolador gestiona todos los sensores y módulos, procesa los datos de los sensores y ejecuta la lógica principal del sistema. [15]
- GPS U-BLOX SAM-M8Q: Se encarga de obtener las coordenadas geográficas exactas del usuario en tiempo real.
- Módulo SIM7000L (4G + GPS): Proporciona la conectividad celular autónoma a la red 4G/LTE, permitiendo enviar todas las alertas, la ubicación y el flujo de audio a la plataforma en la nube sin depender de Wi-Fi.
- Micrófono MEMS IM69D130 con DSP: Captura el audio del entorno con alta fidelidad. El Procesador de Señal Digital (DSP) integrado ayuda a filtrar el ruido para asegurar que el audio enviado a la nube para el análisis de IA sea claro.
- Sensores Adicionales: Incluye un sensor de movimiento para detectar caídas o inmovilidad

anormal y un sensor de humedad para detectar contacto con líquidos.

- Sistema de Fijación Magnética: Un conjunto de imanes de alta potencia que permiten sujetar el dispositivo de forma segura y discreta a la ropa.
- Batería LiPo (1000-2000 mAh): Proporciona la energía portátil al dispositivo, garantizando su autonomía de funcionamiento continuo.
- Carcasa de Policarbonato: Cubierta protectora de alta resistencia a impactos.

b) *Estuche de carga*: Funciona como base de carga y estuche protector. Sus componentes son:

- Fuente de Alimentación Interna: Incluye una batería interna para recargar el dispositivo GPS de forma portátil y un sistema de gestión de batería (BMS) que controla la carga de forma segura.
- Sistema de Carga por Contacto: Utiliza pines de resorte "Pogo Pins" que hacen contacto con un terminal metálico en el dispositivo GPS, permitiendo una carga sin desgaste mecánico.
- Conectividad y Carga: Dispone de una salida USB-C para la recarga del propio estuche.

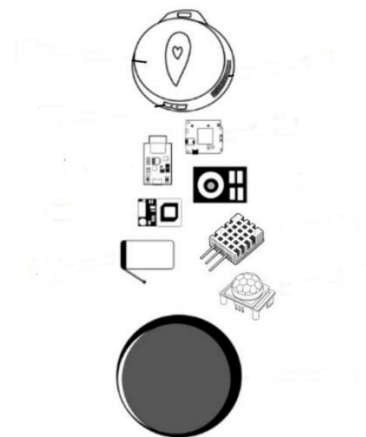


Fig. 2. Vista explosionada del dispositivo

VI. PRESUPUESTO

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

TABLA I
PRESUPUESTO

Componentes	Cantidad (Und)	Precio (\$.)
Placa ESP32-C3	1	4
Módulo SIM7000L (4G + GPS)	1	18
GPS U-BLOX SAM-M8Q	1	12
Micrófono IM69D130 con DSP	1	10
Sensor de Humedad IP67	1	6
Sensor de movimiento	1	4
Batería LiPo (1000-2000 mAh)	1	13
Carcasa de policarbonato	1	5
Rejilla + botón	1	1.5
Imanes de neodimio (N52 tipo disco)	1	2

Componentes	Cantidad (Und)	Precio (\$.)
Estuche de carga (carcasa + tapa)	1	6
Sistema BMS (gestión batería)	1	3
Pines pogo + pad de carga	1	3
LEDS indicadores (3 unidades)	1	0.90
Puerto USB-C + circuito	1	2
Total (USD \$)		90.40

Tomando en cuenta todos estos elementos, además del costo asociado al ensamblaje, pruebas de funcionamiento y control de calidad, se estima que el costo total por unidad alcanza aproximadamente los \$90.40 dólares estadounidenses. Esta estimación proporciona una base sólida para establecer estrategias de fijación de precios sostenibles que permitan generar márgenes adecuados, sin comprometer la accesibilidad del producto para los segmentos familiares e institucionales. Asimismo, al tratarse de un diseño optimizado para producción escalable, es posible proyectar reducciones progresivas en el costo unitario conforme aumente el volumen de fabricación y se optimicen los procesos logísticos y técnicos.

VII. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura del sistema del dispositivo portátil está concebida bajo un enfoque modular, eficiente y orientado al IoT (Internet de las Cosas), buscando optimizar el consumo energético sin sacrificar conectividad ni precisión. El núcleo funcional del sistema es un microcontrolador de bajo consumo (MCU), responsable de gestionar la adquisición de datos, el control lógico y la comunicación entre módulos periféricos. Entre estos se incluyen el módulo GPS de alta sensibilidad para geolocalización precisa, el módulo de comunicación celular SIM7000L, que permite la transmisión de datos mediante redes NB-IoT o LTE-M, y una serie de sensores como el acelerómetro triaxial, sensores de humedad, y un micrófono digital con procesamiento local de señales. Este conjunto le permite detectar tanto cambios ambientales como movimientos sospechosos o señales de voz relevantes.

Los datos recolectados se procesan localmente y se envían a una plataforma en la nube mediante protocolos ligeros como MQTT, optimizando el consumo de ancho de banda y mejorando la eficiencia de transmisión, como es común en sistemas IoT modernos [16]. La alimentación del sistema se realiza a través de una batería de polímero de litio que, junto a un circuito de gestión energética (BMS) y un sistema de carga mediante pines pogo, garantiza autonomía prolongada y operación segura. Todo esto se encapsula en una carcasa resistente de policarbonato, adaptada para uso en exteriores y compatible con normativas IP para resistencia a humedad y polvo.

Esta arquitectura (ver fig. 3) sigue las buenas prácticas en diseño de dispositivos vestibles e IoT, priorizando resiliencia operativa, bajo consumo, y modularidad. Estudios recientes han mostrado que este tipo de enfoque distribuido, donde los sensores están coordinados por un nodo central energéticamente eficiente, es ideal para entornos móviles o

de difícil acceso [17], [18]. Además, la adopción de protocolos estandarizados y el uso de módulos con soporte global permiten que el sistema sea escalable y adaptable a distintos entornos, tanto familiares como institucionales [19].

El diseño también contempla la integración segura con una aplicación móvil complementaria, que permite al usuario visualizar la ubicación, recibir alertas en tiempo real, gestionar zonas seguras, y acceder al historial de actividad. Esta capa de software no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también fortalece el ecosistema del dispositivo mediante la oferta de servicios digitales escalables, como lo sugiere la tendencia actual en productos wearables conectados [20], [21].

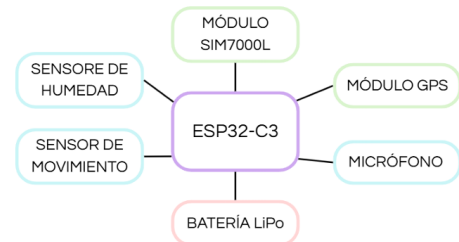


Fig. 3. Diagrama de bloques del dispositivo

La Fig. 4. muestra el diseño propuesto de la app móvil del sistema automatizado. La interfaz permite a los cuidadores monitorear en tiempo real la actividad de sus personas a cargo cuando se encuentran solas, configurar zonas seguras, escuchar el entorno entre otras funciones.

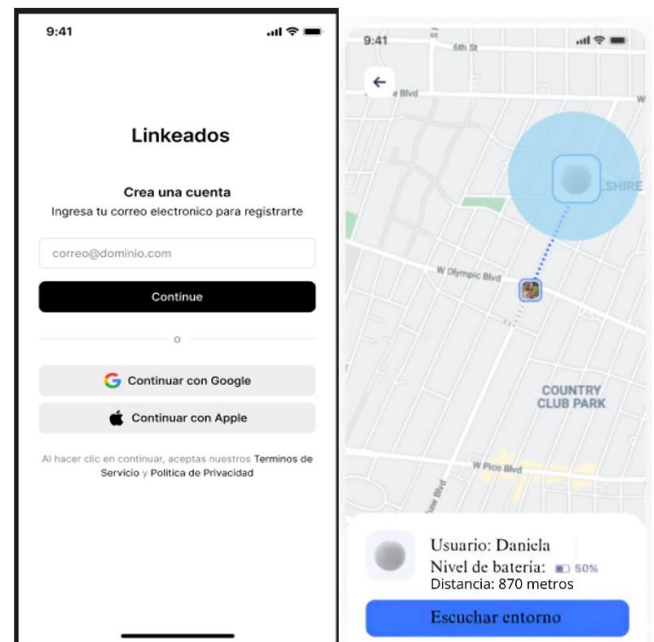


Fig. 4. interfaz de la aplicación móvil "Linkeados"

VII. RESULTADOS

Con el propósito de validar la funcionalidad, usabilidad y aceptación del sistema de seguridad portátil propuesto, se realizó una encuesta a 68 participantes, entre padres de familia y cuidadores de personas vulnerables. La encuesta abordó aspectos técnicos, de diseño y experiencia de usuario, evaluando 10 criterios mediante una escala Likert del 1 al 5. A continuación, se presentan los principales hallazgos:

Tabla II
Evaluación funcional y de experiencia de usuario del sistema
Vulnetag

Nº	Item Evaluado	Promedio
1	El dispositivo tiene un diseño cómodo y seguro para ser utilizado por personas vulnerables.	3.97
2	Los materiales y el estuche de carga protegen adecuadamente el dispositivo frente a golpes o caídas.	3.87
3	La localización GPS ofrecida es precisa y responde bien en diferentes entornos.	3.87
4	La conectividad móvil (a través del módulo SIM7000L) permite usar el dispositivo sin depender de Wi-Fi.	3.90
5	El botón de emergencia y sensores (como caídas o humedad) funcionan correctamente.	3.90
6	La aplicación "Linkeados" es fácil de usar y facilita el monitoreo a distancia.	3.90
7	Las notificaciones en tiempo real aumentan la sensación de control y seguridad sobre el ser querido.	3.77
8	El sistema completo (dispositivo + app) responde a una necesidad real y concreta en la sociedad.	4.13
9	Recomendaría este sistema a familiares, cuidadores o instituciones que trabajen con personas vulnerables.	3.94
10	En general, considero que este sistema es una solución viable, innovadora y útil.	4.13
	PROMEDIO FINAL	3.938

Los resultados obtenidos evidencian una percepción positiva del sistema propuesto, destacando especialmente su capacidad para responder a una necesidad real y concreta en la sociedad (4.13), así como su valoración general como una solución viable, innovadora y útil (4.13). Estos aspectos, junto con la facilidad de uso de la aplicación móvil "Linkeados" (3.90) y el funcionamiento adecuado del botón de emergencia y los sensores integrados (3.90), reflejan una confianza sólida en la propuesta tecnológica desde una perspectiva tanto funcional como práctica.

De manera consistente, la mayoría de los ítems evaluados presentan puntuaciones cercanas a 4, lo cual sugiere una valoración favorable y homogénea del sistema por parte de los encuestados. Esta consistencia en las respuestas indica que no se identificaron deficiencias críticas, sino áreas susceptibles de mejora incremental, como las notificaciones en tiempo real (3.77) y la protección estructural del dispositivo frente a caídas (3.87).

Cabe destacar que el promedio general de todas las valoraciones fue de 3.94, lo que confirma la aceptación del sistema como una alternativa útil y confiable para el monitoreo de personas vulnerables. Asimismo, el hecho de que la intención de recomendación haya alcanzado un promedio de 3.94 refuerza el potencial de adopción y difusión del sistema entre redes familiares, cuidadores e instituciones especializadas.

VIII. DISCUSIÓN

La elección de los componentes para este sistema se basó en un balance entre rendimiento, bajo consumo energético y funcionalidad específica. Para el procesamiento central, se optó por la placa ESP32-C3, ya que ofrece una potencia de cálculo suficiente para gestionar los sensores y la conectividad, manteniendo un consumo de energía adecuado para un dispositivo portátil. En el apartado de localización, se implementó una estrategia dual: se utiliza el módulo GPS U-BLOX SAM-M8Q como fuente primaria por su alta precisión, mientras que el SIM7000L sirve como un sistema de respaldo rápido y de bajo consumo. Finalmente, la decisión de procesar el audio en la nube mediante una inteligencia artificial, en lugar de en el dispositivo, fue estratégica: permite que el hardware sea más ligero y económico, y facilita la actualización de los algoritmos de detección de riesgo sin modificar el dispositivo físico.

Las patentes revisadas tienen similitud [1], [2], [3], [4]. Sin embargo, la presente propuesta es más específica en su enfoque de seguridad proactiva. A diferencia de los sistemas basados en relojes o colgantes [2], [4], que son visibles y pueden ser retirados, o de los que dependen de un botón de pánico, nuestro sistema se centra en la discreción y la detección autónoma. El diseño con sujeción magnética permite que pase desapercibido, aumentando la probabilidad de que el usuario lo lleve puesto en todo momento. La principal ventaja competitiva radica en su capacidad para generar alertas sin intervención del usuario, gracias al análisis del audio y al sensor de movimiento, ofreciendo una capa de seguridad pasiva que los otros sistemas no poseen.

Entrando en un punto crítico, la gestión de la energía fue el principal reto de diseño. El alto consumo del módulo GPS y de la conexión celular 4G presenta un desafío para la autonomía de una batería compacta. Para mitigar este problema, el sistema se diseñó como un ecosistema de dos partes: el dispositivo portátil y su estuche de carga. Esta arquitectura permite que el usuario utilice el dispositivo durante el día y lo recargue fácilmente por la noche, asegurando su disponibilidad diaria. Además, la elección de componentes de bajo consumo como el ESP32-C3 y la optimización del firmware para que los módulos entren en modo de bajo consumo cuando no transmiten activamente, son fundamentales para maximizar la vida de la batería, como sucede en [22].

A pesar de los resultados positivos del diseño, es importante reconocer las limitaciones del sistema. La efectividad del dispositivo depende directamente de la cobertura de la red celular, por lo que en zonas rurales o sin señal, su

funcionalidad en tiempo real se vería comprometida. Asimismo, el sistema de detección comúnmente utilizado con un algoritmo predictivo, no está exento de posibles falsos positivos o negativos.

IX. CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

El desarrollo de la propuesta planteada en esta investigación constituye una solución innovadora, modular y accesible orientada al monitoreo en tiempo real de personas vulnerables, como niños, adultos mayores y personas con condiciones médicas especiales. A lo largo del proceso de diseño, implementación y validación, se abordaron múltiples necesidades críticas del público objetivo, destacando la discreción del dispositivo, la autonomía energética, la conectividad móvil independiente y la integración con una plataforma de monitoreo intuitiva. Los resultados obtenidos mediante la encuesta a los usuarios confirman una alta aceptación del sistema, con una valoración promedio total de 3.94 sobre 5. Se destaca la percepción positiva respecto a la viabilidad, utilidad e innovación de la propuesta 4.13, así como su capacidad para responder a una necesidad real en el entorno social. Si bien aspectos como las notificaciones en tiempo real y la protección estructural pueden ser optimizados, las valoraciones generales reflejan confianza en la funcionalidad y la experiencia de uso.

Como trabajo a futuro, se propone la mejora de los algoritmos de predicción de inteligencia artificial con más datos de entrenamiento y la exploración de la miniaturización de los componentes para crear versiones aún más pequeñas del dispositivo. También se podría investigar la integración de biosensores adicionales, como un monitor de frecuencia cardíaca, para un análisis de salud más completo.

RECONOCIMIENTO

Agradecemos profundamente a la Universidad Católica de Santa María (UCSM), docente del curso, por su guía y conocimientos, que fueron esenciales para el desarrollo de este proyecto. También reconocemos el esfuerzo conjunto de integrantes del grupo, cuya colaboración y creatividad permitieron transformar una idea inicial en una solución innovadora con potencial para impactar positivamente la seguridad de las personas vulnerables.

REFERENCIAS

- [1] J. A. P. Lovitt, "Personal security and tracking system," U.S. Patent Application Publication US 2007/0243855 A1, Oct. 18, 2007.
- [2] W. M. Hancock, "GPS child locator device and associated methods," U.S. Patent Application Publication US 2016/0055731 A1, Feb. 25, 2016.
- [3] E. A. Bon-Homme, "Child tracking system and associated method," U.S. Patent Application Publication US 2007/0247307 A1, Oct. 25, 2007.
- [4] A. S. Gilor, "Wearable device and system for tracking the location of a person communicating via a cellular network," U.S. Patent Application Publication US 2012/0007735 A1, Jan. 12, 2012.
- [5] World Health Organization, "Falls," WHO, Apr. 26, 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- [6] Alzheimer's Association, "Wandering," alz.org. [Online]. Available: <https://www.alz.org/help-support/caregiving/stages-behaviors/wandering>

- [7] 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.
- [8] X. Pérez-Palomino, K. Rosas-Paredes, and J. Esquicha-Tejada, "LowCost Gas Leak Detection and Surveillance System for Single Family Homes Using Wit.ai, Raspberry Pi and Arduino," International Journal of Interactive Mobile Technologies, vol. 16, no. 9, pp. 206–216, 2022, doi: 10.3991/ijim.v16i09.30177.
- [9] N. Wunsch, "The Best Medical Alert Systems for 2024," PCMag, May 1, 2024. [Online]. Available: <https://www.pcmag.com/picks/the-best-medical-alert-systems>
- [10] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), "Población: Estimaciones y Proyecciones," inei.gob.pe. [Online]. Available: <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/population-estimates-and-projections/>
- [11] P. Dulaud, I. Di Loreto, and D. Mottet, "Self-quantification systems to support physical activity: From theory to implementation principles," Int. J. Environ. Res. Public Health, vol. 17, no. 24, p. 9350, 2020, doi: 10.3390/ijerph17249350.
- [12] V. Kumar, G. Sakya, and C. Shankar, "WSN and IoT based smart city model using the MQTT protocol," J. Discrete Math. Sci. Cryptogr., vol. 22, no. 8, pp. 1423–1434, 2019, doi: 10.1080/09720529.2019.1692449.
- [13] M. Flores-Gutierrez, E. Herrera-Ramos, M. Apaza-Cornejo, E. Valeriano-Cuba, C. Juarez-Alvarez, and J. Esquicha-Tejada, "Integration of a vehicle congestion detection and alert prototype in the city of Arequipa," in Proc. LACCEI Int. Multi-Conf. Eng., Educ. Technol., 2024, Art. no. 264, doi: 10.18687/LEIRD2024.1.1.264.
- [14] M. Hamzei and N. Jafari Navimipour, "Toward efficient service composition techniques in the internet of things," IEEE Internet Things J., vol. 5, no. 5, pp. 3774–3787, Oct. 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2861742.
- [15] H. Böhm, T. Distler, and P. Wagemann, "TinyBFT: Byzantine fault-tolerant replication for highly resource-constrained embedded systems," in Proc. IEEE Real-Time Embedded Technol. Appl. Symp. (RTAS), 2024, pp. 225–238, doi: 10.1109/RTAS61025.2024.00026.
- [16] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," IEEE Commun. Surv. Tutor., vol. 17, no. 3, pp. 1065–1094, Jun. 2012, doi: 10.1109/JSYST.2010.2045020.
- [17] S. Ullah et al., "A Comprehensive Survey of Wireless Body Area Networks: On PHY, MAC, and Network Layers Solutions," J. Med. Syst., vol. 36, no. 3, pp. 1065–1094, Jun. 2012, doi: 10.1109/JSYST.2010.2045020.
- [18] H. Alemdar and C. Ersoy, "Wireless sensor networks for healthcare: A survey," Comput. Netw., vol. 54, no. 15, pp. 2688–2710, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.003.
- [19] Y. Liu, Z. Wang, Y. Zhao, and G. Li, "Design and Implementation of a Low Power Wearable Sensor System for Monitoring Human Activities," IEEE Sens. J., vol. 19, no. 21, pp. 9844–9856, Nov. 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2929284.
- [20] R. Minerva, A. Biru, and D. Rotondi, "Towards a definition of the Internet of Things (IoT)," IEEE Internet Initiative, Mar. 2015. [Online]. Available: https://internethinitiative.ieee.org/images/files/resources/white_papers/internet_of_thin_gs_march_2015.pdf
- [21] D. G. Evans, P. C. Wright, and D. S. Cairns, "The Place of User Centered Design in Medical Device Development," Des. Stud., vol. 68, pp. 100–122, May 2020, doi: 10.1016/j.destud.2019.11.004.
- [22] I. Toledano and T. J. Gilbert, "Tiny Open Logger, TOL: An open-source Xiao ESP32 based IMU motion capture device," in UbiComp Companion 2025: Companion of the 2025 ACM Int. Joint Conf. Pervasive Ubiquitous Comput., 2025, pp. 1301–1307, doi: 10.1145/3714394.3756258.