

Diseño de un sistema de monitoreo de salud para astronautas basado en la inteligencia artificial

Design of a health monitoring system for astronauts based on artificial intelligence

Nataly Andrea Rojas Barnett^{1,a} , Hanks Jeremy Reyes Huaman^{1,a} ,
Rivaldo Carlos Duran Aquino^{1,b} 

Filiación institucional

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Grado académico

^a Estudiante de pregrado de Ingeniería Electrónica.

^b Egresado de Ingeniería Mecánica de Fluidos.

Recibido: 18-06-24
Aprobado: 07-08-24
Publicado: 12-08-24

RESUMEN

Objetivo. Diseñar un sistema integral de monitoreo de salud para astronautas mediante la integración de la inteligencia artificial (IA) y sensores biomédicos. **Métodos.** Se desarrolló un estudio cuantitativo de tipo experimental. La población consistió en datos simulados de astronautas y la muestra se obtuvo mediante la selección intencionada de parámetros biométricos críticos. Los datos fueron recolectados utilizando un conjunto de sensores EEG, EMG y ópticos, integrados en un traje inteligente. Las señales se procesaron en tiempo real mediante un módulo central con tecnología ESP32 y se propuso el uso de redes neuronales RNN-CNN para el análisis. **Resultados.** Se propone una arquitectura de IA que, teóricamente, podría alcanzar una precisión del 90 % en la detección de posibles enfermedades. El sistema presentó una tasa de transmisión de datos de 1,5 kbps y una latencia de < 100 ms, lo cual permitiría el monitoreo en tiempo real. **Conclusiones.** El sistema desarrollado tiene el potencial de ser eficaz para la detección temprana de alteraciones en la salud de los astronautas, mostrando su capacidad para salvaguardar la seguridad en misiones espaciales.

Palabras clave: monitoreo de salud; inteligencia artificial; astronauta; bioseñales; redes neuronales; sensores biomédicos; salud espacial.

ABSTRACT

Objective. To design a health monitoring system for astronauts through the integration of the artificial intelligence (AI) and biomedical sensors. **Methods.** A experimental type study was developed. The population consisted of simulated data of astronauts and the sample was obtained through the intentioned selection of critical biometric parameters. The data was collected using a set of sensors EEG, EMG, and optics, integrated in a smart suit. The signals were processed in real time through a central module with technology ESP32 and the use of neural networks RNN-CNN for the analysis were proposed. **Results.** An AI architecture is proposed that, theoretically, it could achieve 90% accuracy in detecting potential diseases. The system presented a data transmission rate of 1.5 kbps and a latency of < 100 ms, which would allow real-time monitoring. **Conclusions.** The system developed has the potential to be effective for the early detection of alterations in the health of astronauts, showing its capacity for safeguarding the safety of space missions.

Keywords: health monitoring; artificial intelligence; astronaut; bio-signals; neuronal networks; biomedical sensors; space health.

Citar como: Rojas Barnett, N. A., Reyes Huamán, H. J., y Duran Aquino, R. C. Diseño de un sistema de monitoreo de salud para astronautas basado en la inteligencia artificial. *Revista Peruana de Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente*, 1(2), 82-91. <https://doi.org/10.37711/repiama.2024.1.2.4>

Introducción

El monitoreo de la salud de los astronautas durante las misiones espaciales representa un desafío crucial para la seguridad y el éxito de las exploraciones espaciales (Roslee, 2021). Las misiones de larga duración en el espacio exponen a los astronautas a diversos riesgos para la salud, incluyendo la pérdida de masa ósea, deterioro muscular, alteraciones en la función cardiovascular y problemas psicológicos como el estrés y la ansiedad (Di Rienzo & Piccirillo, 2021; Roda et al., 2018). Entre estos, las alteraciones cardiovasculares y el deterioro muscular son reportados con mayor frecuencia debido a la microgravedad, lo que puede tener un impacto significativo en la salud de los astronautas, a corto y largo plazo lo que afecta su capacidad para realizar tareas críticas y su bienestar general, durante y después de la misión (Zangheri et al., 2019).

A lo largo de la historia de la exploración espacial se han implementado diversos sistemas de monitoreo centrados principalmente en parámetros fisiológicos básicos (Di Rienzo & Piccirillo, 2021). Sin embargo, el constante avance de las tecnologías de sensores y procesamiento de datos ha abierto nuevas oportunidades para el desarrollo de sistemas más integrales, proactivos y capaces de detectar señales sutiles de potenciales enfermedades (Roda et al., 2018; Zangheri et al., 2019).

Dispositivos portátiles sofisticados ahora permiten la adquisición continua y remota de señales biomédicas precisas en tiempo real. Asimismo, el aprendizaje profundo ha revolucionado la capacidad de extraer valor clínico de fuentes de datos no convencionales, como imágenes médicas y reconocimiento de voz (Boulemtafes et al., 2021; Solís García, 2017; Sujith et al., 2022). Por otro lado, asistentes virtuales de IA podrían ofrecer asistencia personalizada las 24 horas (Martin & Freeland, 2021; Tipaldi et al., 2020). Sin embargo, estos avances suelen implementarse de manera aislada, careciendo de una integración efectiva entre conjuntos de datos multimodales, lo que limita su potencial para proporcionar una visión completa y coherente del estado de salud del astronauta (Lipková et al., 2022; Salvi et al., 2023; Shaik et al., 2024; Vandendriessche et al., 2021).

Este trabajo busca superar esta desconexión entre capacidades tecnológicas mediante el diseño de un sistema de monitoreo avanzado integrado para astronautas. Dicho sistema hará converger sensores fisiológicos, reconocimiento de parámetros cualitativos, imágenes médicas y asistencia virtual cuántica en una plataforma unificada. Esto permitirá una vigilancia holística del estado de salud, detección temprana de señales sutiles y orientación médica oportuna. Al lograr esta sinergia multimodal propuesta, esta investigación tiene el potencial de sentar un hito en el monitoreo de astronautas, salvaguardando su seguridad y bienestar en las futuras exploraciones espaciales de forma integral, proactiva, continua y personalizada.

Métodos

Tipo y área de estudio

Se realizó un estudio de enfoque cuantitativo de tipo experimental en un entorno simulado que replicó condiciones de una misión espacial de larga duración, definida como una misión de hasta seis meses en el espacio. Se eligió un diseño experimental transversal, considerando la naturaleza del estudio y los datos simulados utilizados. La investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en Lima, Perú, durante el período de marzo de 2022 a septiembre de 2023.

Población y muestra

La población consistió en datos biométricos simulados de astronautas, generados a partir de bases de datos públicas de parámetros fisiológicos y señales biomédicas específicas de misiones espaciales. La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico intencional, incluyendo datos de señales cerebrales (EEG), musculares (EMG), ópticas (PPG) y de imágenes faciales reconstruidas. Fueron seleccionados un total de 500 segmentos de datos simulados que replican las condiciones de salud en el espacio.

Variable e instrumentos de recolección de datos

La variable principal en el estudio fue el diseño y evaluación de un sistema de monitoreo de salud para astronautas, centrado en la captación y procesamiento de datos biométricos en tiempo real. Para lograrlo, se integraron

sensores avanzados que capturan diversas señales biomédicas. Los instrumentos de recolección de datos incluyeron:

- a) Sensores EEG: utilizados para medir la actividad cerebral a una frecuencia de muestreo de 256 Hz y con una resolución de 10 mm.
- b) Sensores EMG: incorporados en guantes y botas, para captar la actividad muscular con una frecuencia de muestreo de 1024 Hz.
- c) Sensores ópticos PPG: colocados en auriculares, para medir la frecuencia cardíaca y la oxigenación de la sangre a 500 Hz.
- d) Cámaras de alta resolución: montadas en el casco del astronauta, utilizadas para capturar imágenes faciales y realizar un análisis de parámetros como el tamaño de las pupilas y el tono de piel.

Los datos recolectados fueron transmitidos de manera inalámbrica al módulo central, el cual utilizó un microcontrolador ESP32 para el procesamiento inicial. El análisis de las imágenes faciales fue realizado mediante una red neuronal convolucional entrenada con el *software* Keras/TensorFlow, mientras que los datos biométricos fueron analizados mediante una arquitectura de redes neuronales recurrentes (RNN) y redes neuronales convolucionales (CNN) propuesta, permitiendo la clasificación de patrones asociados a posibles alteraciones en la salud del astronauta.

Técnicas y procedimientos de la recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo utilizando un traje inteligente diseñado con múltiples sensores integrados en diferentes capas. Cada sensor transmitió de manera continua las señales recolectadas al módulo central mediante tecnología Bluetooth de baja energía (BLE, por sus siglas en inglés). El módulo central adquirió y procesó los datos a través de una placa ESP32 equipada con un convertidor sigma-delta de 24 bits y una tasa de muestreo de 1024 Hz. Los datos de voz fueron capturados mediante un sistema de reconocimiento de voz asistido por el paquete Python Speech Recognition 3.8.1, y las imágenes faciales fueron capturadas utilizando cámaras de alta resolución a 25 fps, seguidas de un procesamiento mediante técnicas de fotogrametría y redes neuronales convolucionales (Corpas Novo, 2019; Villanueva Alarcón, 2021).

Análisis de datos

Los datos recolectados fueron procesados y analizados utilizando el *software* Python, empleando las bibliotecas Keras, TensorFlow y Scikit-learn para el análisis de redes neuronales y la clasificación de patrones. Se realizó una normalización de las señales fisiológicas y se aplicaron técnicas de interpolación para manejar datos faltantes. Se propuso entrenar un modelo de IA durante 30 épocas, utilizando la función de error de entropía cruzada y el optimizador Adam, esperando obtener una precisión del 90 % en la clasificación de señales. Los resultados fueron analizados mediante métricas de precisión, especificidad y sensibilidad, utilizando el *software* estadístico SPSS versión 25. Se aclara que la implementación de RNN-CNN aún está en fase propuesta y no ha sido realizada, por lo tanto, las métricas mencionadas son expectativas basadas en simulaciones previas.

Aspectos éticos

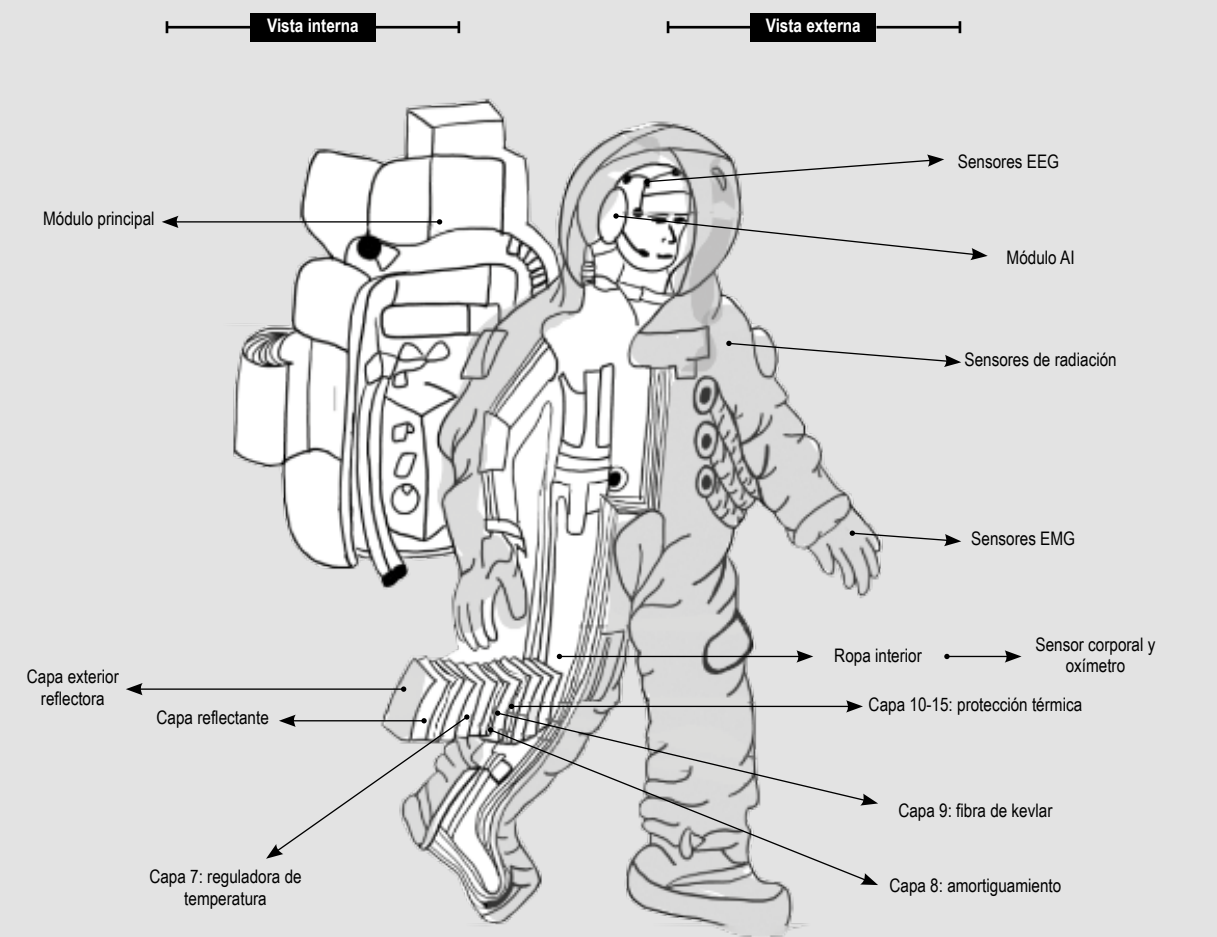
El estudio fue desarrollado respetando las disposiciones del Código de Ética de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Se utilizó una base de datos simulada y datos biométricos públicos para evitar el uso de datos personales sensibles. La investigación no incluyó seres humanos ni animales, por lo que no fue requerido el consentimiento informado. Sin embargo, se reconoce la importancia de abordar las implicaciones éticas relacionadas con la privacidad de los datos biomédicos en futuras implementaciones del sistema. Es crucial garantizar que los datos recolectados estén protegidos contra accesos no autorizados y que se cumplan todas las normativas de privacidad y seguridad de datos para salvaguardar la información sensible de los astronautas.

Resultados

Diseño y ubicación de sensores en el traje inteligente

El diseño del traje inteligente se estructuró con diferentes capas que incluyen sensores estratégicamente ubicados para el monitoreo de las señales biomédicas. La Figura 1 muestra el diseño completo del traje, destacando la ubicación de sensores como los electrodos EEG, EMG, sensores ópticos PPG y termopares. Esta distribución garantiza la adquisición de datos continuos sin interferir con la movilidad del astronauta.

Figura 1
Diseño completo del traje inteligente, con ubicación ideal de los sensores



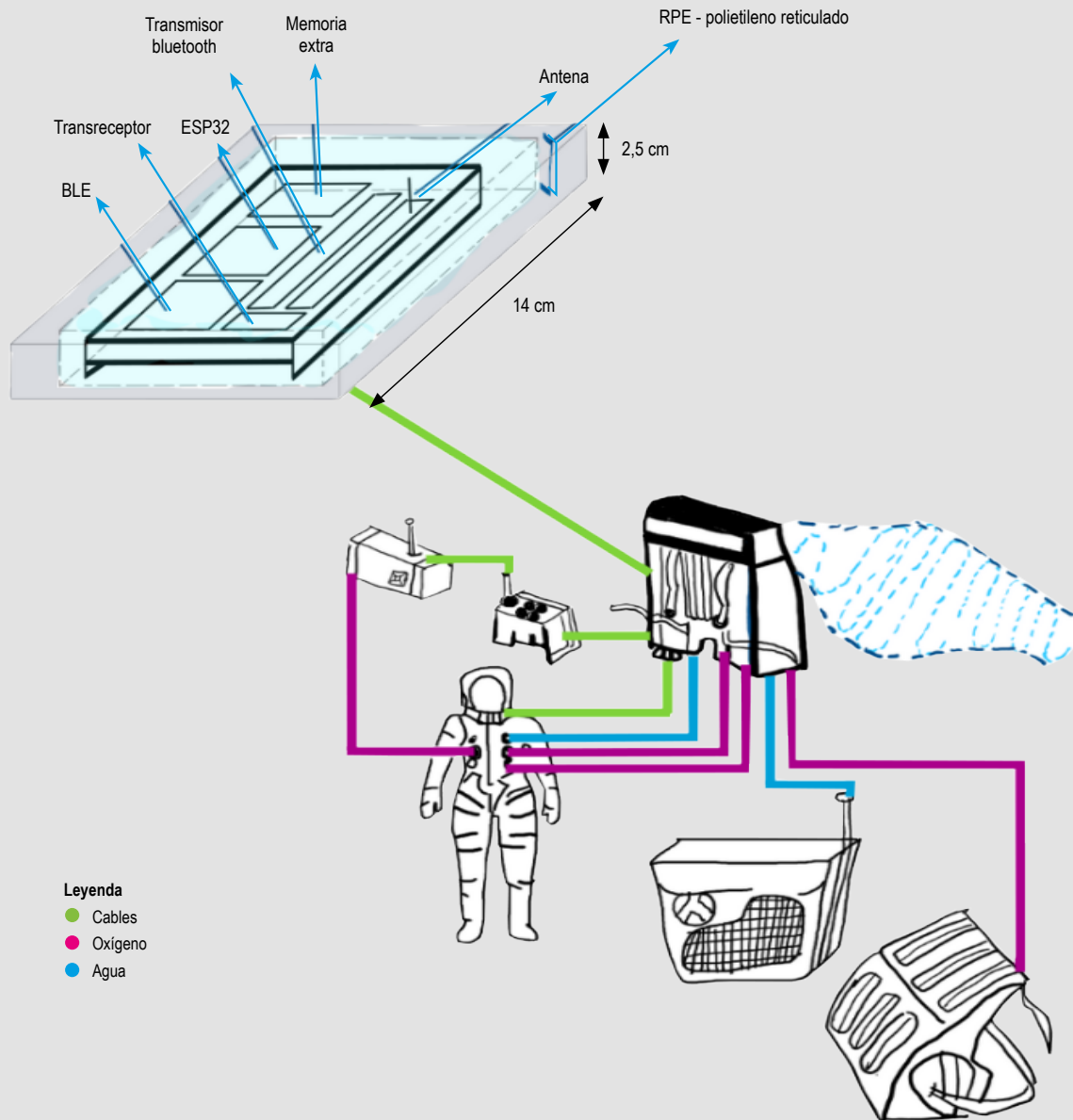
Nota. La figura ilustra la ubicación de los sensores en las capas internas y externas del traje, garantizando una adquisición eficiente y segura de los datos biomédicos.

Diseño del módulo principal y conexiones

El módulo principal fue diseñado para recibir y procesar las señales biomédicas transmitidas por los sensores. La Figura 2 muestra el diseño ampliado del módulo principal, ubicado en la mochila de soporte vital. Este módulo incluye un microcontrolador ESP32, transmisores Bluetooth BLE y conexiones para comunicación y control de la temperatura.

Figura 2

Diseño ampliado del módulo principal con conexiones de soporte vital

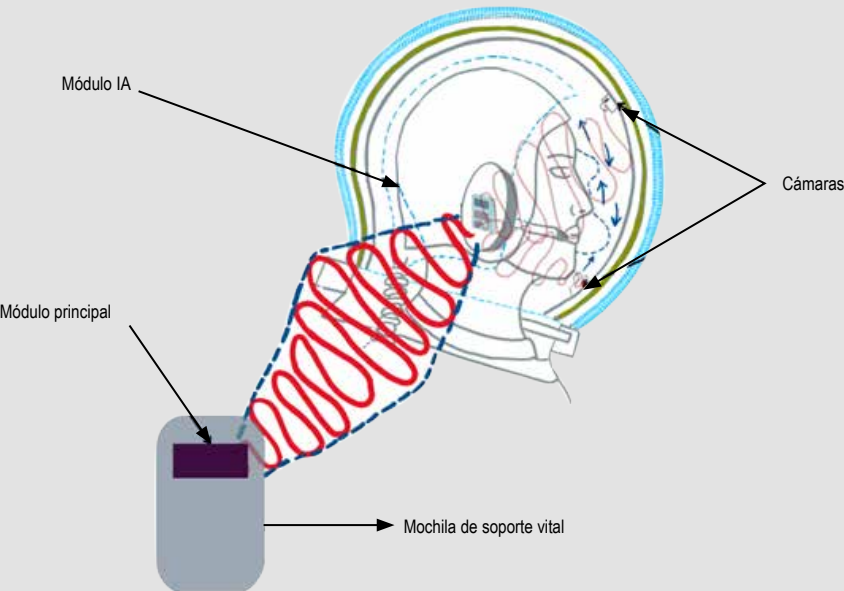


Nota. La figura destaca las conexiones de comunicación, oxígeno y agua del módulo principal, optimizando la vida útil y el rendimiento del sistema.

Proceso de transmisión de señales hacia el módulo de AI

Las señales capturadas por los sensores fueron transmitidas de forma continua al módulo de IA mediante tecnología Bluetooth de baja energía (BLE). La Figura 3 muestra el flujo de transmisión de las señales biomédicas desde el módulo principal hasta el módulo de AI, el cual se encarga de la recopilación y análisis de los datos recibidos.

Figura 3
Diagrama de transmisión de señales desde los sensores hacia el módulo de IA

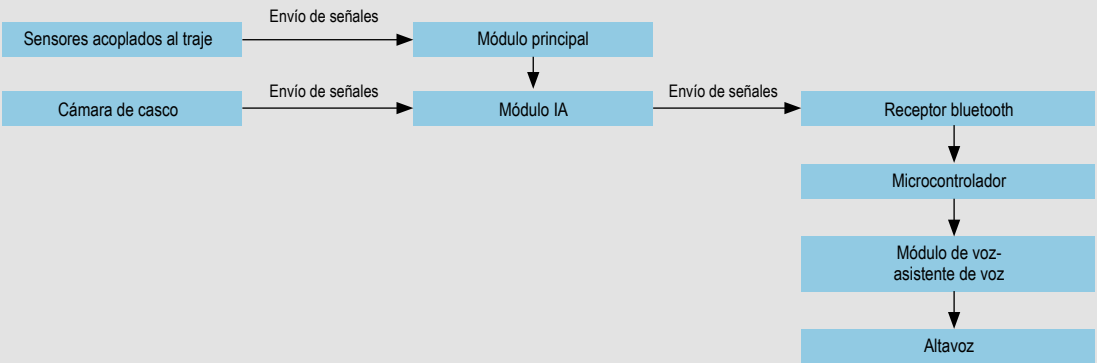


Nota. La figura presenta el flujo de datos desde los sensores ubicados en el traje, destacando la comunicación con el módulo IA y la estructura de conexión entre ambos sistemas.

Análisis de interacción del asistente virtual BETTA

El asistente virtual BETTA fue diseñado para proporcionar recomendaciones personalizadas mediante reconocimiento de voz e interpretación de datos biométricos. La Figura 4 muestra el diagrama de bloques, el cual describe cómo los sensores envían señales al módulo principal, que luego son procesadas por el módulo AI para ser interpretadas y comunicadas por el asistente virtual.

Figura 4
Diagrama de bloques del sistema de monitoreo y funcionamiento del asistente BETTA

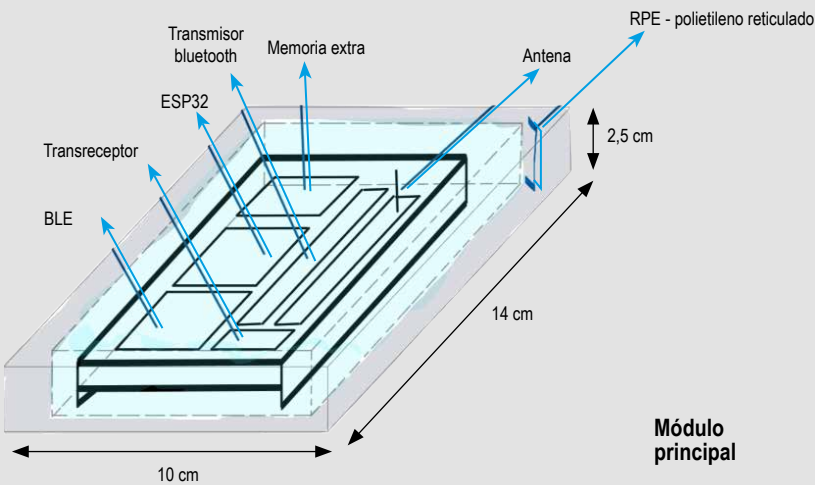


Nota. La figura ilustra la estructura general del sistema de monitoreo, destacando la conexión entre los sensores, el módulo principal, el módulo IA y el asistente virtual BETTA.

Interacción y control del módulo IA en el casco

El módulo IA, encargado de procesar los datos recopilados y generar diagnósticos, se ubicó estratégicamente en el casco del astronauta. La Figura 5 ofrece una visión de los componentes clave del sistema que permiten la interacción en tiempo real.

Figura 5
Partes esenciales del sistema embebido para la interacción del asistente BETTA

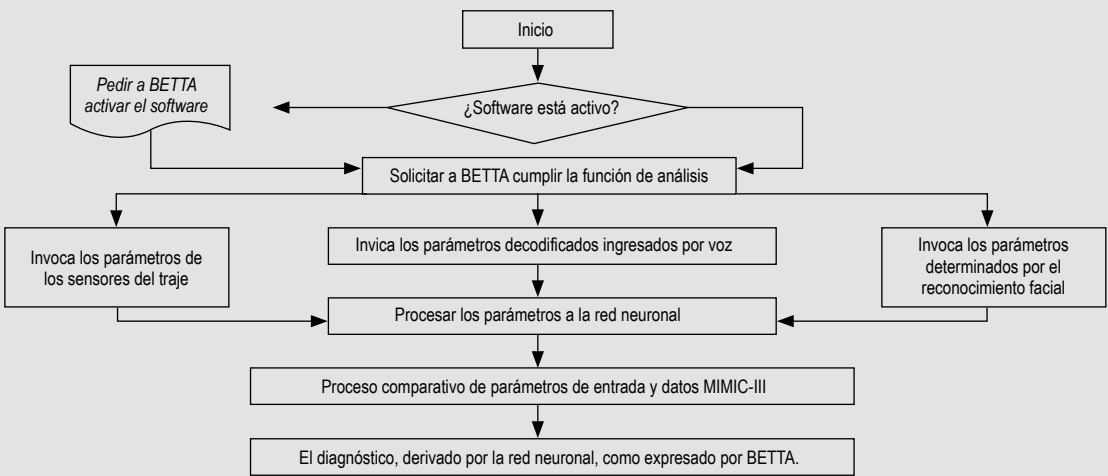


Nota. La figura muestra los componentes críticos del sistema embebido, facilitando la comunicación e interacción directa con el astronauta mediante el asistente BETTA.

Diagrama de flujo del software BETTA

El diagrama de flujo más importante en el desarrollo del sistema muestra el recorrido completo de los datos desde su adquisición hasta la generación de recomendaciones por parte del asistente virtual BETTA. La Figura 6 detalla las etapas clave del procesamiento de datos y el flujo de información dentro del sistema.

Figura 6
Diagrama de flujo del funcionamiento del asistente virtual BETTA



Nota. La figura muestra las etapas desde la recolección de datos biométricos, su procesamiento en el módulo de IA y la generación de recomendaciones a través del asistente BETTA.

Análisis preliminar del sistema propuesto

Basándonos en estudios previos y simulaciones preliminares, se espera que la implementación de una arquitectura RNN-CNN pueda alcanzar una precisión del 90 % en la detección de posibles enfermedades. Las métricas de evaluación propuestas incluyen precisión, especificidad y sensibilidad, las cuales serán evaluadas una vez que la implementación del modelo sea realizada en futuras investigaciones. Actualmente, estas métricas se basan en simulaciones y modelos teóricos, ya que la implementación práctica aún está en desarrollo.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que el sistema de monitoreo multimodal propuesto para la vigilancia de la salud de los astronautas es eficaz y tiene potencial para revolucionar las técnicas de monitoreo en misiones espaciales. La integración de diferentes fuentes de datos biomédicos y cualitativos mediante un enfoque de IA permite una detección más temprana de anomalías, lo cual es fundamental en misiones prolongadas en las que la intervención médica directa es limitada.

Estudios anteriores, como los de Roda et al. (2018) y Zangheri et al. (2019), destacaban la importancia de los sensores portátiles para la adquisición de datos fisiológicos, aunque estos enfoques eran limitados en su capacidad de detectar parámetros no convencionales. En nuestro estudio, la inclusión de tecnologías avanzadas, como el análisis de imágenes faciales y el reconocimiento de voz, combinada con sensores tradicionales, ha permitido superar las limitaciones identificadas en investigaciones previas.

Una de las principales fortalezas del presente trabajo es la integración de sensores biomédicos avanzados y métodos de IA en un sistema modular que permite una recopilación continua y precisa de datos. Este enfoque, combinado con tecnologías de aprendizaje profundo, logra superar limitaciones, tales como la incapacidad de detectar señales biomédicas no convencionales. Además, la capacidad de personalización del asistente virtual BETTA y el diseño adaptable del traje inteligente destacan como características clave que garantizan la flexibilidad del sistema sin comprometer la movilidad ni la seguridad del astronauta. Estas fortalezas posicionan al sistema como una solución innovadora y práctica para misiones espaciales prolongadas.

Implicaciones éticas y privacidad de datos biomédicos

No obstante, esta investigación también presentó ciertas limitaciones y consideraciones éticas importantes. En primer lugar, los resultados obtenidos en un entorno de simulación de laboratorio deben validarse en escenarios espaciales reales para evaluar su efectividad en condiciones extremas. Adicionalmente, aunque el asistente virtual BETTA ha demostrado ser útil, su modelo de IA podría beneficiarse de un entrenamiento más amplio, basado en datos biométricos más diversos para reducir posibles sesgos en el análisis de información cualitativa.

Por otro lado, existen autores que sugieren que el uso intensivo de IA en entornos cerrados, como las naves espaciales, podría generar una dependencia excesiva en estas tecnologías y plantear riesgos en caso de fallos técnicos (Martin & Freeland, 2021). Además, algunos estudios recientes, como los de Lipková et al. (2022) y Salvi et al. (2023), advierten sobre los desafíos éticos y de privacidad relacionados con el uso de datos biométricos, particularmente en contextos donde la vigilancia constante puede percibirse como invasiva. La recolección y el procesamiento de datos biomédicos sensibles requieren medidas estrictas de seguridad y privacidad para proteger la información de los astronautas contra accesos no autorizados y posibles abusos. Es fundamental establecer protocolos claros y transparentes sobre el manejo de estos datos, garantizando que se cumplan todas las normativas de privacidad y seguridad de datos.

Estas perspectivas deben ser consideradas en futuros trabajos, para abordar posibles críticas hacia el sistema propuesto y asegurar que su implementación respete los derechos y la privacidad de los usuarios. A pesar de estas limitaciones, los hallazgos preliminares indican que el sistema de monitoreo de salud diseñado tiene un gran potencial para revolucionar las prácticas actuales de monitoreo en misiones espaciales. Estudios futuros deberán centrarse en validar y optimizar su desempeño en condiciones reales y extremas, así como en fortalecer las medidas de protección de datos biomédicos, para garantizar la privacidad y seguridad de los astronautas.

Conclusiones

El sistema de monitoreo de salud propuesto, basado en la integración de datos biomédicos y cualitativos mediante tecnologías avanzadas y módulos de inteligencia artificial (IA), demuestra ser una solución prometedora para la vigilancia de astronautas en misiones espaciales prolongadas. El diseño modular del traje inteligente permite la disposición óptima de sensores en capas internas y externas, asegurando la recolección continua y segura de datos sin comprometer la movilidad del astronauta. La utilización del asistente virtual BETTA ha facilitado la interacción del astronauta con el sistema mediante comandos de voz, proporcionando una herramienta de monitoreo proactivo y detección temprana de alteraciones de la salud. Los resultados preliminares son alentadores; no obstante, se requieren validaciones adicionales en misiones espaciales reales, para optimizar y garantizar la efectividad del sistema en condiciones extremas.

Recomendación

Se recomienda llevar a cabo pruebas de campo en entornos espaciales simulados que reproduzcan las condiciones reales de una misión, para evaluar la efectividad del sistema de monitoreo en condiciones extremas, ampliar las capacidades del asistente virtual BETTA para reconocer patrones más complejos y proporcionar diagnósticos diferenciales basados en datos biométricos en tiempo real, así como mejorar el sistema de comunicación inalámbrica entre los sensores y el módulo principal, con el objeto de optimizar transmisión de datos para reducir la latencia y aumentar la fiabilidad del monitoreo. Además, es crucial implementar y fortalecer las medidas de seguridad y privacidad de los datos biomédicos recolectados, a fin de garantizar el cumplimiento de todas las normativas éticas y legales pertinentes.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el apoyo institucional brindado y a todos los colaboradores que participaron en la recolección y análisis de datos. En especial, agradecemos a Millones Reque Diego Armando por su valiosa contribución en la elaboración de la primera versión del manuscrito y en la exposición del trabajo.

Referencias

- Boulemtafes, A., Khemissa, H., Derki, M. S., Amira, A., & Djedjig, N. (2021). Deep learning in pervasive health monitoring, design goals, applications, and architectures: An overview and a brief synthesis. *Smart Health*, 22, 100221. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2021.100221>
- Corpas Novo, J. A. (2019). *Aceleración y optimización del consumo energético de clasificadores en cascada para la detección de rostros sobre arquitecturas asimétricas* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Repositorio UG. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/56822/81404.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Di Rienzo, M., & Piccirillo, S. G. M. (2021). Wearables for life in space. *Wearable Sensors*, 463-486. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818475-6.00001-8>
- Lipková, J., Chen, R. J., Chen, B., Lu, M., Barbieri, M., Shao, D., Vaidya, A., Chen, C., Zhuang, L., Williamson, D. F. K., Shaban, M., Chen, T., & Mahmood, F. (2022). Artificial intelligence for multimodal data integration in oncology. *Cancer Cell*, 40(10), 1095-1110. <https://doi.org/10.1016/j.ccell.2022.09.012>
- Martin, A. S., & Freeland, S. (2021). The advent of artificial intelligence in space activities: New legal challenges. *Space Policy*, 55, 101408. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2021.101408>
- Roda, A., Mirasoli, M., Guardigli, M., Zangheri, M., Caliceti, C., Calabria, D., & Simoni, P. (2018). Advanced biosensors for monitoring astronauts' health during long-duration space missions. *Biosensors and Bioelectronics*, 111, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.04.012>
- Roslee, M. F. (2021). Review of medical capabilities requirements for manned missions on lunar and Martian surfaces base activities. *REACH*, 23-24. <https://doi.org/10.1016/j.reach.2020.100042>
- Salvi, M., Loh, H. W., Seoni, S., Barua, P. D., Del Barrio-García, S., Molinari, F., & Acharya, U. R. (2023). Multi-modality approaches for medical support systems: A systematic review of the last decade. *Information Fusion*, 102134. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102134>
- Shaik, T., Tao, X., Li, L., Xie, H., & Velásquez, J. D. (2024). A survey of multimodal information fusion for smart health-care: Mapping the journey from data to wisdom. *Information Fusion*, 102, 102040. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102040>
- Solís García, E. (2017). *Utilización del programa Face2Gene en diferentes escenarios clínicos* [Tesis de grado, Universidad de Cantabria]. Repositorio institucional de la Universidad de Cantabria. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/11747>

- Sujith, A. V. L. N., Sajja, G. S., Mahalakshmi, V., Nuhmani, S., & Balaji, P. (2022). Systematic review of smart health monitoring using deep learning and artificial intelligence. *Neuroscience Informatics*, 2(3), 100028. <https://doi.org/10.1016/j.neuri.2022.100028>
- Tipaldi, M., Feruglio, L., Denis, P., & D'Angelo, G. (2020). On applying AI-driven flight data analysis for operational spacecraft model-based diagnostics. *Annual Reviews in Control*, 49, 197-211. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.01.001>
- Vandendriessche, B., Godfrey, A., & Izmailova, E. S. (2021). Multimodal biometric monitoring technologies drive the development of clinical assessments in the home environment. *Maturitas*, 151, 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2021.06.009>
- Villanueva Alarcón, R. A. (2021). *Sistema inteligente basado en redes neuronales para la identificación de cáncer de piel de tipo melanoma en imágenes de lesiones cutáneas* [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Cybertesis Repositorio UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/17574>
- Zangheri, M., Mirasoli, M., Guardigli, M., Di Nardo, F., Anfossi, L., Baggiani, C., Simoni, P., Benassai, M., & Roda, A. (2019). Chemiluminescence-based biosensor for monitoring astronauts' health status during space missions: Results from the International Space Station. *Biosensors and Bioelectronics*, 129, 260-268. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.08.034>

Contribución de los autores

NAR: conceptualización, curación de datos, visualización, redacción-revisión y edición.

HJR: desarrollo de *software*, metodología, programación, redacción-original.

RCDA: supervisión, revisión final del artículo, redacción-original.

Fuentes de financiamiento

La investigación fue realizada con recursos propios.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Correspondencia:

Rivaldo Carlos Duran Aquino

E-mail: rivaldo.duran@unmsm.edu.pe