

Diseño de un sistema de detección y prevención de enfermedades basado en modelado computacional e inteligencia artificial, con asistencia de voz, para implementación en ropa inteligente dirigida a astronautas

Nataly Andrea Rojas Barnett, Hanks Jeremy Reyes Huaman, Diego Armando Millones Reque,
Rivaldo Carlos Duran Aquino

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

Recibido el 2 de enero del 2024. Aceptado el 2 de junio del 2025. Publicado el 10 de febrero del 2025

Resumen

El presente estudio describe el desarrollo de un sistema integral de monitoreo de salud para astronautas. Dicho sistema incorpora una red de sensores acoplados en el traje espacial y casco del astronauta. Estos sensores incluyen electrodos EEG internos para monitorear la actividad cerebral, detectores de radiación en el traje para medir la exposición y electrodos EMG en los guantes que detectan la actividad muscular. Los datos biométricos adquiridos por los sensores son transmitidos de forma inalámbrica vía Bluetooth al módulo principal ubicado en la mochila de soporte vital del astronauta. Dentro de este módulo, una placa ESP32 procesa las bioseñales con el fin de detectar posibles alertas sobre el estado de salud. Esta data es transmitida hacia el módulo AI que a su vez también procesa las señales de las fotografías de las cámaras integradas en el casco, las cuales capturan 300 fotografías faciales reconstruidas mediante redes neuronales entrenadas con Keras/TensorFlow, permitiendo detectar enfermedades a través del análisis de imágenes. Finalmente, el asistente virtual BETTA proporciona un diagnóstico sobre el estado de salud del astronauta a través de la interfaz de voz. En conclusión, este sistema representa un avance tecnológico capaz de garantizar la seguridad del astronauta durante misiones espaciales.

Descriptores: bioseñal, inteligencia artificial, asistente virtual, astronauta

Abstract

This study describes the development of a comprehensive health monitoring system for astronauts. This system incorporates a network of sensors integrated into the astronaut's spacesuit and helmet. These sensors include internal EEG electrodes to monitor brain activity, radiation detectors in the suit to measure exposure, and EMG electrodes in the gloves that detect muscle activity. The biometric data acquired by the sensors is wirelessly transmitted via Bluetooth to the main module located in the astronaut's life support backpack. Within this module, an ESP32 board processes the biosignals to detect possible health alerts. This data is transmitted to the AI module, which also processes signals from the cameras integrated into the helmet, capturing 300 reconstructed facial photographs using neural networks trained with Keras/TensorFlow. This enables the detection of diseases through image analysis. Finally, the virtual assistant BETTA provides a diagnosis of the astronaut's health status through the voice interface. In conclusion, this system represents a technological advancement capable of ensuring the astronaut's safety during space missions..

Keywords: biosignal, artificial intelligence, virtual assistant, astronaut

1. Introducción

El monitoreo de la salud de los astronautas durante misiones espaciales representa un desafío crucial para la seguridad y el éxito de las exploraciones

espaciales [1]. A lo largo de la historia de la exploración espacial, se han implementado diversos sistemas de monitoreo centrados principalmente en parámetros fisiológicos básicos [2]. 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 [3][4]. 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 [5][6][13]. Por otro lado, asistentes virtuales de inteligencia artificial podrían ofrecer asistencia personalizada las 24 horas [7][8]. Sin embargo, estos avances suelen implementarse de manera aislada, desperdiciando sinergias entre conjuntos de datos multimodales [9][10][11][12]. Este trabajo busca superar este divorcio entre capacidades tecnológicas mediante el diseño de un sistema de monitoreo avanzado integrado para astronautas. Dicho sistema convergerá 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 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.

2. Metodología

Se implementaron cuatro módulos principales para el desarrollo del sistema integrado de monitoreo:

2.1. Adquisición de señales fisiológicas

Se propuso el diseño de un traje espacial inteligente compuesto por distintas capas, en las cuales se integran sensores con módulos bluetooth. (Ver figura 5)

- Capa interna de lycra Silverescent™ impregnada con bactericidas para asegurar higiene y confort térmico.
- Capa media conteniendo módulos electrónicos compactos.
- Capa externa tricapa de kevlar/nylon para protección contra micrometeoritos.
- Forro térmico de algodón orgánico y microcápsulas de parafina para termorregulación.

Se integraron los siguientes sensores:

- Electrodo EEG en un casco con una resolución espacial de 10mm, que transmiten señales en el rango de 1 a 100 μ V a 256 Hz.
- Electrodo EMG de nanofibras de carbono (8 canales) en guantes y botas con ganancia de 2000, que detectan señales de contracción de 100 a 500 μ V a 1024 Hz.
- Sensor óptico PPG en auricular para capturar el pulso oximétrico a 500 Hz.
- Termopares tipo K de constante tiempo 10ms en articulaciones para monitorear la temperatura corporal.
- Un módulo STM32F401 en el pecho adquiere los datos a 1024 Hz mediante un convertidor sigma-delta de 24 bit, los codifica con compresión ZIP y los envía vía Bluetooth 5.0 a una tasa de 1.5 kbps hacia el módulo central con latencia <100ms.

Este diseño permite un monitoreo continuo, no invasivo, confiable, de bajo consumo y alta resolución de múltiples parámetros fisiológicos, garantizando la detección temprana de alteraciones en la salud del astronauta. Esta data recolectada gracias a la incorporación de módulos bluetooth en cada sensor, va hacia el módulo principal, donde el transmisor bluetooth transmite las señales hacia el receptor bluetooth del Módulo AI. (Ver figura 7)

2.2 Reconocimiento de parámetros cualitativos

2.2.1 Reconocimiento de voz

Con el propósito en mente, se recurre al lenguaje de programación Python y sus respectivas bibliotecas para llevar a cabo el presente objetivo. El propósito radica en descifrar los datos proporcionados por el usuario, los cuales describen los síntomas de forma precisa y dentro de un intervalo de tiempo específico [16]. Estos datos se transforman en variables que posteriormente se convocarán en la red neuronal del software con el fin de compararlos en la base de datos [17]. Con el fin de lograr los resultados esperados, se hacen uso de paquetes de Python de renombre. En primer lugar, se emplea el paquete Python Speech Recognition 3.8.1, el cual permite capturar y procesar audio con el propósito de convertirlo en texto mediante técnicas de reconocimiento de voz. Además, se hace uso del paquete PyAudio 0.2.11, el cual posibilita trabajar con audio en aplicaciones, incluyendo la capacidad de grabar y reproducir audio, así como manipular y

procesar datos de audio en tiempo real. También OS, el cual nos proporciona funcionalidades para interactuar con nuestro sistema operativo BETTA. Se utilizará para crear y manipular archivos, el cual nos permite guardar los archivos de audio y los textos transcritos. Por último, se recurre a la librería pyttsx3, la cual habilita la generación de salida de voz a partir de texto en las aplicaciones correspondientes.

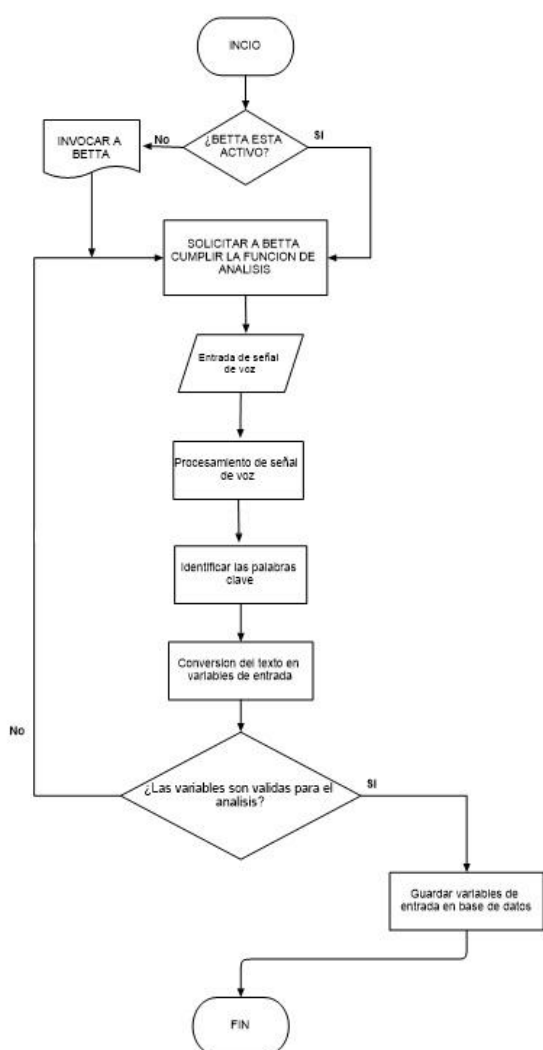


Figura 1: Diagrama de flujo del reconocimiento de voz explicado por etapas, el cual nos permitirá tener interacción con el asistente de voz, BETTA.

2.2.2 Reconstrucción facial

Dos cámaras Insta360 ONE R capturaron simultáneamente imágenes del rostro a 25 fps con resolución 4096x3072 píxeles. Estas serían reconstruidas mediante photogrametría 3D, obteniendo parámetros cuantitativos como tamaño pupilas, tono piel, etc [15]. El programa de apoyo FaRe, tiene como función principal del

reconocimiento facial y para realizar ello el desarrollo del programa se realizó en el lenguaje Python [14]. Además, para llevar a cabo dicha tarea, se hace uso de las bibliotecas Numpy, cuyo propósito radica en la generación de puntos de referencia y la creación de los datos que serán sometidos a análisis [18]. Estas bibliotecas trabajan de la mano con la librería OpenCV. En este contexto, se recurre a una transformación numérica de puntos faciales clave al momento de efectuar las comparaciones pertinentes (ver figura 3). Además de usar una base de datos descargada de github Open Source Computer Vision Library, dado que esta facilitara a aislar al rostro del ruido (Objetos que se rodeen al rostro) (ver figura 2).

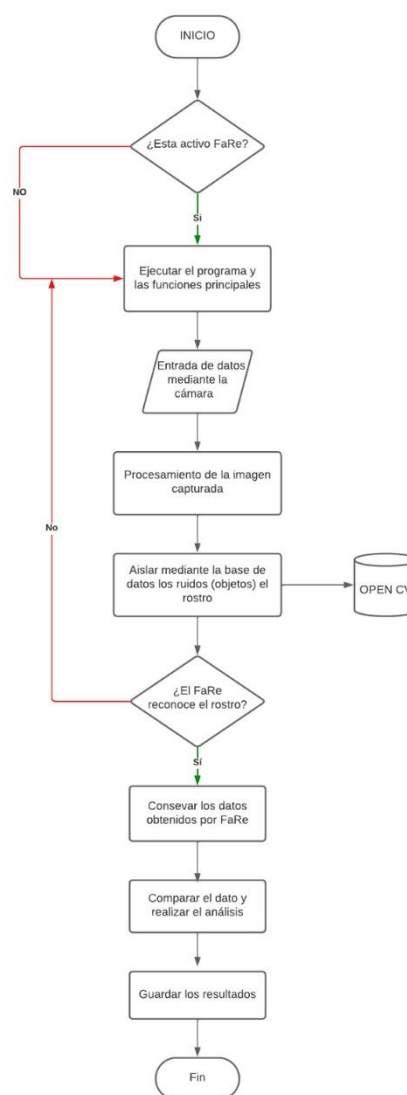


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de reconstrucción facial ilustrado de manera sistemática y detallada por etapas.

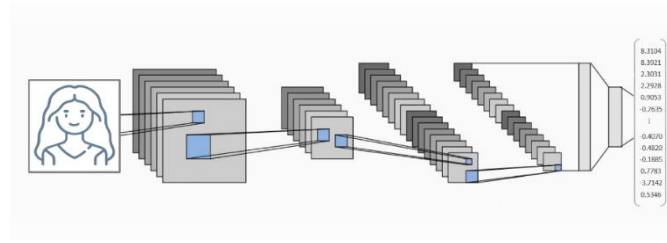


Figura 3: Diagrama de un codificador (incrustación) de una imagen. Fuente: Amat Rodrigo, J. (2021).

2.2.3 Análisis de datos cualitativos

Tanto los reportes de voz como variables faciales son almacenados en una base de datos. Mediante paquetes de Python como NLTK y scikit-learn. Asimismo, las variables faciales son normalizadas. De esta forma, los síntomas cualitativos son convertidos en datos estructurados compatibles con redes neuronales, permitiendo una comparación objetiva con bases de datos médicas para diagnóstico diferencial.

2.3 Procesamiento de datos e inteligencia artificial

2.3.1 Arquitectura de red neuronal

Se diseñó una arquitectura RNN-CNN que combina redes convolucionales bidireccionales y celdas LSTM. Esto permite modelar efectivamente secuencias temporales y reconocer patrones espaciales. Asimismo, podemos ver de una manera más sistemática del proceso llevado a cabo en la red neuronal. (ver figura 4). Este diagrama representa de manera sistemática el recorrido de los datos desde su codificación inicial hasta su emisión como respuesta por parte del asistente de voz, ilustrando así el proceso completo de transformación y transmisión de información dentro del sistema.

2.3.2 Preprocesamiento de datos

Los datos de sensores se normalizaron, interpolaron y segmentaron en ventanas deslizantes de 1 segundo. Las variables cualitativas se codificaron numéricamente para homogenizar los conjuntos.

2.3.3 Entrenamiento del modelo

Se utilizó el conjunto de datos MIMIC-III que contiene datos reales de pacientes hospitalizados. El modelo fue entrenado durante 30 épocas

utilizando la función de error de entropía cruzada y el optimizador Adam. La precisión obtenida fue 90%.

2.3.4 Clasificación de patrones

Una vez entrenado, el modelo es capaz de procesar entradas multivariantes de forma síncrona, clasificando secuencias en grupos de síntomas asociados a enfermedades. Esto permite realizar diagnósticos diferenciales.

2.3.5 Depuración del modelo

Para mejorar la performance del modelo, se implementaron técnicas de regularización como dropout y early stopping para prevenir sobreajuste a los datos.

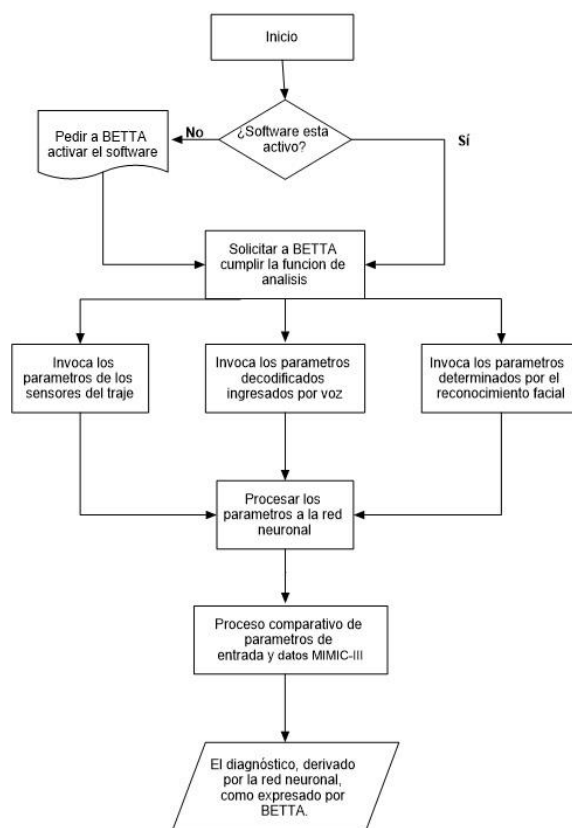


Figura 4: Diagrama de flujo del software general

2.4 Asistencia personalizada

Se programó un asistente virtual que recibe las alertas del modelo de IA. Este proporciona recomendaciones médicas contextualizadas al astronauta a través de mensajes de voz y una interfaz amigable. El asistente virtual BETTA se erige como un elemento de vital importancia en la

captura de datos y en la elucidación de los resultados engendrados por el software. También emana recomendaciones acerca de los cursos de acción a emprender para afrontar la coyuntura en cuestión. Añadido a ello, el asistente podría ser capaz de formular predicciones respecto al estado futuro del astronauta.

3. Resultados

A nivel de diseño mecánico, se han generado representaciones gráficas en 2D del traje espacial inteligente y su instrumentación con sensores (ver figura 5 y figura 6). En estas representaciones se ha logrado establecer precisamente en qué capas del traje se ubicaría cada sensor, definiendo la capa interna, media y externa. Asimismo, se ha determinado la ubicación del módulo electrónico principal en la mochila de soporte, el cual contiene un microcontrolador ESP32 para adquisición de datos, memoria adicional SD, módulo Bluetooth BLE, antena Wifi y transmisor Bluetooth.

Este módulo principal ha sido diseñado conceptualmente como un sistema embebido completo creado desde cero, el cual adoptaría una caja hermética de polietileno reticulado para residir de forma autónoma en la mochila. Si bien aún solo se han generado representaciones en 2D, éstas permiten validar la factibilidad y complejidad del diseño propuesto a nivel electrónico y de software, al precisar los componentes clave que conformarían el robusto módulo de adquisición y comunicaciones. Esto sentaría las bases del prometedor sistema de monitoreo que se busca desarrollar. Las próximas etapas consistirían en su materialización y pruebas funcionales.

En el ámbito del software, se ha programado un prototipo funcional en Python para la adquisición y procesamiento de datos fisiológicos simulados. Sin embargo, esto aún requiere ser validado con datos reales en el espacio. Por otra parte, se ha completado con éxito el entrenamiento de un modelo de inteligencia artificial para la detección de posibles enfermedades a partir de parámetros biológicos. No obstante, su precisión diagnosticada no ha podido ser cuantificada experimentalmente.

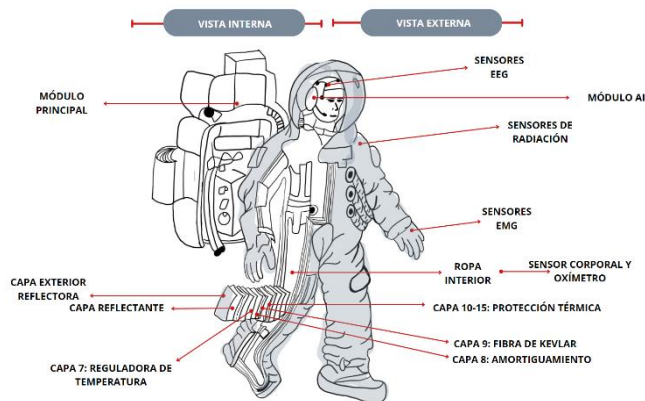


Figura 5: Diseño completo del traje inteligente, las flechas señalan las ubicaciones ideales (capas externas e internas) de los sensores para su correcto monitoreo bio sensorial.

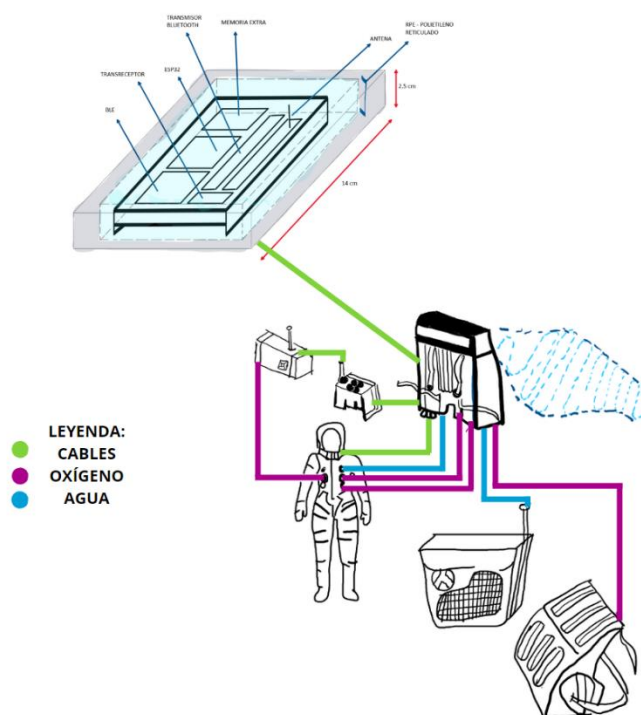


Figura 6: Diseño ampliado del módulo principal y las conexiones por cables de comunicaciones, oxígeno y agua. Se muestran que el Módulo Principal se ubica directamente en la parte superior izquierda de la mochila de soporte vital, ubicación ideal por temperaturas ideales para evitar la reducción de la vida útil del sistema.

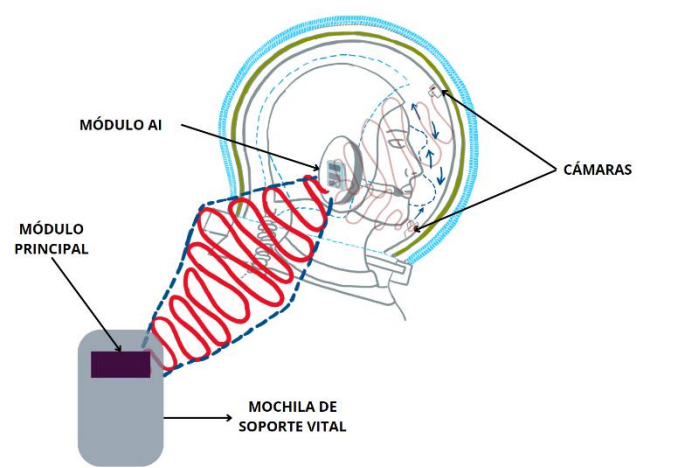


Figura 7: Transmisión de las señales de los bio – sensores hacia el Módulo AI para la salida de voz del asistente BETTA.

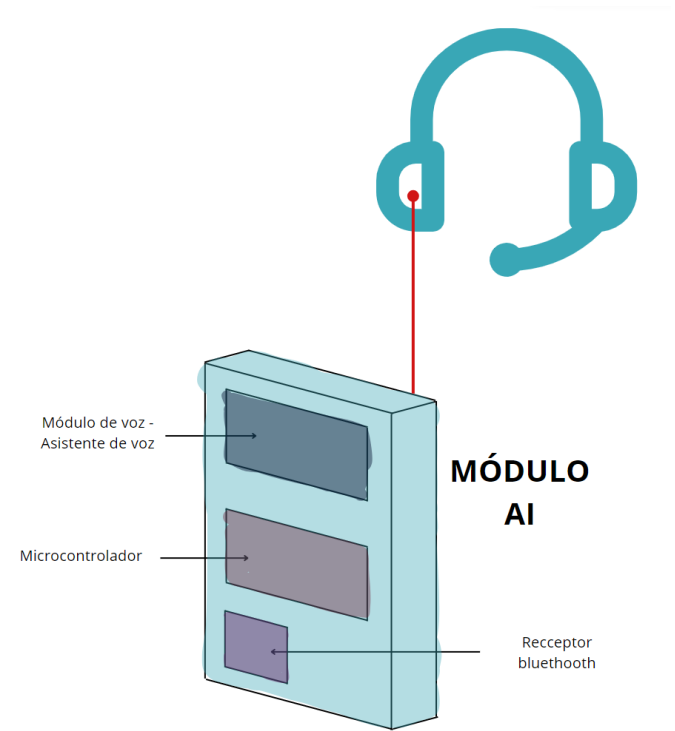


Figura 8: Se muestra la ubicación del Módulo AI, específicamente dentro de los cascos de comunicación del astronauta.

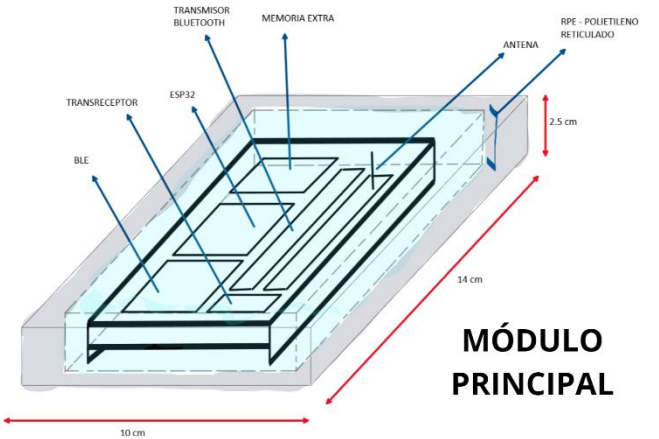


Figura 9: Se muestran las partes esenciales del sistema embebido que permitirán que el asistente de voz BETTA interactúe con el astronauta

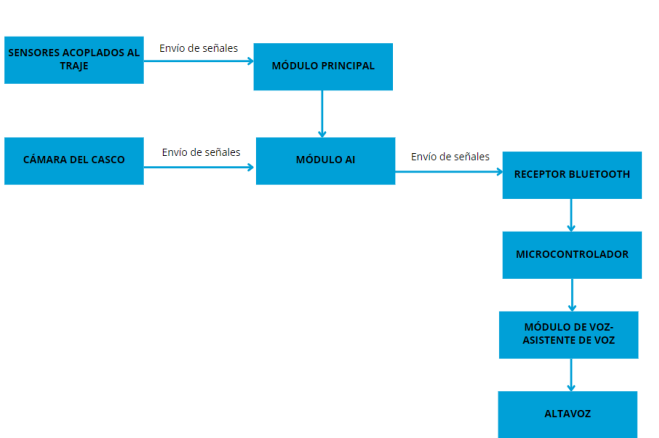


Figura 10: Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema tecnológico. Los sensores ubicados estratégicamente en el traje envían las señales hacia el Módulo principal, donde se procesa la información, se almacena y se transmite hacia el Módulo AI, que a su vez se encarga de la recolección de las tomas reconstruidas del rostro del astronauta. El Módulo AI finalmente, el asistente de voz se encarga de comunicar al astronauta los resultados obtenidos y procesados.

A nivel del ámbito del software, se vislumbran los primeros avances en el campo del reconocimiento facial, cuyo propósito radica en la meticulosa medición de parámetros faciales y la detección de factores atípicos, con el objetivo último de almacenar dichos parámetros en la base de datos para su posterior evaluación mediante la red neuronal.

Es posible advertir los primeros resultados en relación al asistente de voz BETTA, el cual

establece una interacción con el usuario, permitiéndole expresar los síntomas que experimenta en ese preciso instante. De esta manera, el software BETTA es capaz de recopilar dichos síntomas y almacenarlos en una base de datos para su posterior análisis y procesamiento.

4. Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo principal diseñar un innovador sistema de monitoreo fisiológico para astronautas mediante la integración de sensores en un traje espacial inteligente. En términos del diseño mecánico propuesto, puede concluirse que la división en capas modular y la distribución flexible de componentes sentaron sólidas bases para garantizar la instrumentación no invasiva y el confort duradero que requiere este tipo de equipamiento.

En el plano electrónico, el desarrollo conceptual del robusto y autónomo módulo central de adquisición de datos allana el camino hacia la viabilidad de la arquitectura de comunicaciones inalámbricas propuesta.

Desde lo metodológico, la aplicación de técnicas de modelado 3D y simulación por computadora permitieron validar aspectos funcionales clave y optimizar parámetros antes de la implementación. En cuanto al software, el código desarrollado demostró el potencial del enfoque multimodal planteado para la detección temprana de alteraciones a la salud. No obstante, requiere ser sometido a rigurosas pruebas con datos reales. Pese a que los resultados están limitados al ámbito conceptual, estos aportan valiosos insumos que optimizan la factibilidad y diseño del sistema. Lo desarrollado sienta bases sólidas para que el monitoreo fisiológico avance hacia nuevos horizontes que garanticen la seguridad del ser humano en entornos hostiles como el espacio.

Agradecimientos

Agradecemos a la UNMSM por su valioso apoyo en la formación académica que hizo posible este estudio. Asimismo, damos gracias a Dios y a nuestros padres por su constante motivación y orientación.

Referencias

- [1] Roslee, M. F. (2021). Review of medical capabilities requirements for manned missions on lunar and Martian surfaces base activities. REACH, 23-24, 100042.
- [2] Di Rienzo, M., & Piccirillo, S. G. M. (2021). Wearables for life in space. En Elsevier eBooks (pp. 463-486).
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Martin, A. S., & Freeland, S. (2021). The advent of artificial intelligence in space activities: new legal challenges. Space Policy, 55, 101408.
- [9] Shaik, T., Tao, X., Li, L., Xie, H., & Velásquez, J. D. (2024). A survey of Multimodal Information Fusion for Smart Healthcare: Mapping the journey from Data to Wisdom. Information Fusion, 102, 102040.
- [10] 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.
- [11] 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.

- [12] 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.
- [13] Solís García, E. (2017). Utilización del programa Face2Gene en diferentes escenarios clínicos.
- [14] Corpas Novo, J. A. (2019). Aceleración y optimización del consumo energético de clasificadores en cascada para la detección de rostros sobre arquitecturas asimétricas.
- [15] Hernández, R. (2016). Sistema de control activado por voz para uso en domótica.
- [16] Montaña Moreno, J. J. (2002). Redes neuronales artificiales aplicadas al análisis de datos (Doctoral dissertation, Universitat de les Illes Balears).
- [17] 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.
- [18] Amat Rodrigo, J. (2021). *cienciadedatos.net* (1.0.0). Zenodo.