



Diseño e implementación de un sistema Mocap para prótesis robóticas en caninos con discapacidad motora ubicados en Pamplona

- Edwin Leal Carvajal, Juan Andrés Rojas Torres -



XVII Congreso Internacional de tecnologías de avanzada

Resumen

En Pamplona, Norte de Santander, se ha evidenciado un aumento de perros con discapacidad motora por accidentes, enfermedades o maltrato. Las prótesis convencionales resultan ineficaces y costosas. Por ello, se propone diseñar e implementar un sistema de captura de movimiento (Mocap) para desarrollar prótesis robóticas personalizadas y funcionales mediante robótica blanda y manufactura aditiva. El proyecto busca mejorar la movilidad e integración biológica de los caninos, promoviendo soluciones éticas, accesibles e innovadoras desde la Universidad de Pamplona..

Introducción

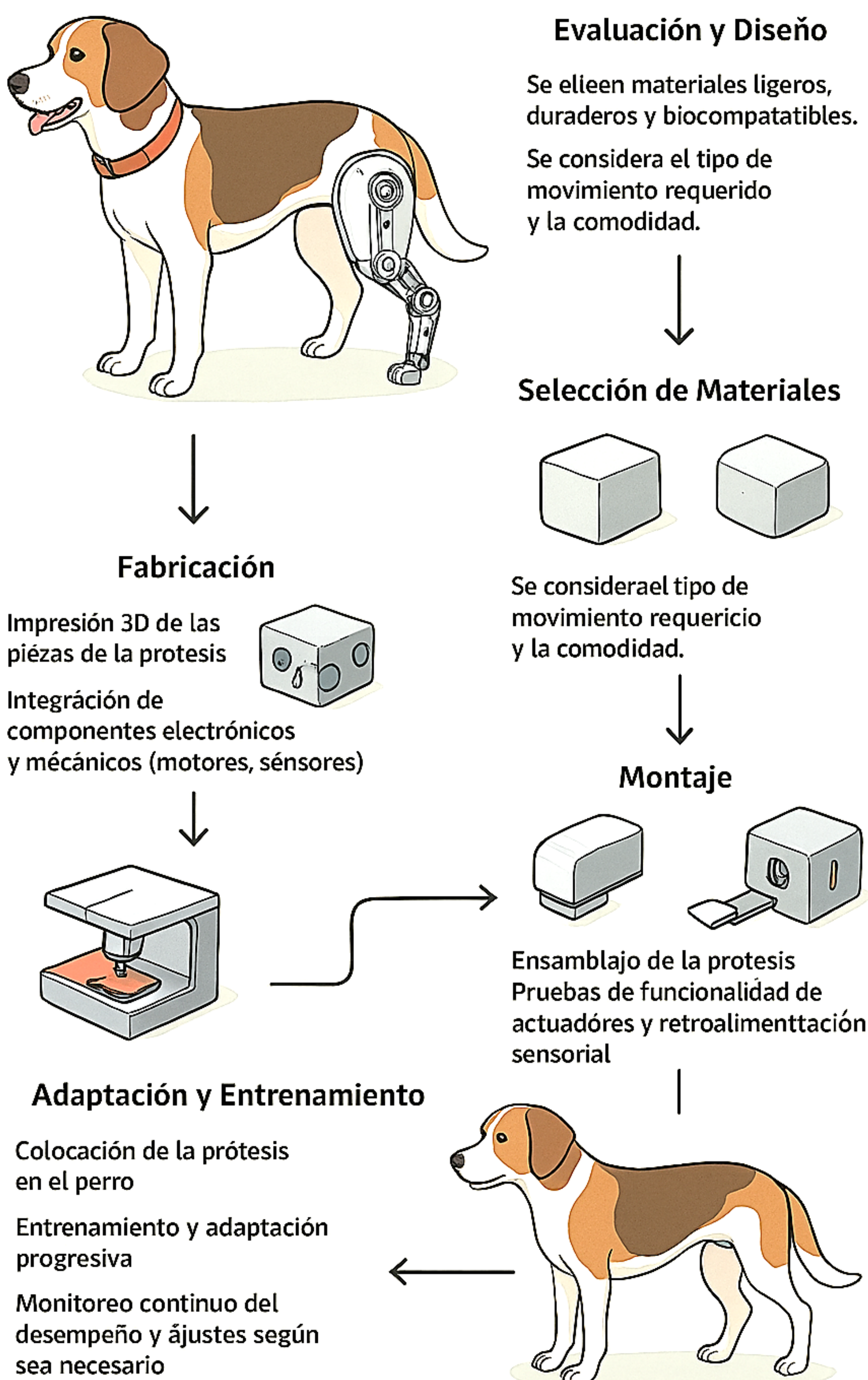
Los animales domésticos que presentan movilidad reducida enfrentan dificultades debido a prótesis convencionales que son rígidas, pesadas y poco adaptables. Ante esta problemática, la robótica y la bioingeniería ofrecen una solución innovadora mediante el uso de sistemas de captura de movimiento (Mocap), sensores y algoritmos de control, permitiendo desarrollar prótesis inteligentes que se ajusten mejor a los movimientos naturales, sean más accesibles y mejoren la calidad de vida de los animales. Este enfoque también promueve la colaboración veterinaria y el respeto por los principios éticos en la investigación.

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de captura de movimiento (Mocap) orientado al desarrollo de prótesis robóticas personalizadas para caninos con discapacidad motora en el municipio de Pamplona, con el fin de mejorar su movilidad, adaptación biológica y calidad de vida mediante soluciones tecnológicas accesibles y funcionales.

Metodología

METODOLOGÍA PARA PRÓTESIS ROBÓTICAS EN PERROS



Marco teórico



Robótica blanda y bioinspirada

Permite diseñar prótesis flexibles y adaptables, que imitan el movimiento natural mediante el uso de materiales blandos y estructuras inspiradas en organismos vivos (Zhu et al., 2024).



Captura de movimiento (MoCap)

Técnica que registra el movimiento de seres vivos con sensores u óptica, clave en biomecánica para aplicar patrones locomotores al diseño de prótesis (Ding et al., 2022).



Aprendizaje por refuerzo

Rama de la IA que entrena sistemas para adaptarse dinámicamente a su entorno. En prótesis robóticas, mejora su desempeño según las necesidades del animal (López et al., 2023).



Biomecánica animal

Estudia el sistema musculoesquelético de los animales, aportando información esencial para diseñar dispositivos que respeten la dinámica corporal natural.



Ética en investigación animal

Todo el proceso se guía por principios éticos, asegurando el bienestar animal mediante criterios de necesidad, proporcionalidad y minimización del daño.

Resultados

Se espera obtener registros detallados de los patrones de movimiento de caninos con discapacidad motora mediante el sistema Mocap, lo que permitirá diseñar prótesis robóticas personalizadas que imiten su biomecánica natural.

Se prevé la creación de prototipos de prótesis inteligentes que integre sensores y mecanismos de ajuste dinámico, mejorando de manera significativa la movilidad y calidad de vida de los animales.



Conclusiones

El proyecto expone la viabilidad de usar captura de movimiento, robótica blanda y aprendizaje por refuerzo para crear prótesis personalizadas para la rehabilitación canina. El sistema Mocap permitió obtener patrones de movimiento precisos para un diseño adaptado y cómodo. El diseño bioinspirado y la manufactura aditiva (impresión 3D) facilitaron la creación de prototipos accesibles y personalizados, reduciendo costos. La ética en la investigación animal y la colaboración interdisciplinaria fueron cruciales. Los resultados significan un avance en biomecánica animal e ingeniería de rehabilitación veterinaria, ofreciendo una solución innovadora para mejorar la calidad de vida de caninos con discapacidad motora.

Referencias

- Ding, R., Wu, J., Zhang, Y., & Chen, W. (2022). *Generative deep learning applied to biomechanics: A novel augmentation technique for motion capture datasets*. Journal of Biomechanics. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111301>
- Zhu, K., Chen, T., & Wang, Y. (2024). *Bio-inspired autonomy in soft robots*. Communications Materials. <https://doi.org/10.1038/s43246-024-00637-7>
- López, G., Ramírez, C., & Torres, F. (2023). *4D Printing of sustainable robotic joints with variable stiffness through reinforcement learning*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2023.102636>
- Karanikolas, A., et al. (2022). *Hereditary myelopathies in dogs*. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. <https://doi.org/10.12681/jhvms.26740>
- Rasouli, M.R., et al. (2023). *Computer-assisted robotic system for autonomous unicompartmental knee arthroplasty*. Alexandria Engineering Journal. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.03.005>

TITULO: MODELADO DE UN REACTOR ANAERÓBICO TIPO CSTR PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS UTILIZANDO RED NEURONAL ARTIFICIAL

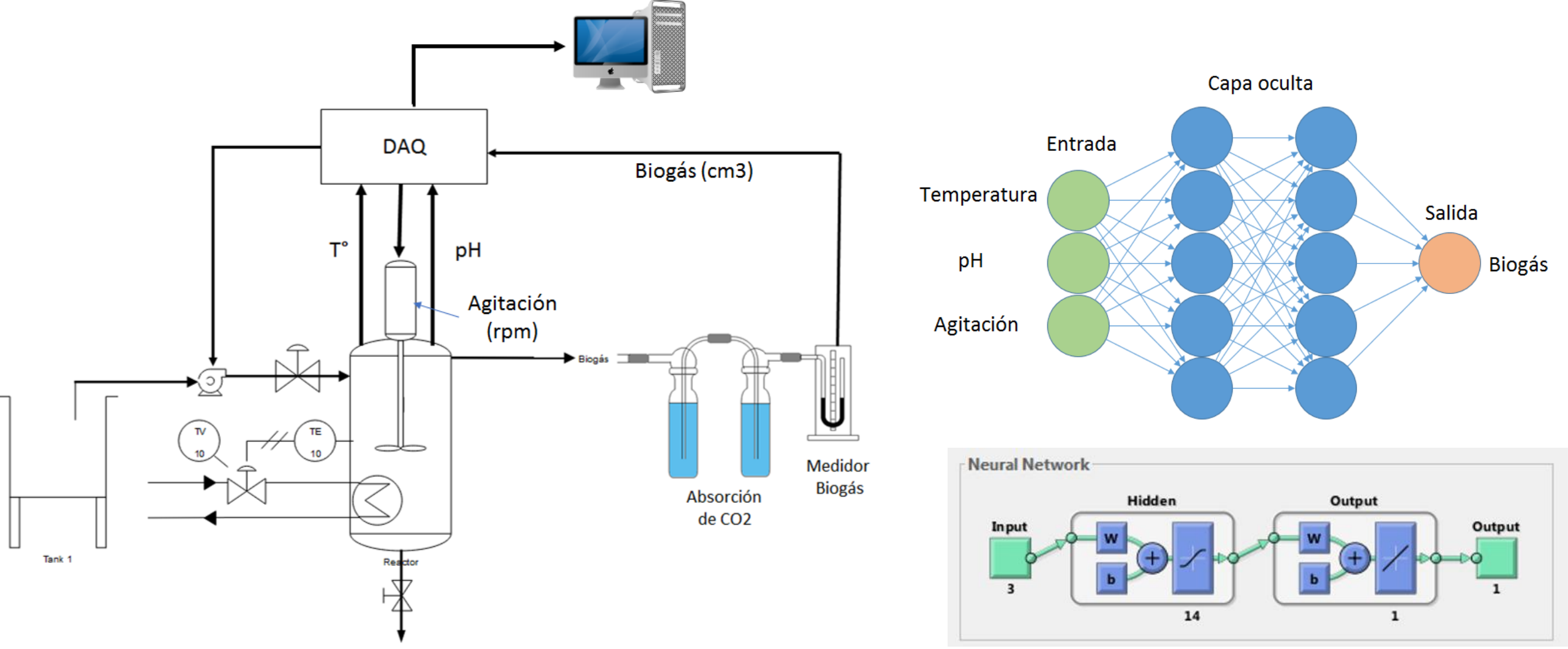
Ponentes: PhD (c). Carlos Arturo Vides Herrera, Universidad de Pamplona
PhD. Aldalberto José Ospino Castro, universidad de la Costa
PhD. Aldo Pardo García, Universidad de Pamplona

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la obtención del modelo matemático de un reactor anaeróbico tipo tanque agitado, utilizando una red neuronal artificial programada en Simulink de Matlab. Para la obtención del modelo se utilizan tres variables que son: La temperatura, Velocidad de agitación y el pH. Los datos requeridos para la obtención del modelo son tomados de forma experimental. Se obtiene una ecuación polinómica que representa el modelo matemático que relaciona la producción de biogás respecto a los cambios de las variables que afectan su producción. La evaluación del modelo se realiza comparando el error cuadrático medio (MSE), R2, Error absoluto medio (MAE), y variando el numero de capas ocultas hasta obtener la red neuronal artificial que resulte con mejor rendimiento.

METODOLOGÍA

Para este trabajo de investigación y desarrollo se utiliza una combinación de metodología mixta y experimental. primero se ha una investigación del estado del arte con el fin de establecer el contexto y la actualidad del tema. Como segundo paso se realiza un análisis de los avances cualitativos en el área de investigación, por medio del análisis de datos establecidos en los trabajos más relevantes encontrados en bases de datos científicas y tesis de grado. El tercer paso es la realización de la ingeniería básica, realización de diseños y por ultimo la implementación y las pruebas respectivas del prototipo en el sitio, el cual se estableció en la ciudad de pamplona. Para garantizar la autonomía del sistema, se incorporó un sistema de respaldo energético compuesto por una batería recargable alimentada por paneles solares, permitiendo así su funcionamiento en ubicaciones sin acceso a la red eléctrica.



REFERENCIAS

Lok, Xiwen, Yi Jing, and Dominic C. Y. Foo. 2020. "Journal of Water Process Engineering Simulation and Optimisation of Full-Scale Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment Plant with Biogas Production." Journal of Water Process Engineering 38(July):101558.

O'Connor, S., E. Ehimen, S. C. Pillai, A. Black, D. Tormey, and J. Bartlett. 2021. "Biogas Production from Small-Scale Anaerobic Digestion Plants on European Farms." Renewable and Sustainable Energy Reviews 139(September 2019):110580.

Dong, Gaifang, William W. Guo, and Kevin Tickle. 2012. "Solving the Traveling Salesman Problem Using Cooperative Genetic Ant Systems." Expert Systems with Applications 39(5):5006–11.

Mohd Najib, N.A., Sethu, V., Arumugasamy, S.K. et al. Artificial Neural Network (ANN) Modelling of Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment with Natural Bio-coagulants. Environ. Process. 7, 509–535 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00431-v>

Mothe, S., Muramreddy Jugal, S., Rao, P. V., & Sridhar, P. (2024). Rice straw anaerobic co-digestion: Comparing various pre-treatment techniques to enhance biogas production. Bioresource Technology Reports, 25(November 2023), 101788. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101788>

Nair, V. V., Dhar, H., Kumar, S., Thalla, A. K., Mukherjee, S., & Wong, J. W. (2016). Artificial neural network based modeling to evaluate methane yield from biogas in a laboratory-scale anaerobic bioreactor. Bioresource technology, 217, 90-99.

MARCO TEÓRICO

La Red Neuronal Artificial (RNA) es un modelo operativo no lineal, no limitado, altamente adaptable y tolerante a fallos basado en la red neuronal de un cerebro humano desde la perspectiva del procesamiento de la información (Guo et al., 2021). En las redes neuronales, la neurona es un atributo de procesamiento que tiene numerosas entradas y una salida (Mohd et al., 2020). A partir de n entradas, cada neurona k obtiene un vector de señal de entrada $X = x_1, x_2, \dots, x_n$. Luego, la suma de x se determina multiplicando cada elemento de entrada x_m por un coeficiente w_{km} lo que demuestra la importancia de los elementos de entrada. Además, cuando todos los valores del vector de entrada X son equivalentes a 0, un término correctivo constante (b_k) permite una activación no negativa un k . La activación de la neurona ak viene dada por la Ec. (1). Finalmente, el valor de la señal de salida de la neurona sk se determina como una función de activación, denominada función de transferencia $f(ak)$ (Nair et al., 2016).

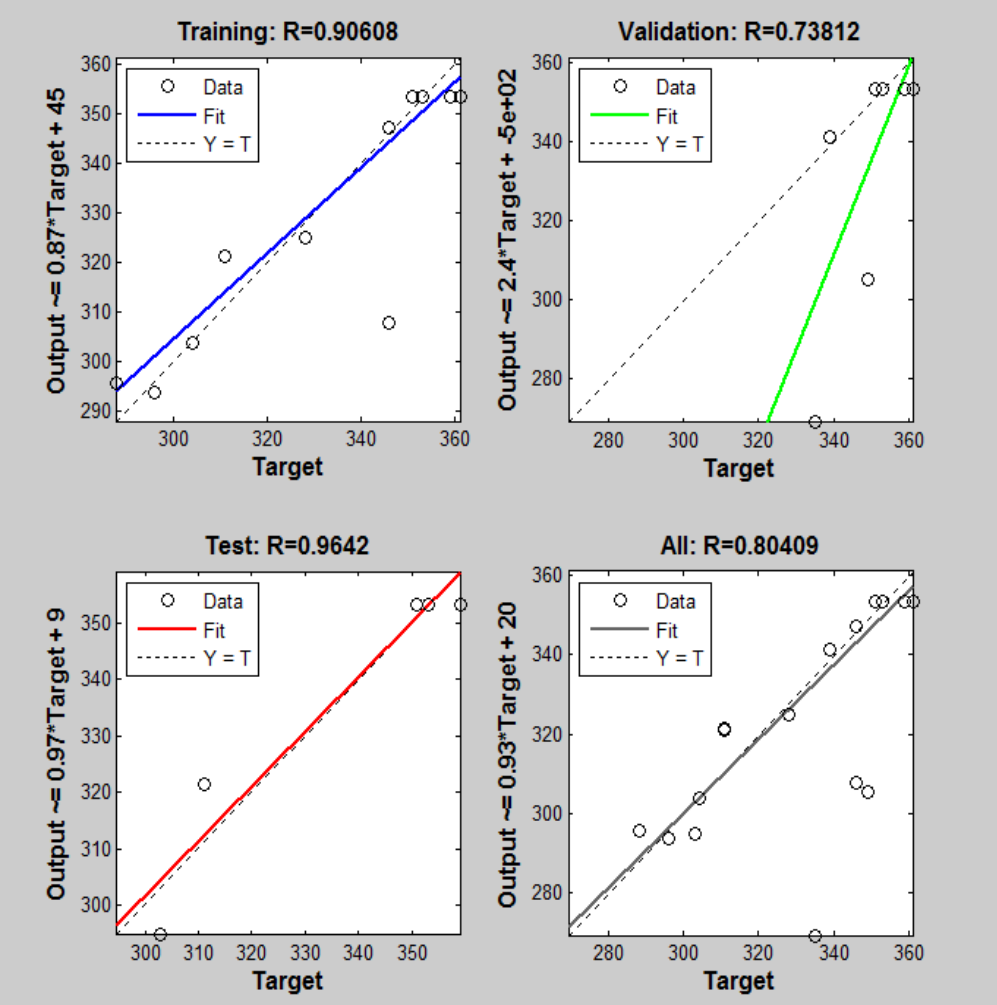
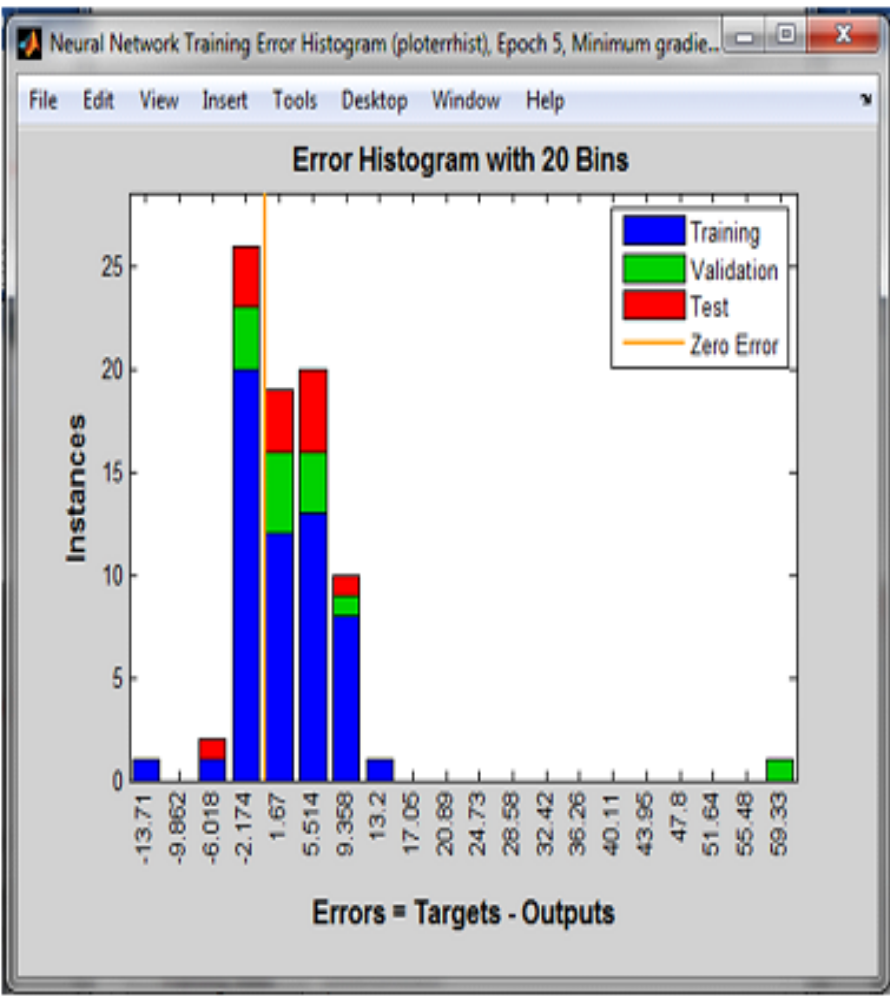
RESULTADOS

Como resultado de este trabajo de investigación y desarrollo se obtuvo un modelo para un reactor anaeróbico de tipo CSTR por medio de la programación de una red neuronal artificial, el cual fue evaluada a través de el error y el rendimiento comparado con diferentes números de neuronas en la capa oculta. Los datos utilizados en el entrenamiento de la red neuronal fueron tomados de forma experimental por un periodo de 30 días variando las variables de operación del reactor que fueron la temperatura, el pH y la agitación del lodo.

$$a_k = \sum_{m=1}^n w_{km} * x_m + b_k$$

Tabla 1. Características de la red neuronal implementada

Parámetro	Valor
Tipo de red neuronal	FFN
Numero de neuronas en la capa de entrada	3
Numero de neuronas en la capa oculta	14
Numero de neuronas en la capa de salida	1
Tipo de función de transferencia	Tangent Sigmoid
Función de entrenamiento	Training Levenberg-Marquardt
función de rendimiento	MSE
Ciclos de aprendizaje (Épocas)	3



$$Output_k = \sum_{j=1}^J \left[LW_{k,j} \left(\frac{2}{1 + \exp(-2(\sum_{i=1}^I (IW_{j,i} X_i) + b_{1j}))} - 1 \right) \right] + b_{2k}$$

CONCLUSIONES

La correcta distribución de los datos en fases de entrenamiento, validación y prueba es clave para evitar el sobreajuste y lograr que la red neuronal generalice adecuadamente. El entrenamiento del modelo exigió un ajuste preciso de parámetros críticos, como el número de neuronas ocultas y el tipo de algoritmo, mediante pruebas iterativas que permitieron identificar la configuración óptima según indicadores como el MSE y el coeficiente R². Finalmente, la normalización de los datos junto con el análisis de métricas estadísticas como MAE, RMSE, MSE y R² resultó indispensable para validar la precisión del modelo y garantizar su efectividad en la predicción de variables en procesos como la digestión anaeróbica. El mejor modelo se obtuvo con resultados de 14 neuronas en la capa oculta, función de transferencia de tipo Tangent Sigmoid y tres épocas. Se escogió el modelo de 14 neuronas porque obtuvo una correlación de 0.941 y un MSE de 0.235, siendo estos los de mejor respuesta.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA ACOPLADA A UN SISTEMA DE DESORCIÓN TÉRMICA PARA EL ANÁLISIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

PhD(C). Juan Martín Cáceres, PhD. Cristhian Manuel Duran

RESUMEN

La detección de compuestos orgánicos volátiles (COVs) es fundamental en campos como el monitoreo ambiental, el control de calidad y la seguridad industrial. El análisis de COVs en matrices complejas exige tecnologías sensibles, selectivas y rápidas. Las narices electrónicas (e-noses), dispositivos que combinan sensores químicos con algoritmos de procesamiento de señales, ofrecen una alternativa eficiente y no invasiva frente a los métodos analíticos convencionales. No obstante, su eficacia puede verse limitada por la baja concentración de compuestos en las muestras. En este contexto, la desorción térmica (TD) se plantea como una técnica complementaria que permite preconcentrar y liberar COVs adsorbidos, mejorando la eficiencia en su captura y detección. Este trabajo presenta el diseño y los primeros resultados de un sistema híbrido e-nose + TD, orientado al análisis de mezclas de COVs en fase gaseosa.

METODOLOGÍA

El sistema desarrollado combina un módulo de desorción térmica (TD) con una nariz electrónica (e-nose) para la detección de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en fase gaseosa.

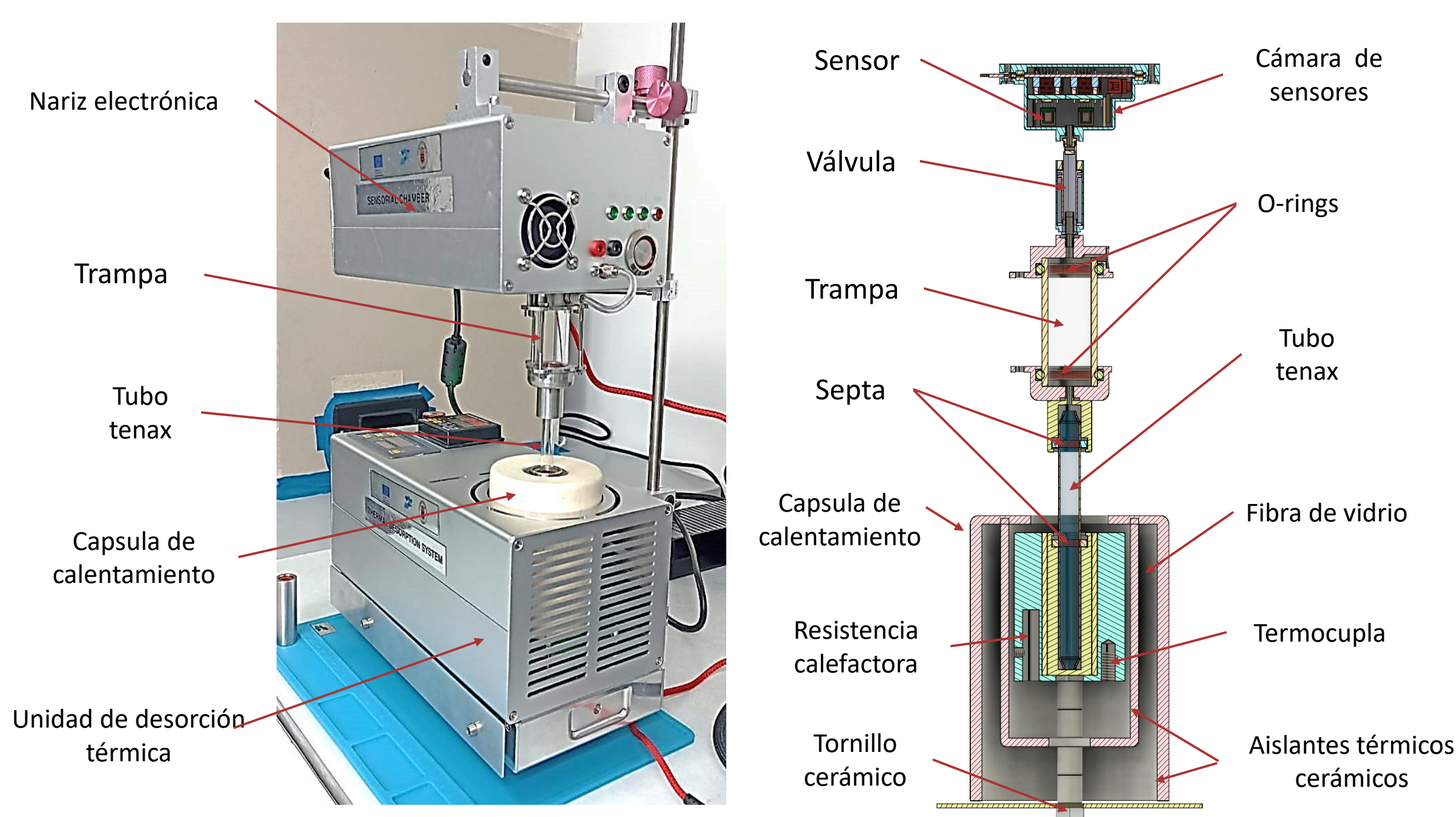


Figura 1A. Vista general del sistema desarrollado.

Figura 1B. Flujo desde el tubo de adsorción hasta la cámara sensorial.

Adquisición y análisis

Las señales eléctricas obtenidas son digitalizadas y tratadas con algoritmos de preprocesamiento (normalización, derivada).

Detección con sensores

En la cámara sensorial, un arreglo de sensores de polímeros (SWCNT) registra variaciones de conductancia en presencia de COVs, generando una huella electrónica característica.

Transferencia de COVs:

Los compuestos desorbidos son conducidos hacia la cámara sensorial mediante succión por vacío, asegurando una transferencia eficiente de los COVs.



Figura 2. Metodología para el análisis de muestras.

REFERENCIAS

El código QR a continuación corresponden a las referencias bibliográficas citadas en este póster. Para acceder a los artículos completos o más detalles, simplemente escanee el código QR con su teléfono móvil o dispositivo con lector de códigos QR.



SCAN ME

MARCO TEÓRICO

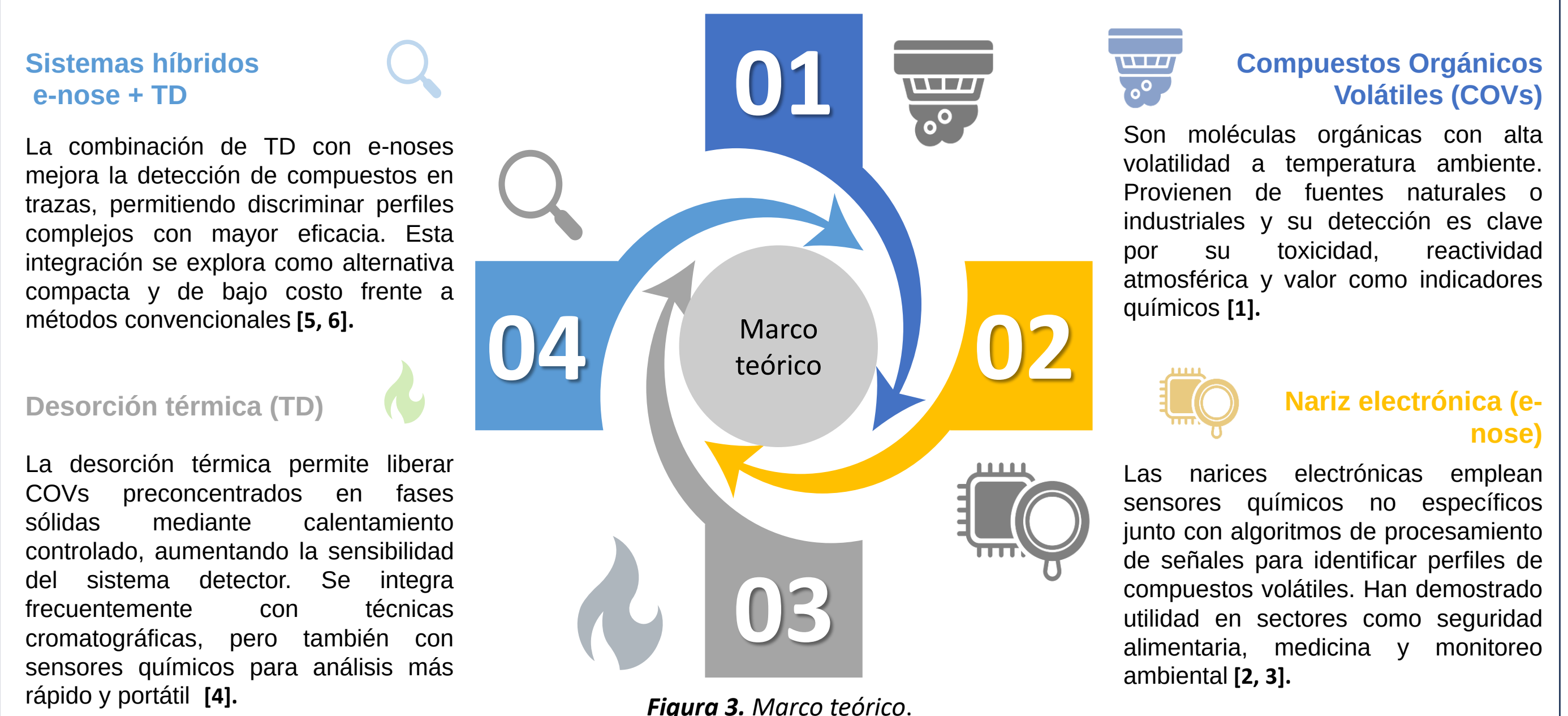


Figura 3. Marco teórico.

RESULTADOS

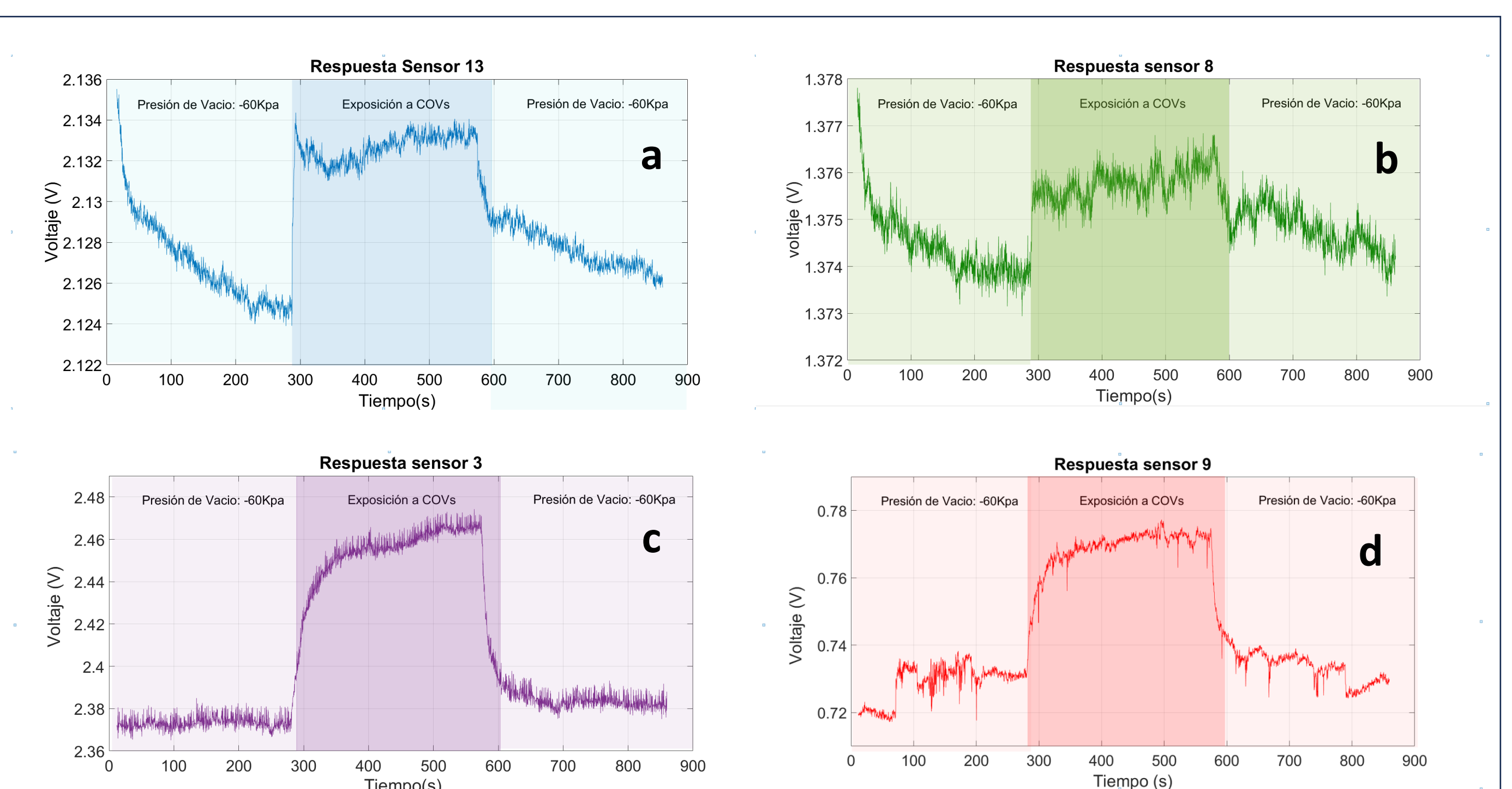


Figura 4. Respuesta eléctrica de los sensores. a) Sensor 13. b) Sensor 8. c) Sensor 3. d) Sensor 9.

Los sensores de polímeros conductores (SWCNT) del sistema e-nose mostraron respuestas diferenciadas frente a la exposición a COVs presentes en aire ambiente, evidenciando variaciones de voltaje durante la etapa de exposición (300–600 s). En todos los casos se observó un incremento sostenido de la señal al introducir la muestra, seguido de una recuperación parcial al aplicar vacío. Para establecer una línea base estable y favorecer la recuperación del sensor, se aplicó una presión de vacío de -60 kPa antes y después de la exposición. El sensor 3 (Fig. 4c) presentó la mayor variación de señal, lo que sugiere una mayor sensibilidad frente a los compuestos del aire ambiente, mientras que el sensor 13 (Fig. 4a) mostró una respuesta más estable y de menor magnitud. Estas diferencias reflejan la respuesta selectiva de cada sensor frente a la mezcla de COVs capturados.

CONCLUSIONES

- El sistema híbrido e-nose + desorción térmica permitió detectar compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en aire ambiente de forma rápida y reproducible.
- La respuesta eléctrica de los sensores evidenció cambios claros y consistentes frente a la exposición a COVs, confirmando tanto su capacidad de transducción como el correcto funcionamiento del sistema de desorción térmica integrado.
- La aplicación de vacío a -60 kPa fue efectiva para restablecer la línea base de los sensores y prevenir interferencias entre mediciones sucesivas.
- Este sistema tiene potencial para aplicaciones médicas, monitoreo ambiental, control de calidad y seguridad industrial. Su diseño modular facilita futuras mejoras en sensibilidad, selectividad y adaptabilidad a diversos entornos operativos.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

TÉCNICAS DE CONTROL CON EXOESQUELETOS DE ASISTENCIA

José Daniel Ramírez Corzo

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal desarrollar un exoesqueleto robótico para asistir en la movilidad de pacientes. Para ello, la investigación se estructura en tres fases: primero, el diseño y modelado del sistema mecánico, incluyendo las piezas estructurales, articulaciones y actuadores necesarios para su ensamblaje; luego, la implementación de un sistema de control que permita la calibración y sincronización de los movimientos del exoesqueleto con el paciente; y, finalmente, la evaluación del desempeño funcional mediante pruebas experimentales en condiciones controladas, con el fin de optimizar el sistema. Como resultado, se espera obtener un prototipo funcional que contribuya a mejorar la movilidad y reducir el esfuerzo muscular, validando su efectividad como herramienta de asistencia en procesos de rehabilitación.

MARCO TEÓRICO

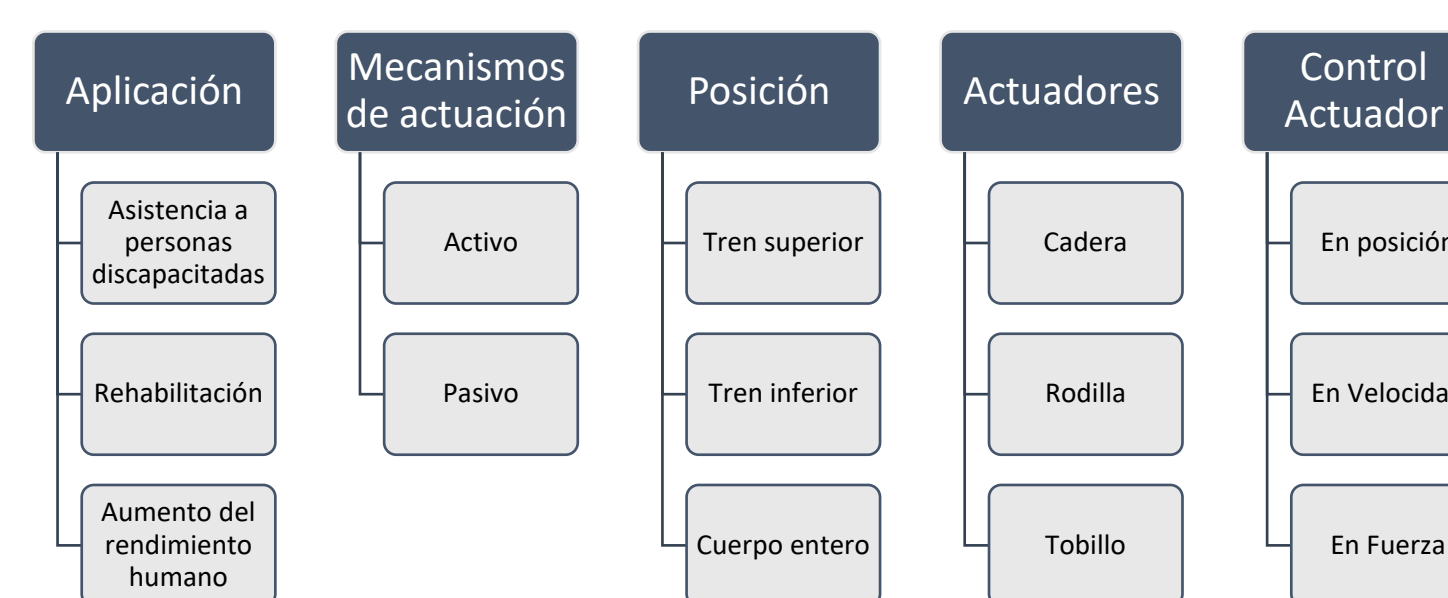


Figura 2. Generalidades de exoesqueletos[1] .

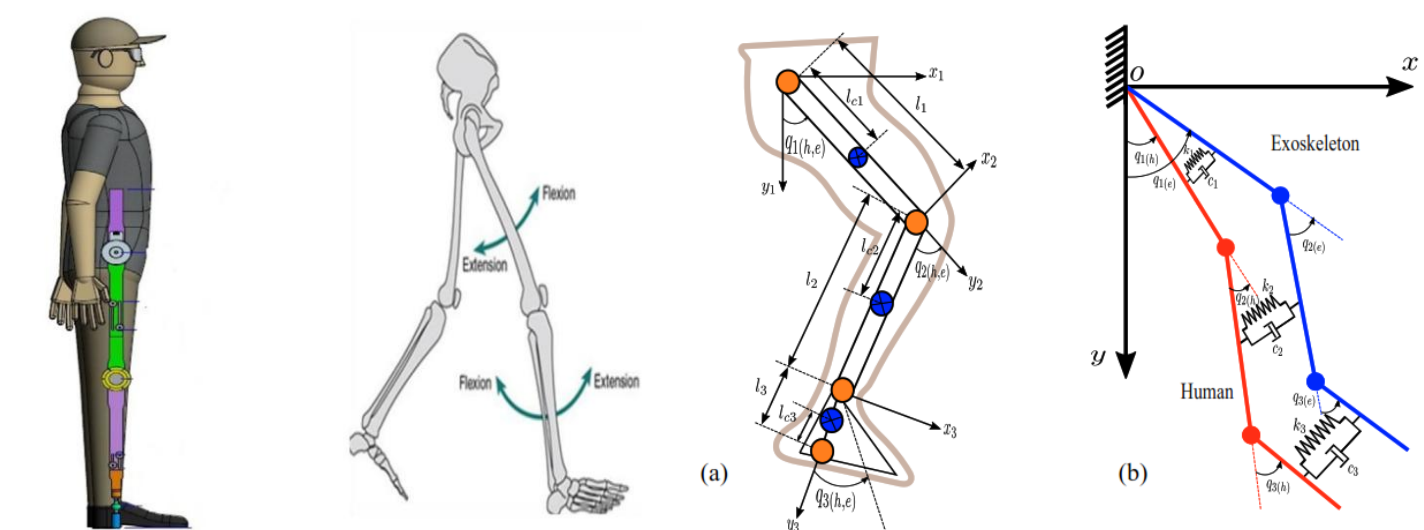


Figura 3. Exosqueleto Humano miembro inferior, dinámica de interacción [1].

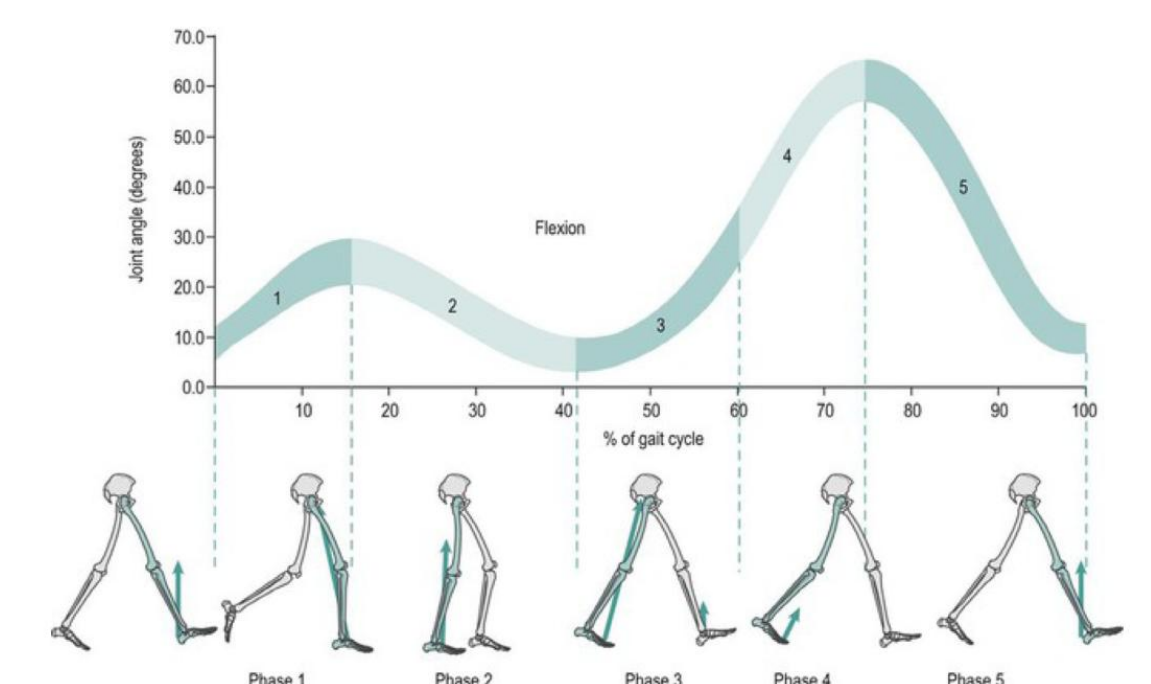


Figura 4. Movimiento de la rodilla a lo largo del ciclo de la marcha [1] .

METODOLOGÍA

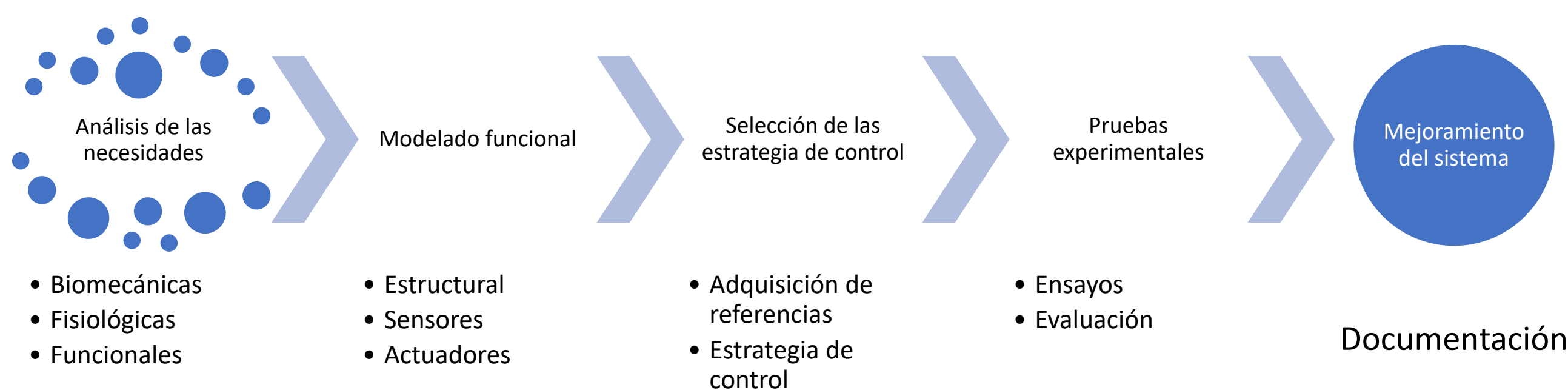


Figura 1. Diseño Metodológico

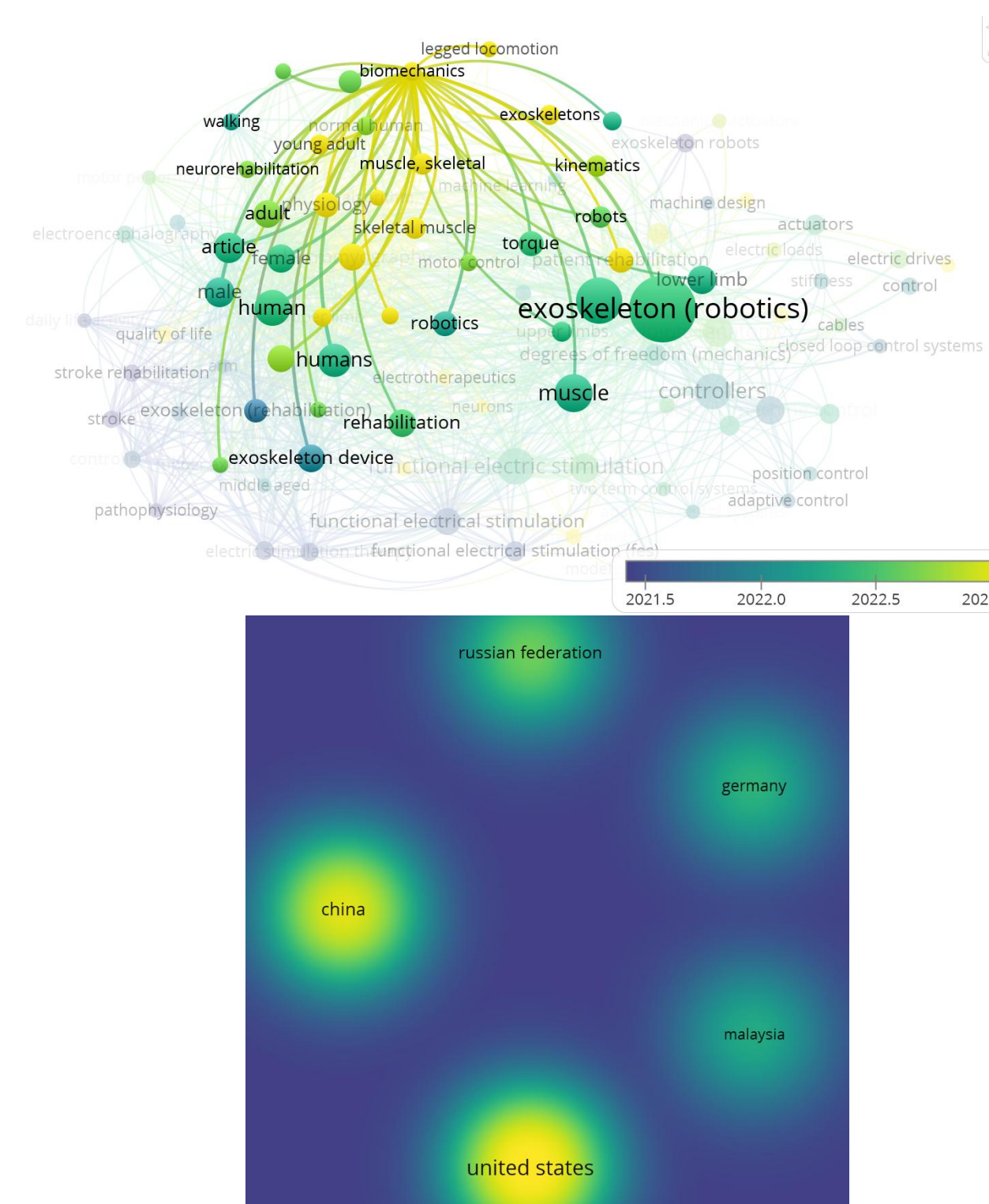


Figura 5. Análisis bibliométrico Scopus.



DETALLES	
Torque	35 – 45Nm
Comunicación	R5485
	CAN
Voltaje	12 – 60V
Tipo	Servo Motor
Contrucción	Imanes Permanentes
Resolución	18 bits

Figura 6. Actuador MG8010

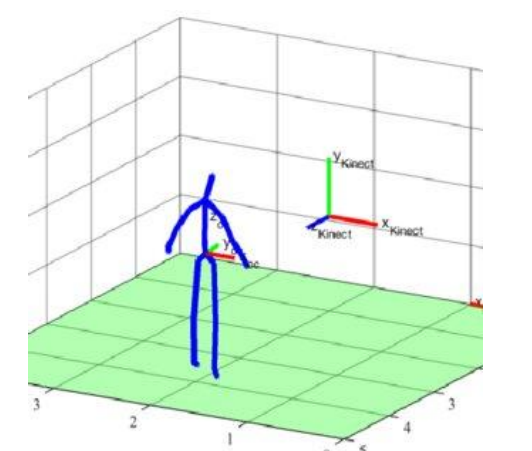
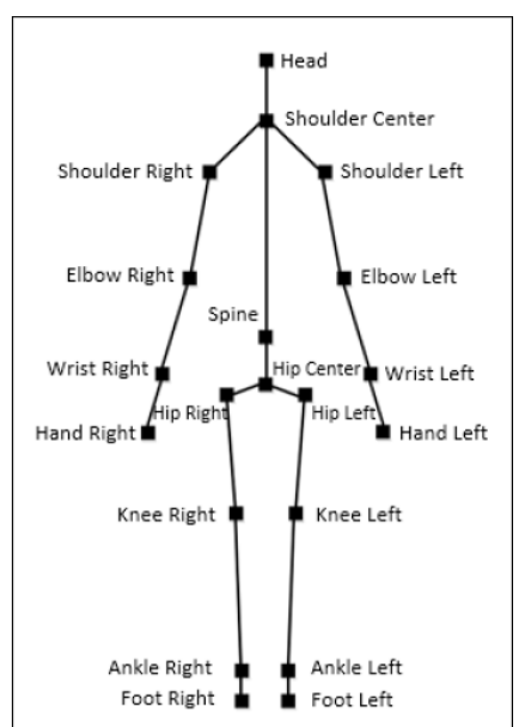


Figura 7. Esqueleto Kinect

REFERENCIAS

- [1] Cardona, M. A. Destarac y C. E. García «Exoskeleton robots for rehabilitation: State of the art and futures trends,» IEEE 37th Central America and Panama Conference (CONCAPAN XXXVII), nº DOI: 10.1109/CONCAPAN.2017.8278480, pp. 1 - 6, 2027.
- [2] Z. F. Lerner, D. L. Damiano y T. C. Bulea, «A lower-extremity exoskeleton improves knee extension in children with crouch gait from cerebral palsy,» Sci. Transl. Med., vol. 9, nº doi: 10.1126/scitranslmed.aam9145., p. 404, 2017.
- [3] Esquenazi y M. Talaty, «Powered exoskeletons for ambulation in children with motor impairments: A systematic review,» Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine, vol. 12(3), pp. 157-170, 2019.
- [4] E. Swinnen, J. P. Baeyens y J. Roosen, «The use of exoskeletons in children with cerebral palsy: A systematic review,» Developmental Medicine & Child Neurology, vol. 62, nº 1, pp. 5 - 32, 2020.
- [5] M. Molinari, J. C. Moreno, A. de los Reyes-Guzmán y J. L. Pons, «Upper limb exoskeletons for children with neurological disorders: A review,» Frontiers in Neuroscience, vol. 15, p. 634521, 2021.
- [6] J. Guidño-Lau, S. Rosales, J. Charre, M. Alcalá, Duran y D. Vélez-Díaz, «Diseño y construcción de un exoesqueleto para rehabilitación,» IKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan, vol. 13, pp. 1-10, 2019.
- [7] R. Duncan y R. A. Lobo, «Passive exoskeletons for rehabilitation and assistance A review,» Journal of Rehabilitation Research & Development, vol. 56, nº 5, pp. 419-436, 2019.
- [8] J. L. Contreras, H. Huang y F. Zhu, «Active exoskeletons for rehabilitation and assistance: A review of design, control, and clinical applications,» Annual Review of Biomedical Engineering, vol. 24, pp. 101-125, 2022.
- [9] P. Meyns, A. Van Campenhout y D. De Clercq, «Biomechanical effects of exoskeleton- assisted gait training in children with cerebral palsy. Gait & Posture,» vol. 82, pp. [1] 168-174, 2020.
- [10] Y. Chen, Y. Zhang y Y. Li, «The effects of exoskeleton-assisted walking on bone mineral density in children with cerebral palsy: A pilot study,» Journal of Pediatric Orthopaedics, vol. 42, nº 1, pp. e1-e7, 2022.
- [11] J. M. Hidler, J. R. Wisman, N. D. Neckel, M. A. Burt y S. A. Sisto, «The effects of powered exoskeleton training on gait and balance in individuals with incomplete spinal cord injury. Spinal Cord,» vol. 59, nº 1, pp. 102-109, 2021.
- [12] S. M. Jung, D. H. Kim, S. J. Park y S. M. Lee, «Effects of robot-assisted gait training on gait function in chronic stroke patients: a randomized controlled trial. Annals of [1] Rehabilitation Medicine,» vol. 46, nº 2, pp. 79-88, 2022.
- [13] J. Mehrholz, S. Thomas, C. Werner, N. Niederstrasser y M. Pohl, «Exoskeleton training for improving walking after stroke: a systematic review and meta-analysis,» Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, vol. 18, nº 1, pp. 1-16, 2021.
- [14] P. Sale, S. Mazzoleni, M. Franceschini y M. Agosti, «Personalized exoskeleton training for gait rehabilitation after stroke: a case series,» Frontiers in Neurology, vol. 14, nº 1123456, 2023.
- [15] J. Narayan, M. Abbas y S. K. Dwivedy, «Design and validation of a pediatric gait assistance exoskeleton system with fast non-singular terminal sliding mode controller,» Medical Engineering and Physics, vol. 123, nº 10.1016/j.medengphy.2023.104080, p. 104080, 2024.

CONCLUSIONES

Para esta investigación, el estudio del estado del arte en exoesqueletos robóticos revela un campo de investigación y desarrollo altamente dinámico, con importantes avances tecnológicos orientados a muchos ámbitos de acción. La exploración de los distintos tipos de exoesqueletos evidencia una clasificación funcional clara, que distingue entre exoesqueletos de rehabilitación, de asistencia, de entrenamiento y de aumento de fuerza. Cada uno de estos tipos presenta desafíos específicos en términos de diseño, funcionalidad, adaptabilidad y nivel de interacción con el usuario.

Se identificó que la implementación de sistemas de control robustos y adaptativos. Muestra una evolución constante desde sistemas de control clásico, como el control proporcional-integral-derivativo (PID), hacia técnicas más avanzadas que incorporan control adaptativo, control por impedancia, control por admisión, control basado en modelos dinámicos e incluso inteligencia artificial y el uso de sensores electromiográficos. Estos sistemas de control permiten una interacción más natural entre el usuario y el exoesqueleto.

La elección del tipo de actuador es fundamental para el rendimiento del exoesqueleto. Los actuadores eléctricos son los más usados por su precisión y portabilidad, aunque también se emplean hidráulicos y neumáticos en aplicaciones que requieren más fuerza. Además, se están explorando actuadores blandos e híbridos para mejorar la ergonomía y la interacción con el cuerpo humano.

En conjunto, el análisis del estado del arte confirma que el desarrollo de exoesqueletos robóticos es un proceso altamente interdisciplinario, que integra conocimientos en robótica, biomecánica, neurociencia, control automático y diseño mecánico. No obstante, ofrece una visión particularmente clara sobre el diseño de sistemas de control aplicados a los actuadores, resaltando su papel fundamental en el rendimiento, la eficiencia y la interacción del exoesqueleto con el usuario.



Radiotecnia con satélites de órbita baja para radioaficionados validando QSO en el semillero de investigación RadioNew

Esneider Castiblanco Colmenares
José del Carmen Peña Fernández



XVII Congreso Internacional de tecnologías de avanzada

Resumen

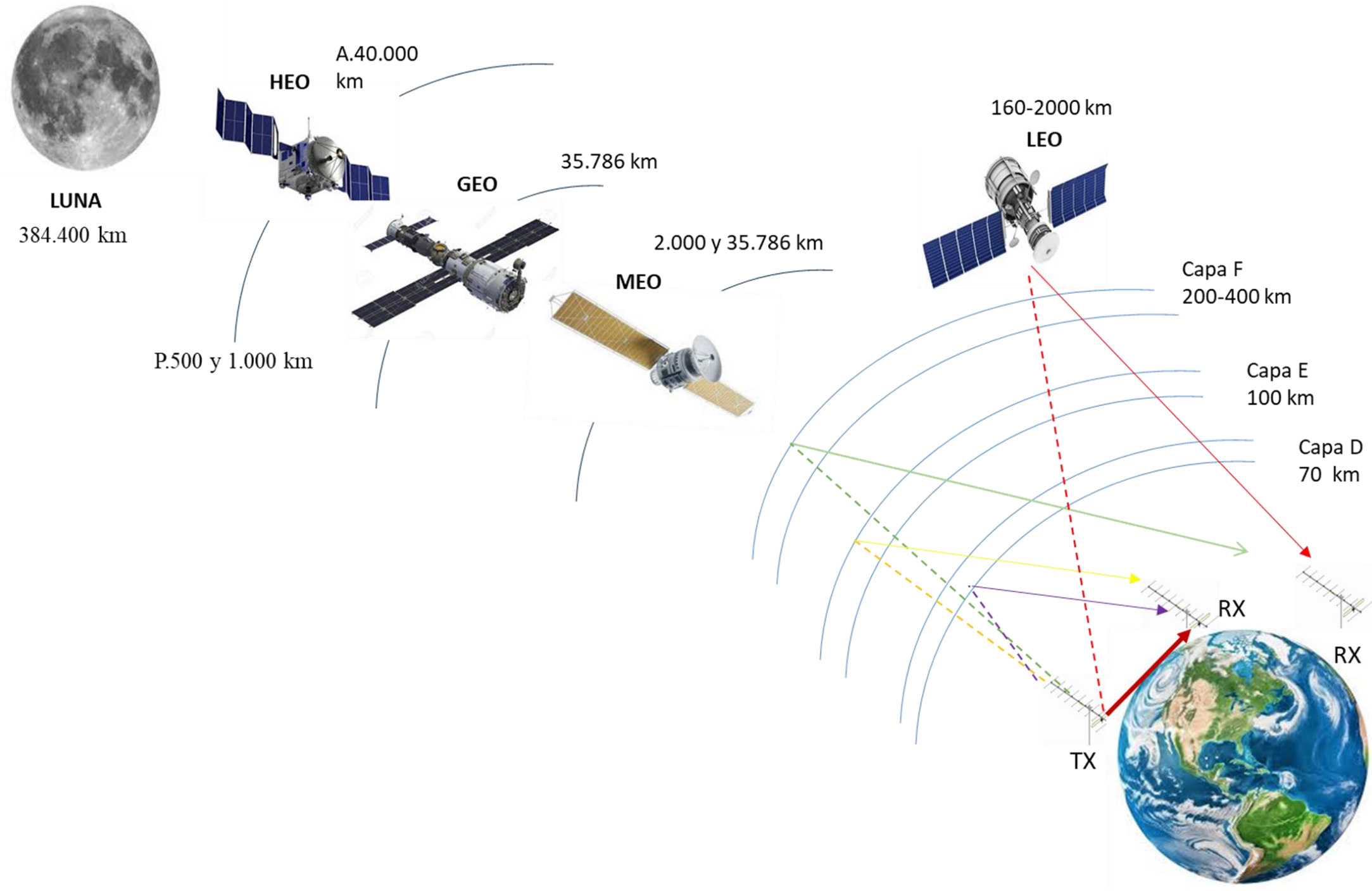
Se propone desarrollar e implementar un sistema de comunicación satelital bidireccional, utilizando satélites artificiales de orbita baja como repetidores. Este proceso inicia con el diseño del sistema, que abarca la selección de frecuencias de operación, el diseño de antenas adecuadas para los enlaces con los satélites. Además, se configura el equipo de comunicaciones necesario de hardware y software, empleando tecnología como la radio definida por software (SDR) y equipos específicos para la transmisión y recepción de señales. Para validar el sistema, se llevan a cabo pruebas que evalúan la eficiencia del enlace de comunicación en diversas condiciones atmosféricas y operativas.

Introducción

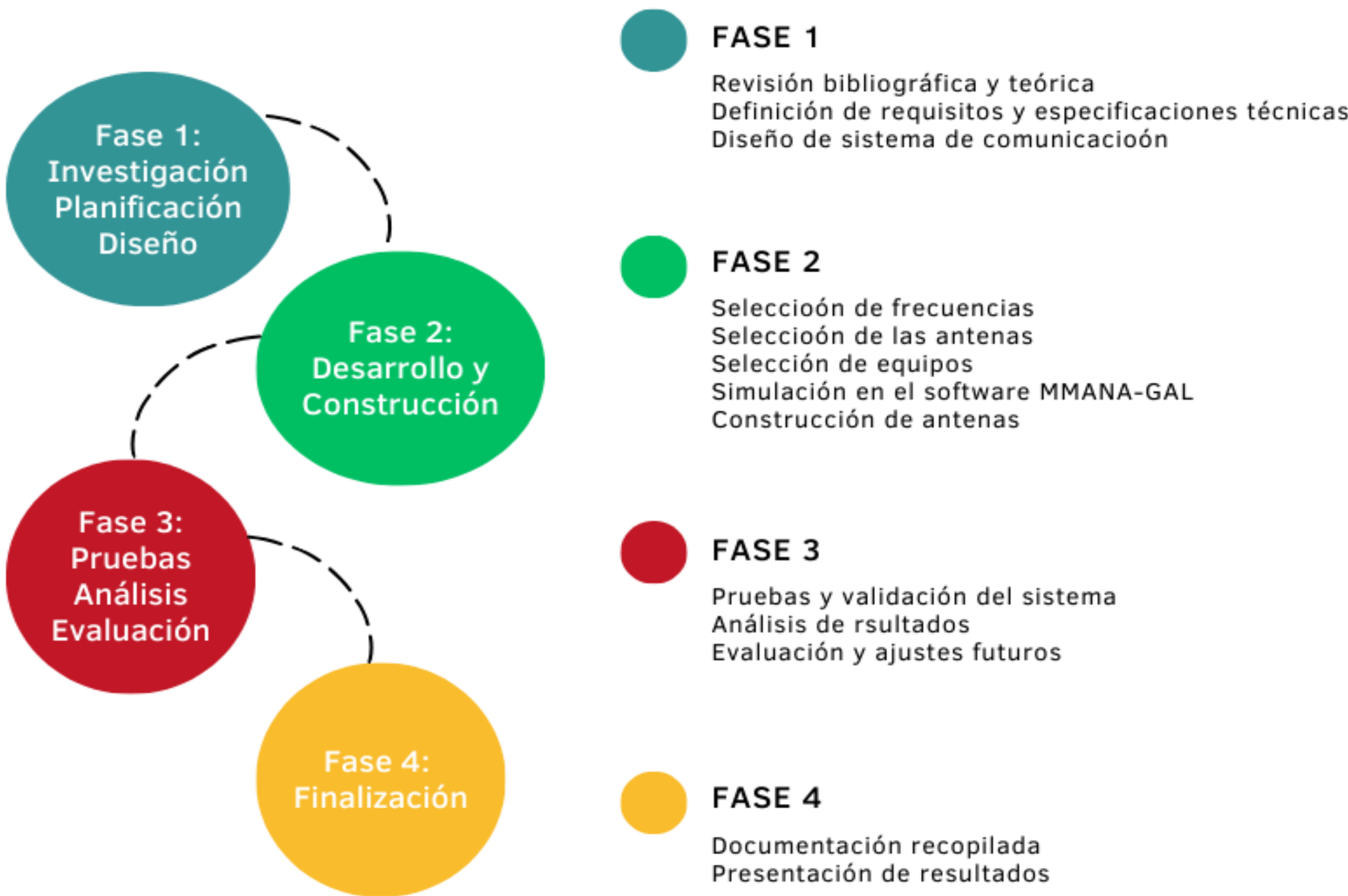
La comunicación es el **pilar fundamental** del desarrollo humano, y los satélites artificiales han transformado la forma en que conectamos al mundo.



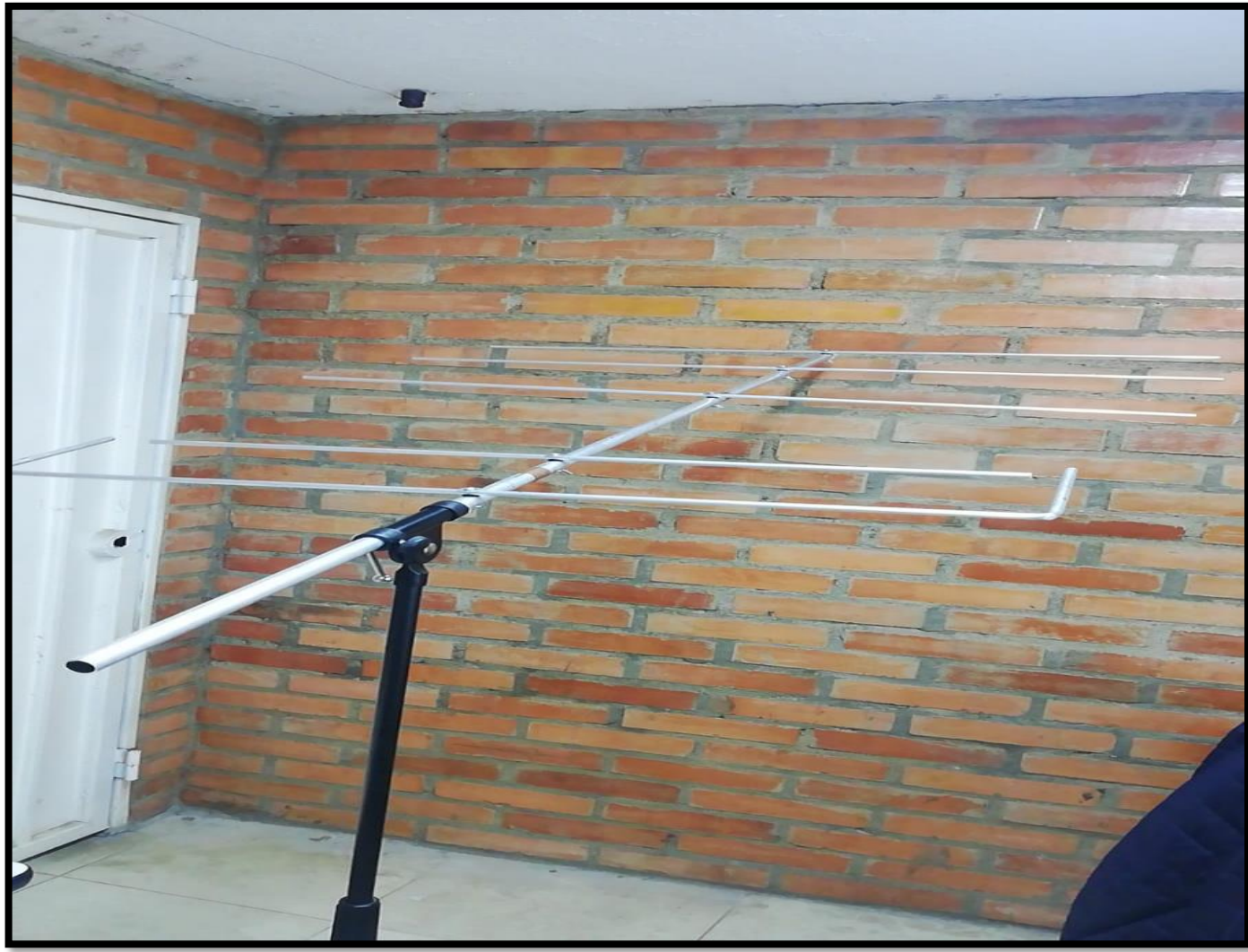
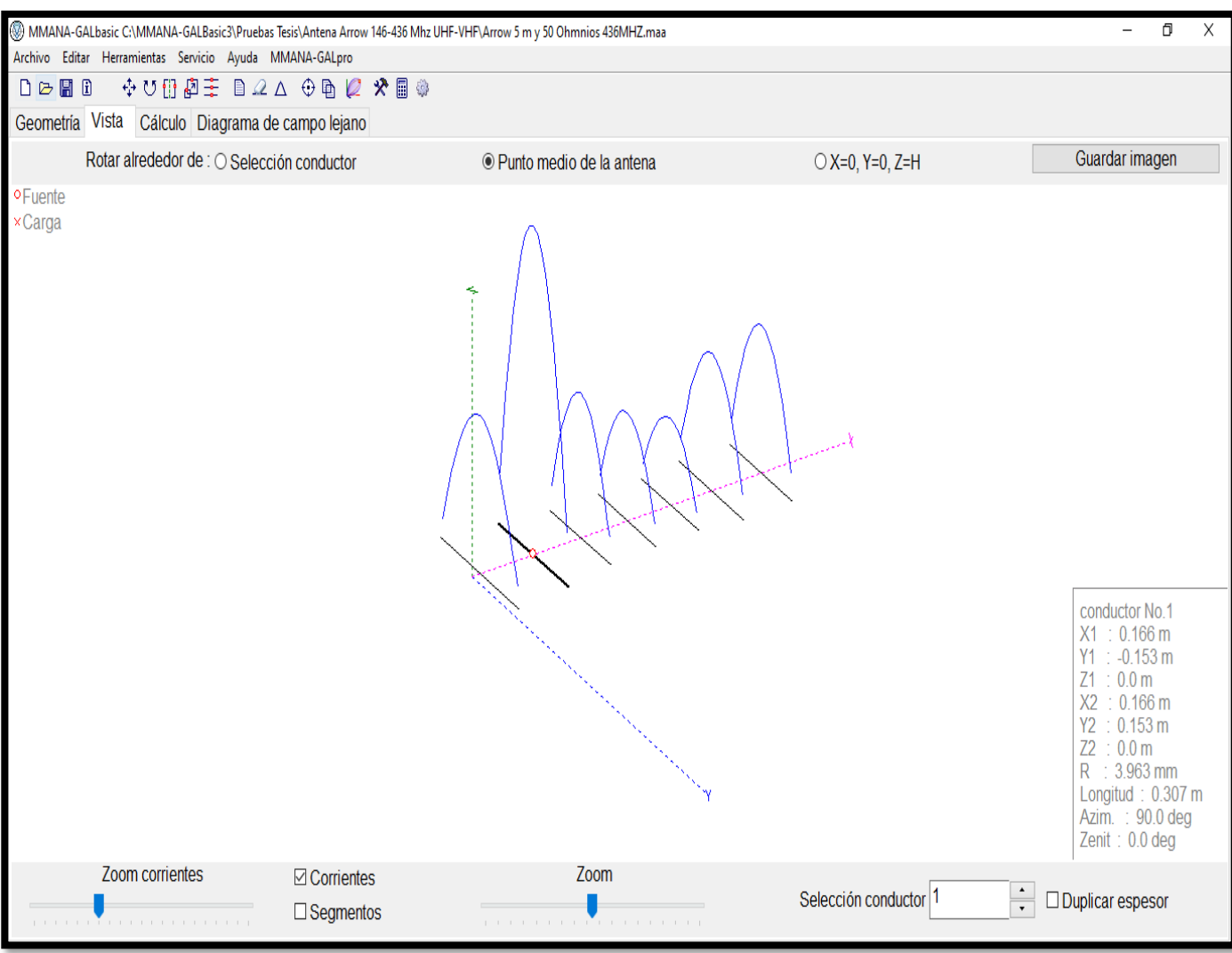
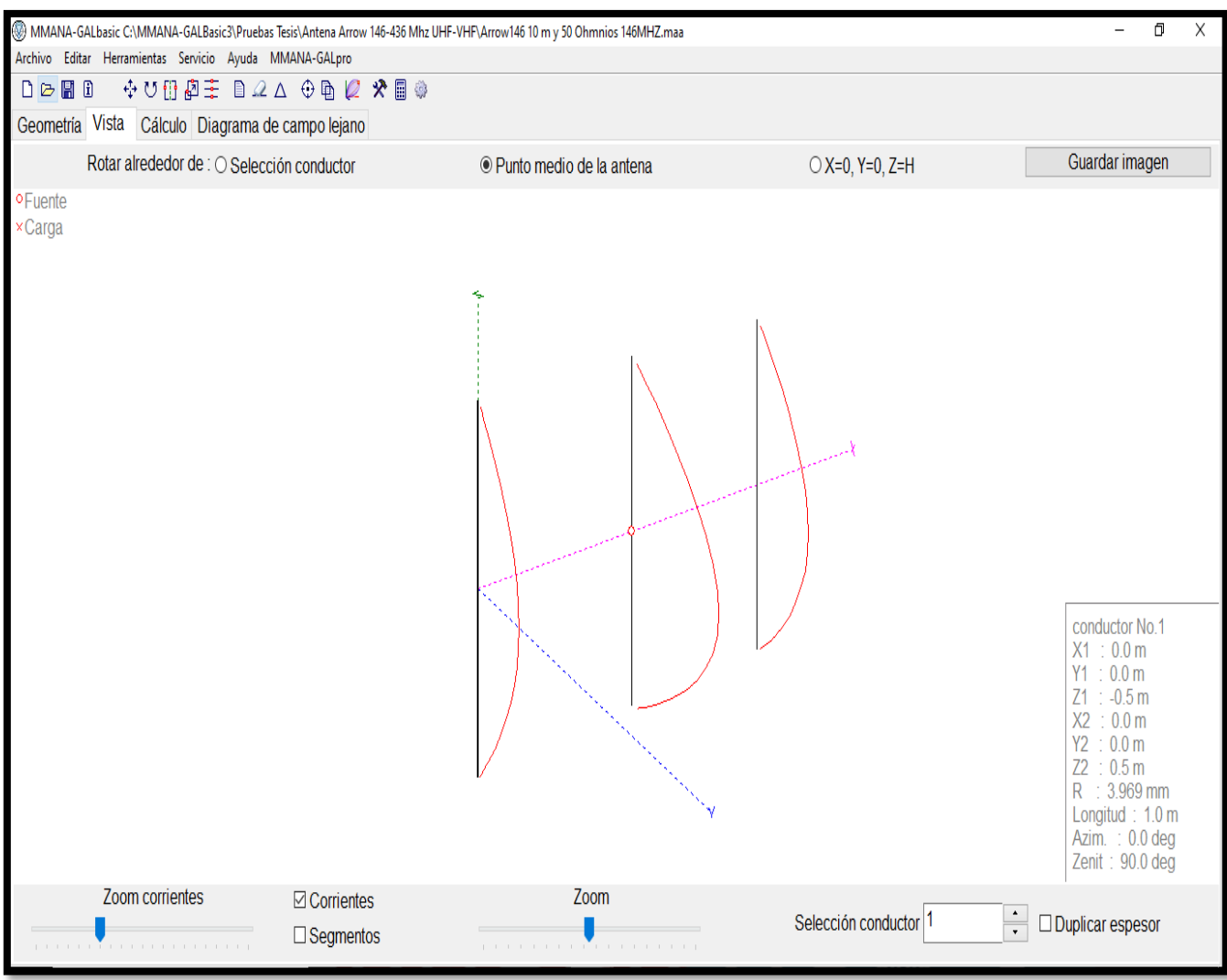
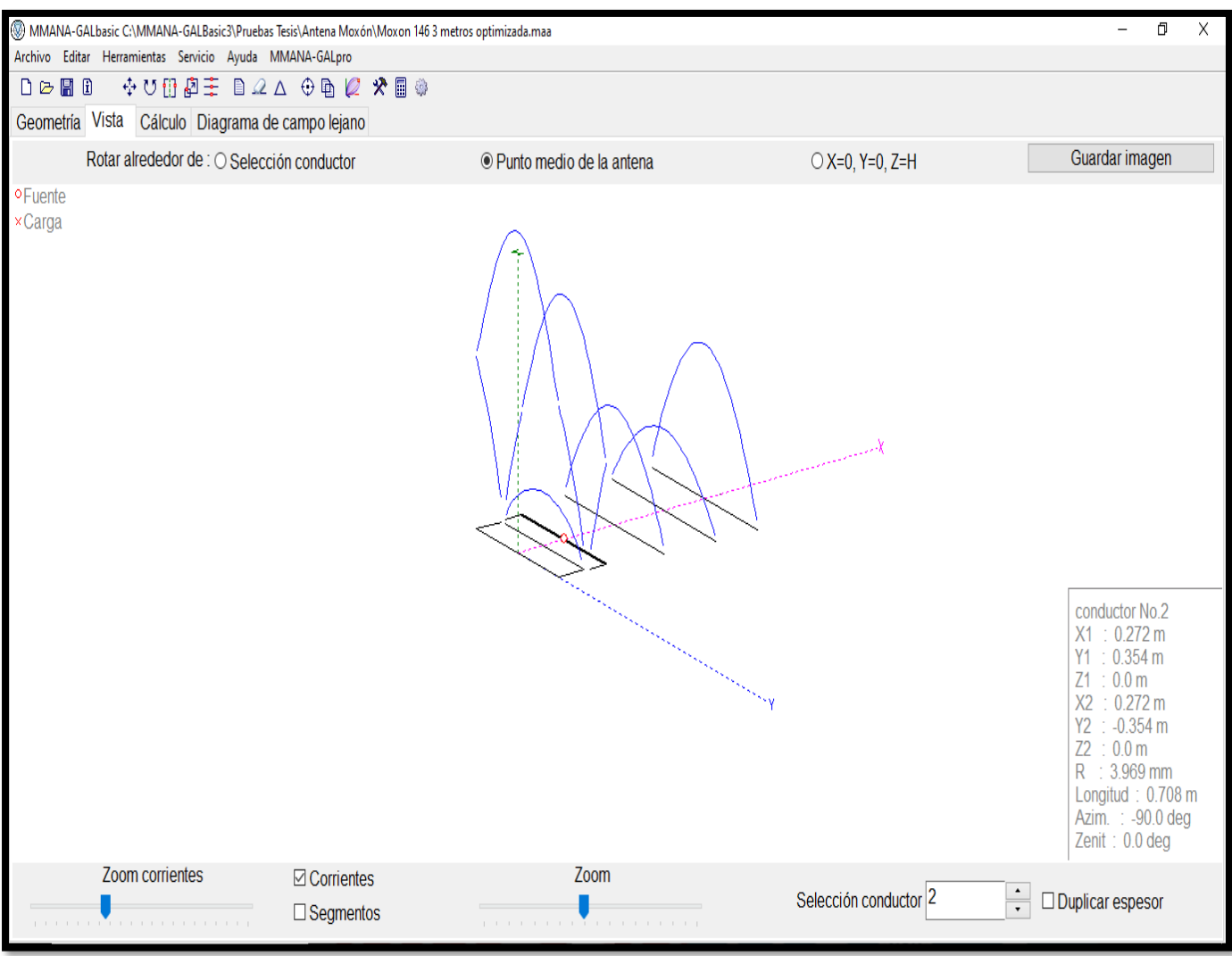
Marco teórico



Metodología



Resultados



Conclusiones

- Operar con satélites LEO requiere de conocimientos técnicos especializados, lo que fomenta el aprendizaje y el desarrollo de nuevas habilidades entre los radioaficionados.
- Los satélites LEO hacen que la comunicación vía satélite sea más accesible y económica para los radioaficionados, permitiendo a más personas participar en esta actividad.
- Los satélites LEO amplían las posibilidades de los radioaficionados, permitiendo conexiones a larga distancia, modos digitales avanzados y exploración de nuevas bandas de frecuencia.

Referencias





DISEÑO DE PLATAFORMA INTEROPERABLE PARA PREVENCIÓN Y CONTROL DE ARBOVIROSIS

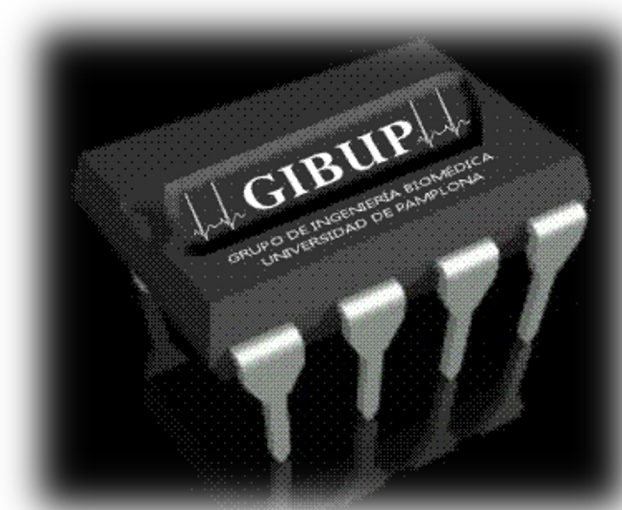
(En Ocaña y Playa de Belén, Norte de Santander)

Luis Alberto Muñoz¹, Diana Patricia Bohada², Raúl Rodríguez²

¹Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIBUP), Departamento de Eléctrica, Electrónica, Sistemas y Telecomunicaciones (EEST), Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

²Centro Experimental de Diagnóstico e Investigación Molecular (CEDIMOL), Facultad de Salud, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

CEDIMOL
Centro Experimental de Diagnóstico e Investigación Molecular
en Enfermedades Parasitarias, Tropicales e Infecciosas
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



XVII Congreso Internacional de tecnologías de avanzada

RESUMEN

El presente trabajo detalla el diseño de un sistema multiplataforma interoperable para fortalecer las capacidades en la prevención y control de arbovirosis (Dengue, Zika, Chikungunya) en Ocaña y Playa de Belén, Norte de Santander, Colombia [1]. Se basa en tecnologías como NestJS (backend), NextJS (PWA frontend), MongoDB, e Inteligencia Artificial (IA) para predicción de riesgos [2]. El sistema prioriza la captura de datos online/offline, la interoperabilidad (HL7 FHIR) [3], y la integración de enfoques socioculturales para la participación comunitaria [4]. Se espera mejorar la respuesta local y servir como modelo escalable.

PALABRAS CLAVE: Arbovirosis, Dengue, Plataforma Digital, Interoperabilidad, Inteligencia Artificial, Salud Pública.

INTRODUCCIÓN

Norte de Santander enfrenta una alta incidencia de arbovirosis, con un alarmante incremento de Dengue en 2024 en Ocaña y Playa de Belén [1]. La co-circulación de múltiples serotipos y arbovirus agrava el problema [2]. Existe una necesidad urgente de intervenciones digitales que optimicen la recolección de datos, permitan la detección temprana de brotes y mejoren la asignación de recursos [3]. Este proyecto diseña un sistema digital multiplataforma para transformar la capacidad de respuesta local, integrando datos epidemiológicos, ambientales, vectoriales y socioculturales, y utilizando IA para análisis predictivo [4].

MARCO TEÓRICO

El diseño se sustenta en:

- **Salud Digital y Vigilancia Epidemiológica:** Uso de tecnologías para optimizar la recolección, análisis y disseminación de datos en salud pública.
- **Arquitecturas Modernas:** Adopción de microservicios (backend) y Progressive Web Applications (PWA) (frontend) para escalabilidad, mantenibilidad y funcionalidad offline [5].
- **Interoperabilidad en Salud:** Adhesión a estándares como HL7 FHIR para el intercambio de información con el ecosistema de salud colombiano (IHCE/RDA) [3].
- **Inteligencia Artificial en Salud:** Aplicación de modelos de IA para predicción de brotes y estratificación de riesgos, mejorando la toma de decisiones proactivas [2].
- **Enfoques Socioculturales:** Integración de conocimientos, actitudes y prácticas (KAP) locales para fomentar la participación comunitaria y la adopción de medidas preventivas [4].

METODOLOGÍA

El diseño del sistema se basa en:

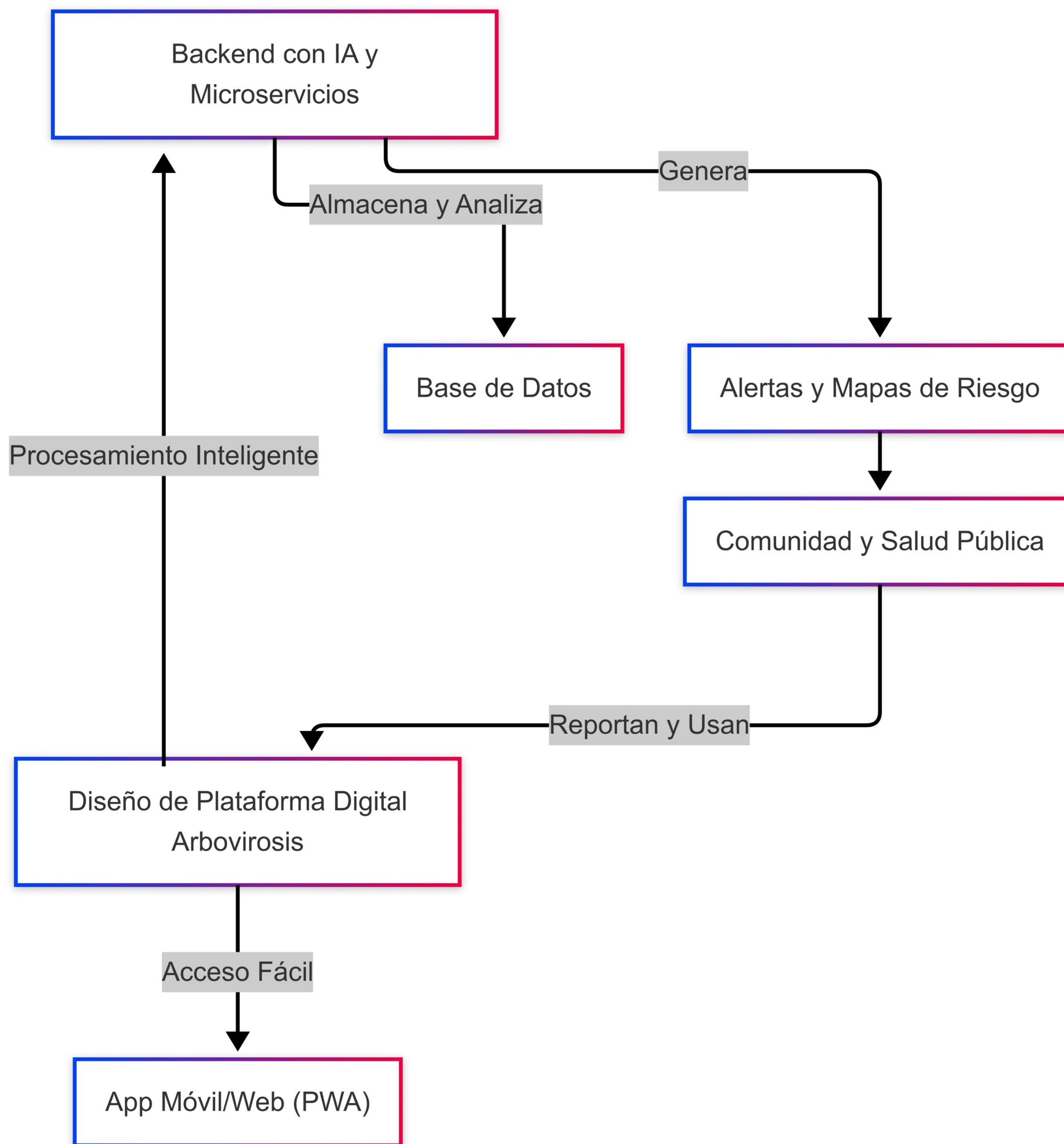
- **Arquitectura General:** Microservicios (NestJS), PWA (NextJS), MongoDB, API Gateway (Nginx), Docker, y comunicación en tiempo real (Socket.io).
- **Módulos Clave:**
 - **Backend:** Gestión de Casos, Datos Epidemiológicos, Control de Acceso, Predicción IA, Notificaciones, Sincronización Offline, Datos Socioculturales.
 - **Frontend (PWA):** Dashboard, Panel de Administración, Formularios Offline, Vigilancia Participativa Comunitaria.
- **Funcionalidad Offline:** Almacenamiento local en la PWA y mecanismos de sincronización robustos con el backend, incluyendo resolución de conflictos.
- **Seguridad:** Autenticación (JWT), autorización (RBAC), protección de API (OWASP) y cumplimiento normativo de protección de datos.

ASPECTOS MATEMÁTICOS

- **Modelado Predictivo (IA):** Se exploran modelos de series temporales (ARIMA, Prophet), regresión (Random Forest, XGBoost) y clasificación (SVM, Redes Neuronales) para predecir incidencia y riesgo [2].
- **Métricas de Evaluación:** RMSE, MAE, R2 (regresión); Exactitud, Precisión, Recall, F1, AUC-ROC/PR (clasificación).
- **Análisis Geoespacial:** Uso de datos GeoJSON e índices 2dsphere para análisis de proximidad y conglomerados.

RESULTADOS (Esperados)

- **Diseño Integral:** Una plataforma tecnológica robusta y detallada para el control de arbovirosis.
- **Mejora en Capacidad de Respuesta:** Detección temprana, monitoreo eficiente y respuesta rápida a brotes.
- **Optimización de Datos:** Calidad, oportunidad e integridad de la información epidemiológica.
- **Participación Comunitaria:** Mayor involucramiento ciudadano en la prevención.
- **Interoperabilidad:** Integración fluida con el sistema nacional de salud [3].
- **Modelo Escalable:** Potencial de adaptación a otras regiones.



CONCLUSIONES

El diseño de esta plataforma digital ofrece una solución integral y tecnológicamente avanzada para el crucial problema de las arbovirosis en Ocaña y Playa de Belén. Al combinar un diseño técnico robusto con un enfoque en la interoperabilidad, la inteligencia artificial y, fundamentalmente, la integración sociocultural [4], se espera un impacto significativo en la salud pública. Esta propuesta sienta las bases para una herramienta que puede transformar la prevención y control de estas enfermedades, sirviendo como un modelo para futuras intervenciones en contextos similares.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Departamental de Salud (IDS) de Norte de Santander, "Dengue Norte de Santander, semana Epidemiológica 1 al 12 del 2024," 2024. [En línea]. Disponible en: https://ids.gov.co/2024/DIMENSIONES_SP/TRANSMISIBLES/Informe_I_Trimestral_Dengue_2024.pdf
- [2] C. H. Cantillo, S. L. B. Rodriguez, y J. P. S. Herrera, "Modeling Arbovirus Outbreak Forecasting Based on Case Concentration and Climatic Factors Using an Echo State Neural Network," *ResearchGate*, Publicación Preprint, DOI: 10.13140/RG.2.2.21159.11684, Oct. 2024.
- [3] Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, "Resolución número de 2024 (Referente a la implementación RDA-IHCE)," 2024. (Nota: El documento original cita una resolución futura hipotética para ilustrar; una referencia real a la normativa vigente de IHCE/RDA debería usarse).
- [4] J. C. T. Núñez, et al., "El programa del manejo integrado de vectores en el marco de la estrategia global para el control de las enfermedades transmitidas por vectores," *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 40, no. 3, Jul. 2023.
- [5] Talent500, "NestJS Microservices: A Practical Guide to Building Scalable Apps," *Talent500 Blog*, s.f. [En línea]. Disponible en: <https://talent500.com/blog/nestjs-microservices-guide/>



DISEÑO DE PLATAFORMA INTEROPERABLE PARA PREVENCIÓN Y CONTROL DE ARBOVIROSIS

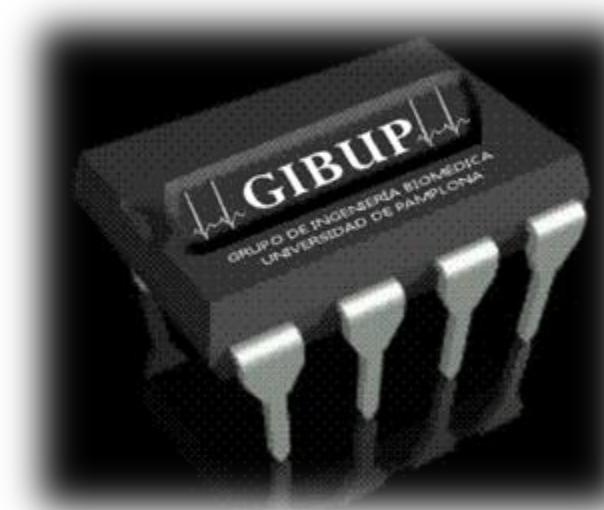
(En Ocaña y Playa de Belén, Norte de Santander)

Luis Alberto Muñoz¹, Diana Patricia Bohada², Raúl Rodríguez²

¹Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIBUP), Departamento de Eléctrica, Electrónica, Sistemas y Telecomunicaciones (EEST), Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

²Centro Experimental de Diagnóstico e Investigación Molecular (CEDIMOL), Facultad de Salud, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

CEDIMOL
Centro Experimental de Diagnóstico e Investigación Molecular
en Enfermedades Parasitarias, Tropicales e Infecciosas
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



XVII Congreso Internacional de tecnologías de avanzada

RESUMEN

El presente trabajo detalla el diseño de un sistema multiplataforma interoperable para fortalecer las capacidades en la prevención y control de arbovirosis (Dengue, Zika, Chikungunya) en Ocaña y Playa de Belén, Norte de Santander, Colombia [1]. Se basa en tecnologías como NestJS (backend), NextJS (PWA frontend), MongoDB, e Inteligencia Artificial (IA) para predicción de riesgos [2]. El sistema prioriza la captura de datos online/offline, la interoperabilidad (HL7 FHIR) [3], y la integración de enfoques socioculturales para la participación comunitaria [4]. Se espera mejorar la respuesta local y servir como modelo escalable.

Financiación: Este trabajo es financiado por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Código 1121949111630, CT 1104-2024.

PALABRAS CLAVE: Arbovirosis, Dengue, Plataforma Digital, Interoperabilidad, Inteligencia Artificial, Salud Pública.

INTRODUCCIÓN

Norte de Santander enfrenta una alta incidencia de arbovirosis, con un alarmante incremento de Dengue en 2024 en Ocaña y Playa de Belén [1]. La co-circulación de múltiples serotipos y arbovirus agrava el problema [2]. Existe una necesidad urgente de intervenciones digitales que optimicen la recolección de datos, permitan la detección temprana de brotes y mejoren la asignación de recursos [3]. Este proyecto diseña un sistema digital multiplataforma para transformar la capacidad de respuesta local, integrando datos epidemiológicos, ambientales, vectoriales y socioculturales, y utilizando IA para análisis predictivo [4].

MARCO TEÓRICO

El diseño se sustenta en:

- **Salud Digital y Vigilancia Epidemiológica:** Uso de tecnologías para optimizar la recolección, análisis y disseminación de datos en salud pública.
- **Arquitecturas Modernas:** Adopción de microservicios (backend) y Progressive Web Applications (PWA) (frontend) para escalabilidad, mantenibilidad y funcionalidad offline [5].
- **Interoperabilidad en Salud:** Adhesión a estándares como HL7 FHIR para el intercambio de información con el ecosistema de salud colombiano (IHCE/RDA) [3].
- **Inteligencia Artificial en Salud:** Aplicación de modelos de IA para predicción de brotes y estratificación de riesgos, mejorando la toma de decisiones proactivas [2].
- **Enfoques Socioculturales:** Integración de conocimientos, actitudes y prácticas (KAP) locales para fomentar la participación comunitaria y la adopción de medidas preventivas [4].

METODOLOGÍA

El diseño del sistema se basa en:

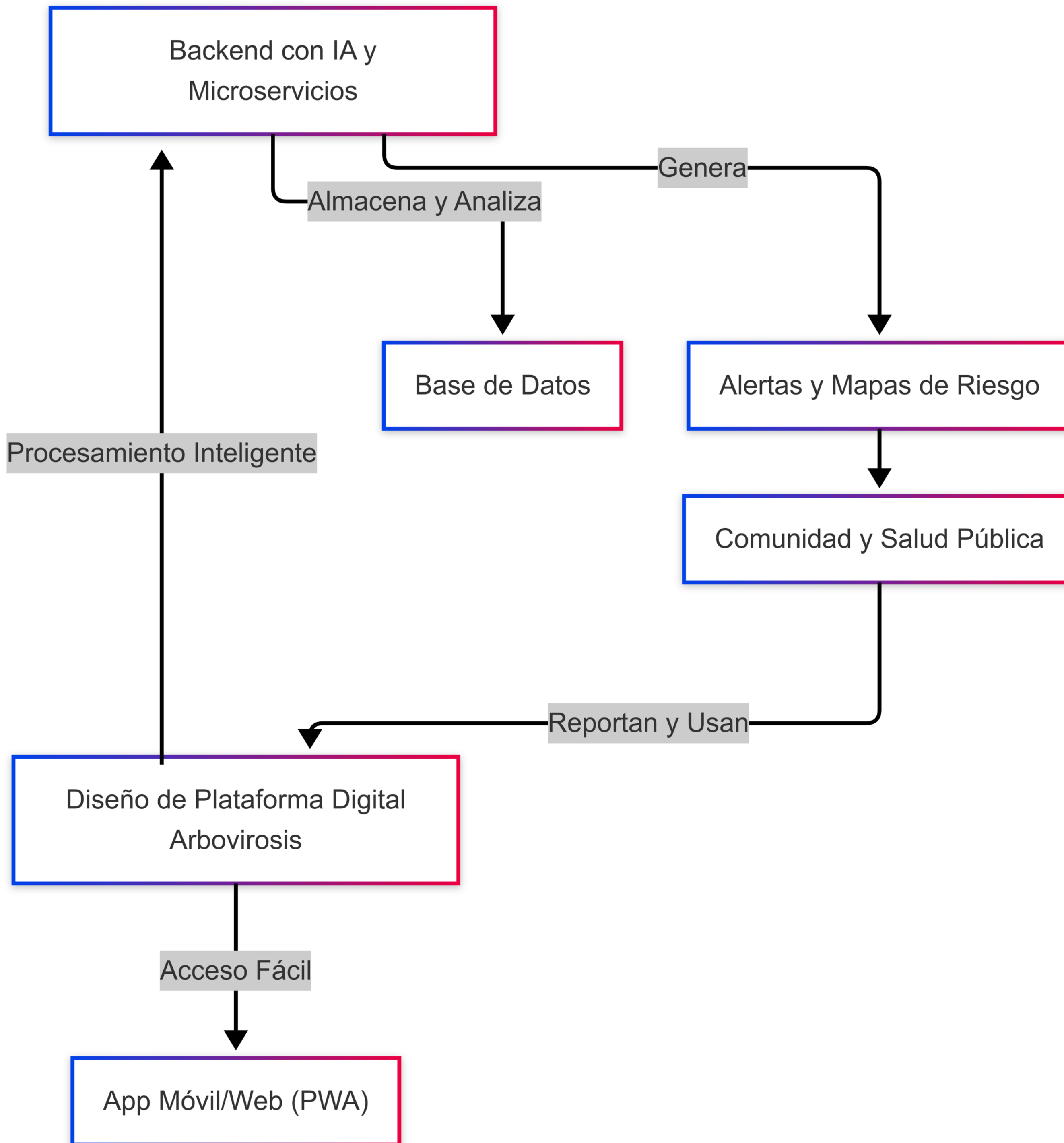
- **Arquitectura General:** Microservicios (NestJS), PWA (NextJS), MongoDB, API Gateway (Nginx), Docker, y comunicación en tiempo real (Socket.io).
- **Módulos Clave:**
 - **Backend:** Gestión de Casos, Datos Epidemiológicos, Control de Acceso, Predicción IA, Notificaciones, Sincronización Offline, Datos Socioculturales.
 - **Frontend (PWA):** Dashboard, Panel de Administración, Formularios Offline, Vigilancia Participativa Comunitaria.
- **Funcionalidad Offline:** Almacenamiento local en la PWA y mecanismos de sincronización robustos con el backend, incluyendo resolución de conflictos.
- **Seguridad:** Autenticación (JWT), autorización (RBAC), protección de API (OWASP) y cumplimiento normativo de protección de datos.

ASPECTOS MATEMÁTICOS

- **Modelado Predictivo (IA):** Se exploran modelos de series temporales (ARIMA, Prophet), regresión (Random Forest, XGBoost) y clasificación (SVM, Redes Neuronales) para predecir incidencia y riesgo [2].
- **Métricas de Evaluación:** RMSE, MAE, R2 (regresión); Exactitud, Precisión, Recall, F1, AUC-ROC/PR (clasificación).
- **Análisis Geoespacial:** Uso de datos GeoJSON e índices 2dsphere para análisis de proximidad y conglomerados.

RESULTADOS (Esperados)

- **Diseño Integral:** Una plataforma tecnológica robusta y detallada para el control de arbovirosis.
- **Mejora en Capacidad de Respuesta:** Detección temprana, monitoreo eficiente y respuesta rápida a brotes.
- **Optimización de Datos:** Calidad, oportunidad e integridad de la información epidemiológica.
- **Participación Comunitaria:** Mayor involucramiento ciudadano en la prevención.
- **Interoperabilidad:** Integración fluida con el sistema nacional de salud [3].
- **Modelo Escalable:** Potencial de adaptación a otras regiones.



CONCLUSIONES

El diseño de esta plataforma digital ofrece una solución integral y tecnológicamente avanzada para el crucial problema de las arbovirosis en Ocaña y Playa de Belén. Al combinar un diseño técnico robusto con un enfoque en la interoperabilidad, la inteligencia artificial y, fundamentalmente, la integración sociocultural [4], se espera un impacto significativo en la salud pública. Esta propuesta sienta las bases para una herramienta que puede transformar la prevención y control de estas enfermedades, sirviendo como un modelo para futuras intervenciones en contextos similares.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Departamental de Salud (IDS) de Norte de Santander, "Dengue Norte de Santander, semana Epidemiológica 1 al 12 del 2024," 2024. [En línea]. Disponible en: https://ids.gov.co/2024/DIMENSIONES_SP/TRANSMISIBLES/Informe_I_Trimestral_Dengue_2024.pdf
- [2] C. H. Cantillo, S. L. B. Rodriguez, y J. P. S. Herrera, "Modeling Arbovirus Outbreak Forecasting Based on Case Concentration and Climatic Factors Using an Echo State Neural Network," *ResearchGate*, Publicación Preprint, DOI: 10.13140/RG.2.2.21159.11684, Oct. 2024.
- [3] Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, "Resolución número de 2024 (Referente a la implementación RDA-IHCE)," 2024. (Nota: El documento original cita una resolución futura hipotética para ilustrar; una referencia real a la normativa vigente de IHCE/RDA debería usarse).
- [4] J. C. T. Núñez, et al., "El programa del manejo integrado de vectores en el marco de la estrategia global para el control de las enfermedades transmitidas por vectores," *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 40, no. 3, Jul. 2023.
- [5] Talent500, "NestJS Microservices: A Practical Guide to Building Scalable Apps," *Talent500 Blog*, s.f. [En línea]. Disponible en: <https://talent500.com/blog/nestjs-microservices-guide/>



DESARROLLO DE UNA ANTENA MICROSTRIP DE ALTA GANANCIA Y DIRECTIVIDAD PARA APLICACIONES DE COMUNICACIÓN EN BANDA LIBRE EN 433 MHZ

Egan Eduardo Cortina Luna
José del Carmen Peña Fernández



XVII Congreso Internacional de tecnologías de avanzada

Resumen

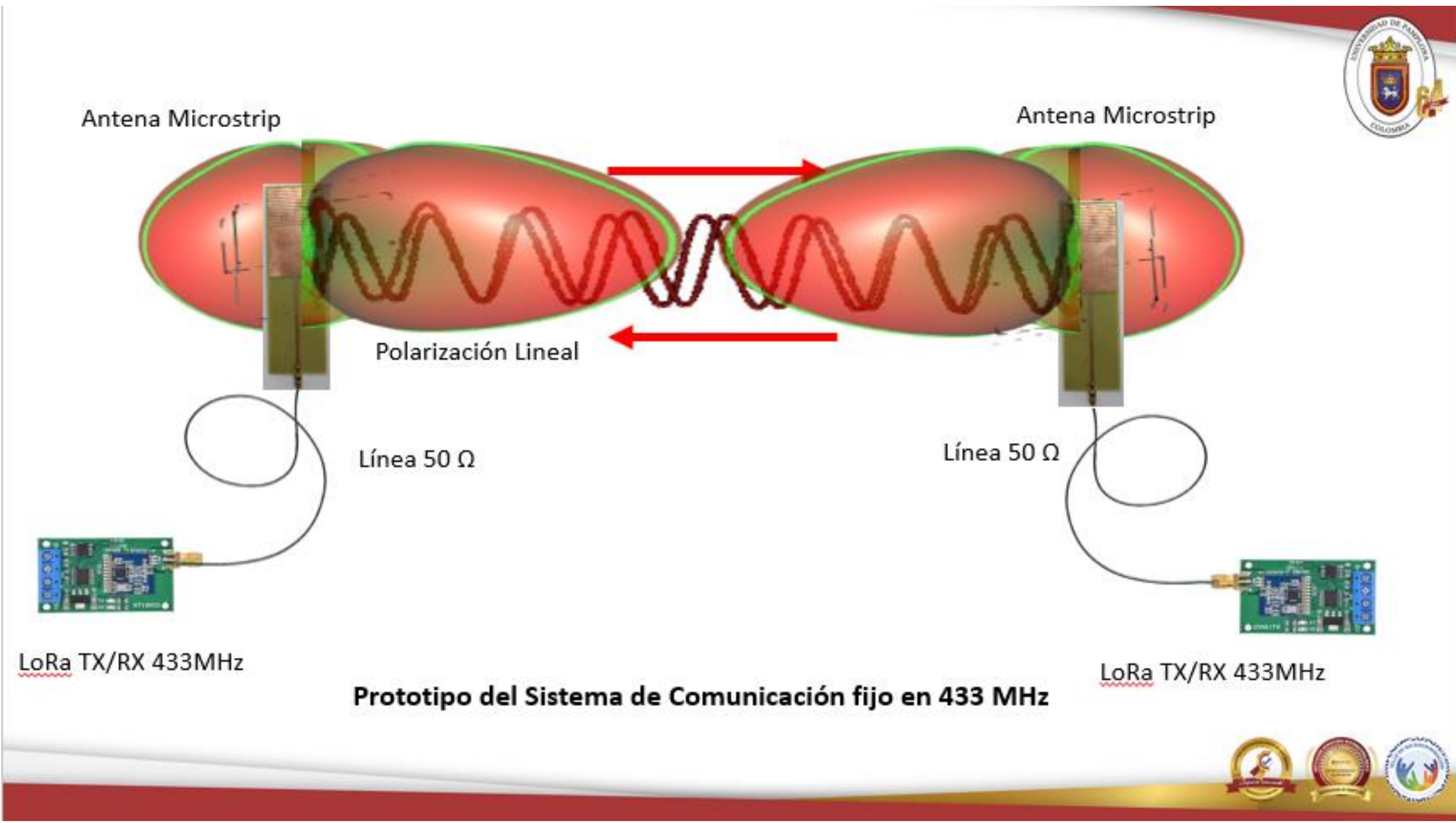
En la actualidad digital, las telecomunicaciones son un pilar esencial de la sociedad moderna, impulsadas por tecnologías inalámbricas que han transformado nuestra forma de vivir, trabajar y comunicarnos. Entre los elementos clave destacan las antenas microstrip, dispositivos compactos y de bajo costo que operan en 433 MHz. Estas antenas son ampliamente utilizadas por su facilidad de fabricación, tamaño reducido y versatilidad. Este proyecto plantea el diseño, implementación y evaluación de una antena microstrip optimizada para esa frecuencia, considerando requisitos de tamaño, ganancia, directividad y ancho de banda. Sus aplicaciones potenciales incluyen sistemas de control remoto, domótica, IoT y redes de sensores.

Introducción

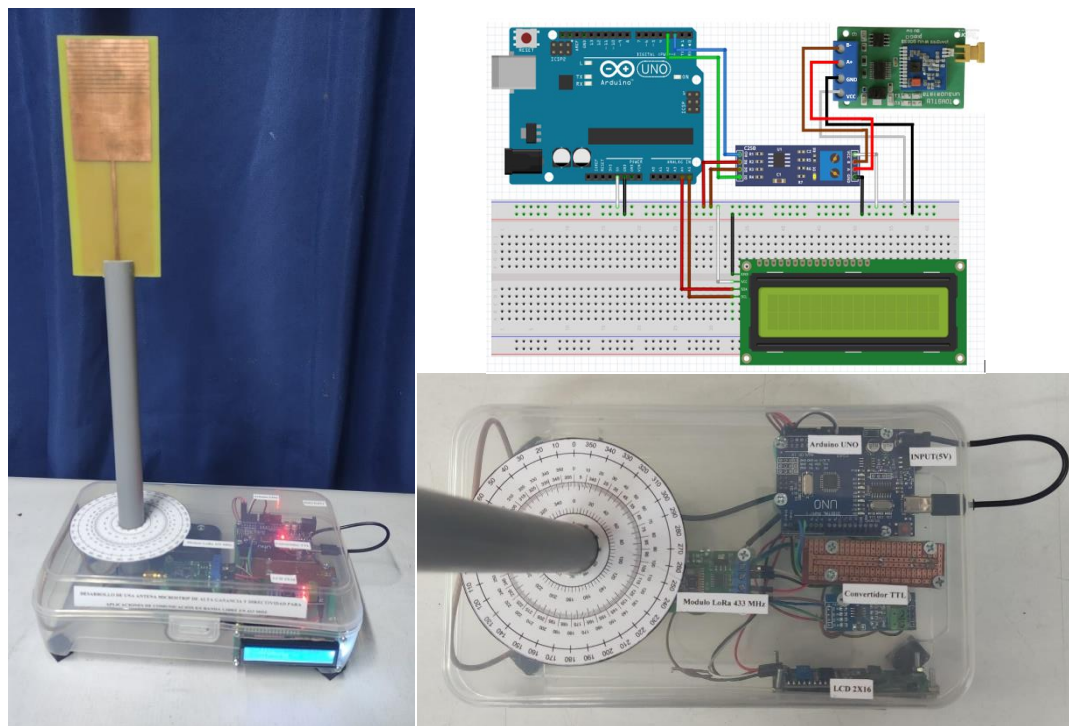
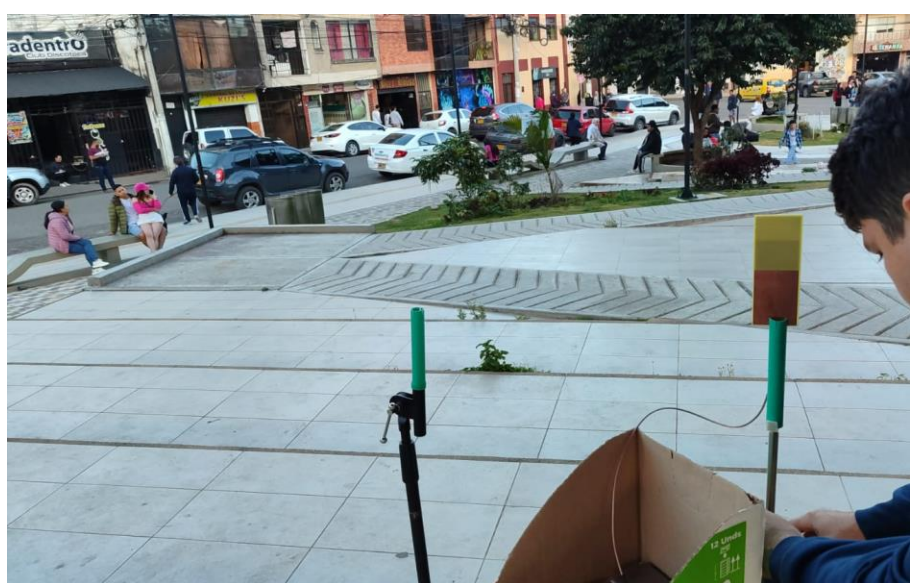
Diseño de antena microstrip para 433 MHz, compacta, eficiente y de bajo costo, ideal para aplicaciones IoT en telecomunicaciones.



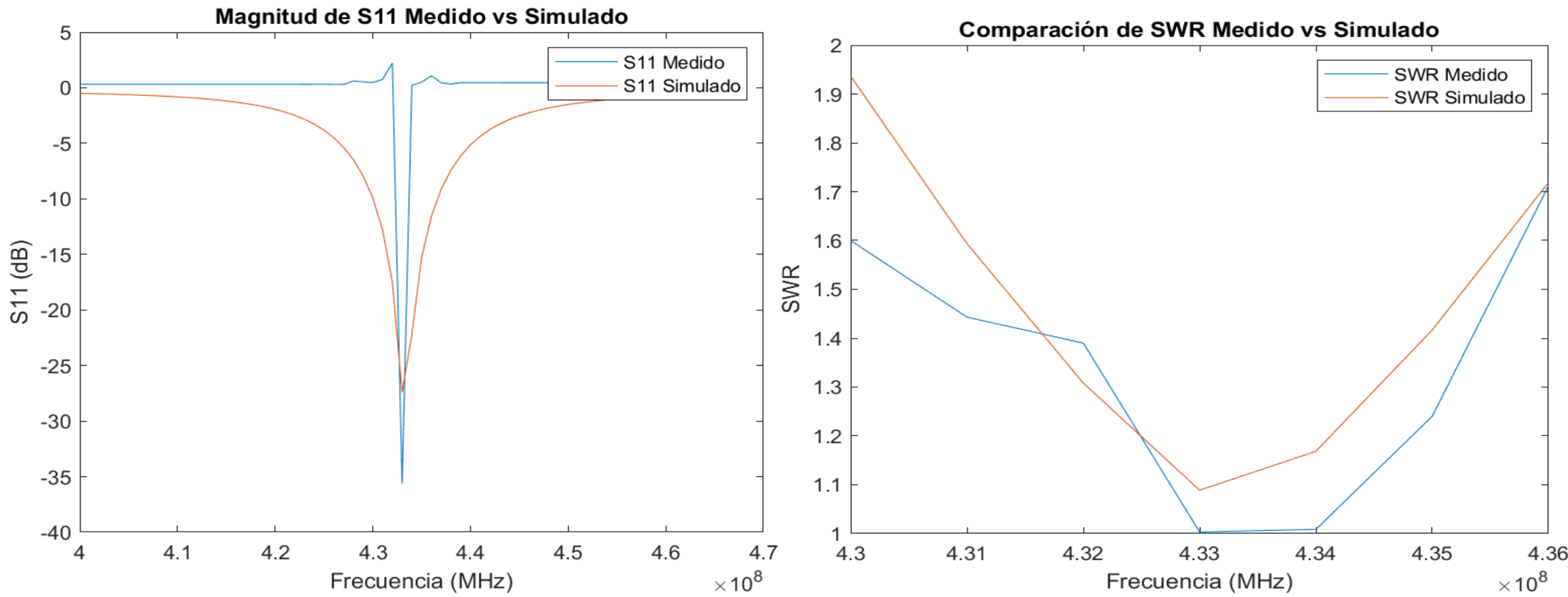
Marco teórico



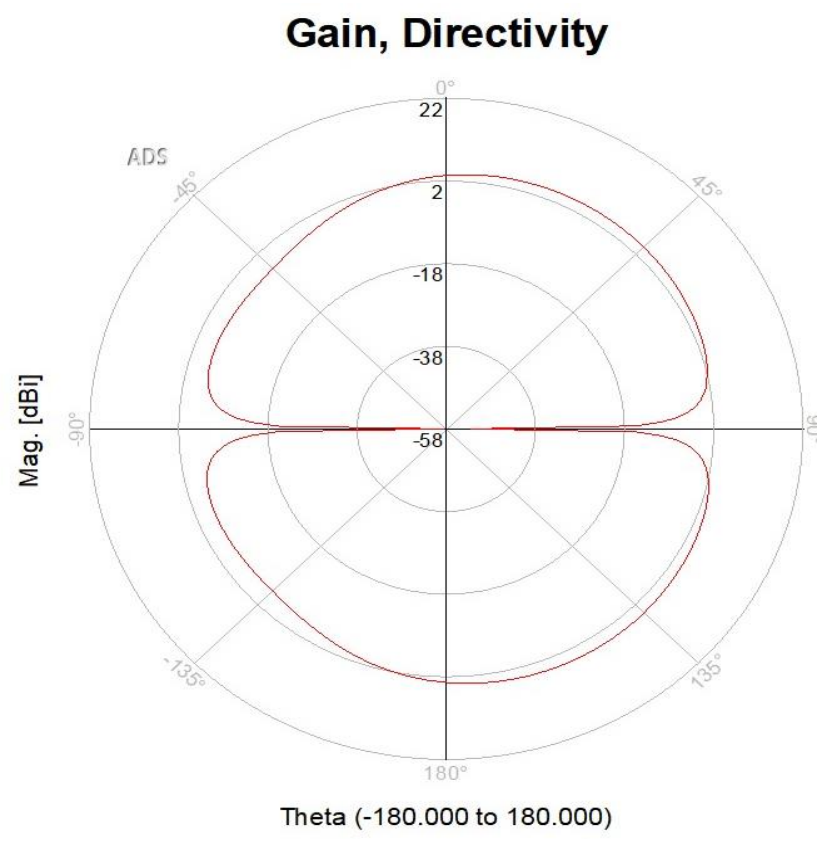
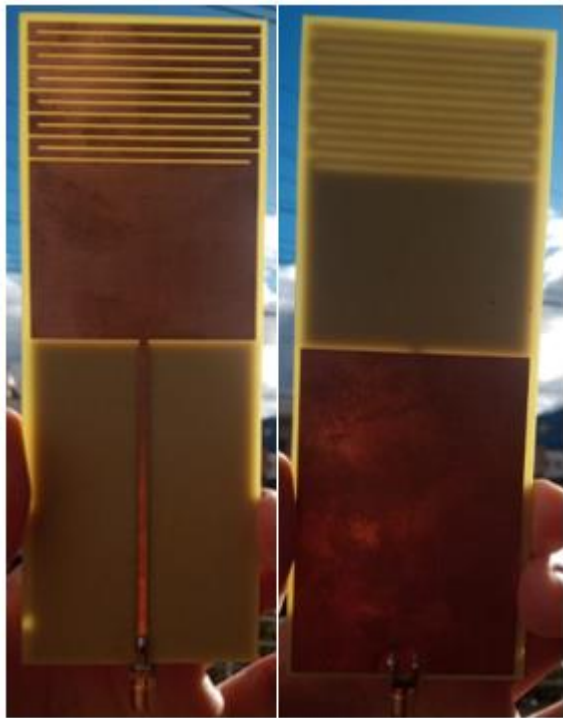
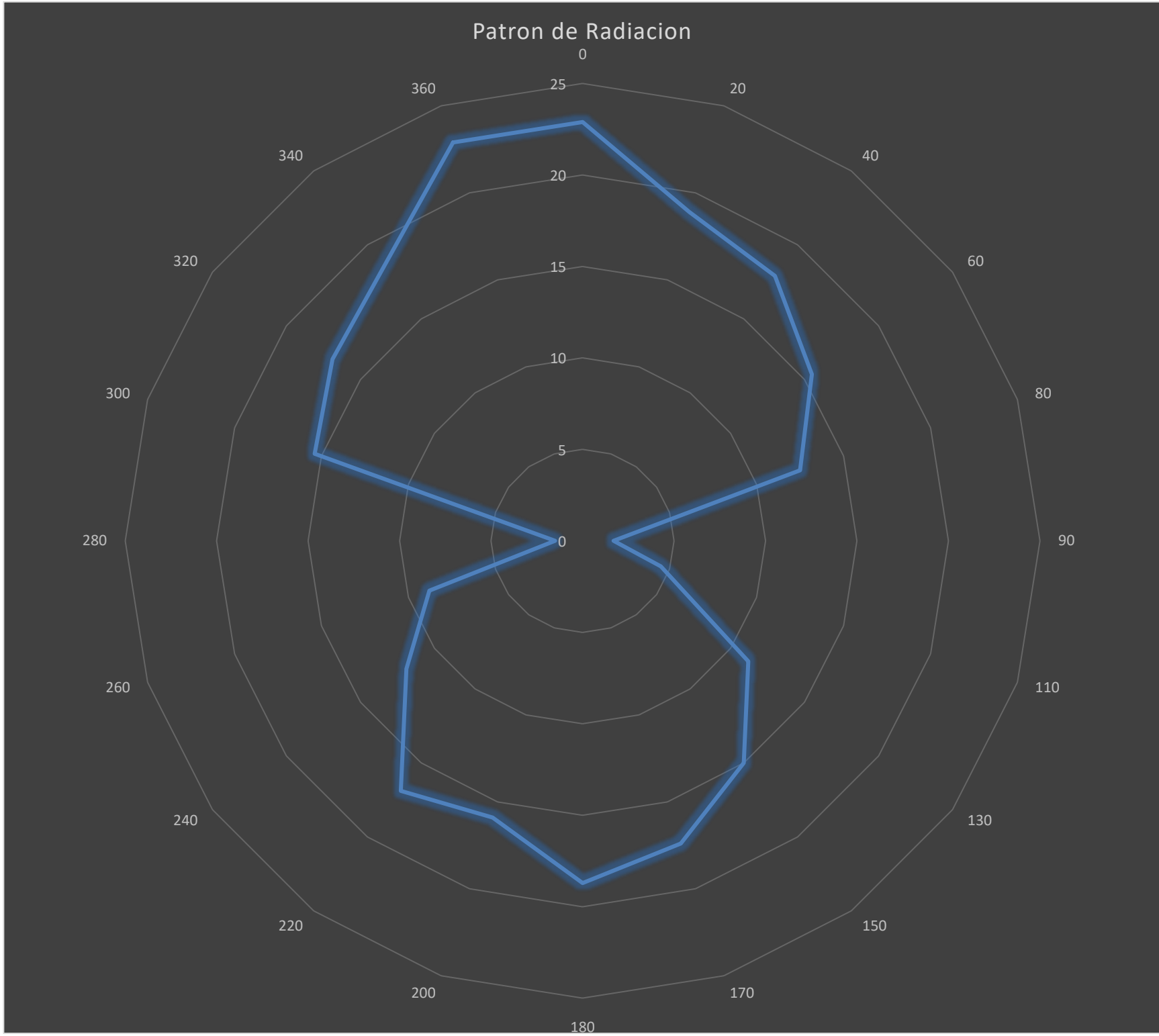
Metodología



Resultados



Angulo(°)	Power(dB)
0	22.9
20	18.9
40	17.9
60	15.5
80	12.5
90	1.7
110	4.5
130	11.2
150	15
170	17.4
180	18.7
200	15.9
220	16.9
240	11.9
260	8.8
280	1.5
300	15.4
320	16.9
340	18.5
360	22.9



Conclusiones

- Se ha logrado el diseño y la fabricación de una antena microstrip funcional para aplicaciones en sistemas de comunicación fijos en la banda libre de 433 MHz, cumpliendo con las especificaciones de alta ganancia y directividad, elementos esenciales para optimizar el rendimiento en sistemas como LoRa. El proceso de diseño, apoyado en simulaciones avanzadas con el software ADS, permitió obtener un diseño que se alinea con los requisitos del proyecto.
- A través de simulaciones computacionales y el uso de técnicas de fabricación precisas (impresión de archivos Gerber), se validó el diseño de la antena. Las pruebas de campo, aunque realizadas en un entorno no ideal, confirmaron que el diseño de la antena es funcional, con un patrón de radiación bidireccional y un buen desempeño de transmisión, tal como se había predicho en las simulaciones.
- A pesar de las condiciones no ideales de las pruebas de campo, la antena demostró un rendimiento notable, alcanzando una distancia de comunicación de 506 metros y una ganancia de 4.779 dB. El parámetro S_{11} de -35.621 dB confirma la correcta adaptación de la antena al sistema, evidenciando que el diseño cumple con los requerimientos de adaptación de impedancia. Sin embargo, se recomienda realizar futuras pruebas en un entorno controlado, como una cámara anecoica, para eliminar las distorsiones causadas por edificaciones cercanas.

Referencias



Bibliografias



Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

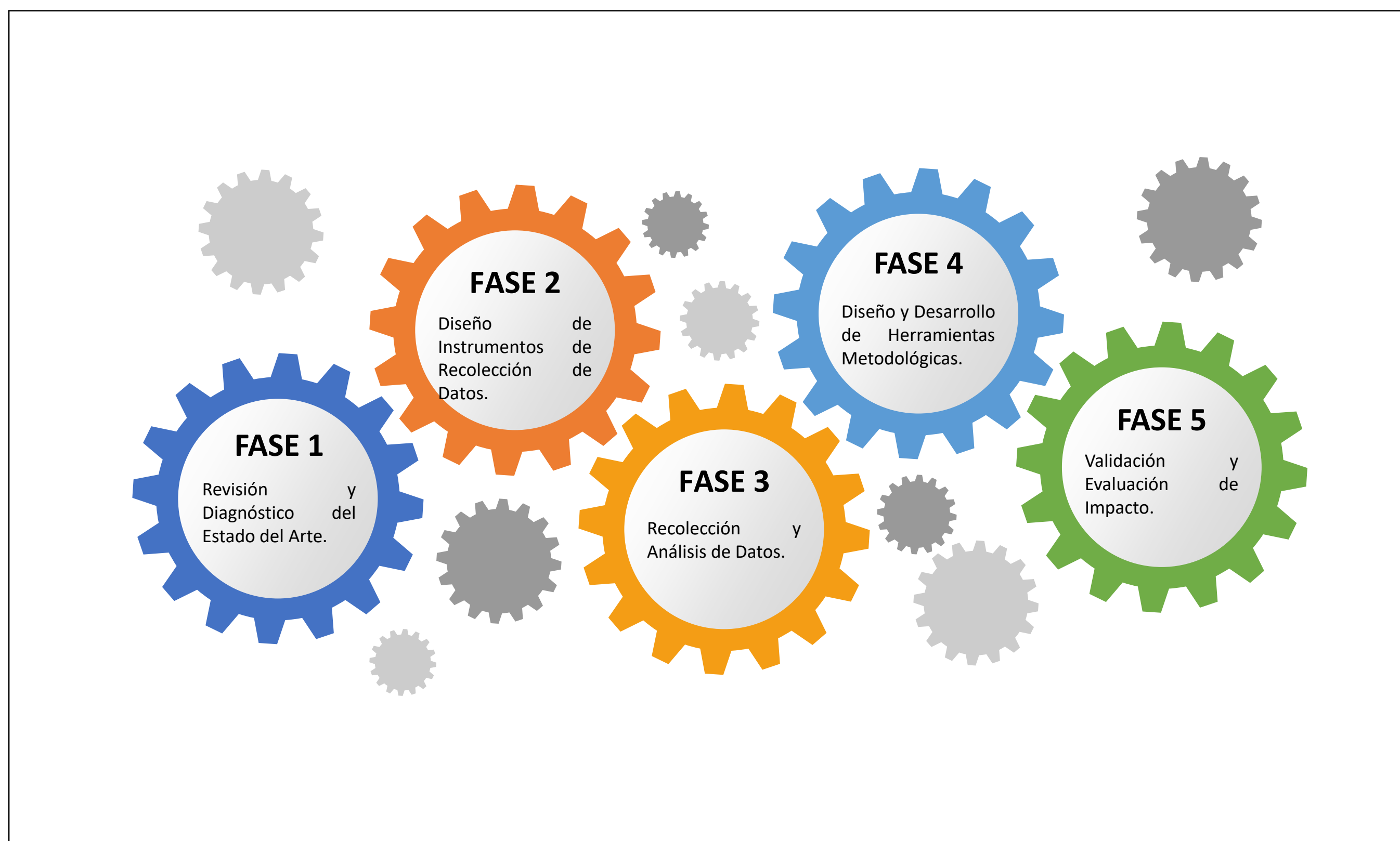
Desarrollo de herramienta metodológica informatizada para el seguimiento, medición y análisis energético en el sector cerámico de Norte de Santander

MSc. DIEGO ARMANDO MEJÍA BUGALLO, PHD. ALDO PARDO GARCÍA, PHD. JUAN JOSÉ CABELLO

RESUMEN

El sector cerámico de Norte de Santander, tradicional y clave para la economía regional, enfrenta desafíos importantes en eficiencia energética, sostenibilidad y modernización tecnológica debido al uso de equipos obsoletos, ausencia de sistemas de medición y control, y alta dependencia de fuentes energéticas térmicas y eléctricas. Frente a esta situación, se propone el desarrollo de una herramienta metodológica informatizada para el seguimiento, medición y análisis energético en tiempo real, orientada a mejorar el desempeño energético, reducir costos y emisiones, y fortalecer la competitividad empresarial. Esta plataforma integrará sensores, sistemas de adquisición de datos, módulos de análisis y una interfaz gráfica amigable, permitiendo generar indicadores clave, emitir alertas, elaborar reportes y sugerir mejoras prácticas basadas en datos. El proyecto se estructura en cinco fases: diagnóstico energético inicial, diseño del sistema, desarrollo de la herramienta, implementación piloto y evaluación de resultados, siguiendo principios de la norma ISO 50001 y utilizando tecnologías de IoT, automatización industrial e informática aplicada. Liderado por la Universidad de Pamplona y los grupos de investigación LOGOS, A&C con el respaldo del CUEE y empresas del sector, se espera lograr una reducción del consumo energético del 5 al 15 %, mejorar la gestión ambiental, fortalecer capacidades técnicas locales y promover una transición hacia modelos industriales sostenibles e inteligentes, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este desarrollo busca no solo ser una solución puntual sino un modelo replicable en otras industrias de alto consumo energético, articulando esfuerzos entre academia, empresa y Estado, y promoviendo la transformación digital y la innovación tecnológica como ejes del desarrollo regional.

METODOLOGÍA



REFERENCIAS

- [1] L. F. Jarama Pulla and B. X. Uzhka Criollo. "Ecoetiquetas para materiales de construcción en mampostería de la ciudad de Cuenca," B.S. Thesis. Cuenca, 2016. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25589>
- [2]"Boletín FAL 329_es".
- [3]R. Bitácora, "Bitácora 2015-2016 (enero 2016-junio 2016)", Bitácora, pp. 152–324, mayo de 2020. Accedido el 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.15581/024.39830>
- [4]J. U. Reyes, Migración y desarrollo: Propuestas para una gestión alternativa de la política migratoria en México. Ciudad de México: Univ. Iberoam., 2020.
- [5]M. P. Portela, M. A. Salica, L. Ceccacci-Sawicki, C. Fernández, y M. V. Olguín, «Las analogías y las metáforas como recursos para la enseñanza y el aprendizaje: una revisión sistemática», Persp. en Psicol., vol. 19, n.º 2, pp. 84-106, dic. 2022.
- [6] Diseño de un sistema de gestión de la energía basado en la metodología del estándar ISO 50001:2018, para una empresa de la industria textil en El Salvador - Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador." <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/34710/>
- [7] L. O. G. Salcedo, A. V. A. Badiel, and D. F. M. Carmona, "Metodologías para la evaluación de la eficiencia energética en edificaciones universitarias: Revisión literaria," Ingeniería y Competitividad Revista Científica y Tecnológica/Ingeniería y Competitividad, Sep. 08, 2023. https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/13080
- [8] Lumieres - Repositorio institucional Universidad de América: Transición energética en Colombia estrategias para la sostenibilidad energética colombiana. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/9473>
- [9] E. C. A. Astrid, "Metodología de diseño de edificaciones comerciales e institucionales en la ciudad de Bogotá con lineamientos de eficiencia energética," Jul. 12, 2023. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/45711>
- [10] B. R. James, "Sistema de monitorización y control remoto de las condiciones de cultivo para un invernadero con tecnología IoT y energía solar," Universidad Loyola Andalucía, Jul. 01, 2023. <https://repositorio.ulyola.es/handle/20.500.12412/4273>
- [11] M. Y. Recalde and C. Guzowski, "Políticas públicas de eficiencia energética en el sector residencial argentino : el rol de las condiciones de borde y habitantes," 2020. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5123>

MARCO TEÓRICO



RESULTADOS

- Revisión de Literatura y Normativas.
- Auditoría Energética en Instalaciones Cerámicas.
- Evaluación de Tecnologías y Herramientas Existentes.
- Análisis de Datos Históricos de Consumo Energético.
- Entrevistas y Encuestas a Personal Clave.
- Definición de Requisitos y Objetivos.
- Desarrollo de Modelos Conceptuales.

CONCLUSIONES

1. Urgencia de modernización energética: El sector cerámico de Norte de Santander presenta una alta dependencia energética y enfrenta serias limitaciones en la gestión eficiente de la energía, lo que evidencia la necesidad urgente de implementar herramientas tecnológicas que permitan una modernización efectiva.
2. Solución integral e innovadora: La propuesta de una herramienta informatizada representa una solución integral que permite monitorear, analizar y gestionar en tiempo real el consumo energético, integrando tecnologías modernas como IoT, sensores inteligentes y plataformas de visualización amigables.
3. Impacto económico, ambiental y social positivo: La implementación de la herramienta puede traducirse en reducciones sustanciales en los costos operativos (entre un 5 % y 15 %), disminución de emisiones contaminantes y fortalecimiento de las competencias técnicas del personal, generando beneficios en múltiples dimensiones.
4. Fortalecimiento de capacidades regionales: El proyecto no solo impulsa la eficiencia energética, sino que también fomenta el desarrollo tecnológico y la innovación local, consolidando un ecosistema de colaboración entre la academia, el sector productivo y las instituciones estatales.
5. Modelo replicable y escalable: La herramienta metodológica tiene el potencial de replicarse en otras empresas del sector cerámico o en industrias con alto consumo energético, convirtiéndose en un modelo adaptable y escalable que contribuye a la sostenibilidad industrial a nivel regional y nacional.
6. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): La iniciativa contribuye directamente a los ODS relacionados con energía asequible y no contaminante (ODS 7), industria e innovación (ODS 9) y acción por el clima (ODS 13), fortaleciendo el compromiso del sector cerámico con la sostenibilidad global.

MODELO DE UN SISTEMA CIBER-FISICO-HUMANO DE CONTROL TOLERANTE A FALLOS BASADO EN SISTEMAS MULTIAGENTES PARA UNA PLANTA DE DESTILACION

Autora: MSc. Sandra Aranguren Z., PhD. Jose Aguilar C., Dr. Rocco Tarantino A.

RESUMEN

La seguridad y fiabilidad son parámetros importantes para considerar en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de procesos industriales. Cuando ocurre un fallo en equipos altamente críticos, transmisores y actuadores perteneciente tanto a los Sistemas de Control de Procesos Básico (SCPB), como a los Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS), se desvía el punto de operación nominal (Uo,Yo) a un punto de falla (Uf, Yf) y si no es detectada a tiempo y no se toma las acciones respectivas, podría producir una falla funcional en estos sistemas y llevar a la planta industrial a una reducción de su rendimiento, pérdidas de funciones importantes y disminución de la seguridad.

Algunos sectores industriales tales como: aeronáutica [5], refinación [12], gas natural [14], energía (Ahmad et al., 2022), acuicultura [8], agricultura (Rejeb et al., 2022), salud [2], que utilizan técnicas de inteligencia artificial tanto para administrar grandes volúmenes de datos de diferentes fuentes y de distintas plataformas digitales [3], como, imitar el comportamiento humano a través de algoritmos que perciba, razone y actúe para lograr objetivos definidos y solucionar problemas. La Industria 4.0, propone la transformación del modelo productivo empresarial piramidal, supervisorio y centralizado en un modelo distribuido y holárquico, a partir del establecimiento de una sólida infraestructura digital y de comunicación con el objeto de formar procesos inteligentes de producción y gestión, lo que nos lleva a pensar en un nuevo modelo de negocio.

En este trabajo se plantea modelar un sistema ciber-físico-humano de control tolerante a fallos basado en sistemas multiagente aplicado a procesos químicos, específicamente en una unidad de destilación. Se aplica la metodología MASINA para especificar el sistema multiagente del sistema ciber-físico humano. El sistema multiagente propuesto consta de un conjunto de agentes pertenecen al sistema ciberfísico : agente regulador y agente celador. El sistema Ciberhumano representado por agente humano y el agente reconfigurador. Y el sistema cibernético donde se diagnosticara de manera integral el fallo e informará a las unidades respectivas a partir de las mediciones de los sensores/transmisores y acciones de control de los sistemas físicos, de acuerdo a los fallos encontrados y finalmente, la evaluación del sistema humano a cargo de ingenieros de control o químicos quienes estarán bajo la supervisión de dicha planta, mejorando la fiabilidad operacional.

Los sistemas ciberfísicos humanos tolerante a fallos mediante el sistema de monitorización, el diagnóstico de los fallos y el control en tiempo real aumenta la eficiencia y la confiabilidad en procesos industriales.

METODOLOGÍA

En este proyecto se plantea una investigación aplicada, la cual está orientada a resolver el problema de diagnosticar un fallo y reconfigurar el proceso con el objetivo de mantener estable y confiable la planta industrial. Se plantea un modelo de un sistema ciber-físico-humano de control tolerante a fallos basado en sistemas Multiagentes, que aumente la fiabilidad y sirva de apoyo para la toma de decisiones.

A su vez, la investigación es de tipo descriptiva-experimental; donde se realiza la descripción, análisis e interpretación de las características más significativas de los fallos en sensor/transmisores del equipo más crítico de la planta piloto de destilación. Se analiza la base de dato de confiabilidad, OREDA (Offshore & Onshore Reliability Data), la norma ISO 14224 y base de datos científicas. Se analiza los métodos de diagnóstico de fallos, y el modelado del sistema multiagente aplicando la metodología MASINA. Y se valida por medio de simulaciones computarizadas con Matlab&Simulink, Scilab, Jade, y escenarios experimentales de datos para el equipo más crítico de la planta piloto de destilación de la Universidad de Pamplona. En la figura 1, se puede observar el marco teórico referencial desde el estado de conocimiento al estado de la práctica.

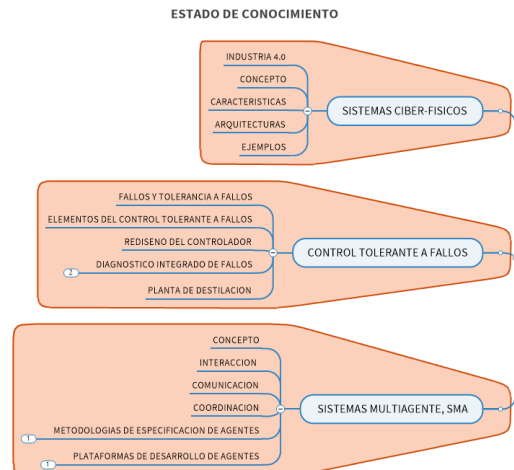


Figura 1. Marco teórico referencial

REFERENCIAS

- [1] Q. Liu, M. Liu, H. Zhou, F. Yan, Y. Ma, and W. Shen, "Intelligent manufacturing system with human-cyber-physical fusion and collaboration for process fine control," J Manuf Syst, vol. 64, pp. 149–169, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.06.004.
- [2] Chaki, J., Thillai Ganesh, S., Cidham, S. K., & Ananda Theertan, S. (2020). Machine learning and artificial intelligence based Diabetes Mellitus detection and self-management: A systematic review. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.06.013>
- [3] Mariani, M. M., Machado, I., Magrelli, V., & Dwivedi, Y. K. (2022). Artificial intelligence in innovation research: A systematic review, conceptual framework, and future research directions. Technovation. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102623>
- [4] D. G. Rosado et al., "Managing cybersecurity risks of cyber-physical systems: The MARISMA-CPS pattern," Comput Ind, vol. 142, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.compind.2022.103715..
- [5] Benahmed, B. D., Jeffali, F., el Barkany, A., & Bakdid, A. (2022). Design and realization of an aeronautical cleaning robot for aircraft maintenance 4.0 based on artificial intelligence. Materials Today: Proceedings. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.254>
- [6] S. Russell and P. Norving, Inteligencia Artificial. Un Enfoque Moderno. , Segunda Edición. Madrid: Pearson Education, S.A., 2004.
- [7] J. Aguilar, A. Rios, F. Hidrobo, and M. Cerrada, Sistemas Multiagentes y sus Aplicaciones en Automatización Industrial, Primera Edición., vol. Primera Edición. Merida, Venezuela, 2012.
- [8] Wu, Y., Duan, Y., Wei, Y., An, D., & Liu, J. (2022). Application of intelligent and unmanned equipment in aquaculture: A review. In Computers and Electronics in Agriculture (Vol. 199). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107201>.
- [9] DIDA Control, "Manual de operación y mantenimiento - Planta de Destilación Universidad de Pamplona," 2017.
- [10] R. Tarantino, F. Szigeti, and E. Colina-Morles, "Generalized Luenberger Observer-Based-Fault Detection Filter Design: An Industrial Application," Control Eng Pract, 1999.
- [11] R. Isermann, "Knowledge-Based Structures for Fault Diagnosis and Its Applications," IFAC Proceedings Volumes, vol. 30, no. 27, pp. 1–18, 1997, doi: 10.1016/s1474-6670(17)41152-9.
- [12] Arunthavanathan, R., Khan, F., Ahmed, S., Imtiaz, S., & Rusli, R. (2020). Fault detection and diagnosis in process system using artificial intelligence-based cognitive technique. Computers and Chemical Engineering, 134. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106697>
- [13] M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, and M. Staroswiecki, Diagnosis and Fault-Tolerant Control. Germany, 2003.
- [14] Vo Thanh, H., Zamanyad, A., Safaei-Farouji, M., Ashraf, U., & Hemeng, Z. (2022). Application of hybrid artificial intelligent models to predict deliverability of underground natural gas storage sites. Renewable Energy, 200, 169–184. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.132>
- [15] S. Alter, "Making Cyber-Human Systems Smarter," Inf Syst, p. 102428, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.is.2024.102428.
- [16] J. E. Rivadeneira, G. A. Borges, A. Rodrigues, F. Boavida, and J. Sá Silva, "A unified privacy preserving model with AI at the edge for Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems," Internet of Things (Netherlands), vol. 25, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.iot.2023.101034.
- [17] P. P. Khargonekar and M. Sampath, "A Framework for Ethics in Cyber-Physical-Human Systems," in IFAC-PapersOnLine, Elsevier B.V., 2020, pp. 17008–17015. doi: 10.1016/j.ifacol.2020.12.1251.
- [18] A. Mayer et al., "Towards Reconfigurable Cyber-Physical-Human Systems: Leveraging Mixed Reality and Digital Twins to integrate Human Operations," in IFAC-PapersOnLine, Elsevier B.V., 2024, pp. 524–531. doi: 10.1016/j.procir.2024.10.124.

MARCO TEÓRICO

INDUSTRIA 4.0

La Industria 4.0, propone la transformación del modelo productivo empresarial establecimiento una sólida infraestructura digital y de comunicación con el objeto de formar procesos inteligentes de producción y gestión.



Figura 2. (PDF) Sistema Ciber-Físico de una CNC para la producción de circuitos impresos (researchgate.net)

SISTEMA CIBER-FISICO-HUMANO

Es un sistema inteligente que integra los seres humanos, los sistemas cibernéticos y los sistemas físicos con el objetivo de mejorar los sistemas de fabricación, la toma de decisiones y manejar problemas inciertos y complicados.

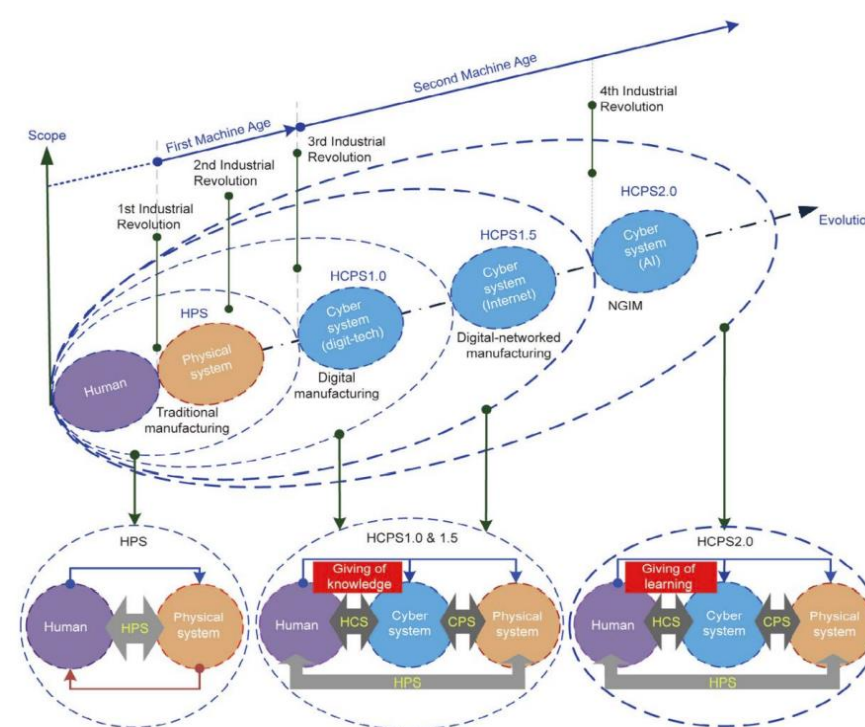


Figura 3. Evolución de la Fabricación Inteligente. (Jay Lee et al,2015)

AGENTE: Es un sistema computacional que está situado en un entorno, que es capaz de realizar acciones autónomas flexibles en ese entorno para alcanzar sus objetivos, mantienen información acerca de su entorno, y toman decisiones en función de su percepción del estado de dicho entorno, sus experiencias anteriores, y los objetivos que tienen planteados.

SISTEMAS MULTIAGENTE (SMA): Los SMA está conformado por un conjunto de agentes autónomos que interactúan entre sí, utilizando protocolos y lenguaje de comunicación de alto nivel para resolver un problema que esta más allá de las capacidades o conocimiento de cada uno [22]. Requieren de conceptos como Coordinación, Cooperación y Negociación.

SISTEMA CIBER-FISICO

Son aquellos sistemas que integran redes de comunicaciones, capacidad de cómputo, inteligencia, autonomía, seguimiento y control con los procesos físicos. **Características de los sistemas ciber-físicos**

1. Los CPS están totalmente conectados entre sí y a su vez, con las redes virtuales.
2. Los CPS tienen capacidad de relacionarse con objetos físicos para controlarlos y monitorizarlos.
3. Los CPS pueden utilizar la información disponible en el mundo virtual.
4. Los CPS tienen capacidad de aprender y evolucionar.

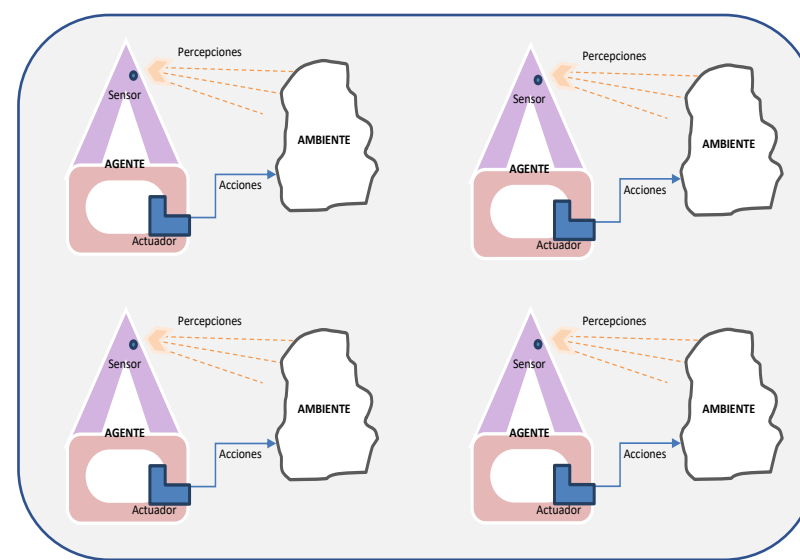


Figura 4 Sistema MultiAgente

RESULTADOS

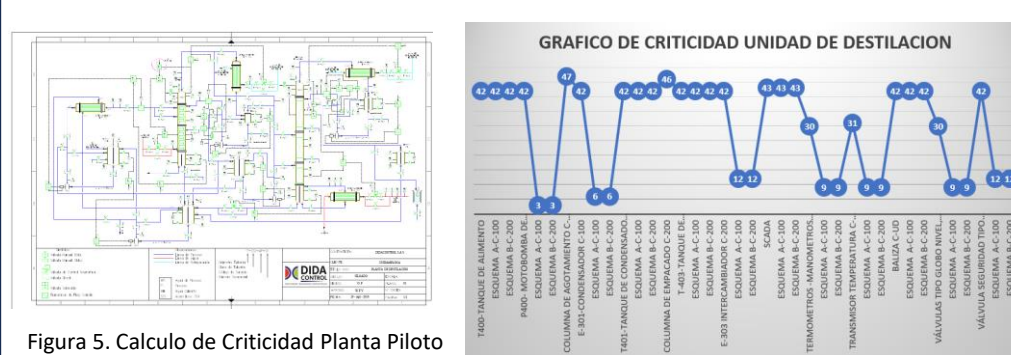


Figura 5. Cálculo de Criticidad Planta Piloto Destilación

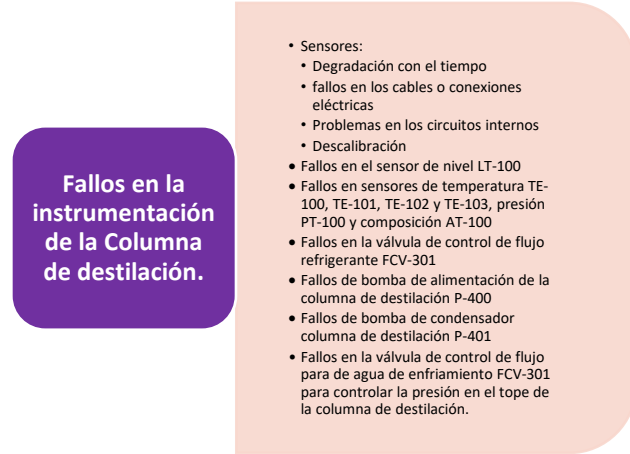


Figura 6. Fallos Columna de Destilación.

Agente	Sistema Control Proceso (Sistema SCPC)
Nombre	Regulador
Posición	SMA
Componentes	No aplica
Marco de referencia	No aplica
Descripción del agente	Permite operar el proceso en forma segura y estable.
Objetivos del agente	Medir, regular y estabilizar las variables de proceso.
Descripción	Recibe las variables del proceso y las compara con los puntos de operación y si hay diferencia o desviación es corregida por medio de una estrategia de control, enviando una señal de corrección a los actuadores.
Parámetros de entrada	Señales de las Variables de entrada y salida del proceso, Puntos de Operación.
Parámetros de salida	U: Acción de Control, información del proceso, direcciones físicas/virtuales de sensores, transmisores y actuadores.
Condición de activación	Después del Arranque del proceso
Condición de finalización	No aplica
Condición de éxito	Control de las variables del proceso, proceso estable.
Condición de fracaso	Medición de variables erróneas, no se transmite la señal de control, proceso inestable.

Tabla 1. Modelo de Agente: Caracteriza cada uno de los agentes, Plantilla del Modelo de Agente SBCP

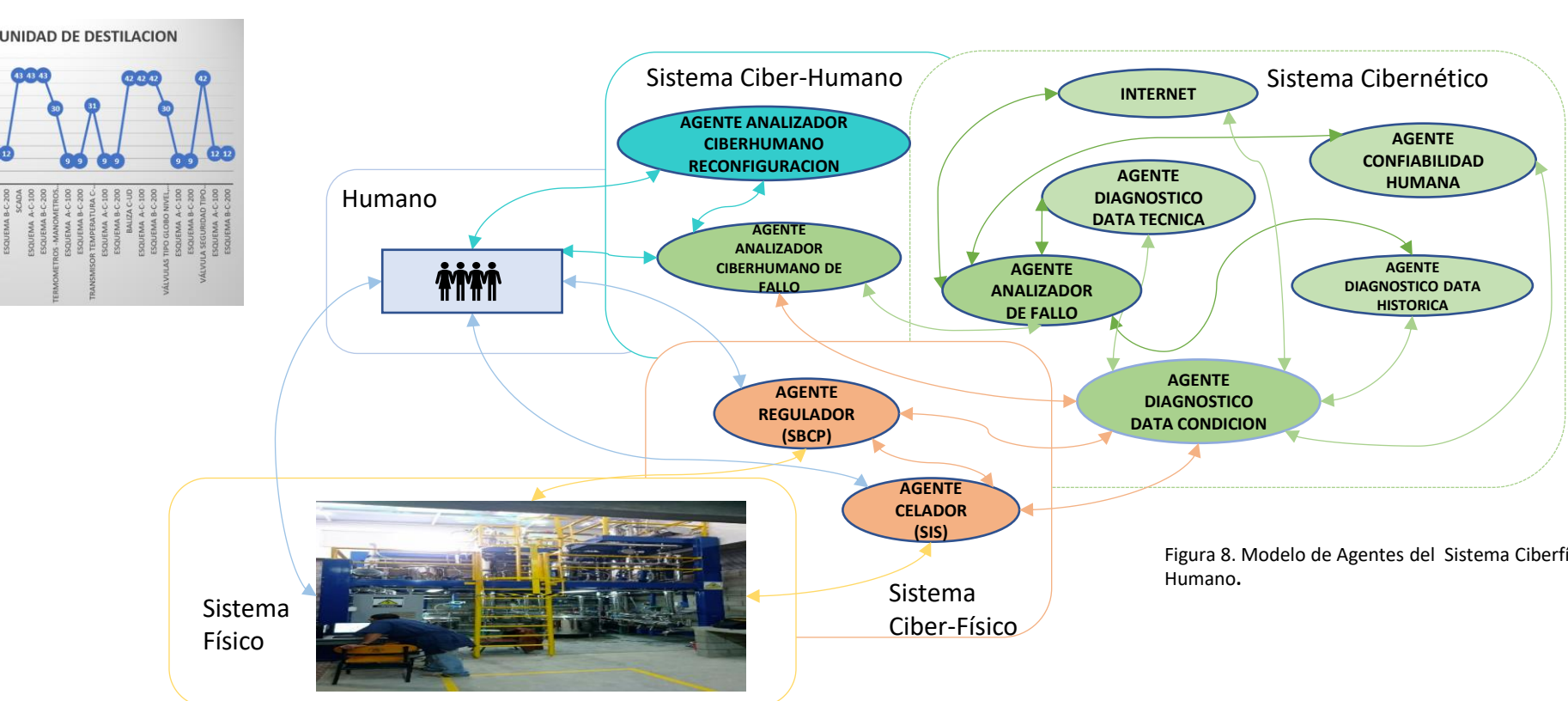


Figura 8. Modelo de Agentes del Sistema Ciberfísico Humano.

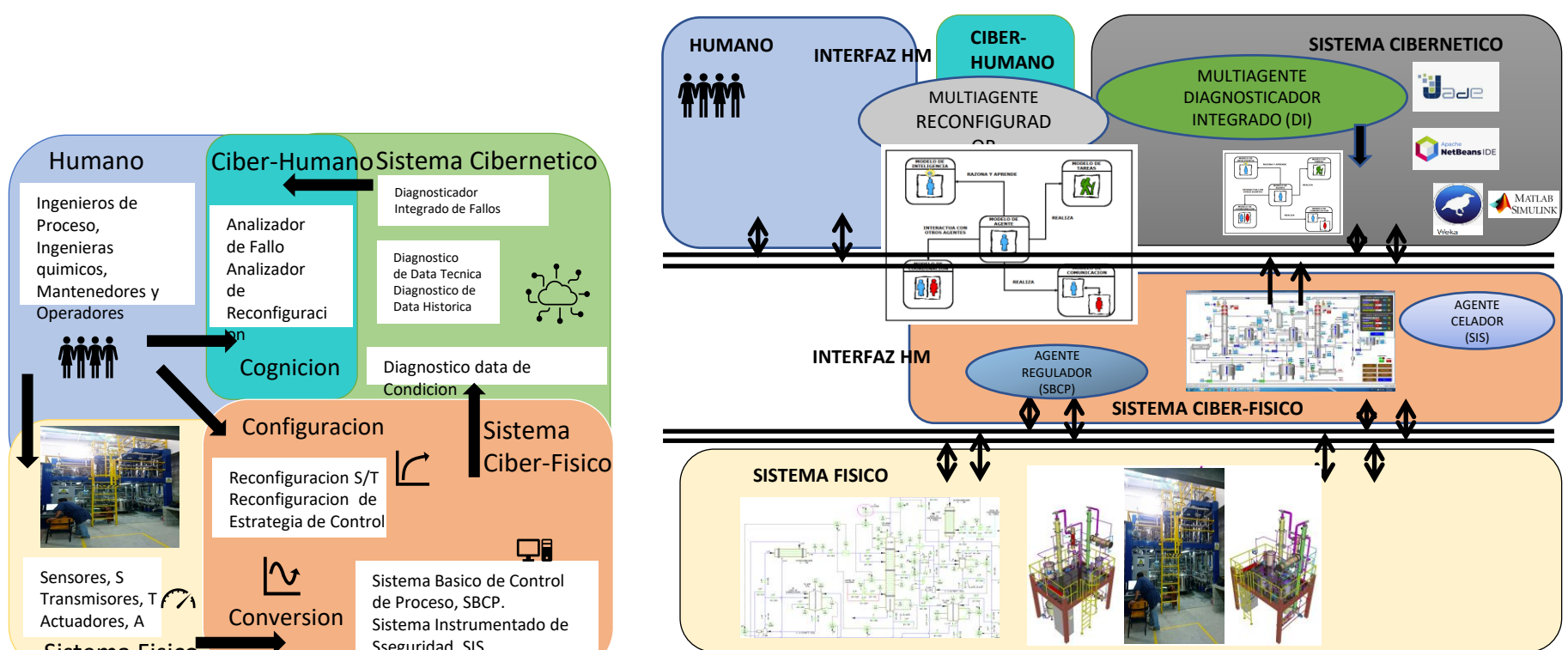


Figura 9. Arquitectura Sistema Ciberfísico Humano.

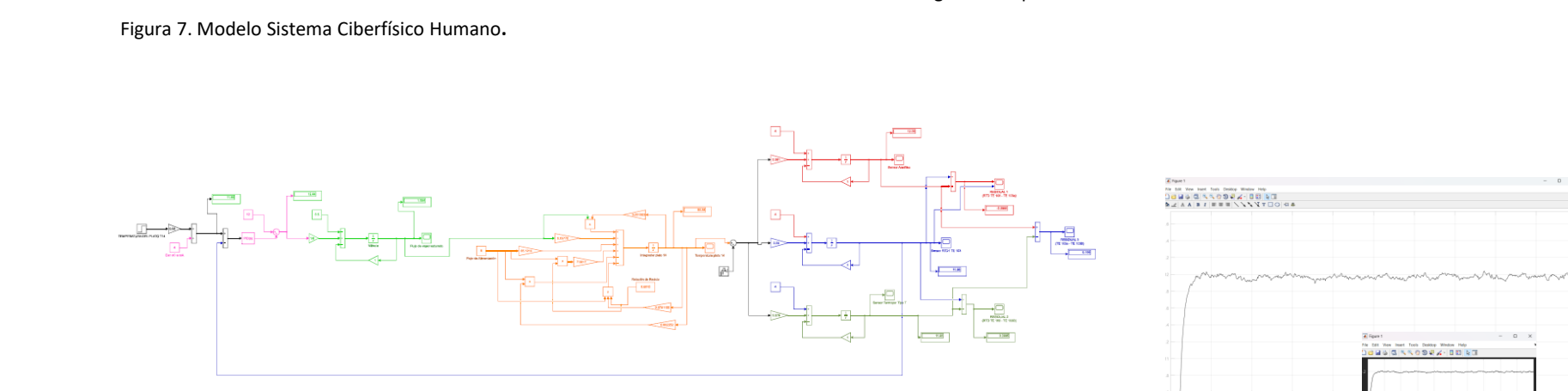


Figura 10. Modelado y simulaciones del lazo de control de temperatura y los residuales generados para detectar fallos en los sensores de temperatura.

CONCLUSIONES

La industria 4.0 requiere una sólida comprensión de los sistemas ciber-físicos (CPS). El análisis de datos permite a los ejecutivos tomar decisiones basadas en datos y aumentar la productividad, mientras que la automatización acelera la fabricación y reduce el tiempo de inactividad de las máquinas.

Los sistemas ciber-físicos (CPS) se consideran el siguiente paso en una evolución de refinamiento continuo e integración de funciones dentro de la Industria 4.0.

Es importante la generación de protocolos, procedimientos y normalización para de integración de los HCPS en la industria, la comunicación y herramientas requeridas para la implantación de los HCPS. Los CPS nos permite imaginar, construir, desarrollar, refinar sistemas inteligentes en dominios que conducen a la mejora de empresas, comunidades e individuos.

Para actualizar los diversos sistemas obsoletos de la infraestructura de la Industria 4.0, los ingenieros de CPS deben convertirse en expertos en tecnología. Pasar a una arquitectura más flexible y descentralizada a una arquitectura plana y holárquica, es una tarea desafiante y difícil, ya que se requiere una mayor interconectividad e interoperabilidad en todos los niveles de la arquitectura empresarial.

El modelado en agentes representan un nuevo nivel de abstracción que puede ser utilizado por los desarrolladores de software para entender, analizar y desarrollar de un modo más natural una clase importante de sistemas distribuidos.

Las técnicas de desarrollo software habituales no son capaces de capturar los aspectos únicos de los SMA: – Comportamiento flexible, autónomo, de resolución de problemas – Riqueza en sus interacciones – Complejidad de la estructura organizacional

La utilización de la metodología MASINA, permite especificar los sistemas multiagentes, facilitando el proceso de descripción de las actividades y tareas de los agentes, así como la descripción de la arquitectura del sistema en ambientes de automatización industrial.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

Desarrollo de un dispositivo para la detección y cuantificación de aflatoxinas en granos de arroz (*Oryza sativa* L.) a través de la emisión de fluorescencia, utilizando tecnología AIoT

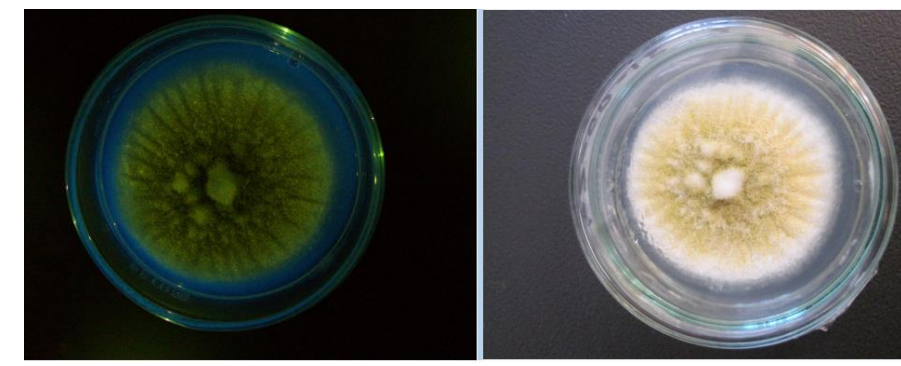
Ing. Daniel Camilo Ruíz Ayala

RESUMEN

Esta tesis doctoral presenta el desarrollo de un prototipo de dispositivo electrónico diseñado para exponer bajo la luz ultravioleta (UV) la morfología del hongo *Aspergillus flavus* y metabolitos secundarios o micotoxinas, esta especie es identificada principalmente por su síntesis de aflatoxinas. El sistema de iluminación estimula patrones de fluorescencia mediante la emisión de luz UV con tecnología LED, emitiendo en el espectro UV-A a una longitud de onda constante de 365 nm. Las imágenes digitales capturadas son almacenadas y luego pre-procesadas utilizando técnicas avanzadas de procesamiento digital de imágenes, con el objetivo de segmentar el micelio. La captura de imágenes se realiza con una cámara Raspberry Pi equipada con un sensor IMX477R de 12.3 MP, y la intensidad de la luz es controlada mediante modulación de ancho de pulso (PWM). Este enfoque incluyó técnicas de segmentación por binarización, análisis de contornos y extracción de características radiómicas, como perímetro, textura, y análisis de distribución cromática en los canales RGB y escala de grises. Entre los hallazgos clave, se identificaron patrones morfológicos distintivos de *A. flavus* en los diferentes medios de cultivo, con predominancia cromática en los canales rojo y verde, logrando diferenciar entre dos tipos de hongos, *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*, que presentan características morfológicas similares. Algoritmos como K-means, Random Forest y ANOVA se utilizaron para seleccionar las características más relevantes, logrando una diferenciación precisa entre especies y reduciendo significativamente las variables analizadas sin comprometer la precisión del modelo. Este enfoque no destructivo y de bajo costo permite complementar los métodos convencionales de discriminación de especies, generando una alternativa para realizar análisis cuantitativos macroscópicos, contribuyendo significativamente al avance del conocimiento en el área de la micología.

MARCO TEÓRICO

Género *Aspergillus* 180 especies



(a) (b)
Fig. 1. Muestra de *Aspergillus flavus*, (a) bajo luz ultravioleta 365nm y (b) luz blanca.

Colonizan granos y frutos secos

El hongo *Aspergillus flavus* coloniza granos y frutos secos, produciendo aflatoxinas, micotoxinas altamente tóxicas y cancerígenas que amenazan la seguridad alimentaria y generan un impacto económico significativo.



Fig. 3. Granos y frutos secos, con mayor tendencia a crecimiento de *Aspergillus flavus*.

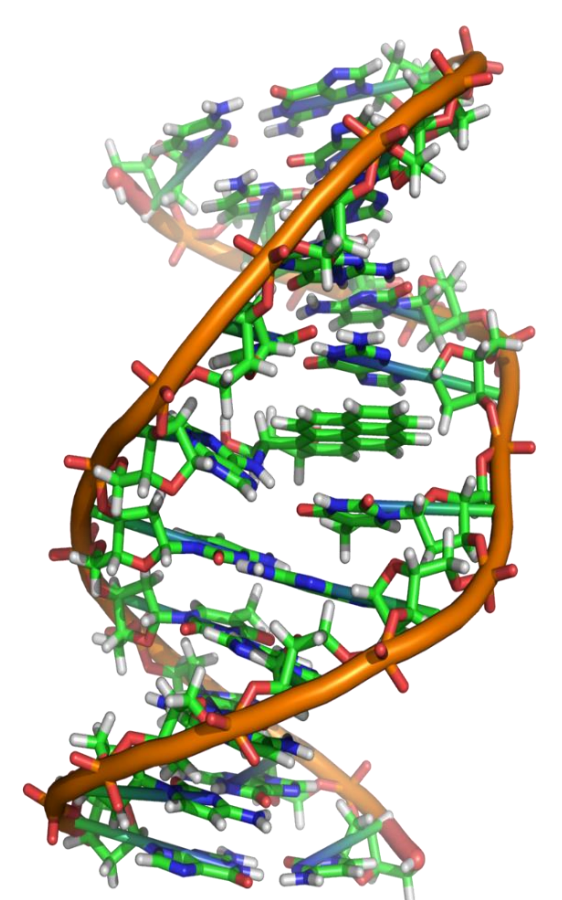


Fig. 4. Carcinogénicos en humanos y animales

METODOLOGÍA

Cuantitativa, Descriptiva, Experimental.

1 Revisión de Literatura

Estudio exhaustivo sobre la detección de hongos y técnicas de extracción de características en la industria alimentaria.

Diseño y Desarrollo 2

- Selección de componentes electrónicos.
- Diseño del circuito para emisión UV a 365nm.
- Adquisición de imágenes digitales.

Preprocesamiento de Imágenes 4

Implementar un método de segmentación que separe las colonias de *Aspergillus flavus* del fondo en las placas de Petri, utilizando imágenes capturadas bajo luz UV.

Evaluación 6

3 Recopilación y preparación de muestras

- Obtención de la cepa de *Aspergillus flavus*.
- Experimento de incubación en diferentes medios de cultivo.

5 Extracción de Características

- Extraer características de primer, segundo u orden superior para identificar patrones distintivos en las colonias de *Aspergillus flavus* bajo luz UV.
- Comparar las texturas de *Aspergillus flavus* con otro hongo para detectar diferencias morfológicas y texturales.



CONCLUSIONES

La fluorescencia UV funciona como herramienta diagnóstica exclusiva para hongos con metabolitos fotosensibles, requiriendo su combinación con otras técnicas para un análisis integral.

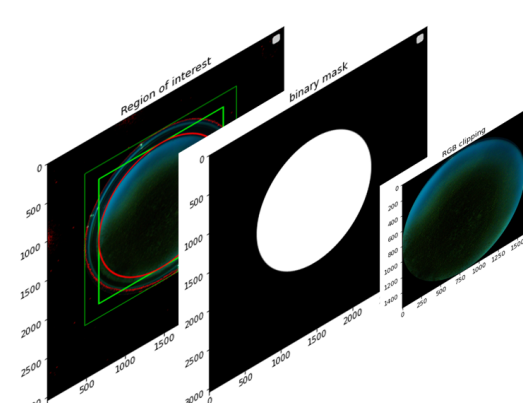
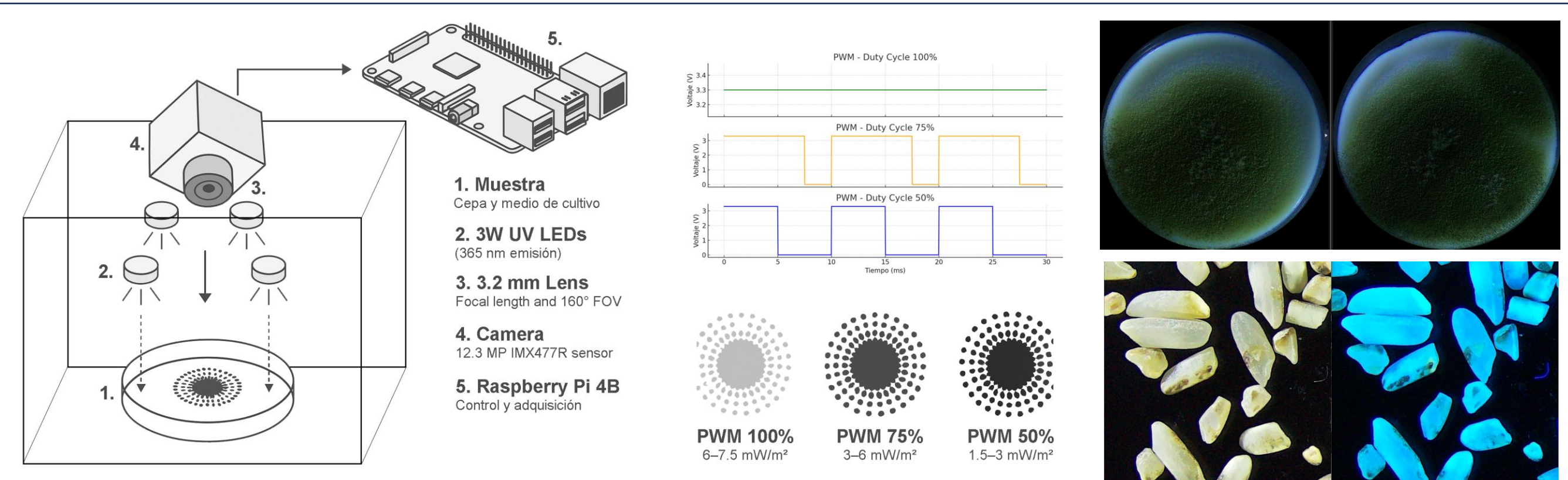
El análisis en RGB reveló características distintivas en imágenes de hongos bajo UV, demostrando su potencial para explorar otros espacios de color y enriquecer el conjunto de descriptores morfológicos.

La complejidad inherente a las imágenes de hongos bajo luz UV, debido al bajo contraste y la variabilidad en los patrones de fluorescencia, resalta la necesidad de protocolos estandarizados para la adquisición y análisis de imágenes

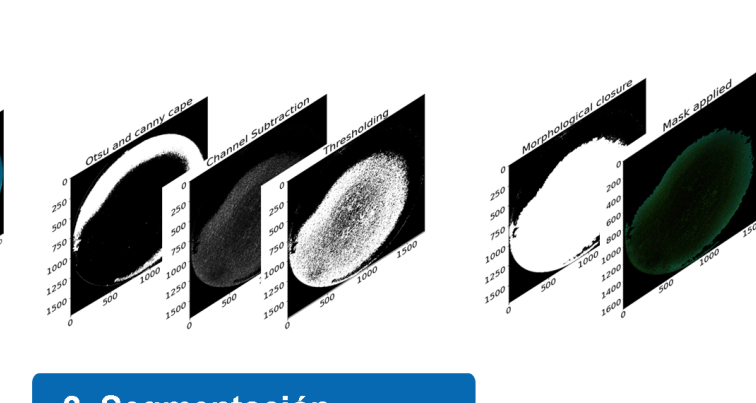
La radiómica complementa las técnicas macroscópicas al ofrecer interpretabilidad cuantitativa y facilitar la comparación morfológica entre hongos.

El uso de K-means permitió evaluar las intensidades cromáticas en los canales RGB, incluso en condiciones de bajo contraste, como ocurre en ciertos medios de cultivo.

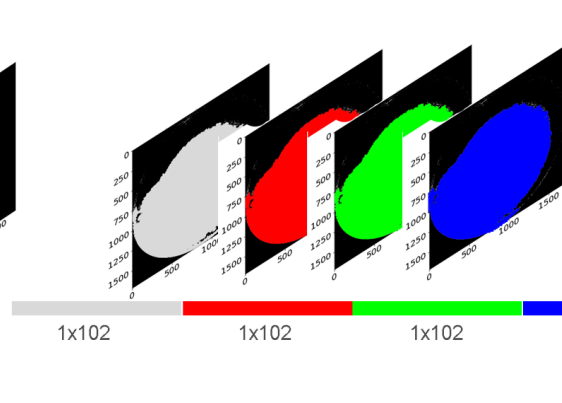
RESULTADOS



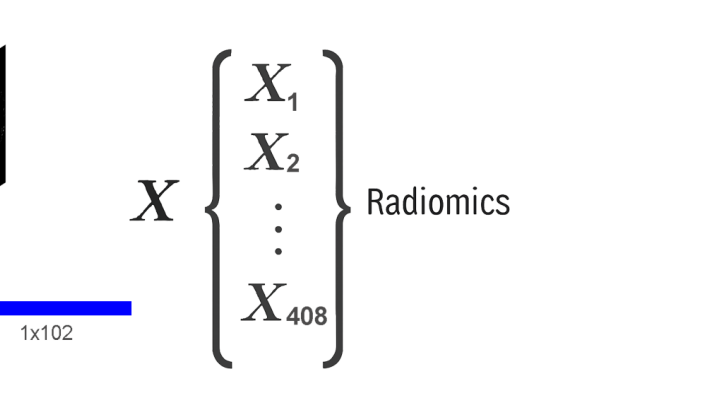
1. Identificación del petri
Detección de contornos
Recorte



2. Segmentación
Técnica de umbralización Otsu
Filtro Gaussiano
Detección bordes Canny
Operación entre canales
Dilatación y erosión

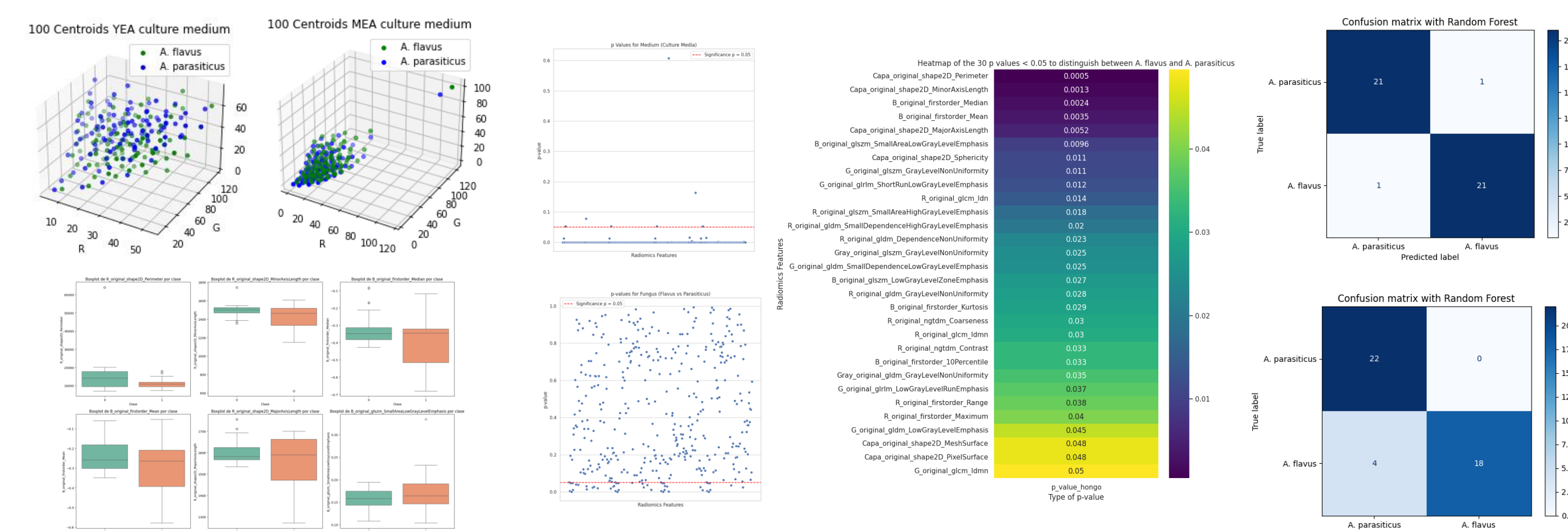


3. Mascara
Detección de interres (ROI)



4. Extracción de características radiómicas en los canales RGB y escala de grises

5. Identificación de características relevantes
Random Forest and Anova



REFERENCIAS

- [1] Y. Adjovi, J. Fossou, y U. Hilarion, "A silent killer in the word: Review on *Aspergillus flavus* strains", *Toxicon*, p. 108225, ene. 2025, doi: 10.1016/j.toxicon.2024.108225.
- [2] A. Espinosa y M. Bermúdez, "Las aflatoxinas, un tóxico que continúa presente en los alimentos y sus efectos biológicos en los humanos y en los animales", *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 26, may 2023, doi: 10.22201/fesz.23958723e.2023.553.
- [3] M. Kulik y R. Johnson, "Feasibility of Characterizing Spore Color in *Aspergilli* by Reflectance Spectrophotometry", *Mycologia*, vol. 61, n.o 6, pp. 1142-1148, nov. 1969, doi: 10.1080/00275514.1969.12018843.
- [4] C. Tsang et al., "Automatic identification of clinically important *Aspergillus* species by artificial intelligence-based image recognition: proof-of-concept study", *Emerging Microbes & Infections*, vol. 14, n.o 1, p. 2434573, dic. 2025, doi: 10.1080/22221751.2024.2434573.
- [5] B. Zieliński, A. Sroka, D. Rymarczyk, A. Piekarczyk, y M. Brzychczy, "Deep learning approach to describe and classify fungi microscopic images", *PLOS ONE*, vol. 15, n.o 6, p. e0234806, jun. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0234806.
- [6] T. Huang, K. Wang, X. Ye, C. Chen, y F. Chang, "Attention-Guided Transfer Learning for Identification of Filamentous Fungi Encountered in the Clinical Laboratory", *Microbiology Spectrum*, vol. 11, n.o 3, pp. e04611-22, jun. 2023, doi: 10.1128/spectrum.04611-22.
- [7] X. Guo et al., "Evaluation of *Aspergillus flavus* Growth and Detection of Aflatoxin B1 Content on Maize Agar Culture Medium Using Vis/NIR Hyperspectral Imaging", *Agriculture*, vol. 13, n.o 2, p. 237, ene. 2023, doi: 10.3390/agriculture13020237.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

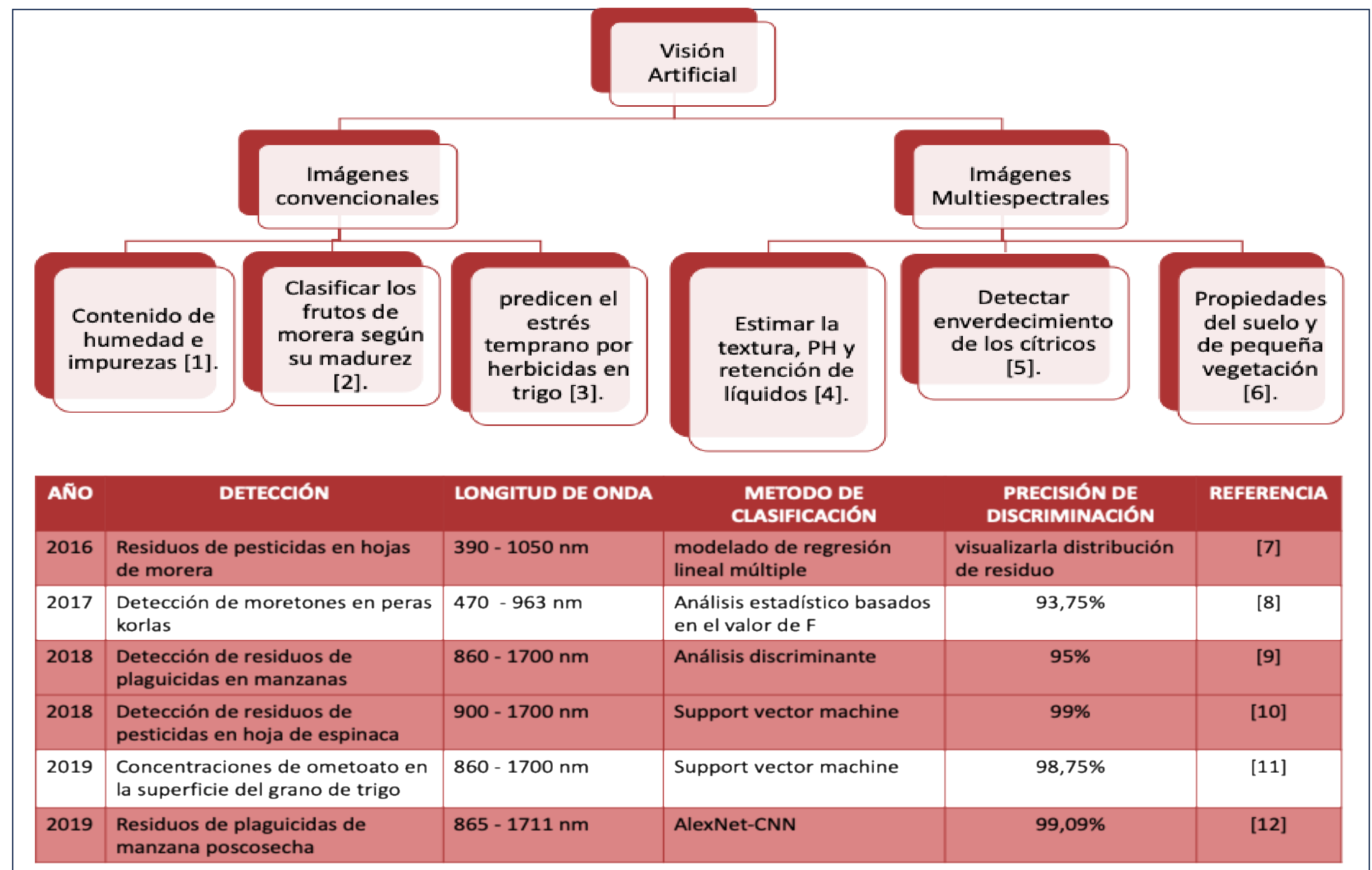
DETECCIÓN DE RESIDUOS DE PESTICIDAS EN LA PIEL DE FRUTAS BAJO CONDICIONES CONTROLADAS MEDIANTE IMÁGENES MULTIESPECTRALES Y TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

PhD(C). Diego Alfonso Pelaez, PhD. Oscar Eduardo Gualdron

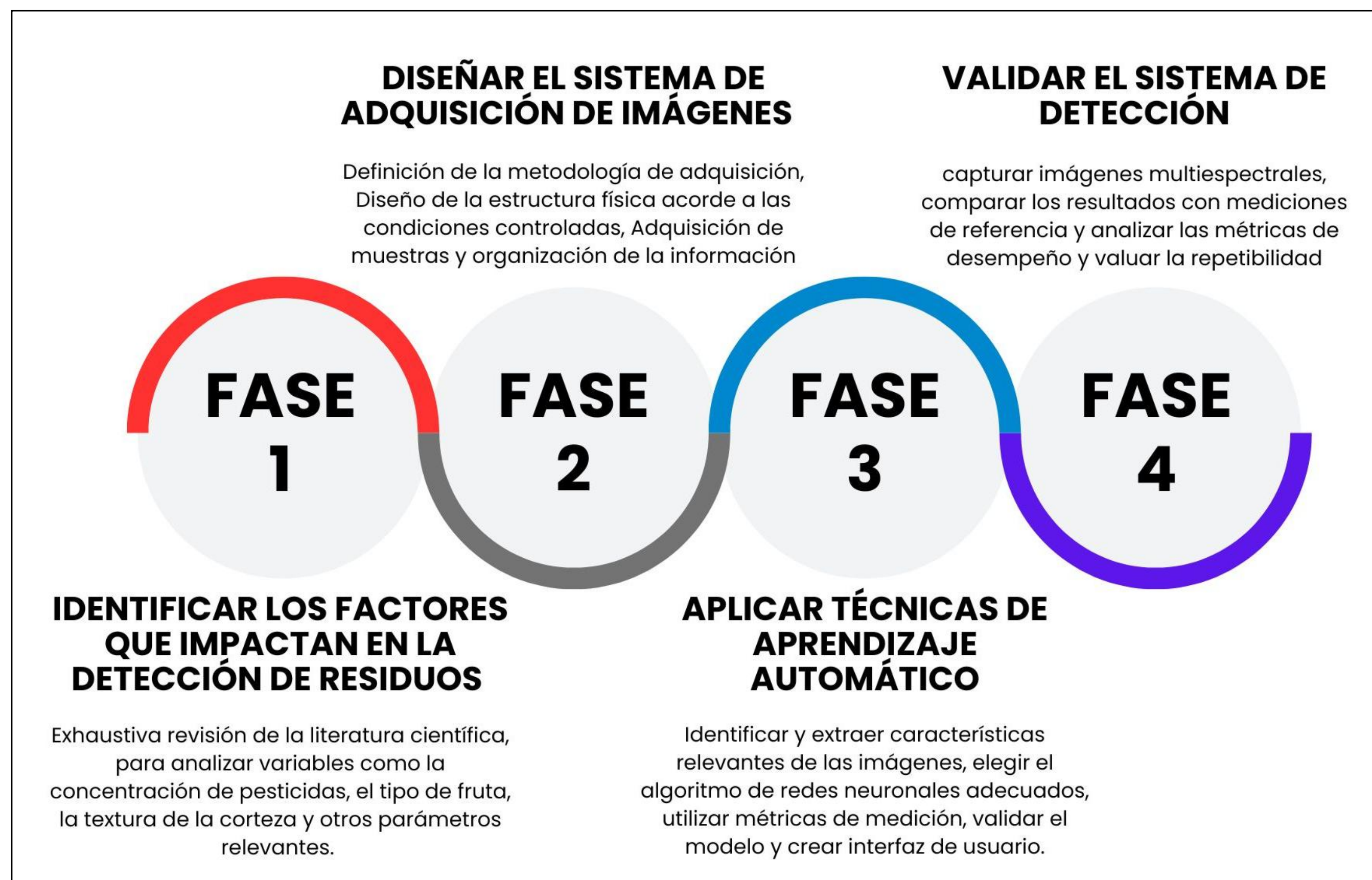
RESUMEN

El presente proyecto busca implementar herramientas tecnológicas no invasivas para detectar residuos de pesticidas en frutas, aprovechando los avances en agricultura de precisión mediante el uso de imágenes multiespectrales. El uso excesivo de pesticidas en los cultivos representa un riesgo para la salud humana y contamina los alimentos, por lo que se hace necesario desarrollar métodos de inspección más seguros y eficientes. La propuesta se enfoca en identificar las bandas espectrales, entre 465 y 860 nm, que permitan observar la presencia de pesticidas en la superficie del fruto, así como en establecer técnicas de clasificación basadas en aprendizaje automático que distingan eficazmente entre frutas contaminadas y libres de pesticidas. Para ello, se realizarán pruebas de laboratorio con frutas tratadas y no tratadas, siguiendo los rangos permitidos por las normas internacionales. A través del análisis de las variaciones en la intensidad de la radiación reflejada en las distintas longitudes de onda, se busca extraer características relevantes que permitan detectar residuos químicos. Estas características, imperceptibles a simple vista, serán procesadas mediante algoritmos de aprendizaje automático para construir un modelo de clasificación preciso. Finalmente, se empleará espectrometría de gases como técnica de validación para comparar los resultados obtenidos por el modelo, evaluando su tasa de acierto y robustez. Esta metodología apunta a mejorar la seguridad alimentaria, reducir el uso de métodos invasivos y optimizar los procesos de control de calidad en el sector agroindustrial.

MARCO TEÓRICO



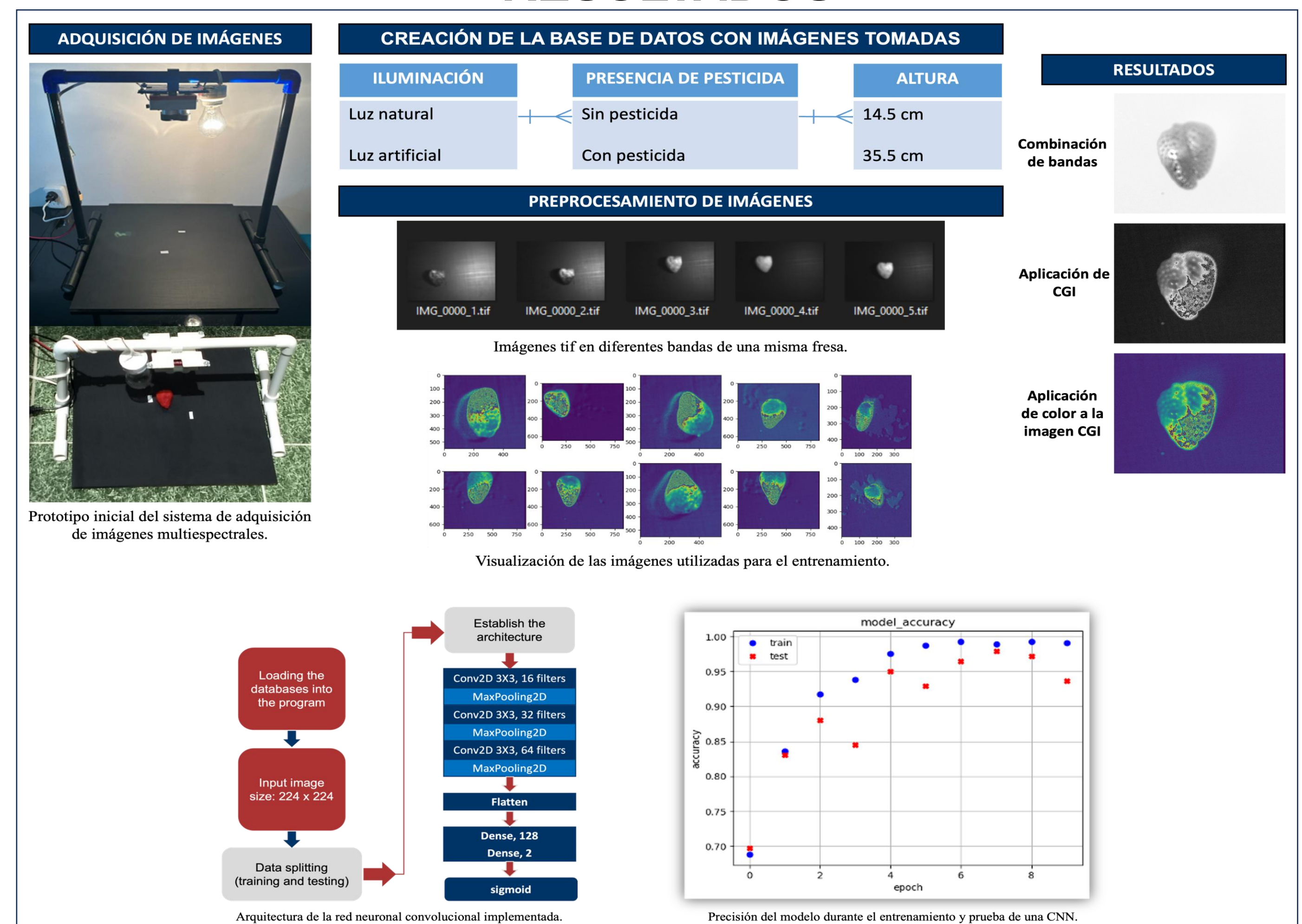
METODOLOGÍA



REFERENCIAS

- [1] A. Kleefeld, S. Gypser, W. B. Herppich, G. Bader, and M. Veste, "Identification of spatial pattern of photosynthesis hotspots in moss- and lichen-dominated biological soil crusts by combining chlorophyll fluorescence imaging and multispectral BNDVI images," *Pedobiologia (Jena)*, vol. 68, pp. 1–11, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2018.04.001>.
- [2] A. Gila, M. A. Bejaoui, G. Beltrán, and A. Jiménez, "Rapid method based on computer vision to determine the moisture and insoluble impurities content in virgin olive oils," *Food Control*, vol. 113, p. 107210, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107210>.
- [3] H. Azarmdel, A. Jahanbakhshi, S. S. Mohtasebi, and A. R. Muñoz, "Evaluation of image processing technique as an expert system in mulberry fruit grading based on ripeness level using artificial neural networks (ANNs) and support vector machine (SVM)," *Postharvest Biol Technol*, vol. 166, p. 111201, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111201>.
- [4] H. Chu et al., "Hyperspectral imaging with shallow convolutional neural networks (SCNN) predicts the early herbicide stress in wheat cultivars," *J Hazard Mater*, vol. 421, p. 126706, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126706>.
- [5] Y. Lan et al., "Comparison of machine learning methods for citrus greening detection on UAV multispectral images," *Comput Electron Agric*, vol. 171, p. 105234, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105234>.
- [6] S. Orlando, M. Minacapilli, M. Sarno, A. Carrubba, and A. Motisi, "A low-cost multispectral imaging system for the characterisation of soil and small vegetation properties using visible and near-infrared reflectance," *Comput Electron Agric*, vol. 202, p. 107359, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107359>.
- [7] R. E. N. Zhan-qi, R. A. O. Zhen-hong, and J. I. Hai-yan, "Identification of Different Concentrations Pesticide Residues of Dimethoate on Spinach Leaves by Hyperspectral Image Technology," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 17, pp. 758–763, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.104>.
- [8] S. Jiang, J. Sun, Z. Xin, H. Mao, X. Wu, and Q. Li, "Visualizing distribution of pesticide residues in mulberry leaves using NIR hyperspectral imaging," *J Food Process Eng*, vol. 40, no. 4, p. e12510, 2017, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12510>.
- [9] X. Chen et al., "[Visual Detection Study on Early Bruises of Korla Pear Based on Hyperspectral Imaging Technology]," *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*, vol. 37, no. 1, pp. 150–155, Jan. 2017.
- [10] Y. Jia, J. He, H. Fu, X. Shao, and Z. Li, "Apple Surface Pesticide Residue Detection Method Based on Hyperspectral Imaging," in *Intelligence Science and Big Data Engineering*, Y. Peng, K. Yu, J. Lu, and X. Jiang, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 539–556.

RESULTADOS



CONCLUSIONES

La investigación permitió entre otras cosas generar una comparación entre diferentes tipos de pesticidas, permitiendo seleccionar el fungicida Anker como la mejor opción para la contaminación de las muestras, gracias a la gran comercialización y uso entre las practicas agrícolas. También se pudo establecer una manera de controlar la presencia de pesticidas en las fresas al generar diferentes diluciones en ppm. Se pudo proponer una versión inicial de un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales, que permiten garantizar la captura de información minimizando las influencias de las variables externas que pueda afectar la calidad del muestreo. Finalmente, se puedo generar un algoritmo de preprocesamiento que permite implementar técnicas de combinación de bandas espectrales, dando como resultados iniciales que el índice CGI permite observar el químico seleccionado sobre las superficies de las fresas. Se ha confirmado la eficacia de emplear un modelo CNN para analizar imágenes multiespectrales de fresas contaminadas con pesticidas. Mediante un proceso de entrenamiento meticuloso y una arquitectura cuidadosamente diseñada, el modelo alcanzó una alta precisión de clasificación del 97%.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

DISEÑO DE UN SENSOR DIGITAL DE PRESIÓN BASADO EN AIoT PARA MONITORIZAR UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

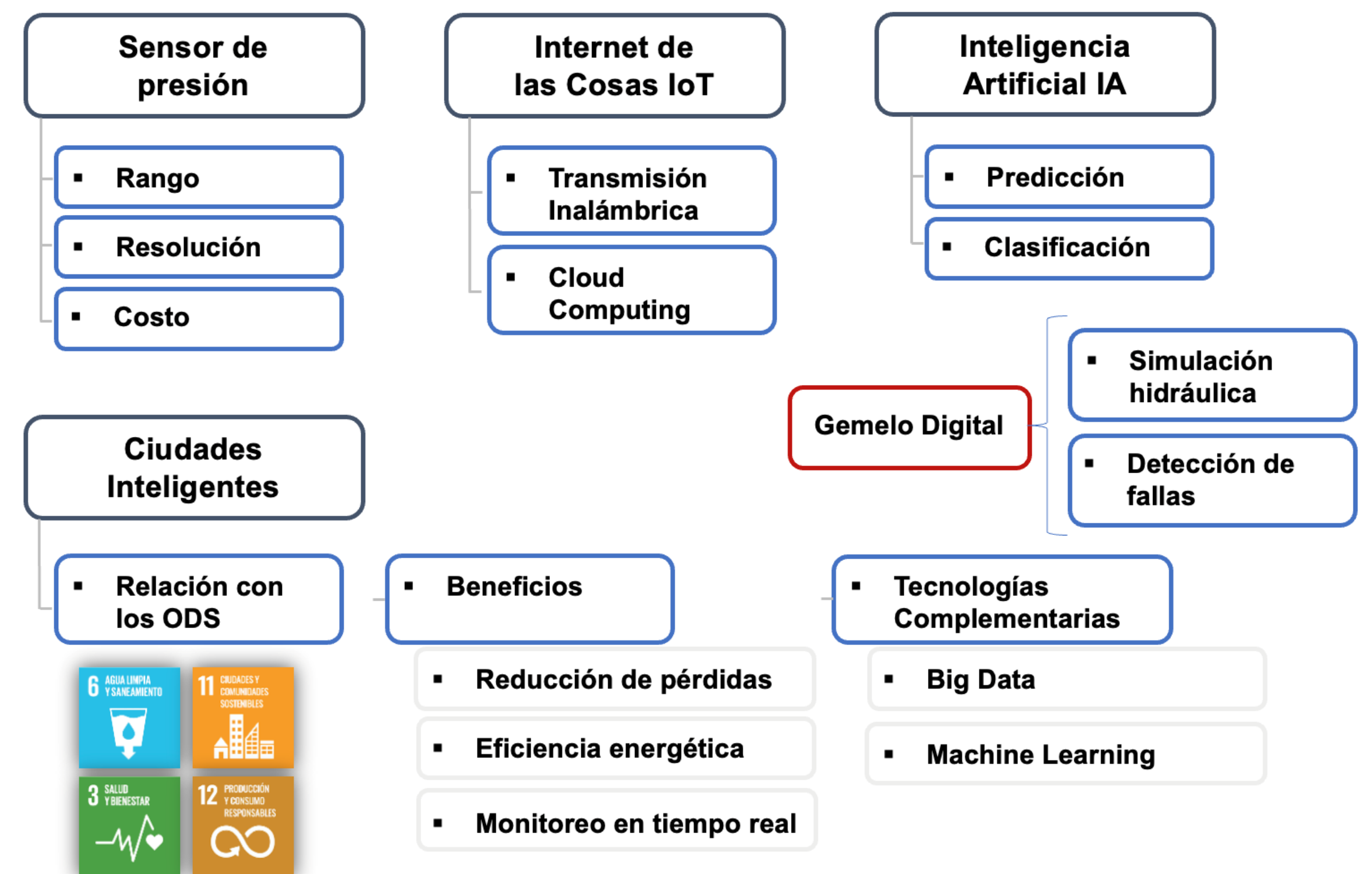
Mg. Diego José Barrera Oliveros, Ph.D Oscar Javier Suárez Sierra

RESUMEN

El presente proyecto propone el diseño de un sensor digital de presión basado en AIoT (Inteligencia Artificial de las Cosas) para monitorear sistemas de distribución de agua potable. El objetivo es medir la presión en puntos estratégicos de la red, transmitir datos en tiempo real a una interfaz y utilizar algoritmos de IA para analizar y predecir fallas, como fugas, contribuyendo a la optimización del recurso hídrico. El sensor tendrá alimentación autónoma, bajo costo y se evaluará mediante un gemelo digital. La investigación busca mejorar la eficiencia del servicio, reducir pérdidas de agua (40% en Colombia) y alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.



MARCO TEÓRICO



AIoT integra IoT (transmisión de datos) e IA (análisis predictivo). El sensor de presión se vincula con gemelos digitales para validar su funcionamiento en un entorno virtual. Las ciudades inteligentes son el marco aplicativo, alineado con sostenibilidad y ODS. IoT habilita la comunicación remota, mientras la IA procesa

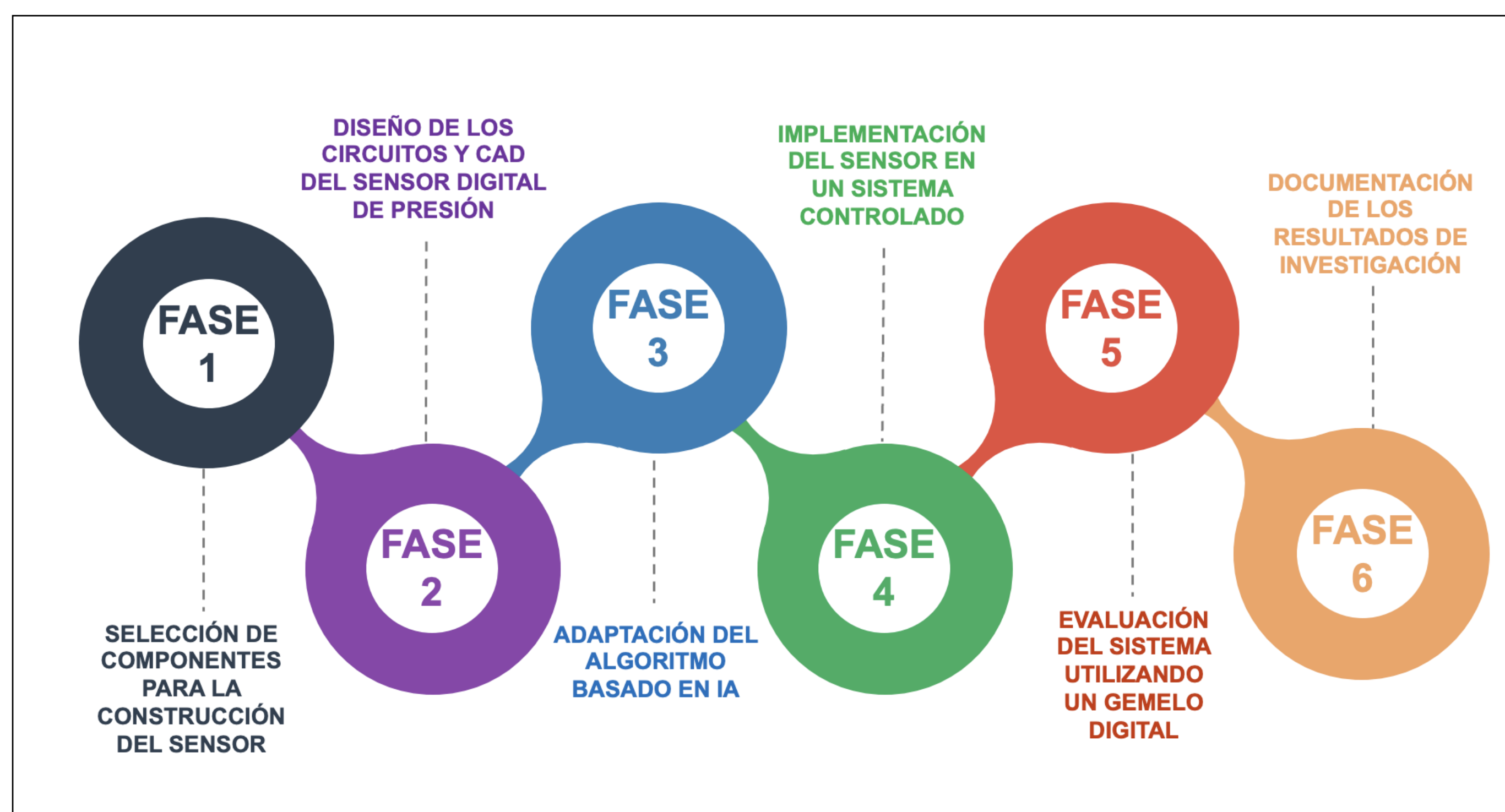
RESULTADOS

Fabricante	Modelo	Rango de Medición (PSI / Bar / Pa)	Precisión (%)	Tecnología	Salida	Dimensiones (mm)	Voltaje de Operación (V)	Certificaciones	Comentarios Adicionales	Tiempo de Respuesta
Honeywell	26PCFG6G	0 - 150 PSI	±0.25%	Piezoeléctrico	4-20 mA	30x20x15	5V - 30V	CE, RoHS	Sensor de baja potencia	10 ms
Bosch	BMP388	300 - 1100 hPa	±0.5%	MEMS	I2C, SPI	2x2x0.75	1.7V - 3.6V	RoHS	Ideal para altitud	1 ms
TE Connectivity	MSS803-14BA	0 - 2000 mBar	±0.02%	Piezo-resistivo	I2C, SPI	6.4x6.4x2.75	3.3V	CE, RoHS	Resistente a la humedad	2 ms
Amphenol	T5500	0 - 500 PSI	±1.0%	MEMS	0-10 V	50x20x15	10V - 30V	CE, RoHS	Alta estabilidad	5 ms
STMicroelectronics	LPS22HB	260 - 1260 hPa	±0.1 hPa	MEMS	I2C, SPI	2x2x0.76	1.7V - 3.6V	REACH, RoHS	Bajo consumo de energía	1 ms
NXP	MPX5700AP	0 - 700 kPa	±0.4%	Piezo-resistivo	0-10 V	35x25x15	5V	RoHS	Alta estabilidad y precisión	5 ms
Sensirion	SDP810-500Pa	0 - 500 Pa	±1.0%	MEMS	I2C	7x7x4	3.3V	RoHS	Alta precisión en baja presión	2 ms
All Sensors	SCP6000	0 - 100 PSI	±0.25%	Piezoeléctrico	4-20 mA	40x20x25	12V - 24V	CE, RoHS	Alta sensibilidad y durabilidad	10 ms
Omega Engineering	PX409-150V	0 - 150 PSI	±0.5%	MEMS	0-5 V	40x30x20	5V	CE, RoHS	Buen rendimiento a altas presiones	8 ms
Parallax	BMP180	300 - 1100 hPa	±1.0 hPa	MEMS	I2C	3x3x1.0	1.8V - 3.6V	RoHS	Bajo costo y buen rendimiento	1 ms
Microchip	MPX5700	0 - 700 kPa	±0.5%	Piezo-resistivo	0-10 V	37x23x15	5V	RoHS	Alta sensibilidad y robustez	10 ms
Bosch	BMP280	300 - 1100 hPa	±1.0 hPa	MEMS	I2C	5x3x1.2	1.8V - 3.6V	RoHS	Buen rendimiento en altitud	1 ms
Freescale	MPX5100	0 - 100 kPa	±0.3%	Piezo-resistivo	0-5 V	35x24x16	5V	CE, RoHS	Alta precisión en rangos bajos	5 ms
Texas Instruments	LMP90100	0 - 5000 PSI	±0.1%	MEMS	4-20 mA	50x35x20	12V - 24V	CE, RoHS	Excelente para aplicaciones industriales	8 ms
Analog Devices	ADT7410	0 - 2000 kPa	±0.2%	MEMS	I2C	7x5x3.5	3.3V - 5V	RoHS	Alta precisión y estabilidad	2 ms
Silicon Labs	Si7021	300 - 1100 hPa	±0.3 hPa	MEMS	I2C	5x3x1.5	2.2V - 3.6V	RoHS	Sensor compacto para humedad y presión	2 ms
Honeywell	ASDXRRX10-0PAA	0 - 100 PSI	±0.25%	Piezoeléctrico	4-20 mA	50x25x20	5V - 30V	CE, RoHS	Alta precisión y durabilidad	10 ms
NXP	MPL115A2	50 - 115 kPa	±1.5%	MEMS	I2C	7x7x3	3.3V	RoHS	Sensor de presión barométrica para aplicaciones generales	5 ms
STMicroelectronics	LPS22DF	260 - 1260 hPa	±0.1 hPa	MEMS	I2C	3x3x1.0	1.7V - 3.6V	RoHS	Excelente para aplicaciones en baja presión	1 ms
Measurement Specialties	HSC series	0 - 5000 PSI	±0.25%	Piezo-resistivo	0-5 V	45x25x20	5V	CE, RoHS	Alta capacidad de medición en rangos altos	8 ms

REFERENCIAS

- [1] Microsensor, Abril 14 2022, "Control inalámbrico de presión MPM6881 para la red de tuberías de suministro de agua" [En Línea]. Disponibilidad: https://es.microsensorcorp.com/Details_Details_wireless_pressure_monitoring_for_water_supply_pipeline_network.html
- [2] E. Carrero; L. Hernández; C. Zamora & J. Beltrán, "Detección y localización de fuga de fondo en tuberías plásticas de agua bajo un ambiente ruidoso," *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones EAC*, Vol 40, pp.1-15, 2019.
- [3] E. Ladino; C. García & M. García, "Estimación de fugas en tuberías a presión para sistemas de agua potable mediante redes neuronales artificiales y Epanet," *Revista científica CIDC*, Vol 43, pp.2-19, 2021.
- [4] M. Messaoudi; B. Menelas & H. Mcheick, "Integration of Smart Cane with Social Media: Design of a New Step Counter Algorithm for Cane," *IoT 5*, pp 168-186, 2024.
- [5] Ministerio de Vivienda, [En línea]. Disponibilidad: <https://www.minvivienda.gov.co>
- [6] R. Wannapop; T. Jearsiripongkul & K. Jiamjirach, "Adaptive urban drinking water supply model using the effect of node elevation and head loss formula: A case study," *Hliyon*, 2024.
- [7] R. Wannapop; T. Jearsiripongkul & K. Jiamjirach, "Adaptive urban drinking water supply model using the effect of node elevation and head loss formula: A case study," *Hliyon*, 2024.
- [8] M. Messaoudi; B. Menelas & H. Mcheick, "Integration of Smart Cane with Social Media: Design of a New Step Counter Algorithm for Cane," *IoT 5*, pp 168-186, 2024.

METODOLOGÍA



CONCLUSIONES

El proyecto de diseño de un sensor digital de presión basado en AIoT representa una solución innovadora para optimizar los sistemas de distribución de agua potable, abordando problemáticas críticas como las fugas y el desperdicio del recurso hídrico. Al integrar tecnologías de IoT para la transmisión de datos en tiempo real e IA para el análisis predictivo, se logra un monitoreo más eficiente y proactivo, lo que facilita la toma de decisiones y reduce pérdidas económicas y ambientales.

De igual manera, la implementación de un gemelo digital permite validar el funcionamiento del sensor en un entorno controlado, asegurando su confiabilidad antes de su despliegue en campo. Esta propuesta no solo contribuye a la modernización de infraestructuras, sino que también se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, promoviendo el acceso equitativo al agua y el uso responsable de los recursos.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

SISTEMA INTELIGENTE PARA EL RECONOCIMIENTO DE PROCEDIMIENTOS QUIRÚRGICOS

Ph.D (C) Florelva Rozo García

RESUMEN

La investigación se centra en el desarrollo de un modelo de inteligencia artificial (IA) supervisado, para caracterizar y evaluar la habilidad en tres técnicas quirúrgicas: la sutura, la venopunción y la canalización.



Figura 1. Simulador de canalización.



Figura 2. Emulador tipos de pieles.



Figura 3. Simulador de sutura.



Figura 4. Simulador de venopunción.

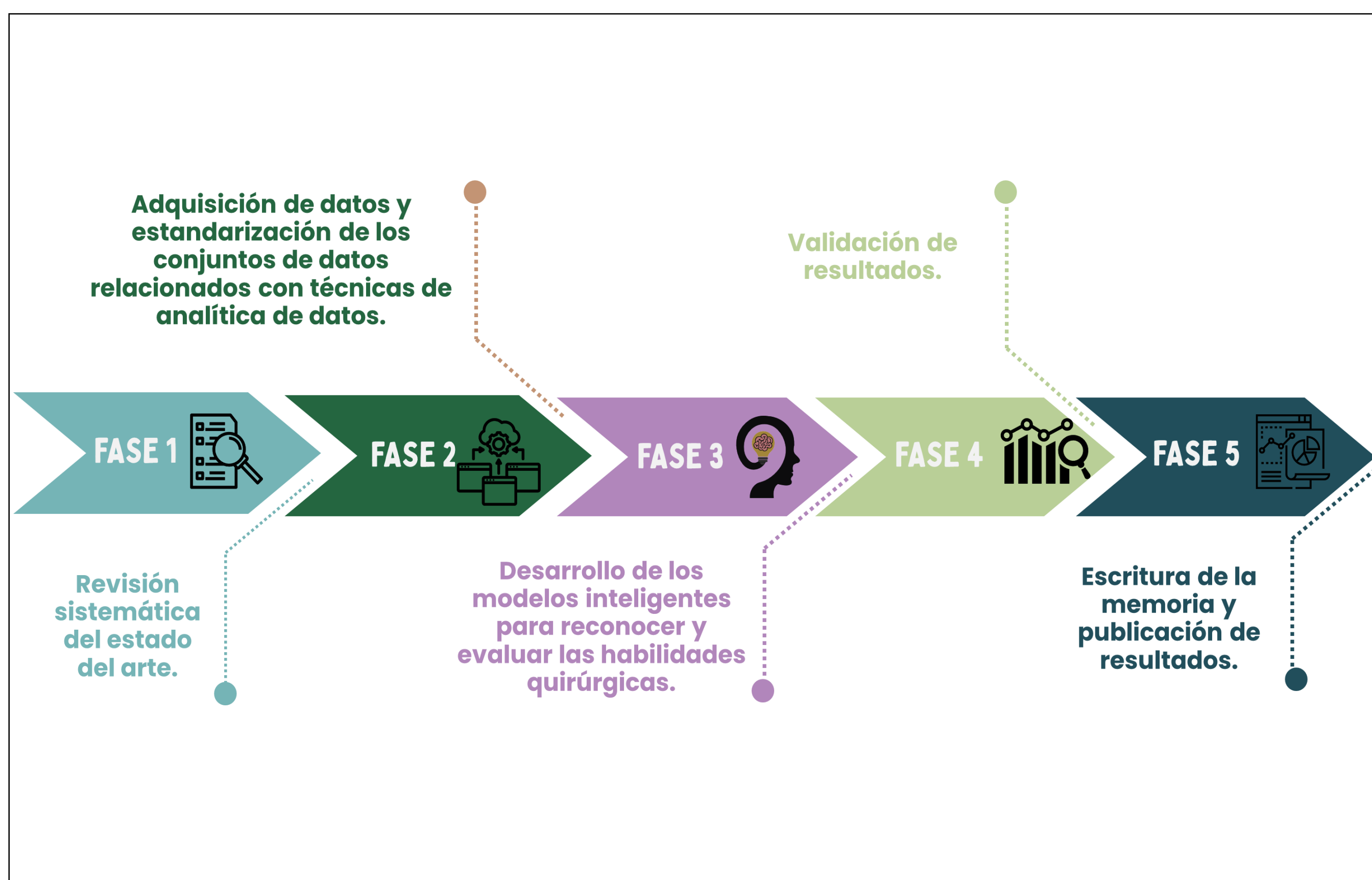


Figura 5. Unidad de circulación sanguínea.



Figura 6. Tecnología wearable

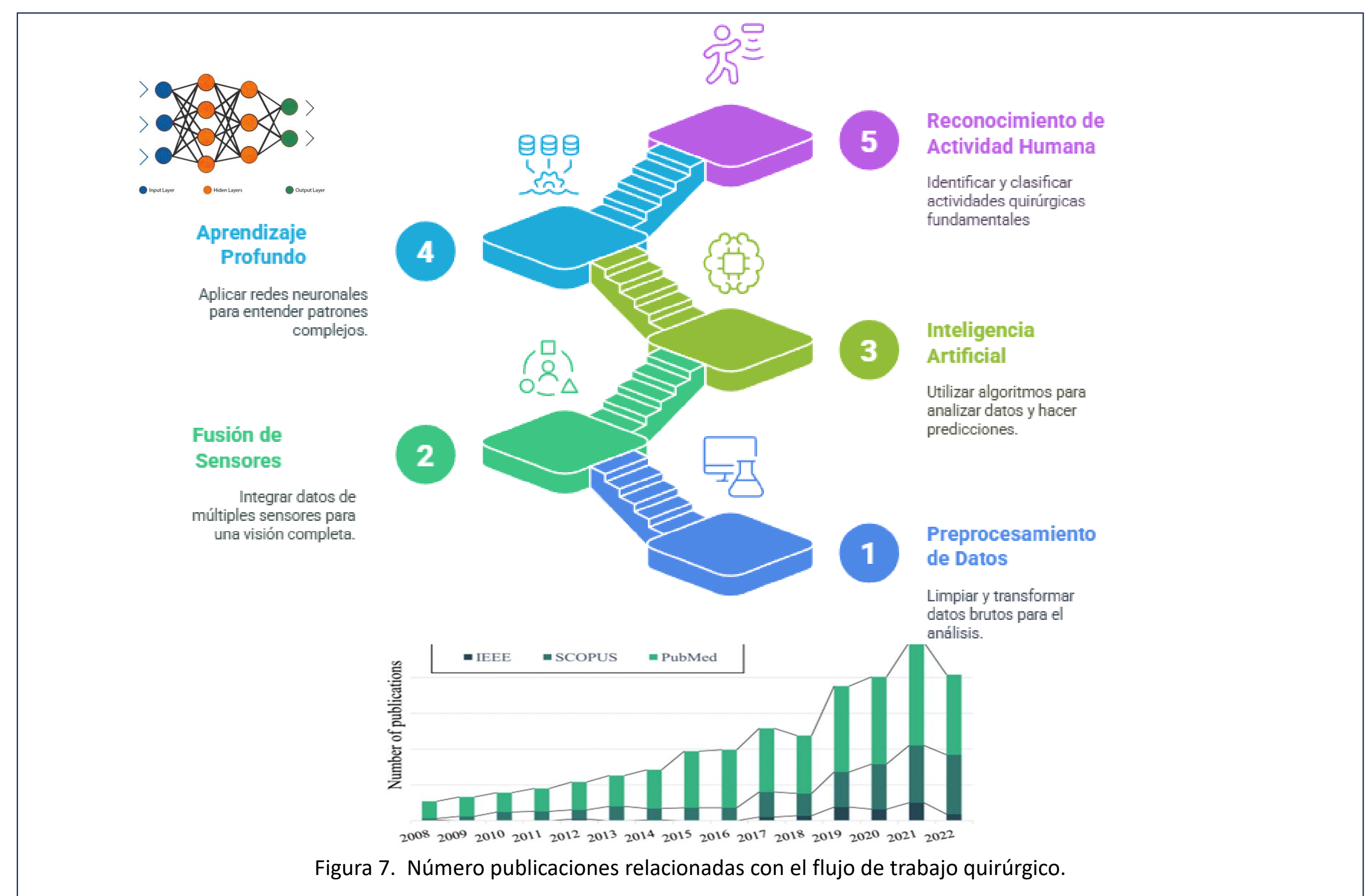
METODOLOGÍA



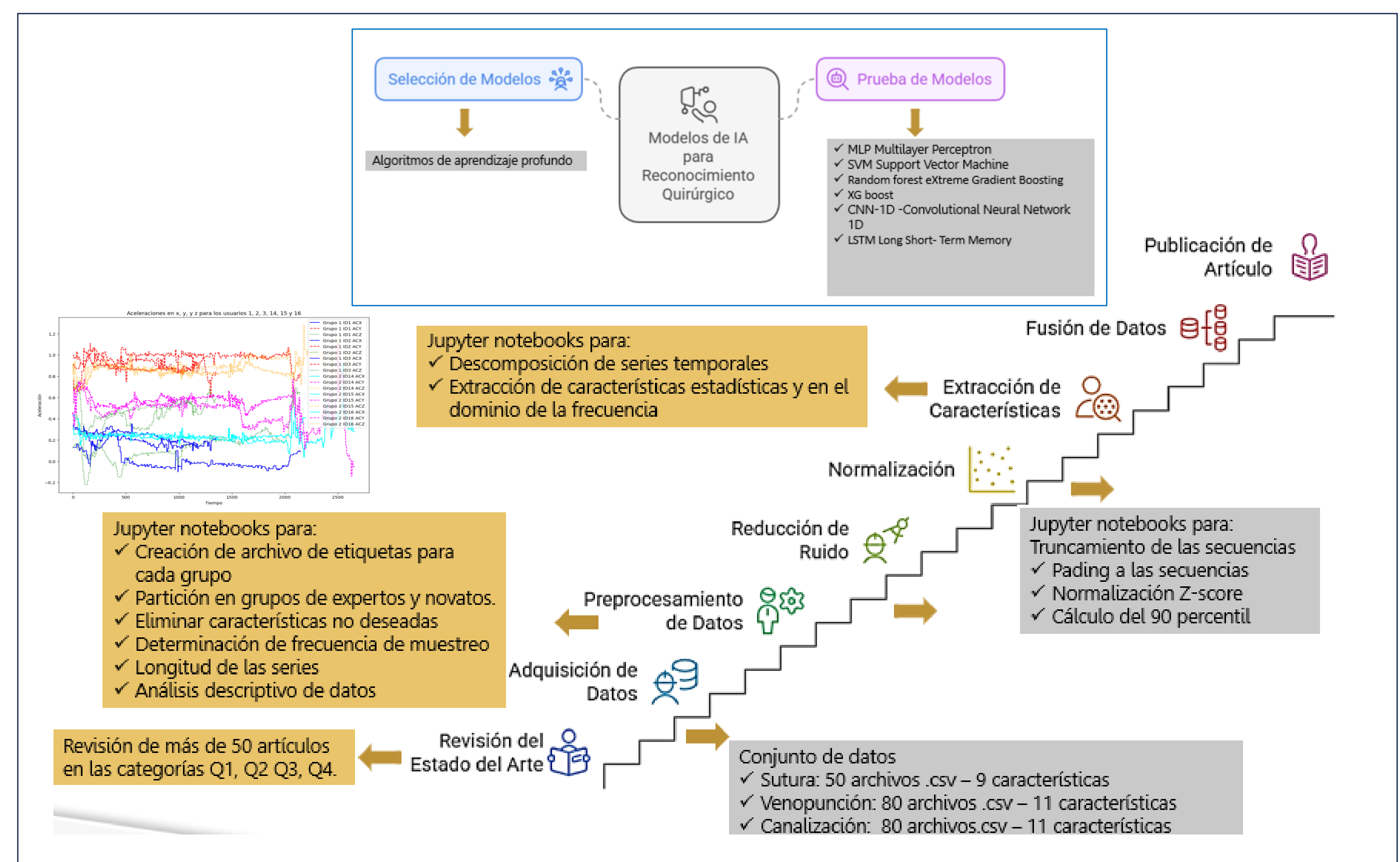
REFERENCIAS

- [1] Maharana, S. Mondal, and B. Nemade, "A review: Data pre-processing and data augmentation techniques," *Global Transitions Proceedings*, vol. 3, no. 1, pp. 91–99, 2022.
- [2] S. R. Stahlschmidt, B. Ulfenborg, and J. Synnergren, "Multimodal deep learning for biomedical data fusion: a review," *Briefings in Bioinformatics*, vol. 23, no. 2, pp. 569–577, Mar. 2022.
- [3] L. Alzubaidi, J. Zhang, A. J. Humaidi, et al., "Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions," *Journal of Big Data*, vol. 8, p. 53, 2021, doi: 10.1186/s40537-021-00444-8.
- [4] K. Demir *et al.*, "Deep Learning in Surgical Workflow Analysis: A Review of Phase and Step Recognition," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 27, no. 11, pp. 5405–5417, Nov. 2023, doi: 10.1109/JBHI.2023.3311628.
- [5] Z. Liu, L. Petersen, Z. Zhang, and R. Singapogu, "A Method for Segmenting the Process of Needle Insertion during Simulated Cannulation using Sensor Data," in *Proc. 42nd Annu. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 6090–6094, doi: 10.1109/EMBC44109.2020.9176158.
- [6] J. Wu, G. Wei, Y. Fan, L. Yu, and B. Chen, "B-ultrasound guided venipuncture vascular recognition system based on deep learning," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 87, pt. B, art. no. 105495, 2024, ISSN 1746-8094.
- [7] K. Liu, C. Gao, B. Li, and W. Liu, "Human activity recognition through deep learning: Leveraging unique and common feature fusion in wearable multi-sensor systems," *Applied Soft Computing*, vol. 151, p. 111146, 2024.

MARCO TEÓRICO



RESULTADOS



CONCLUSIONES

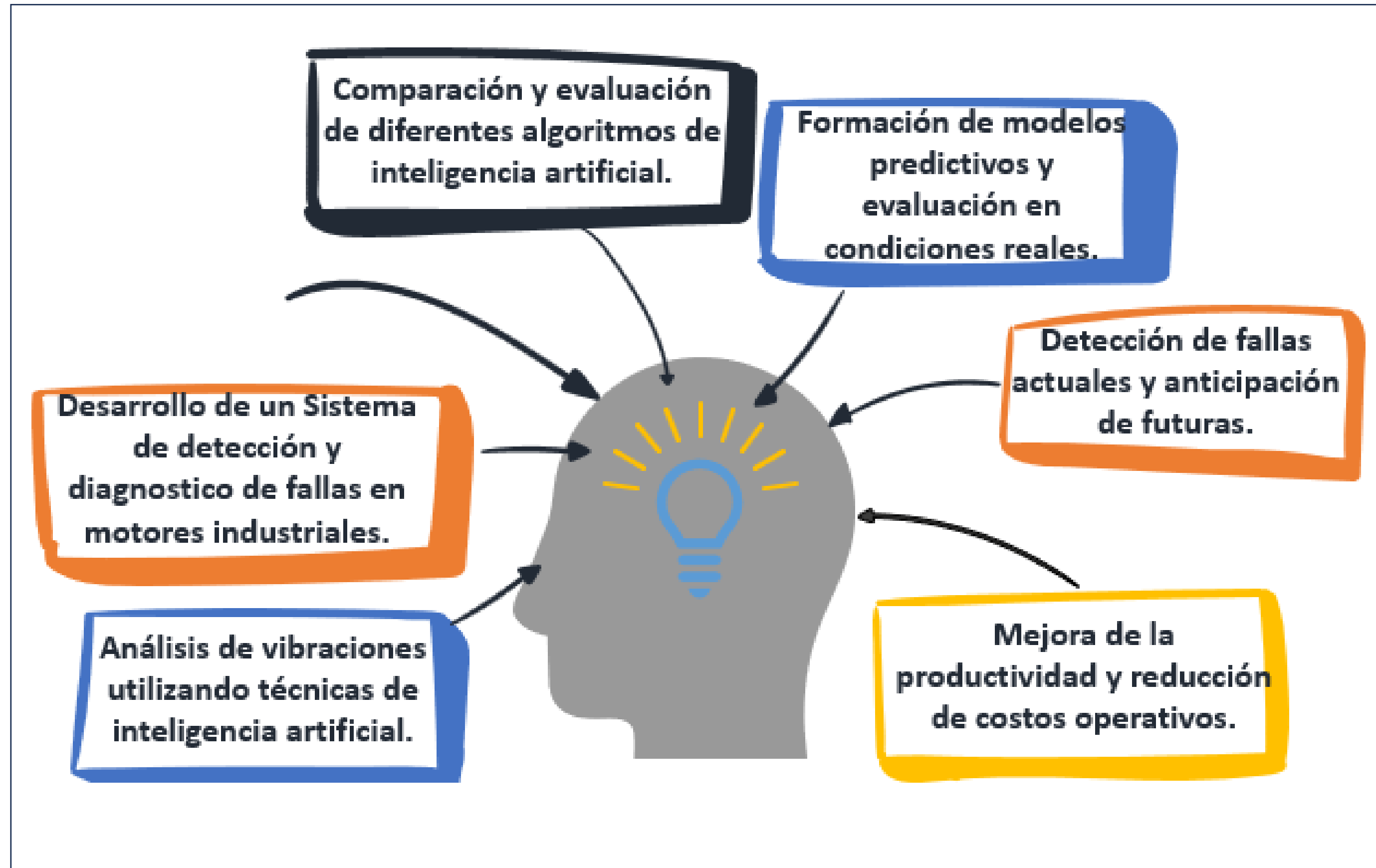
- La integración de modelos basados en inteligencia artificial, particularmente los que emplean técnicas de visión por computador y aprendizaje profundo, pueden mejorar la precisión en la detección de fases quirúrgicas y los eventos críticos asociados a los procedimientos, con potencial aplicación en entornos de simulación y formación médica.
- Se reconoce la necesidad de continuar con la validación experimental, la recolección de datos representativos debido a la escasez de estos, la comparación entre distintos niveles de experticia, la generalización de modelos y la garantía de interpretabilidad en entornos clínicos.
- A medida que la tecnología avanza, es probable que veamos una integración aún mayor de estas técnicas en el área médica, hecho que contribuirá a una atención más segura y eficiente para los pacientes y a la formación de profesionales con un suficiente grado de habilidad en las técnicas quirúrgicas.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

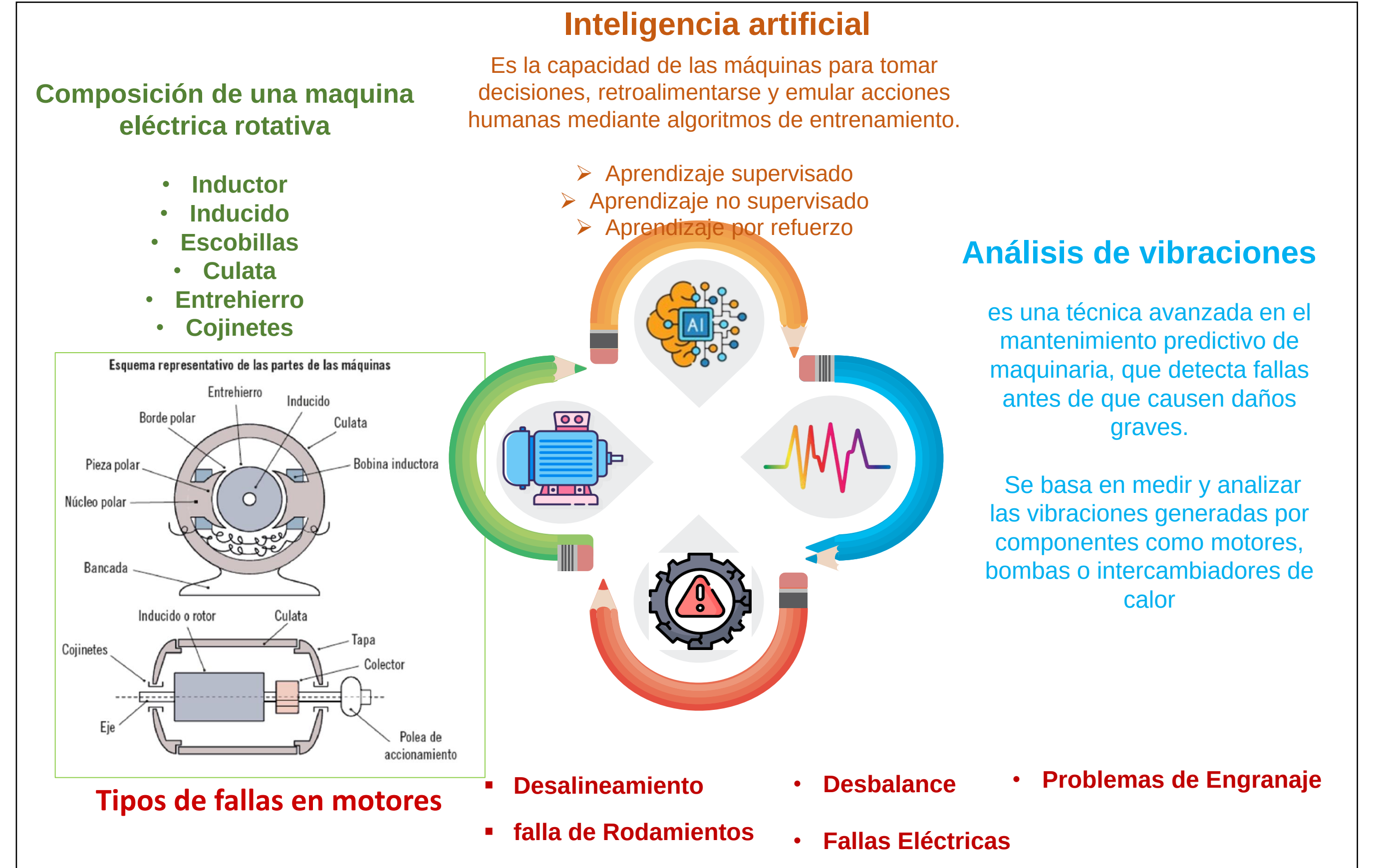
DETECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN MOTORES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

M.Sc. Jair Araujo Vargas PhD. Aldo Pardo García

RESUMEN



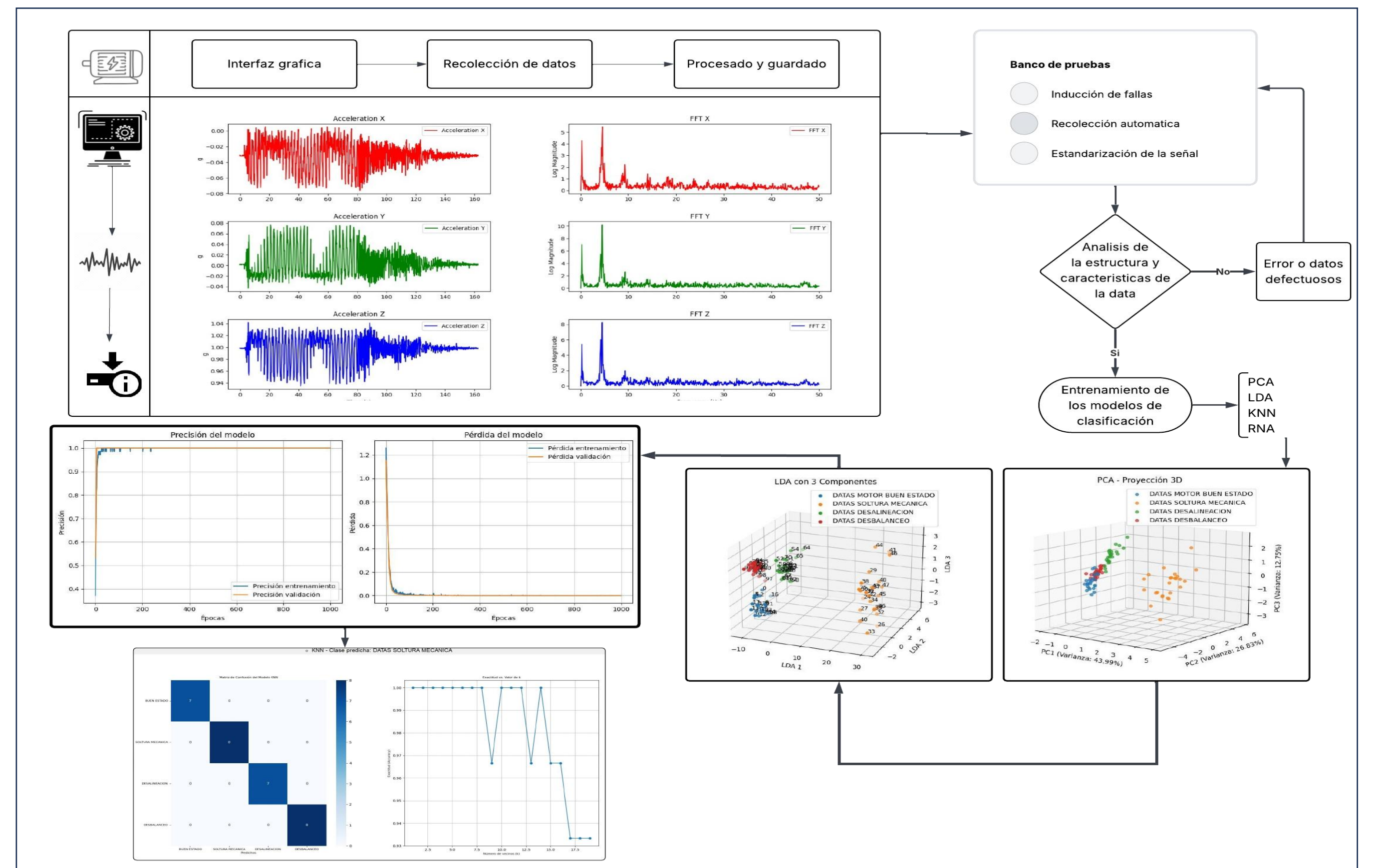
MARCO TEÓRICO



METODOLOGÍA



RESULTADOS



REFERENCIAS

[1] C. R. Escandón Pesántez, "Desarrollo de un sistema inteligente de diagnóstico de fallas mecánicas en motores de encendido provocado a través del sensor MAP para dispositivos móviles en ...," 2024. ups.edu.ec

[2] I. Z. Ramírez, "Metodología para detección de falla de aislamiento en motores de inducción mediante FPGA," 2024. uaq.mx

[3] E. A. Flores López and A. A. Ulcuango Vistin, "Implementación de un plan de mantenimiento y diagnóstico de la unidad dosificadora en motores diésel electrónicos," 2024. utn.edu.ec

[4] E. C. Dena, "Facultad deficiencias de la electrónica," 2023. buap.mx

[5] I. Zamudio Ramírez, "Diagnóstico de fallos electromecánicos en motores eléctricos mediante el análisis avanzado del flujo magnético y su implementación en hardware," 2023. upv.es

[6] M. N. Navarrete Navarrete, "Diseño plataforma de vigilancia en línea de equipos rotatorios en base a PI System.," 2023. udec.cl

[7] D. M. Gamarra Aucancela and J. A. Paca Paltán, "Implementación de un módulo de simulación para el diagnóstico vibracional de la excentricidad estática del motor de inducción para el rotor kit del laboratorio de ...," 2022. espoch.edu.ec

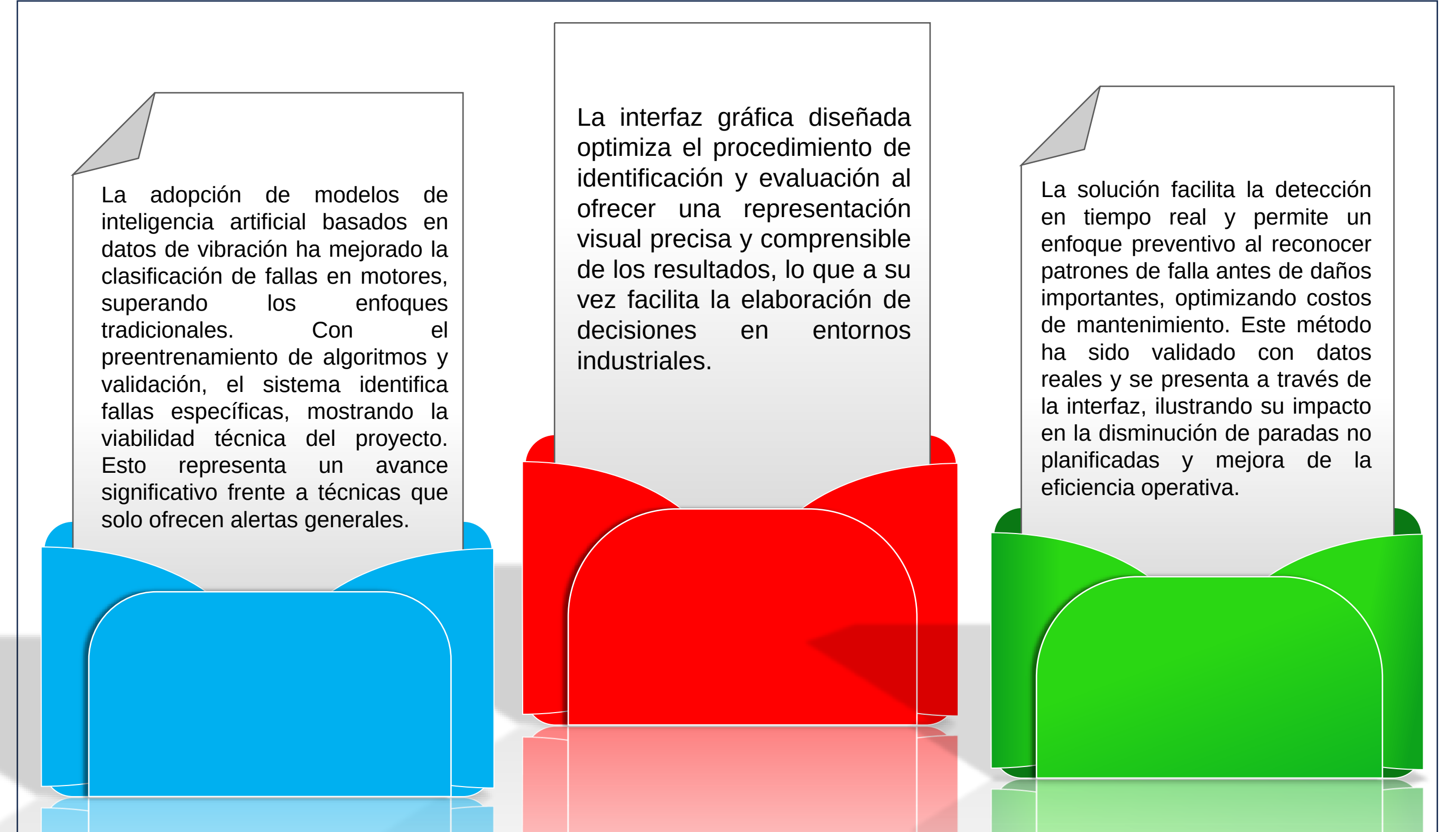
[8] A. Segher, "Diseño e implementación de una plataforma digital para su uso en aplicaciones de mantenimiento industrial predictivo," 2023. upc.edu

[9] J. E. Dávalos Carrera, J. P. Vázquez Matute, et al., "Determinación del estado de falla de motores eléctricos a partir del análisis de ruidos utilizando técnicas de Aprendizaje Profundo," 2022. [Online]. Available: dspace.espol.edu.ec. espol.edu.ec

[10] J. I. Medina Yáñez and J. E. López Guamialamag, "Propuesta técnica de un sistema para el diagnóstico predictivo de un motor diésel en base a gases de escape," 2024. utn.edu.ec

[11] E. E. Rocano Piña, "Aplicación de algoritmos de aprendizaje supervisado para la clasificación de fallos mecánicos en un motor de encendido provocado," 2023. ups.edu.ec

CONCLUSIONES



Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

Gemelo Digital Híbrido para la Optimización en Tiempo Real de una Columna de Destilación de Crudo: Integración de Modelos Físicos, IA y Asimilación de Datos

JOHN JAIRO CASTILLO GARCES

RESUMEN

Ineficiencias en refinerías por:

- Modelos estáticos que no se adaptan a crudos variables (ej: Castilla).
- Sistemas DCS antiguos (Honeywell TDC3000) incompatibles con IA moderna.
- Pérdidas: 30% exceso energético + altas emisiones.

Solución Propuesta

Gemelo digital híbrido:

- Modelado físico (Aspen HYSYS) + LSTM para dinámica adaptativa.
- Control por RL seguro (PPO con restricciones).
- Integración con DCS vía OPC (posible)

MARCO TEÓRICO

Fundamentos:

Gemelos Digitales: Modelos dinámicos que unifican física y datos (Tao et al., 2021).

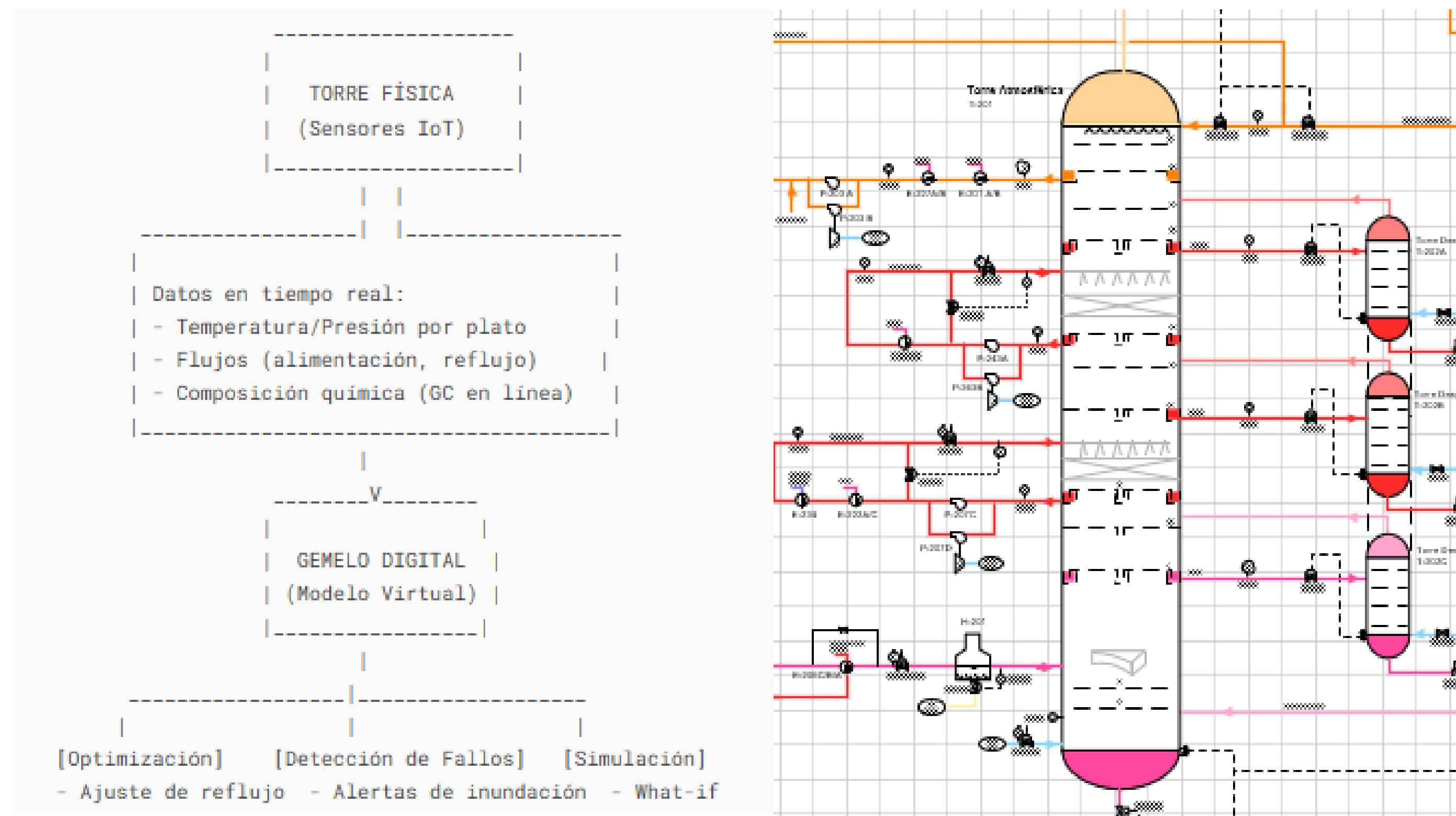
Control Adaptativo: RL seguro garantiza estabilidad en sistemas no lineales (García et al., 2023).

Termodinámica Aplicada: Balances de masa/energía para crudos pesados (Smith et al., 2017).

Brecha:

Modelos existentes no combinan adaptabilidad en tiempo real + integración con DCS.

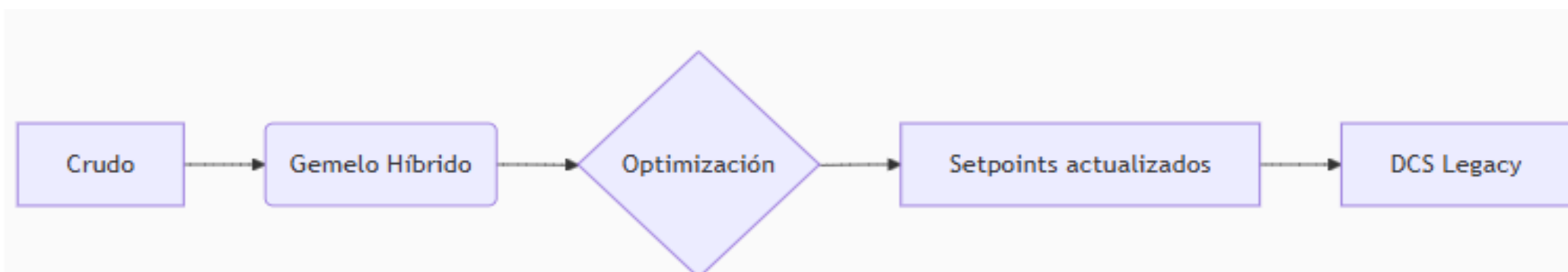
TORRE DE DESTILACION ATMOSFERICA Y SU REPRESENTACION GEMELO DIGITAL



METODOLOGÍA

Fases claves:

1. Desarrollo: Modelo híbrido (Python + Aspen).
2. Validación HIL: OPAL-RT + PLC real.
3. Pruebas en planta: Refinería Barrancabermeja (modo shadow).



RESULTADOS

Técnicos:

- Ahorro energético.
- Latencia <1 seg en actualización DCS.

Industriales:

- Toolkit open-source para replicación.

Social:

- Crear la necesidad de profesionales en IA industrial.
- Minimizar emisiones CO₂.

Industrial:

- Modernización de refinerías sin reemplazar DCS.

REFERENCIAS

1. García, M. et al. (2023). *Safe RL for industrial control*. IEEE Trans. Cont. Syst. Tech.
2. Lee, S. & Singh, R. (2023). *Physics-Informed NN for distillation*. Comp. Chem. Eng.
3. Ecopetrol. (2023). *Reporte de eficiencia energética*.
4. Tao, F. et al. (2021). *Digital twin fundamentals*. Academic Press.

CONCLUSIONES

Contribución clave:

- Gemelo híbrido probado en entorno industrial real.
- Reduce costos operativos sin reemplazar infraestructura.
- Open-source para democratizar acceso en Latinoamérica.

Futuro:

- Extensión a otras unidades (FCC, hidrotratamiento).
- Implementación en más refinerías (ej: México, Brasil).

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

CARACTERIZACIÓN DE FENÓMENOS TRANSITORIOS HIDRODINÁMICOS DE FLUJOS BIFÁSICOS GAS-DENSO/LÍQUIDO EN PROCESOS PETROQUÍMICOS MEDIANTE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

M.Sc. July A. Gomez Camperos, PhD. Aldo Pardo García, PhD. Marlon M. Hernández Cely

RESUMEN

En los sistemas de transporte de fluidos bifásicos, la eficiencia operativa y la seguridad industrial dependen de la capacidad para caracterizar con exactitud los patrones de flujo, donde una clasificación errónea de los patrones de flujo puede desencadenar fallos operativos, riesgos ambientales o incluso accidentes graves para evitar estos inconvenientes este estudio propone una arquitectura híbrida Red Paralela Mixta CNN-Transformer, para la identificación precisa de patrones de flujo bifásico gas denso/líquido en tuberías horizontales. entrenada con los datos del del gradiente de presión, las velocidades superficiales del líquido, gas codificadas en imágenes y las imágenes de los patrones de flujo tomadas por una cámara de alta velocidad, Los resultados demostraron una precisión de entrenamiento del 99.5%, con convergencia estable y sin sobreajuste.

MARCO TEÓRICO

Los patrones de flujo y las transiciones del patrón de flujo varían con la geometría de la tubería, la inclinación de la tubería, la entrada de gas y líquido en la tubería, las propiedades físicas del fluido de trabajo, orientación del flujo, y los parámetros de flujo. Estas características son los fundamentos para comprender la dinámica de flujo bifásico de gas- líquido, la Fig.1 Muestra cinco patrones en tuberías horizontales.

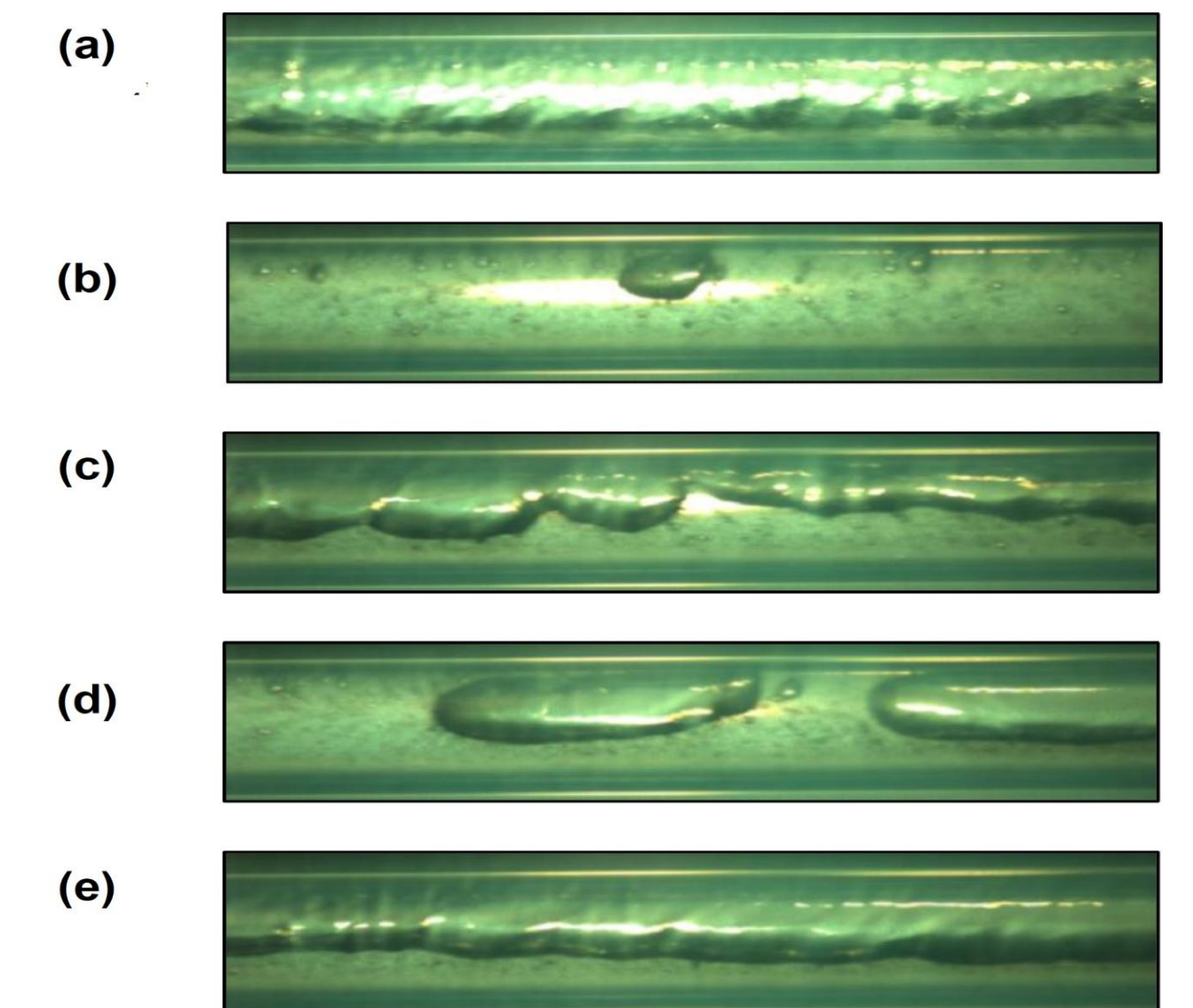
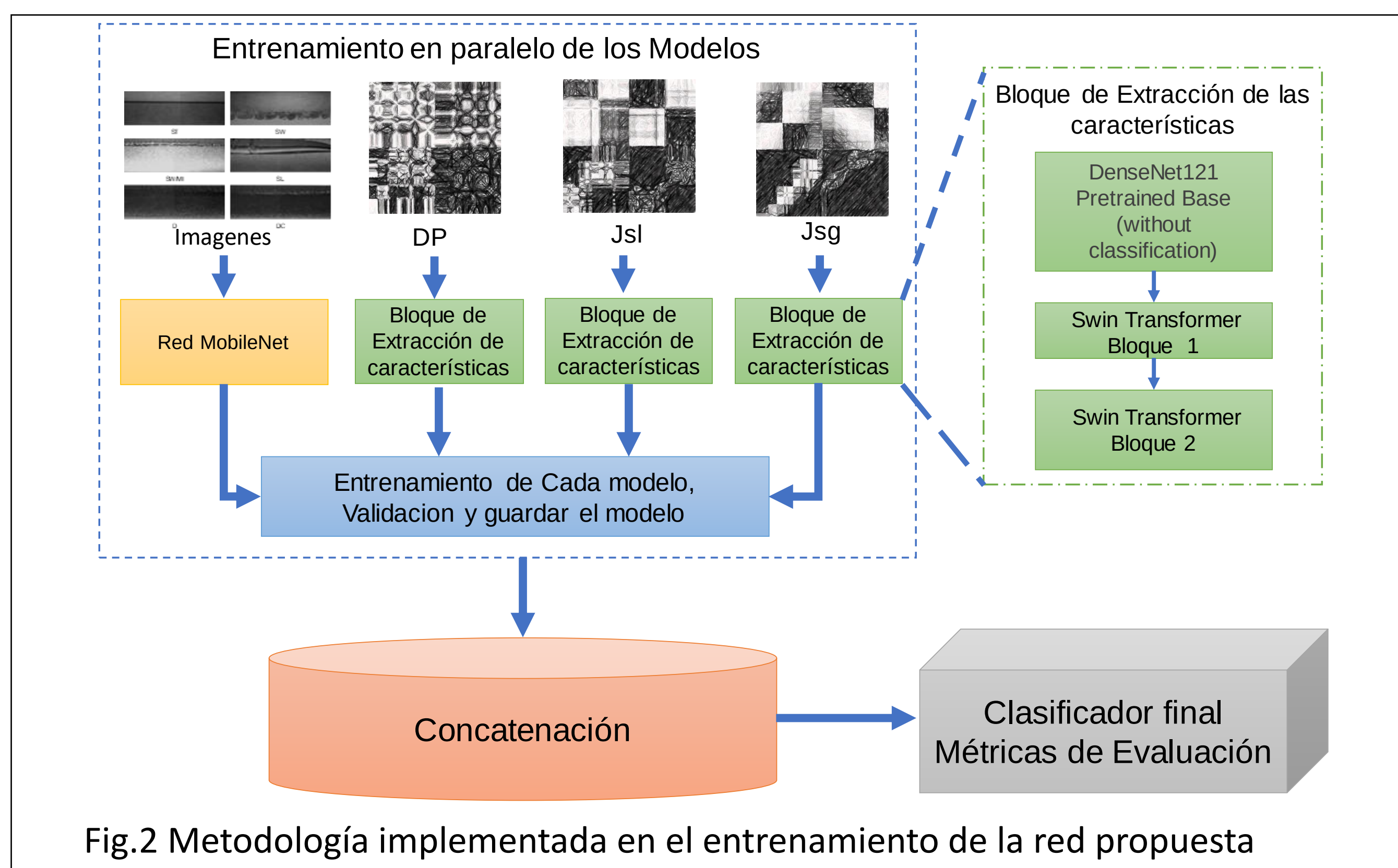
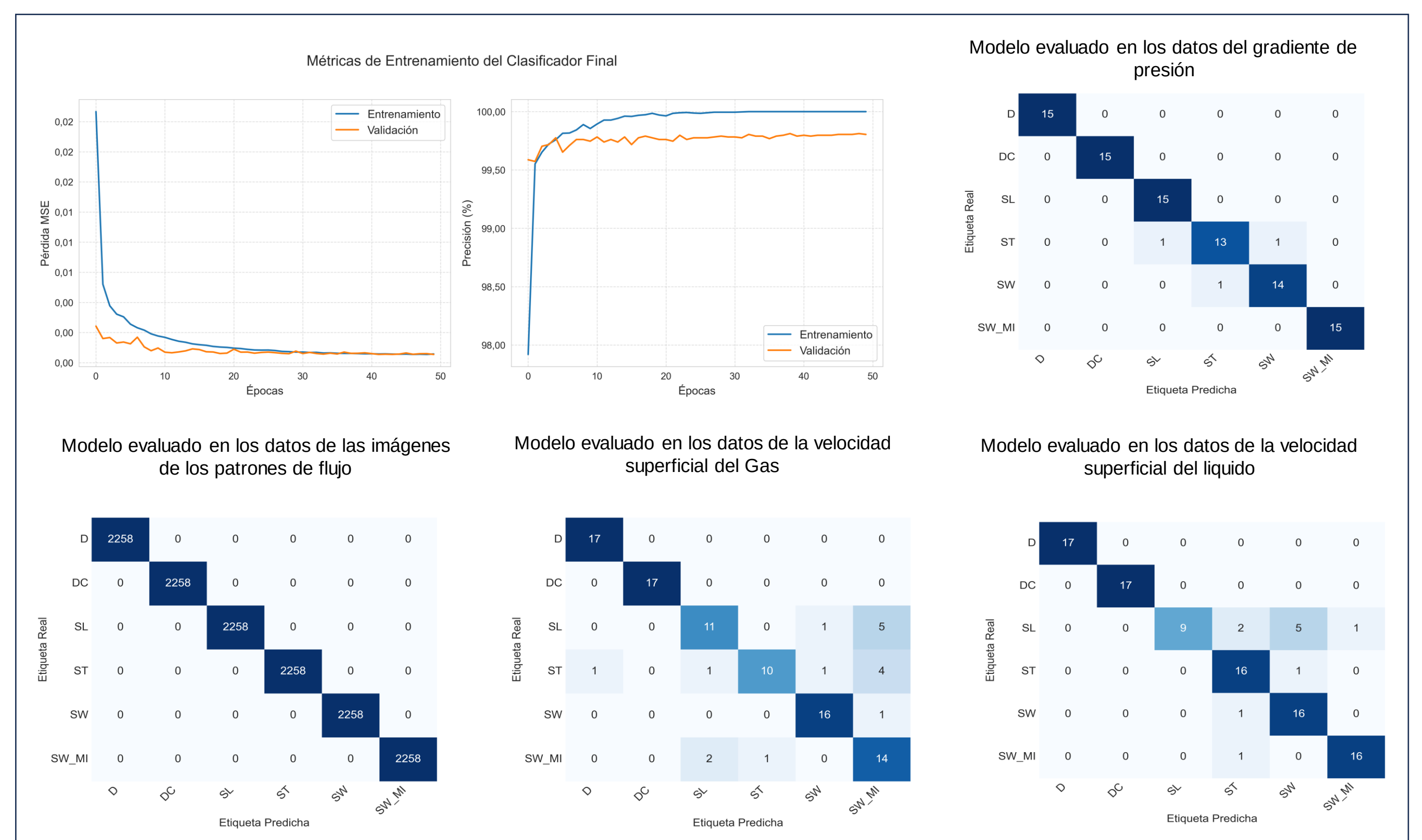


Fig.1. Anular (a), Burbuja(b), Agitado (c), Intermitente (d), estratificado (e). Tomada de [1].

METODOLOGÍA



RESULTADOS



CONCLUSIONES

La arquitectura híbrida CNN-Transformer en paralelo propuesta en este estudio demostró una efectividad en la identificación robusta de patrones de flujo bifásico gas-denso/líquido en tuberías horizontales. La integración de redes convolucionales y bloques Transformer permitió capturar características espaciales y temporales, logrando una precisión de entrenamiento del 99.5% y una excelente generalización. Además, se comprobó la superioridad de las imágenes de patrones de flujo, que alcanzaron una precisión de clasificación del 100%, superando claramente el desempeño de variables individuales y resolviendo ambigüedades presentes en señales univariadas. Estos resultados destacan el potencial del enfoque híbrido para la identificación precisa y robusta de patrones de flujo en sistemas industriales.

REFERENCIAS

- [1] F. Nie, H. Wang, Q. Song, Y. Zhao, J. Shen, and M. Gong, "Image identification for two-phase flow patterns based on CNN algorithms," Int. J. Multiph. Flow, vol. 152, no. February, p. 104067, 2022.
- [2] P. Liu et al., "A CNN-based transfer learning method for leakage detection of pipeline under multiple working conditions with AE signals," Process Saf. Environ. Prot., vol. 170, no. September 2022, pp. 1161–1172, 2023.
- [3] C. M. R. Diaz, A. T. Postal, and O. M. H. Rodriguez, "Experimental insights into Dense-Gas / Liquid two-phase flow in horizontal and inclined pipes," in SPE Brazil Flow Assurance Technology Congress Rio de Janeiro, Brazil, November, 06 – 08, 2024, pp. 2–5.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA EN UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRANDO ALGORITMOS BIOINSPIRADOS EN SU CONTROLADOR DE CARGA PARA EL DEPARTAMENTO DE CASANARE

M.Sc. LUIS ERNESTO NEIRA ROPERO, PhD. ALDO PARDO GARCIA, PhD. FRANCISCO MONZALVE

RESUMEN

El estudio parte de la premisa de que los controladores de carga convencionales en sistemas fotovoltaicos tienen limitaciones en cuanto a su capacidad de adaptación a condiciones cambiantes y optimización en tiempo real. Para abordar esta problemática, la investigación propone integrar algoritmos bioinspirados en el diseño de un nuevo controlador de carga.

MARCO TEÓRICO

Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es una fuente renovable que convierte la radiación solar en electricidad mediante celdas solares.

Punto de Máxima Potencia (MPPT)

Es el punto en la curva corriente-voltaje donde el sistema entrega la máxima potencia.

Los convertidores DC/DC son dispositivos electrónicos que modifican el nivel de voltaje de una señal de corriente continua (DC).

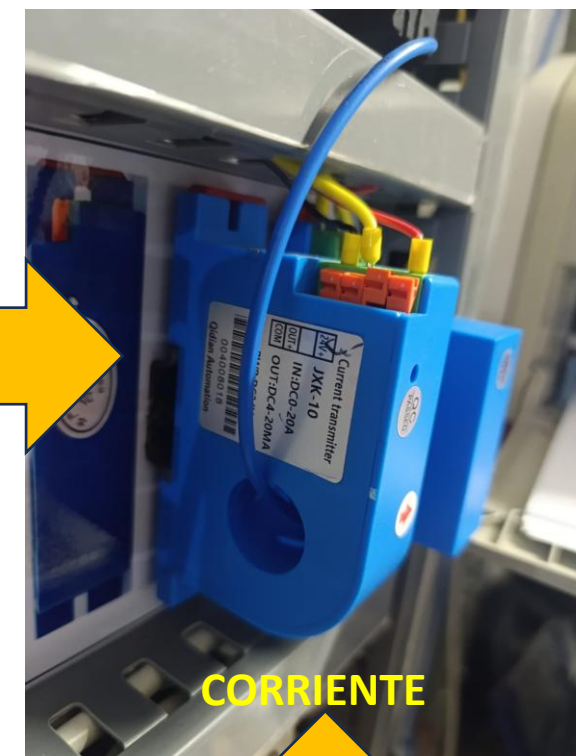
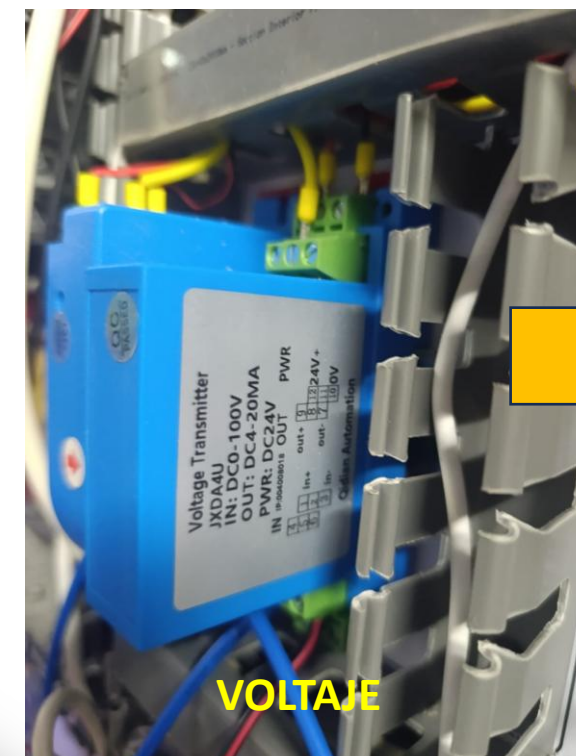
Controlador de Carga

El controlador de carga regula el flujo de energía entre el panel solar, la batería y la carga.

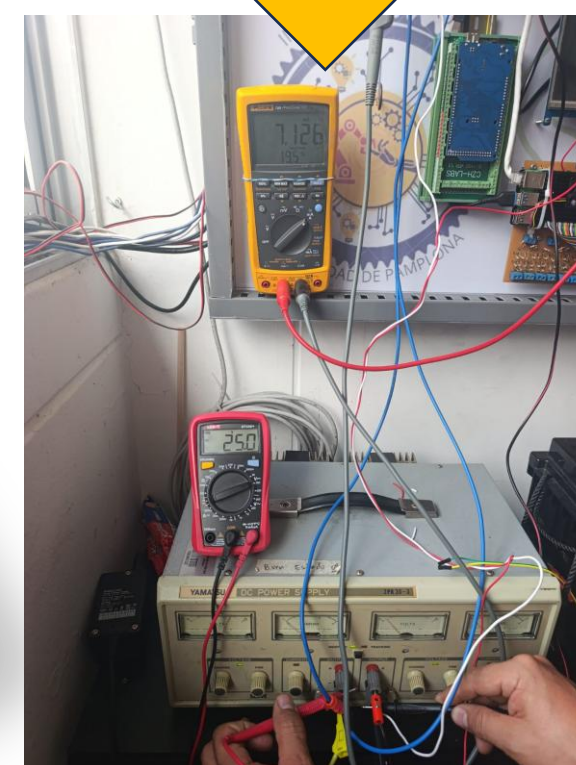
Algoritmos Bioinspirados

Los algoritmos bioinspirados son técnicas de optimización inspiradas en fenómenos naturales y biológicos.

INSTRUMENTACIÓN

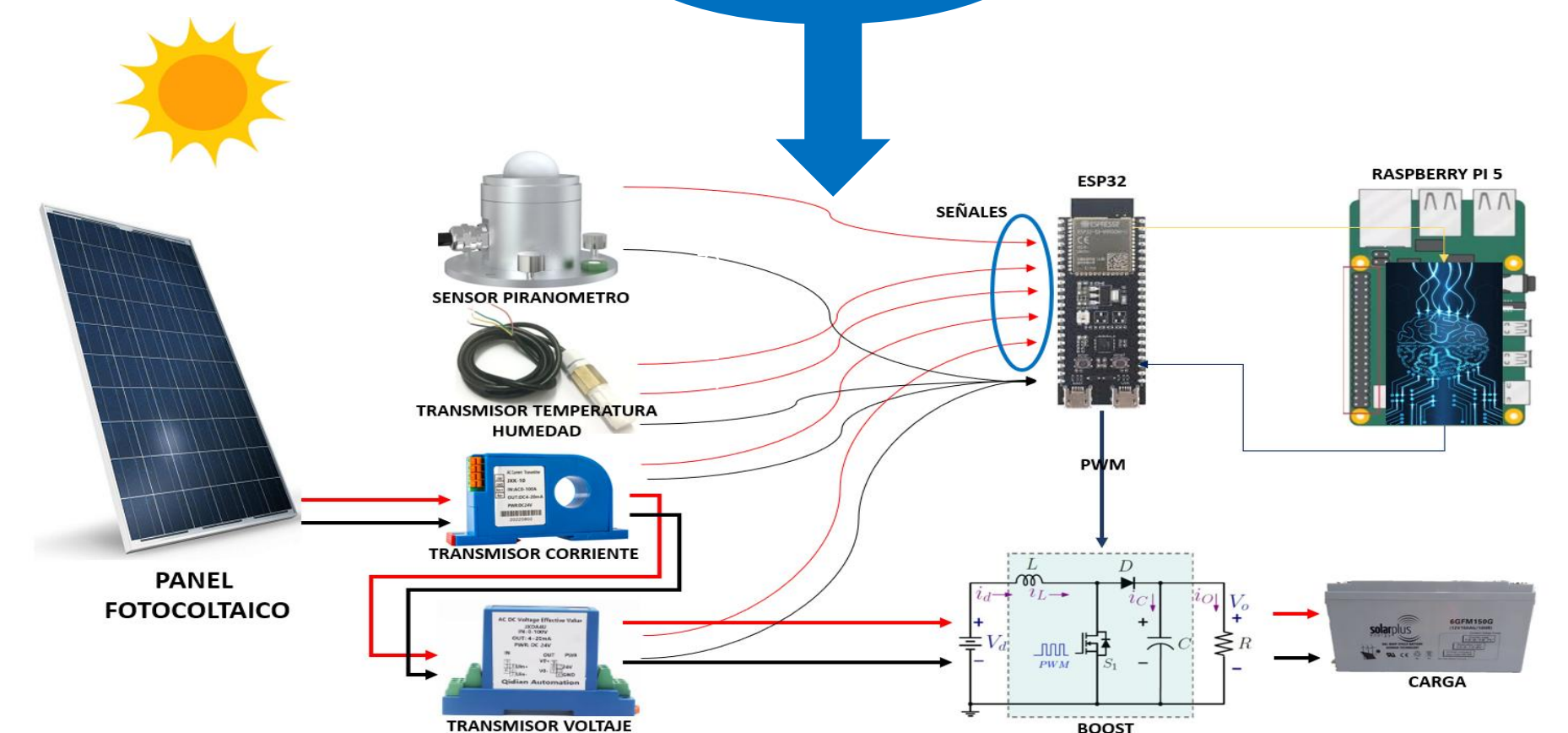
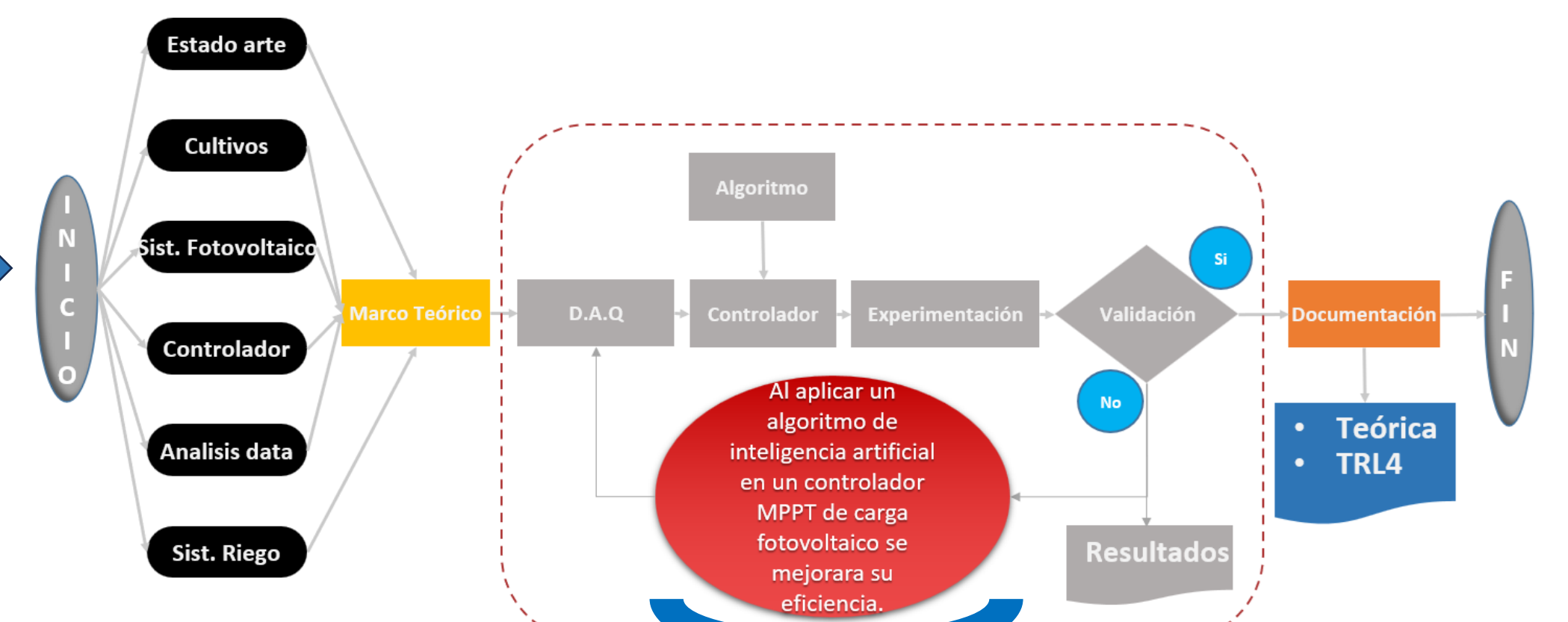


CARACTERIZACIÓN



METODOLOGÍA

- ✓ Revisión bibliográfica continua.
- ✓ Caracterización de los paneles.
- ✓ Diseño del Sistema Fotovoltaico.
- ✓ Diseño del módulo de pruebas.
- ✓ Implementación del módulo de pruebas.
- ✓ Simulación del convertidor.
- ✓ Implementación del Algoritmo Bioinspirado.
- ✓ Integración en el Controlador.
- ✓ Validación Experimental.



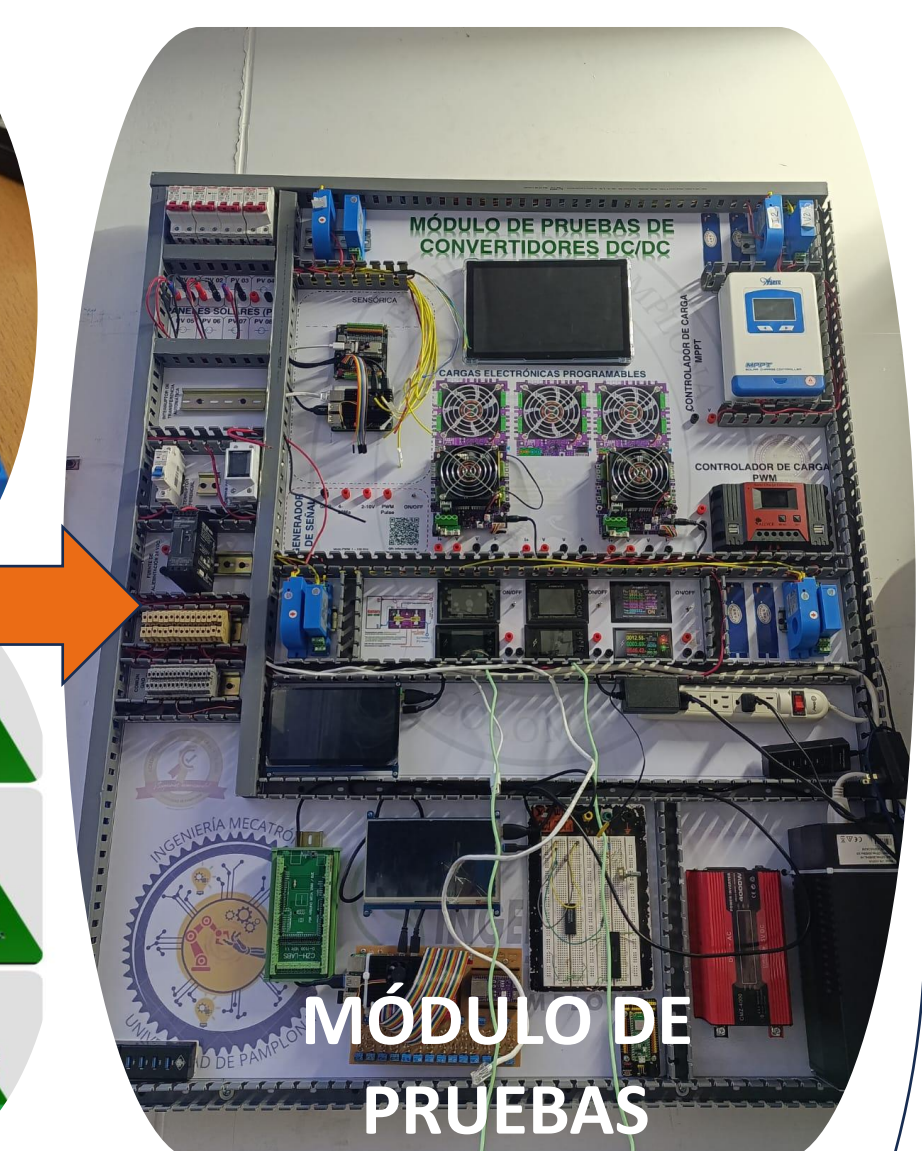
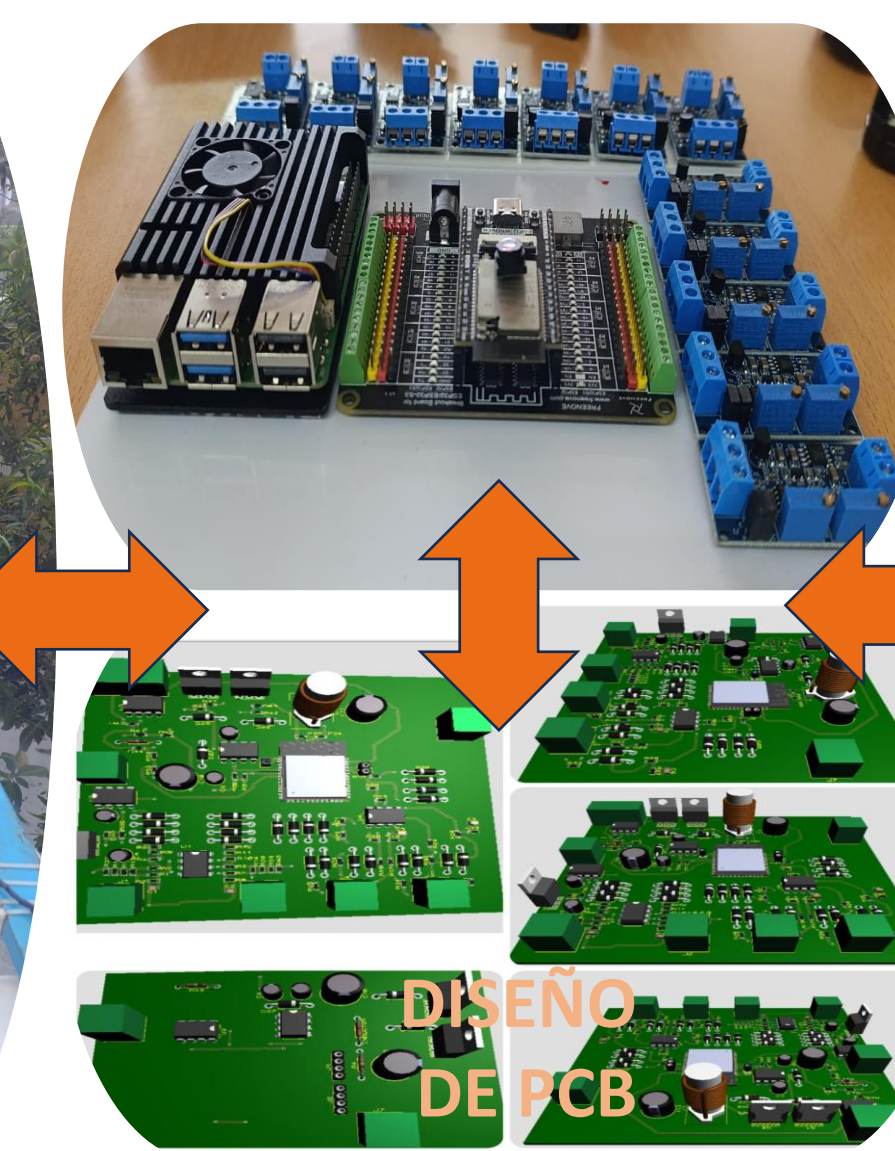
RESULTADOS

- Optimización del controlador en condiciones cambiantes.
- optimización en tiempo real.
- Módulo de pruebas.
- Diseño de PCB para pruebas con diferentes tipos de algoritmos y control.
- TRL4.
- Artículos de investigación.
- Capítulo de libro.

CONCLUSIONES

- Eficiencia mejorada.
- Seguimiento más preciso del MPP.
- Adaptabilidad a condiciones variables.
- Viabilidad en sistemas embebidos.
- Potencial de optimización Continua.

REFERENCIAS



ANÁLISIS EN LA MODULACIÓN AUTONÓMICA CARDÍACA A UN ESTÍMULO DE GLUCOSA, PARA EL DIAGNÓSTICO PRECOZ DEL SÍNDROME METABÓLICO MEDIANTE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE.

M.Sc. MIGUEL A. MEJIA ROBLES , Dr. GILBERTO PERPIÑAN ISEDA, Dr. OSCAR J. SUAREZ SIERRA

RESUMEN

El síndrome metabólico (SM) se relaciona con alteraciones en la regulación autonómica del corazón, las cuales pueden evaluarse mediante el análisis de la señal electrocardiográfica (ECG). Este estudio examinó los cambios en la modulación autonómica cardíaca frente a un estímulo glucémico controlado, utilizando la prueba oral de tolerancia a la glucosa (POTG). Se evaluaron 40 sujetos distribuidos en tres grupos: pacientes con SM, controles sanos y maratonistas. En cada una de las cinco etapas de la POTG (0, 30, 60, 90 y 120 minutos), se registraron señales ECG de 12 derivaciones durante 15 minutos. Tras el procesamiento digital, se extrajeron parámetros de variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), así como intervalos ECG clínicamente relevantes como QT corregido (QTc), PR y ST. Los modelos de aprendizaje automático, incluyendo K-vecinos más cercanos (KNN) y redes neuronales convolucionales (CNN), fueron entrenados con estas características y lograron precisiones superiores al 90 % en la clasificación de sujetos con SM. Estos hallazgos respaldan el uso del análisis de ECG como herramienta no invasiva y efectiva para la detección temprana del síndrome metabólico mediante inteligencia artificial.

MARCO TEÓRICO

El síndrome metabólico (SM) es una condición caracterizada por la presencia simultánea de alteraciones como obesidad abdominal, resistencia a la insulina, dislipidemia e hipertensión. Su diagnóstico temprano es clave para prevenir enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2.



Figura 1. Componentes del Síndrome Metabólico.

Diversos estudios han demostrado que el SM se asocia con disfunción autonómica cardíaca, observable a través de alteraciones en la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) y en parámetros eléctricos del ECG como el intervalo PR, el intervalo QT corregido (QTc) y el segmento ST. Estas alteraciones reflejan un desequilibrio en el control simpático y parasimpático del sistema cardiovascular. La prueba oral de tolerancia a la glucosa (POTG) permite evaluar la respuesta del organismo ante un estímulo metabólico estandarizado. Combinada con el análisis de señales ECG, constituye una herramienta útil para estudiar cómo el sistema autónomo reacciona ante cambios glucémicos.

METODOLOGÍA

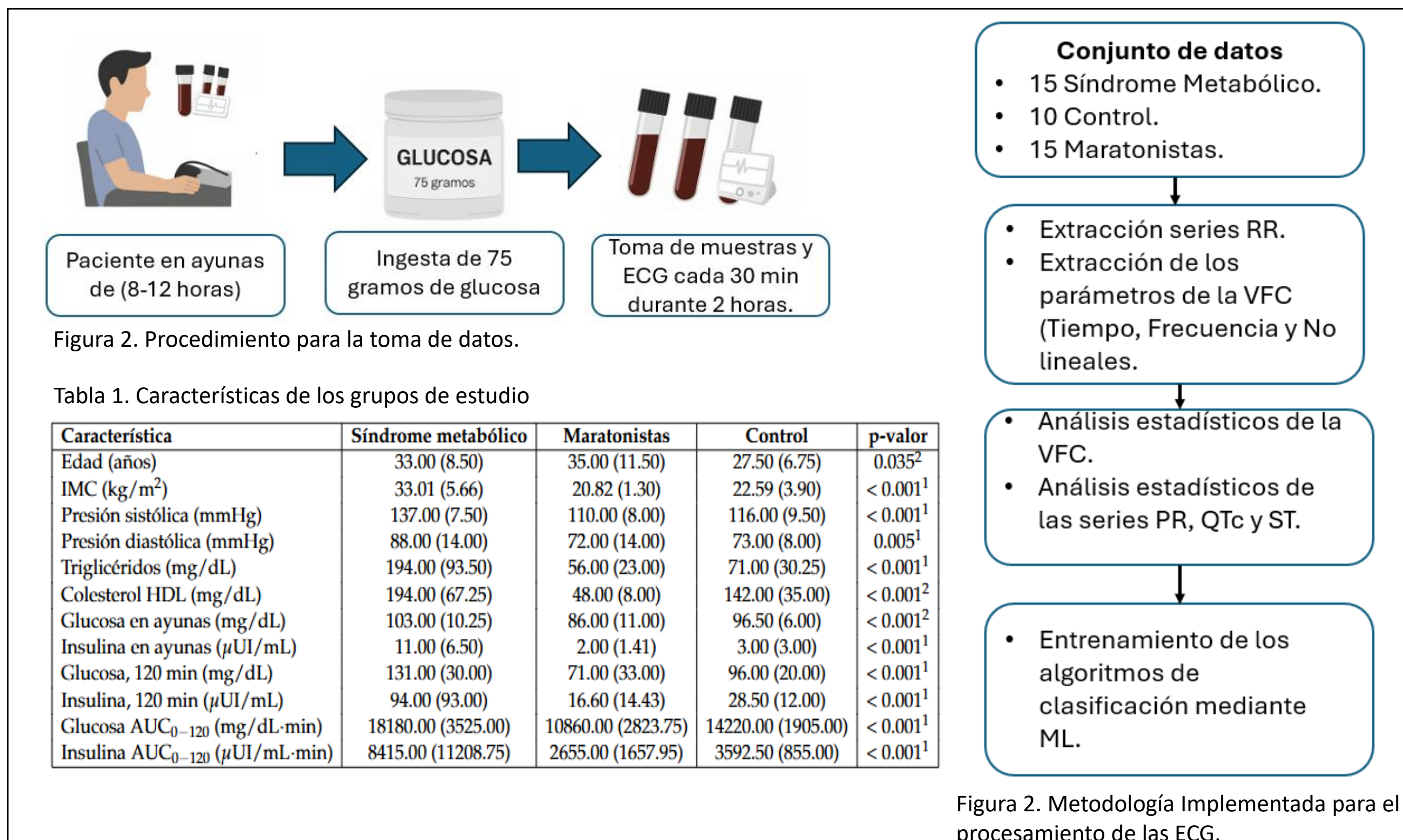


Figura 2. Procedimiento para la toma de datos.

Tabla 1. Características de los grupos de estudio

Característica	Síndrome metabólico	Maratonistas	Control	p-valor
Edad (años)	33.00 (8.50)	35.00 (11.50)	27.50 (6.75)	0.035 ²
IMC (kg/m ²)	33.01 (5.66)	20.82 (1.30)	22.59 (3.90)	< 0.001 ¹
Presión sistólica (mmHg)	137.00 (7.50)	110.00 (8.00)	116.00 (9.50)	< 0.001 ¹
Presión diastólica (mmHg)	88.00 (14.00)	72.00 (14.00)	73.00 (8.00)	0.005 ¹
Triglicéridos (mg/dL)	194.00 (93.50)	56.00 (23.00)	71.00 (30.25)	< 0.001 ¹
Colesterol HDL (mg/dL)	194.00 (67.25)	48.00 (8.00)	142.00 (35.00)	< 0.001 ²
Glucosa en ayunas (mg/dL)	103.00 (10.25)	86.00 (11.00)	96.50 (6.00)	< 0.001 ²
Insulina en ayunas (μUI/mL)	11.00 (6.50)	2.00 (1.41)	3.00 (3.00)	< 0.001 ¹
Glucosa, 120 min (mg/dL)	131.00 (30.00)	71.00 (33.00)	96.00 (20.00)	< 0.001 ¹
Insulina, 120 min (μUI/mL)	94.00 (93.00)	16.60 (14.43)	28.50 (12.00)	< 0.001 ¹
Glucosa AUC ₀₋₁₂₀ (mg/dL·min)	18180.00 (3525.00)	10860.00 (2823.75)	14220.00 (1905.00)	< 0.001 ¹
Insulina AUC ₀₋₁₂₀ (μUI/mL·min)	8415.00 (11208.75)	2655.00 (1657.95)	3592.50 (855.00)	< 0.001 ¹

Figura 2. Metodología Implementada para el procesamiento de las ECG.

RESULTADOS

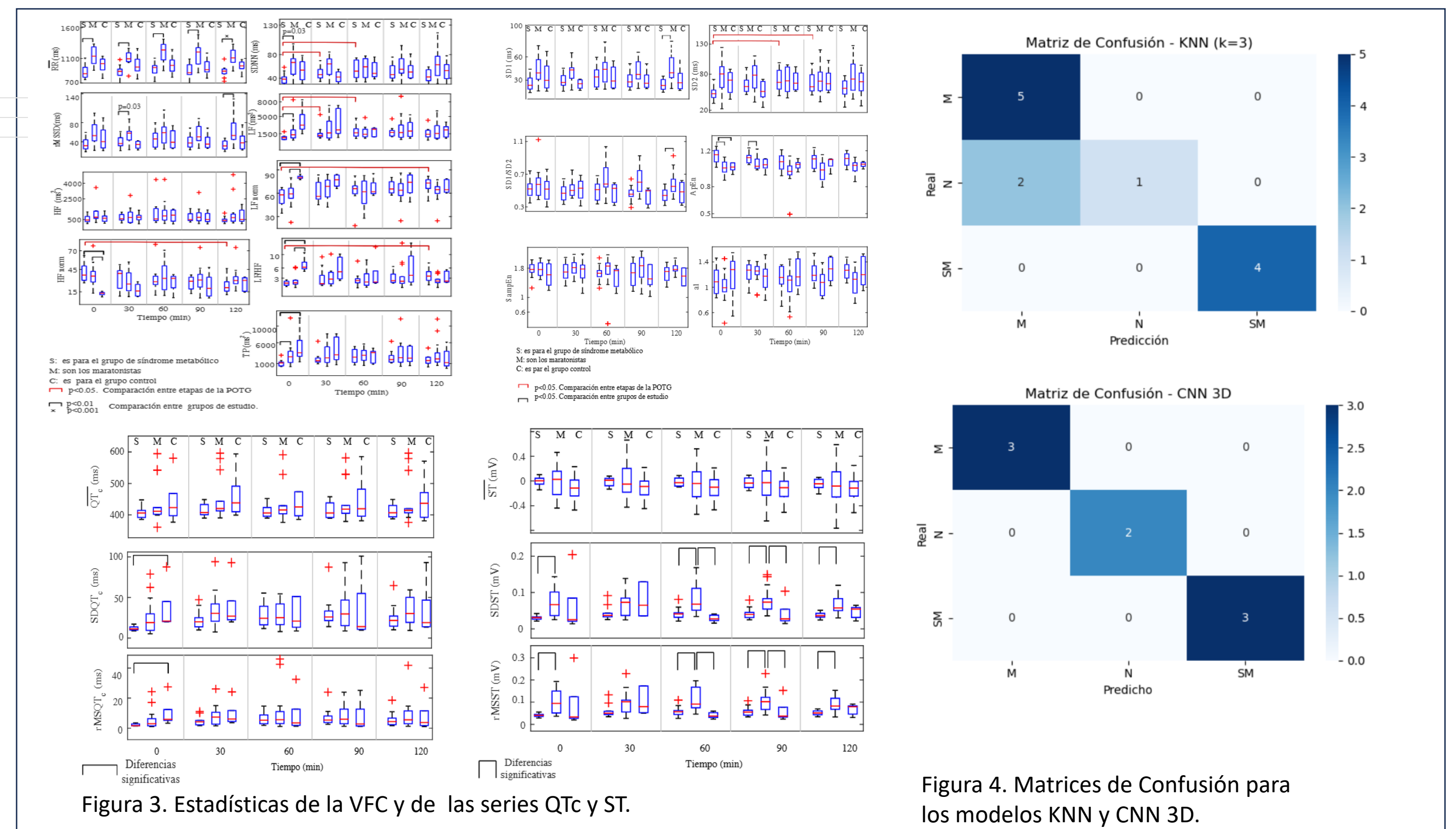


Figura 3. Estadísticas de la VFC y de las series QTc y ST.

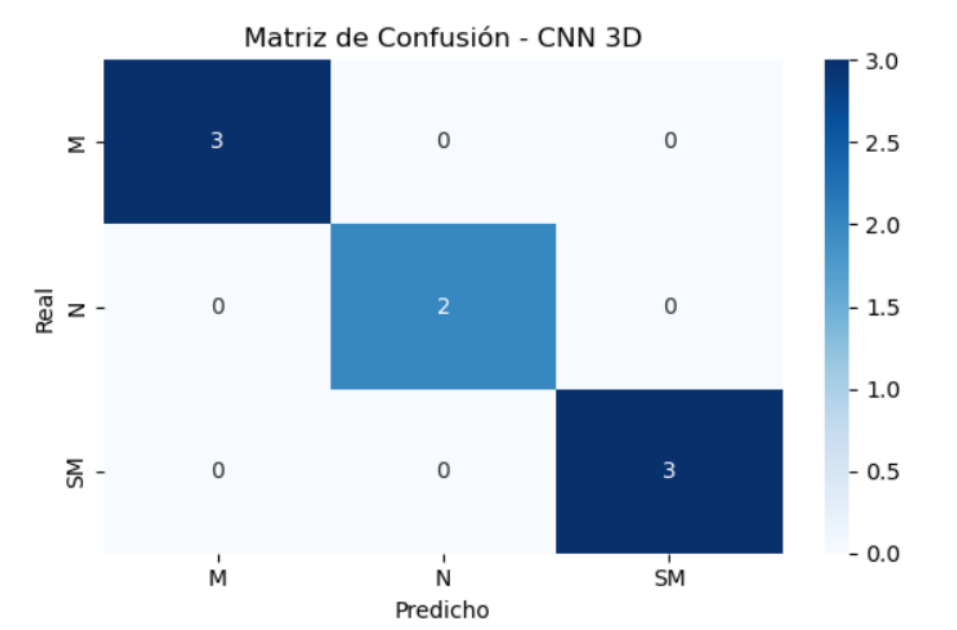
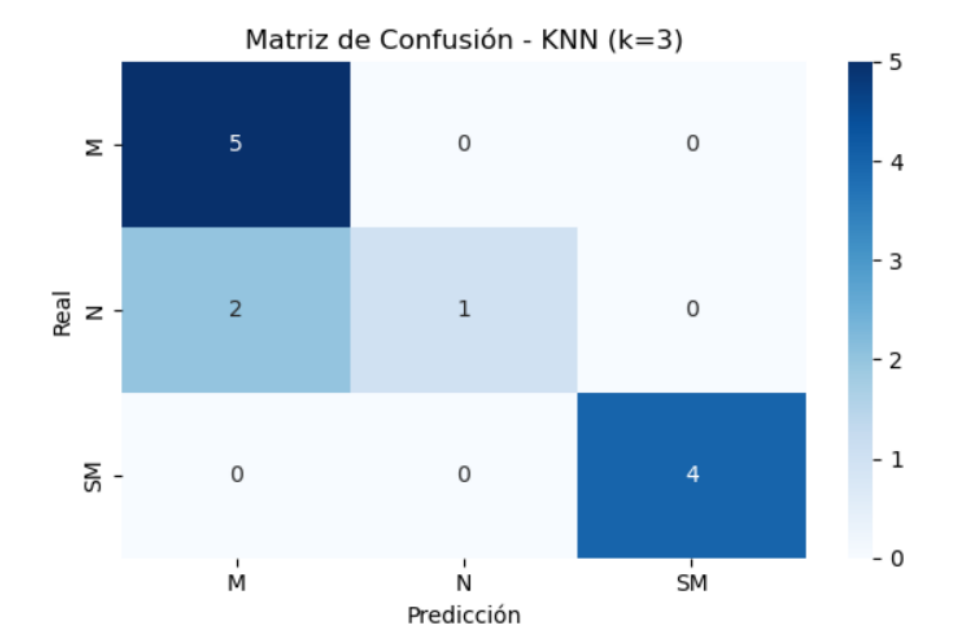


Figura 4. Matrices de Confusión para los modelos KNN y CNN 3D.

REFERENCIAS

- [1] H. Y. Park *et al.*, "Assessment of corrected QT interval and QT dispersion in patients with metabolic syndrome and its relationship with insulin resistance," *J. Pharm. Biomed. Sci.*, vol. 15, no. 2, pp. 78–85, 2023. [Online]. Available: https://journals.lww.com/jpbbs/fulltext/2023/15002/assessment_of_corrected_qt_interval_and_qt.78.aspx
- [2] J. Zhao, L. Li, Y. Zhang and W. Sun, "Heart rate variability analysis with machine learning: A review," *IEEE Rev. Biomed. Eng.*, vol. 14, pp. 224–239, 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9457885>
- [3] J. H. Kwon *et al.*, "Impact of metabolic syndrome on the incidence of atrial fibrillation in the Korean population: A nationwide cohort study," *Diabetes Metab. J.*, vol. 47, no. 1, pp. 1–12, 2023. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9896115/>
- [4] R. A. Correa *et al.*, "The association of metabolic syndrome and QRS/T angle in US adults (NHANES III)," *Ann. Noninvasive Electrocardiol.*, vol. 28, no. 1, pp. e12900, 2023. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/anec.12900>
- [5] D. Rodríguez *et al.*, "Artificial Intelligence Approaches for Non-Invasive Diagnosis of Metabolic Syndrome Using ECG Signals," *Comput. Biol. Med.*, vol. 169, p. 107544, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010482523002726>
- [6] M. A. Mejía and O. J. Suárez, "Análisis de señales ECG y aprendizaje automático para el diagnóstico temprano del síndrome metabólico," *Tesis doctoral*, Univ. de Pamplona, Colombia, 2024.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que el análisis de la señal ECG durante la prueba oral de tolerancia a la glucosa (POTG) permite evidenciar alteraciones en la modulación autonómica cardíaca asociadas al síndrome metabólico (SM). Se observó una reducción progresiva de la VFC en pacientes con SM, en contraste con un incremento adaptativo en maratonistas, lo que sugiere una mayor capacidad de respuesta autonómica en sujetos entrenados físicamente. Además, las desviaciones en los intervalos PR, QTc, y segmento ST mostraron correlación con parámetros clínicos del SM, como glucosa, insulina y triglicéridos. Los modelos de aprendizaje automático implementados, como KNN y CNN tridimensionales, lograron clasificar con precisión superior al 90 % a los pacientes con SM frente a controles y maratonistas. Estos hallazgos respaldan el uso de técnicas de inteligencia artificial aplicadas a características derivadas de señales ECG como herramienta no invasiva, objetiva y eficaz para la detección precoz del SM.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO INTELIGENTE CON JETSON NANO PARA LA DETECCIÓN PREDICTIVA DE GASES TÓXICOS EN MINAS DE CARBÓN SUBTERRÁNEAS

M.Sc. Pablo Andrés Gómez, PhD, Cristhian Duran , PhD. Lisset Jaimes

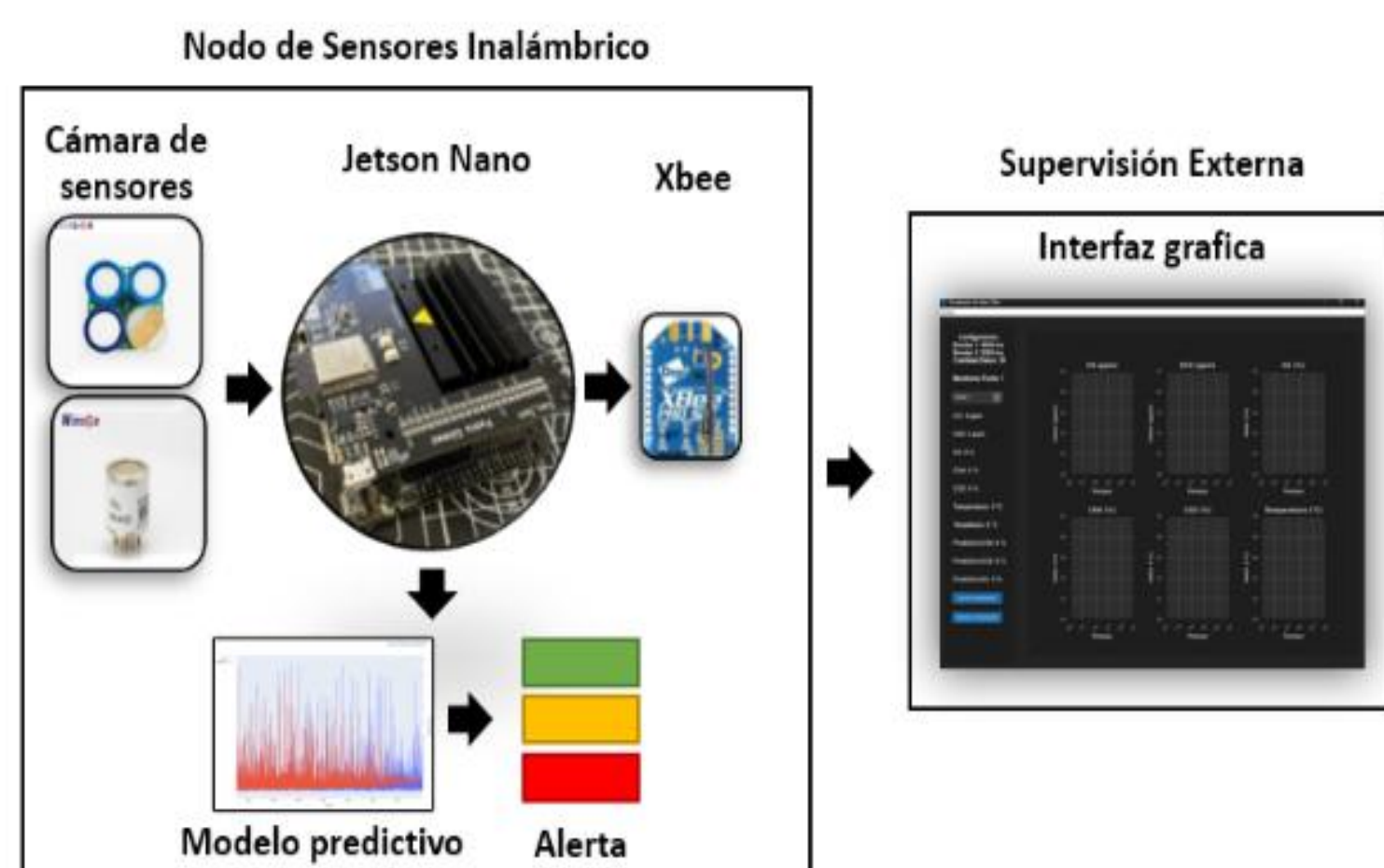
RESUMEN

Este proyecto aborda el diseño y evaluación de un dispositivo inteligente embebido basado en Jetson Nano para la detección predictiva de gases tóxicos en minas de carbón subterráneas. En el cual se uso un modelo híbrido Conv1D-LSTM-RL para predecir en tiempo real las concentraciones de O_2 , CO_2 y CH_4 , mejorando la seguridad minera al detectar condiciones de riesgo de manera anticipada. La combinación de estos tres enfoques (modelo híbrido, sistema embebido y su aplicación en minería) es una de las principales novedades del trabajo. Los resultados indican que el sistema logra una exactitud superior al 80%, con valores de RMSE y MAE dentro de parámetros considerados adecuados. Su capacidad para emitir alertas con anticipación demuestra su efectividad en entornos industriales exigentes. La incorporación de este dispositivo representa un avance importante en la seguridad dentro del sector minero.

METODOLOGÍA

Este proyecto desarrolló un sistema predictivo para minas de carbón mediante investigación aplicada. Primero se analizaron normativas y necesidades del sector. Luego se implementó con sensores, Jetson Nano (modelo CNN-LSTM+RL) y comunicación XBee. Finalmente, se validó en laboratorio, evaluando precisión, latencia y resistencia. El resultado es una solución robusta adaptada a los desafíos mineros

Fig. 1. Flujo de operación del sistema



El modelo se entrenó y validó con datos reales de concentración de gases obtenidos por dispositivos certificados y bitácoras operativas. Para evitar sesgos, se añadieron datos sintéticos generados mediante simulaciones físicas y patrones históricos, logrando una base de datos representativa de diversas condiciones mineras.

REFERENCIAS

- Dey, P., Saurabh, K., Kumar, C., Pandit, D., Chaulya, S. K., Ray, S. K., Prasad, G. M., & Mandal, S. K. (2021). t-SNE and variational auto-encoder with a bi-LSTM neural network-based model for prediction of gas concentration in a sealed-off area of underground coal mines. *Soft Computing*, 25(22), 14183–14207. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06261-8>
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Microsoft Learn. (2021). Fundamentos de la Ciencia de Datos para el Aprendizaje por refuerzo. Training | Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/es-es/training/paths/machine-learning-foundations-using-data-science/>
- Presidencia de la República de Colombia. (2015, 21 de septiembre). Decreto 1886 de 2015: Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas. Diario Oficial No. 49.642. <https://www.anm.gov.co/content/decreto-1886-de-2015minminas>
- gencia Nacional de Minería (ANM). (2020). Estadísticas mineras 2020. <https://www.anm.gov.co/year-2020>
- Yasui, N. (2024). Choosing a Learning Algorithm [Class]. In *A Complete System of Reinforcement Learning*. University of Alberta.

MARCO TEÓRICO

La minería subterránea de carbón presenta altos riesgos debido a la presencia de gases tóxicos como CO , H_2S , CH_4 y CO_2 , que pueden causar explosiones o asfixia. Tradicionalmente, los sistemas de monitoreo han sido reactivos, sin capacidad para anticipar condiciones peligrosas.

El avance en inteligencia artificial (IA) ha permitido implementar modelos predictivos en sistemas embebidos. Las redes **CNN-LSTM** combinan el análisis espacial y temporal de datos, facilitando la detección anticipada de eventos críticos a partir de series de tiempo generadas por sensores.

La plataforma Jetson Nano ofrece capacidad de cómputo suficiente para ejecutar modelos de IA en tiempo real en aplicaciones de campo. Su arquitectura permite integrar sensores y modelos optimizados como TFLite, facilitando el procesamiento local. La implementación de modelos predictivos se ha extendido a diversas áreas como la salud, la agricultura, el transporte y la industria, donde el análisis anticipado de datos temporales es clave para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones.

RESULTADOS

Tabla 1. División de Conjunto de Datos de Entrenamiento y Prueba

CONJUNTO DE DATOS	CANTIDAD
Entrenamiento	7487
Prueba	1872

Tabla 2. Resultados Clave del Modelo Predictivo (CNN-LSTM-RL)

Métrica / Gas	O_2	CO_2	CH_4	Sistema Total
Exactitud (%)	80% ☒	83.33% ☒	76% ☐	79.78% ☒
RMSE	0.089	0.031	0.89	-
MAE	0.06	0.021	0.47	-
sMAPE	0.23%	8.38%	31.47%	-
Alertas correctas (%)	85% ☒	90% ☒	80% ☒	85% ☒

CONCLUSIONES

El sistema inteligente basado en Jetson Nano demostró ser una solución innovadora y efectiva para la seguridad minera. La integración del modelo híbrido Conv1D-LSTM-RL con sensores especializados permitió predecir concentraciones de O_2 , CO_2 y CH_4 con más del 80% de exactitud, superando los sistemas tradicionales de monitoreo. El análisis cuantitativo mostró valores de RMSE y MAE dentro de rangos óptimos (ej: 0.031 RMSE para CO_2), confirmando la confiabilidad del sistema. La capacidad de generar alertas tempranas en tiempo real representa un avance significativo en la prevención de accidentes. La combinación única de edge computing, inteligencia artificial y aplicación en entornos mineros subterráneos posiciona esta solución como un referente tecnológico para la industria. Además, Este desarrollo no solo contribuye a la mejora en seguridad laboral, sino que también establece un precedente para futuras aplicaciones de IA embebida en entornos industriales críticos.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

MODELO MATEMÁTICO DEL EJE ROTACIONAL DE UN TURBOCARGADOR

José Ricardo Bermúdez Santaella

RESUMEN

En los motores de combustión interna se debe tener muy presente el desgaste que se hace por parte de sus componentes giratorios, la razón es que la vida útil de estas máquinas rotativas depende de ello por la razón a que sufren deterioros prematuros o daños por utilizar aceites contaminados o haber recibido partículas del exterior o el aceite ha tenido alteraciones en su temperatura o que han perdido sus propiedades esenciales [1]. Además, existe un aspecto de gran relevancia en las máquinas rotativas en el campo de las turbomáquinas, es la importancia del análisis de sus lubricantes, como herramienta a la hora de realizar una estrategia de diagnóstico y detección de fallos, en el caso de los motores sobrealimentados más específicamente los turbocargadores. Ahora, el análisis del lubricante nos permite conocer con exactitud su comportamiento, sus condiciones de contaminación y desgaste del mismo, también, nos permite encontrar las causas que han provocado el fallo y así actuar inmediatamente en su corrección, haciendo que el sistema sea confiable [2][3]. Por otra parte, la alta eficiencia en un turbocargador es alcanzada por la optimización del sistema aerodinámico y también, por la reducción de las pérdidas por fricción en los cojinetes, proporcionado que estos cojinetes aumentan el ahorro del combustible y operan en un amplio rango de velocidades de régimen de trabajo [4]. Asimismo, estos turbocargadores se han desarrollado por la necesidad de obtener mejores prestaciones en los motores de combustión interna, estas máquinas rotativas desde el punto de vista de sobrealimentación han generados amplios resultados, en especial el de no consumir energía efectiva del motor, reducir pérdidas de energía y disminuir la contaminación al medio ambiente [5][6][7]. Por consiguiente, los motores de combustión interna al servicio de los vehículos de transporte de carga y pasajeros utilizan turbocargadores, el cual, genera una alta eficiencia y rendimiento del motor al producir mayor potencia, a su vez, disminuye la contaminación de sus gases al medio ambiente, teniendo muy presente el de evitar una posible presurización en el motor [8]. Los turbocargadores trabajan en condiciones extremas y sometidos a altas temperaturas en régimen de trabajo, el engrase de sus cojinetes deslizantes está muy comprometido y sus límites de desequilibrios dinámicos de los dos rodetes en caso de que se le adhiera restos de aceites o carbonillas a los alabes curvas de los rodetes, proporcionarán frecuencias naturales en el cual se centran en la frecuencia de resonancia y así, pueden desprender la película de engrase del aceite y el cuerpo del rodamiento proporcionando un efecto en los microgriparjes. Además, el eje rotativo del turbocargador soportado por el compresor y turbina se encuentran a altas temperaturas de un extremo al otro, de caliente a más frío lo que hace generar más exigencias en la lubricación causando que el aceite se carbonice [9][10]. En general, el turbocargador está conformado por un sistema de lubricación con condiciones de presión, temperatura y flujo constante, que a su vez lubrican los rodamientos del eje rotativo que tiene como función el de transmitir el torque proveniente por la energía mecánica de la turbina que es alimentada por medio de los gases de salida de la cámara de combustión. Por tal razón este eje rotativo está a condiciones extremas de calor y de fricción que regula la estabilidad del grupo turbocargador. Entre tanto, los estudios de los rodamientos deslizante en el eje de los turbocargadores que se han presentado en base a sus diseños y su dinámica, tienen como propósito el de entender su comportamiento y optimizar su rendimiento por medio de las características de presión, temperatura y flujo, en el que relacionan variables inherentes a sus condiciones de trabajo que permiten relacionar el torque y la eficiencia del sistema del turbocargador. Por consiguiente, en este trabajo se propondrá un modelo fenomenológico y experimental de la dinámica en el eje rotacional incluyendo como conjunto integral los rodamientos donde se estipulan las pérdidas incidentes y por fricción de los cojinetes, a través de sus esfuerzos axiales y rotacionales que lo soportan, dando como propósito el de abstraer sus condiciones de trabajo y su especificidad de sus variables en el punto de trabajo nominal, que seguidamente se comparará con la información que proporcionará el banco de pruebas para turbocargadores a utilizar en este caso de estudio [11].

METODOLOGÍA

En este trabajo se hace referencia a un modelo matemático en el que se estudia y analiza el proceso de lubricación a través de los cojinetes del eje del turbocargador. En este eje rotacional se tiene presente su dinámica donde se involucra sus respetivos torques, tanto de la turbina, como del compresor y el de sus pérdidas por fricción. En razón a lo anterior este modelo estará estructurado como un modelo matemático fenomenológico y experimental aportando con un componente de originalidad, pertinente y que contribuirá en el futuro en una herramienta innovadora al control en el campo de la detección y diagnostico fallos para la comunidad científica. Para este ensayo nos hacemos la pregunta, ¿quién suministra el lubricante al turbocargador?, la respuesta es, un sistema de alimentación de lubricación a los cojinetes deslizantes del turbocargador, en el que consiste en una bomba de caudal constante, a una presión de aceite a 4 bares que recirculará a través de un intercambiador de calor manteniendo el valor de temperatura del aceite constante a 70 °C y que suministra al eje principal continuamente que a su vez se recircula en este sistema cíclicamente en el tiempo. **Sistema de lubricación que alimenta al turbocargador**

El diseño del sistema de lubricación en este documento está bajo la metodología experimental [13] y está conformada de los siguientes procesos: bomba de caudal, intercambiador y recipiente del aceite, ver Figura 1.

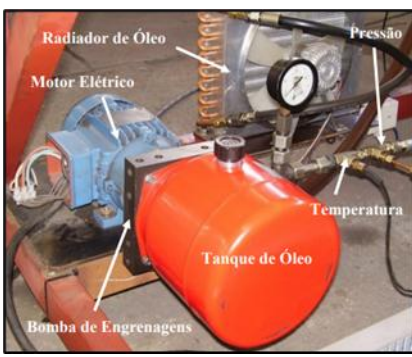


Figura 1. Sistema de lubricación.

Los componentes utilizados para este sistema son: tanque de acero inoxidable para el almacenamiento del aceite cuando sale del turbocargador, bomba de engranaje, tanque del aceite, motor eléctrico, radiador de aceite, sistema para mantener la presión y temperatura constante.

REFERENCIAS

- [1] H. Garamendi, "Lubricación de un motor de combustión interna y el análisis de aceite en uso para su mantenimiento," 2008.
- [2] J. Filipczyk, "Causes of automotive turbocharger faults," *Transp. Probl.*, vol. 8, no. 2, pp. 5–10, 2013.
- [3] C. Bonet y F. Martínez, "Diagnóstico a través del aceite a motores de combustión interna," 2016. [Online]. Disponible: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/public/descargas/Diagnostico.pdf>.
- [4] R. Ruiz, "Estudio de la dinamica no lineal de un rotor soportado por cojinetes de anillo flotantes," in *Mecanica Computacional*, 2008, vol. XXVII, pp. 10–13.
- [5] R. Menaca y I. Bedoya, "Una revisión del uso del hidrógeno en motores de encendido por compresión (diésel) y un análisis de su posible uso en motores duales en Colombia," *Revista UIS Ingeniería*, vol. 21, no. 3, 2022.
- [6] V. Leal, "Revisión exploratoria de la implementación de hidrógeno en motores de combustión interna," *Revista EJE*, pp. 22–34, 2022.
- [7] D. Velazquez, "Rendimiento de un motor de combustión interna utilizando diferentes mezclas carburantes," *Química hoy Chemical Science*, vol. 10, no. 3, pp. 12, 2021.
- [8] K. Farinango, L. Caiza, y F. Flores, "Implementación del downsizing en motores de gasolina. ¿Menos consumo igual potencia?," *Polo del Conocimiento*, vol. 7, no. 8, pp. 625–640, 2022.
- [9] S. Palacio, "Banco de pruebas para turbocargadores," 2013.
- [10] J. Serrano, A. Izaguirre, L. García, T. Usaquén, y M. Guillaume, "A methodology to study oil-coking problem in small turbochargers," *International Journal of Engine Research*, vol. 21, no. 7, pp. 1193–1204, 2020.
- [11] S. Yin, J. Ni, H. Fan, X. Shi, y R. Huang, "A study of evaluation method for turbocharger turbine based on joint operation curve," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 16, 2022.
- [12] A. Erik, S. Cely, I. Juan, and C. Monroy, "Estudio tecnico, normativo de la adaptación de un turbocompresor en vehículos de combustión interna a gasolina," *Universidad Antano Nariño*, pp. 23, 2022.
- [13] G. Venson, "Desenvolvimento de um banco de ensaios e da metodologia experimental para o levantamento das Características Operacionais de Turbocompressores Utilizando Gás Quente," Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- [14] B. Hoepke, T. Uhlmann, S. Pischinger, B. Lueddecke, y D. Filsinger, "Analysis of thrust bearing impact on friction losses in automotive turbochargers," *Journal of Engineering Gas Turbines Power*, vol. 137, no. 8, pp. 1–8, 2015.
- [15] I. Chatzisavvas, A. Boyaci, P. Koutsovasilis, y B. Schweizer, "Influence of hydrodynamic thrust bearings on the nonlinear oscillations of high-speed rotors," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 380, pp. 224–241, 2016.
- [16] K. Ryu y L. Andres, "On the failure of a gas foil bearing: High temperature operation without cooling flow," *Journal of Engineering Gas Turbines Power*, vol. 135, no. 11, 2013.
- [17] S. Chuepeng y S. Saipom, "Lubricant thermo-viscosity effects on turbocharger performance at low engine load," *Applied Thermal Engineering*, vol. 139, no. May, pp. 334–340, 2018.
- [18] M. Deligant, P. Povevin, y G. Descombes, "Experimental identification of turbocharger mechanical friction losses," *Energy*, vol. 39, no. 1, pp. 388–394, 2012.
- [19] M. Ibrahim, A. Dimitri, H. Bayoumi, y A. El-Shafei, "Stable Turbocharger Bearings," *Vibration rotating Mach*, vol. 12, pp. 9, 2020.
- [20] Lubricación, "Cojinetes," *Seccion Libro*, 2017, pp. 102–111.

MARCO TEÓRICO

El turbocargador es una de las máquinas rotativas que ha tenido la atención de los diversos actores del campo automotor y ambiental, esta ha estado continuamente en modificaciones hacia el desarrollo de su eficiencia y fiabilidad, por tal razón el turbocargador en el campo de la investigación e innovación se han centrado en recurrir a los procedimientos donde intervienen la detección y diagnóstico de falla en la lubricación de sus rodamiento y eje rotacional que transmite la potencia de la turbina hacia el compresor. El turbocargador se define como un elemento mecánico que permite en el motor de combustión interna incrementar su rendimiento, reduciendo a su vez las emisiones de gases contaminantes y ajustando el consumo de combustible [12]. De hecho, un turbocargador está formado por tres elementos básicos: por un lado, la turbina y por otro, el compresor y entre los dos el eje axial, que transmite el torque desde la turbina hacia el compresor. La turbina es la encargada de direccionar los gases de escape generados en la combustión de la mezcla aire-carburante en el interior de los cilindros, con el objetivo de producir una energía cinética en ella que a su vez rota al unísono con el otro componente que es el compresor, esta rotación se lleva a través del eje rotacional a una velocidad de régimen según sus condiciones de diseño. Así, el turbocargador al utilizar la entalpía de los gases de escape mejora el ciclo termodinámico del motor. El sistema de cojinetes que conforma el eje axial de transferencia de energía cinética de la turbina al compresor puede verse sin complejidad, pero en realidad estos desempeñan una función primordial porque garantizan que las turbinas puedan girar sin entrar en contacto con el alojamiento [9]. De hecho, los rodamientos mencionados anteriormente ocultan su enorme complejidad en su aplicación a través de sus diseños respecto a sus materiales y procesos de fabricación del cual se lleva a que tengan innovación en su refinado, para que satisfagan los niveles de exigencia del turbocargador. Por tal razón, en este ensayo se propenderá obtener las características de su funcionamiento del eje axial a través de sus torques o momentos equivalentes que propicia la turbina, absorbe como carga el compresor y sus pérdidas tanto incidentes como de fricción, proporcionado un estado de momentos en equilibrio. Todo esto con el fin de desarrollar el modelo matemático fenomenológico y experimental que permita hacer el estudio y análisis para comprender la dinámica y características rotacionales del turbocargador.

Sistema de cojinetes en los turbocargadores: Los sistemas de cojinetes en los turbocargadores proporcionan un equilibrio de las bajas pérdidas de potencia con las enormes fuerzas que se presentan por las cargas mecánicas que varían continuamente por sus frecuencias, que producen el flujo de compresión y expansión de las respectivas turbinas que conforman el grupo turbocargador. La clasificación de los cojinetes para turbocargadores están divididos en dos clases: Hidrodinámicos y Rodamientos de bolas. En el sistema de cojinetes hidrodinámicos para turbocompresores el lubricante o aceite tienen la función de irrigar las piezas de contacto y se encargará de proporcionar el equilibrio en el eje respecto a la turbina en sus condiciones de diseño de régimen de carga nominal. Los cojinetes que utiliza un turbocargador es del tipo liso donde su área de contacto es flotante o deslizante entre el aceite y el eje de contacto, girando a una velocidad relativa a la mitad de eje de contacto. En este rodamiento existen dos películas de aceite una externa entre el centro del alojamiento y el rodamiento y la otra, interna entre cojinete y el eje de transmisión del torque de la turbina.

Sistema lubricante en el turbocargador: En el turbocargador el aceite que lubrica los rodamientos están bajo una presión de diseño de 4 bares. Respecto a los conductos se tiene el de la entrada y salida del turbocargador, estos representan la vida útil del turbocargador. El diámetro del conducto de entrada está bajo condiciones de presión y temperatura, 4 bar y 70 °C, con un flujo constante, mientras que el drenaje de la salida es la presión atmosférica con un diámetro muy superior para que no produzca fricción, cabe decir que al salir el flujo de aceite por gravedad se presenta un burbujeo por el cambio de la dinámica del aceite cuando atraviesa los rodamientos o los cojinetes del eje principal del turbocargador.

RESULTADOS

Modelo matemático propuesto para el sistema de velocidad del turbocargador: Al realizar los diseños del sistema de suministro de aceite, se procede a modelar matemáticamente el sistema de eje axial de rotación del turbocargador. Este modelo matemático se basa en los conceptos de lubricación a través de la metodología de *Petroff*, del cual se obtiene los torques respectivos del compresor, turbina y de la fricción del eje axial de rotación del turbocargador [14][15][16][17][18][19][20]. Ver Figura 2 y Figura 3. También Ecuaciones 1, 2, 3, y 4.

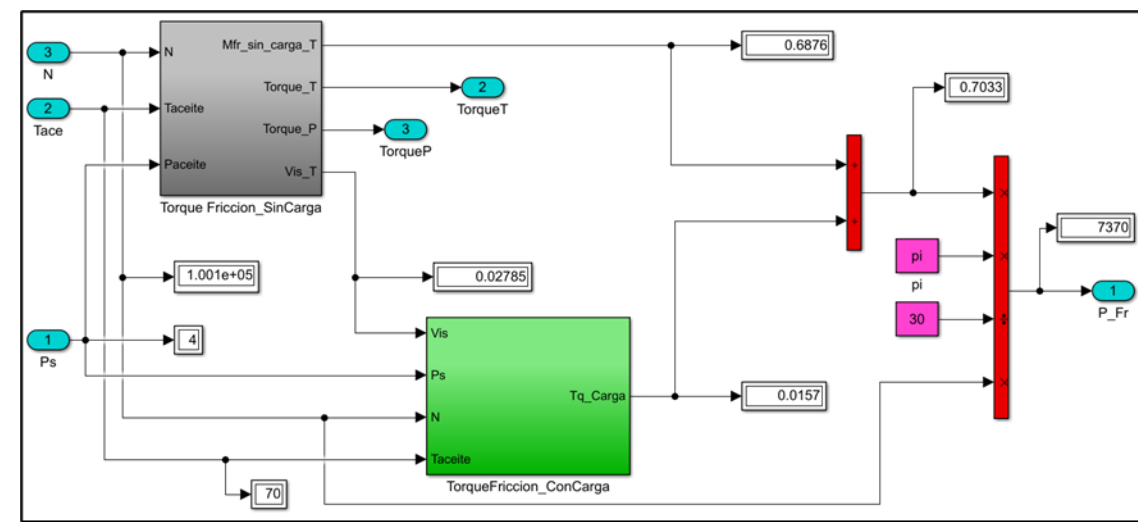


Figura 2. Sistema de fricción general.

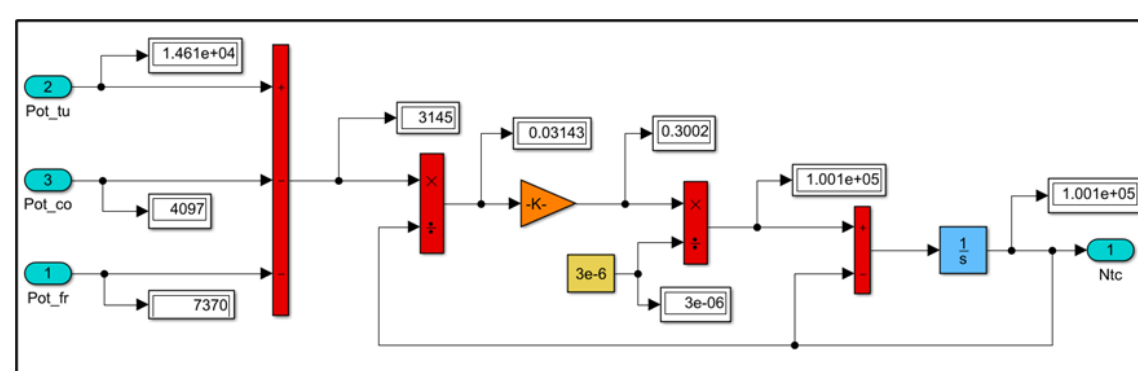


Figura 3. Sistema dinámico del turbocargador.

$$P_{fr} = \frac{\pi * N * (M_{fr_sin\,carga} + M_{fr_con\,carga})}{30} \quad (1)$$

$$P_{co} = \frac{m_{co} * C_p * T_{af}}{\eta_{co} * N} * \left(\left(\frac{P_{co}}{P_{af}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$P_{tu} = \eta_{tu} * m_{tu} * C_p * T_{cc} * \left[1 - \left(\frac{P_{tu}}{P_{cc}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \right] \quad (3)$$

$$N_{ic} = \int \left(\frac{30 * \frac{(P_{tu} - P_{co} - P_{fr})}{N}}{J * \pi} - N_{ic} \right) \quad (4)$$

CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló un modelo matemático fenomenológico que involucra el sistema de expansión donde interviene la turbina de un turbocompresor en razón de su momento mecánico, este es transferido por medio de su eje rotacional conformado por un sistema de lubricación que hace que sus rodamientos o cojinetes estén encargados de reducir considerablemente su oposición al momento producido por la turbina, con el fin que esta energía mecánica evolucione en su totalidad en la funcionamiento del compresor sin tener pérdida alguna, pero realmente se presentan pérdidas por fricción a través de su dinámica tanto con carga como sin carga. Este modelo matemático tiene en cuenta las características muy específicas de las condiciones reales de los fenómenos que se presentan en este proceso térmico en los turbocargadores.

En este trabajo se plantea que el modelo matemático fenomenológico y experimental tiene la complejidad necesaria para comprender el funcionamiento y su especificidad de la velocidad de rotación que requiere el turbocargador en las condiciones que se desea para su funcionamiento. Este modelo matemático hace referencia a la diferencia de sus pares mecánicos, indicando que el par de la turbina es el generado respecto al referido como carga, conformado por las fricciones del eje rotacional y por el compresor en su dimensión integral.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

ANÁLISIS DE SISTEMAS INTELIGENTES PARA USO EN ALERTA TEMPRANA COMO UNA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE LAS INUNDACIONES EN EL DEPARTAMENTO DE ARAUCA

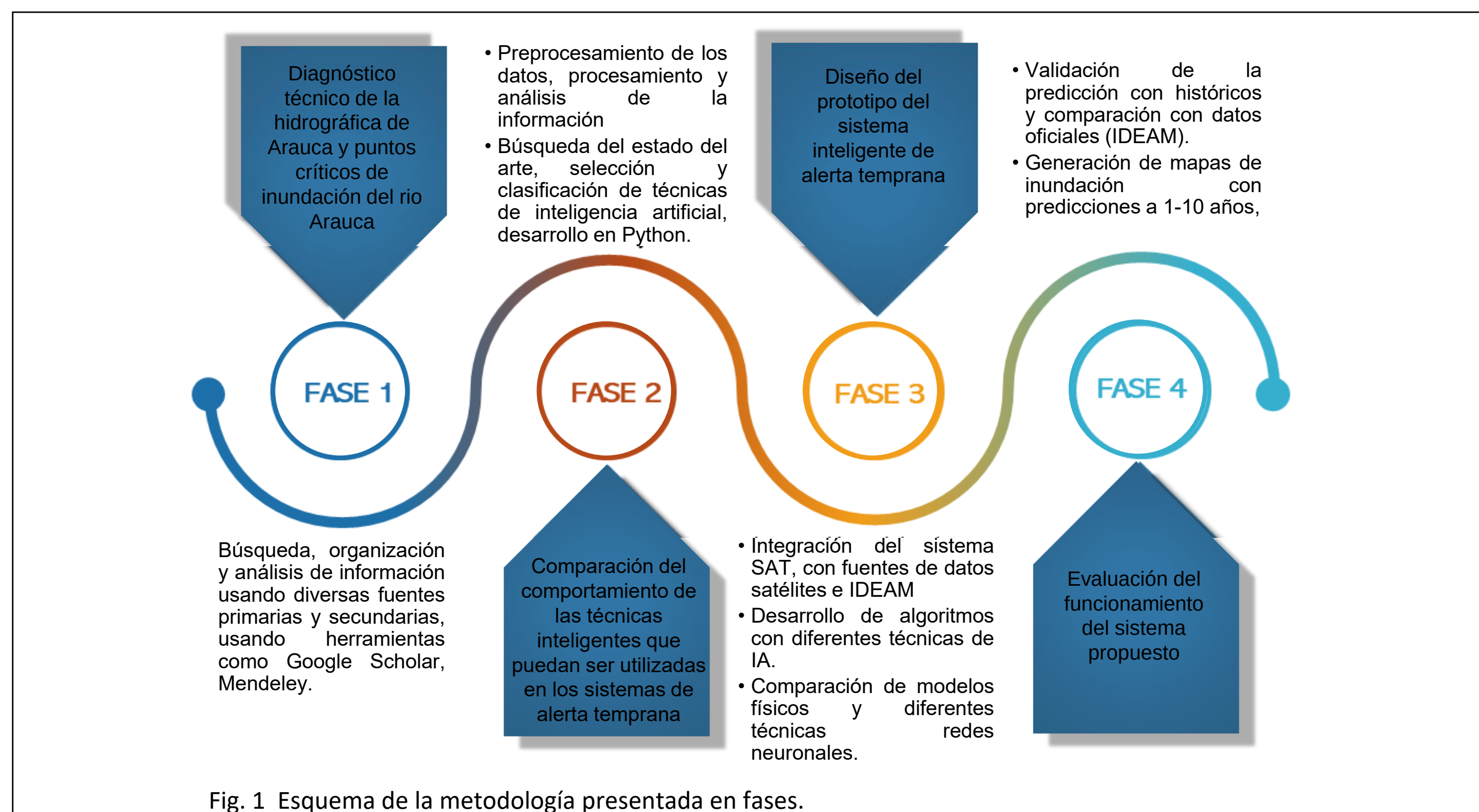
SORANGELA CARDENAS RODRIGUEZ, ALDO PARDO GARCÍA, ORLANDO MALDONADO

RESUMEN

Durante la temporada invernal, se presentan inundaciones que dan lugar a eventos de naturaleza catastrófica, que pueden presentar un riesgo grave para la vida, la seguridad, economía del hogar y el bienestar de la población. La escasez de sistemas de alerta temprana representa una carencia significativa en términos de respuesta y mitigación ante tales eventualidades. La implementación de sistemas inteligentes para la predicción de riesgos de inundaciones ha sido ampliamente reconocida como una estrategia fundamental, en la gestión de eventos climáticos extremos [1]. Los investigadores [2], subrayan la necesidad de desarrollar sistemas que integren datos satelitales, modelado hidrológico avanzado y técnicas de inteligencia artificial para mejorar la precisión, en la predicción de inundaciones a nivel mundial.

El pronóstico de inundaciones siempre ha sido una tarea difícil debido a la complejidad de los datos disponibles, siendo los datos meteorológicos en tiempo real, los ideales para la previsión de pronósticos y advertencias de inundaciones [3] [4]. Pero a su vez existen diferentes retos frente a la obtención de datos con calidad, con frecuencia se observan los datos incompletos en las series de tiempo. Diferentes autores proponen algunas técnicas en sus trabajos [5] [6] [7] para aplicar y obtener una data completa y confiable. Esta investigación se fundamenta en tres pilares esenciales: Primero, se aborda la adquisición y preprocesamiento de datos, incluyendo las fases de recolección y preparación de la información relevante. En segundo lugar, se exploran los modelos matemáticos existentes, destinados a la predicción de inundaciones, con un enfoque en su revisión, análisis crítico y adaptación según las necesidades del estudio. Por último, se lleva a cabo el desarrollo de técnicas inteligentes, con el objetivo de obtener el modelo óptimo, mediante la aplicación de metodologías avanzadas y algoritmos especializados en la tarea de predicción de inundaciones.

METODOLOGÍA



REFERENCIAS

- [1] T. J. John and R. Nagaraj, "International Journal of Intelligent Networks Prediction of floods using improved PCA with one-dimensional convolutional neural network," Int. J. Intell. Networks, vol. 4, no. May, pp. 122–129, 2023, doi: 10.1016/j.ijin.2023.05.004.
- [2] E. McAllister, A. Payo, A. Novellino, T. Dolphin, and E. Medina-Lopez, "Multispectral satellite imagery and machine learning for the extraction of shoreline indicators," Coast. Eng., vol. 174, p. 104102, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104102.
- [3] S. K. Jain et al., "A Brief review of flood forecasting techniques and their applications," Int. J. River Basin Manag., vol. 16, no. 3, pp. 329–344, 2018, doi: 10.1080/15715124.2017.1411920.
- [4] J. Styweart, L. Giraldo, J. Styweart, and L. Giraldo, "Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía," 2021.
- [5] Y. Wang, P. Zhang, Y. Xie, L. Chen, and Y. Li, "Toward explainable flood risk prediction: Integrating a novel hybrid machine learning model," Sustain. Cities Soc., vol. 120, p. 106140, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106140.
- [6] W. F. Rafael Miño, P. V. R. Vilcherres Lizárraga, S. P. Muñoz Pérez, V. A. Tuesta Montez, and H. I. Mejía Cabrera, "Modelamiento de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: una revisión sistemática de la literatura," Iteckne, vol. 19, no. 1, 2021, doi: 10.15332/iteckne.v19i1.2645.
- [7] K. L. P. Garcia and O. A. G. Mendivelso, "Diseño de un sistema de alertas tempranas para medición de caudales instantáneos en la cuenca alta y media del río Ila en el municipio de la vega – cundinamarca," 2017.
- [8] G. Nearing et al., "AI Increases Global Access to Reliable Flood Forecasts," arXiv Prepr. arXiv2307.16104, 2023, doi: 10.48550/arXiv.2307.16104.
- [9] World Meteorological organization WMO, Manual on Flood Forecasting and Warning, Segunda., no. 1072. Suiza, 2011.

MARCO TEÓRICO

Con la plataforma "flood hub" de Google, la IA aumento el acceso a pronósticos de inundaciones a nivel mundial en más de 80 países, para Nearing [8]. El sistema toma datos de acceso libre como área de drenaje, evapotranspiración, elevación, precipitación, caudal, temperatura, radiación, térmica, nevadas y presión en la superficie, entre otros. Fue desarrollado en Python con redes de memoria a corto plazo (LSTM), y 5680 medidores de caudal, usando la función de activación tangente hiperbólica, el modelo se entrenó con 50.000 mini lotes con un tamaño de lote de 256, el algoritmo usa una secuencia retrospectiva de 365 días para pronóstico de 0 a 7 días. El diseño del sistema según la organización mundial meteorológica [9] comprende tres módulos: El módulo de recolección de datos de diferentes fuentes, modulo de pronostico con el modelo de escorrentía y el modulo de salida del pronostico de la alerta.

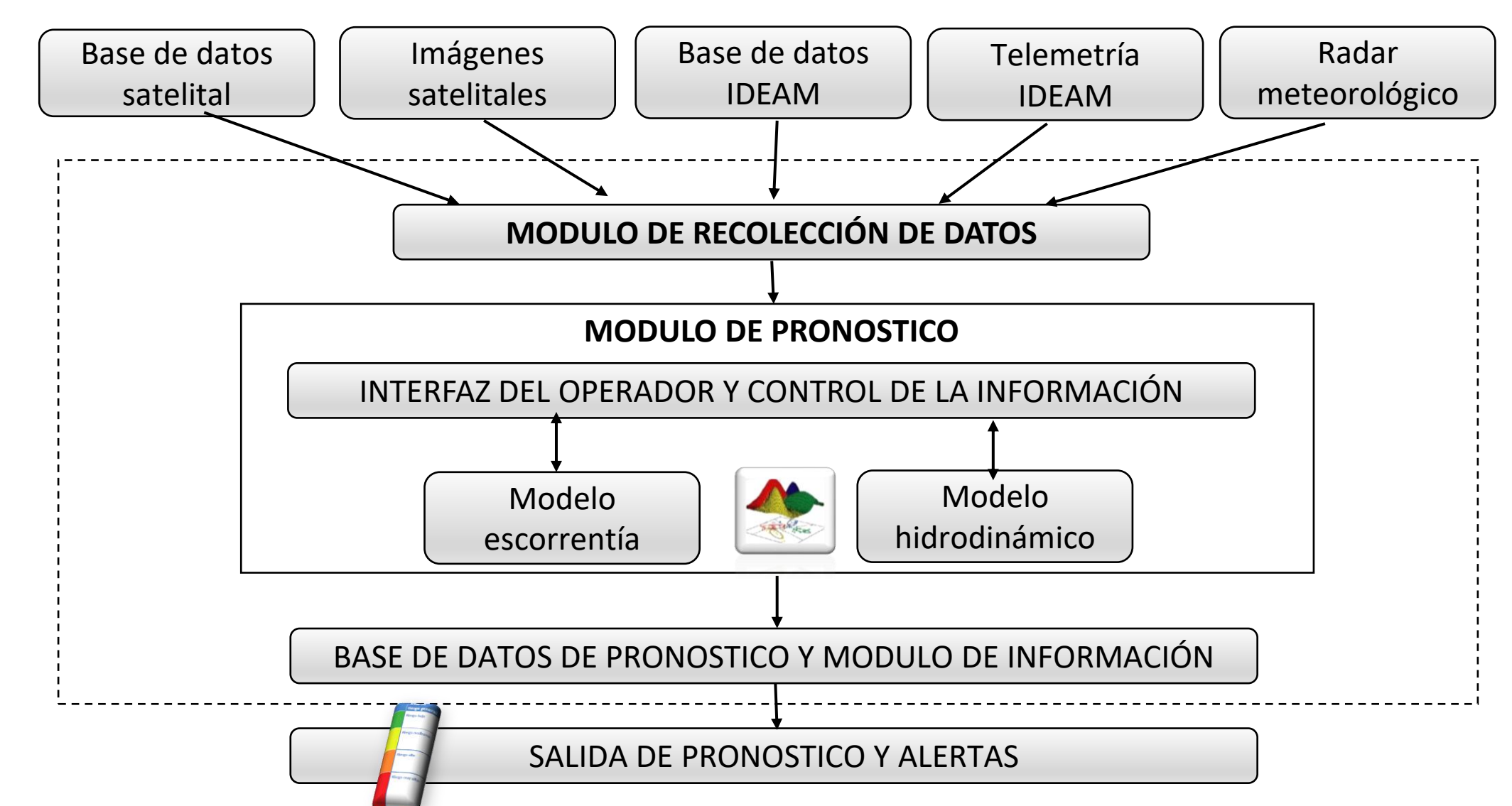
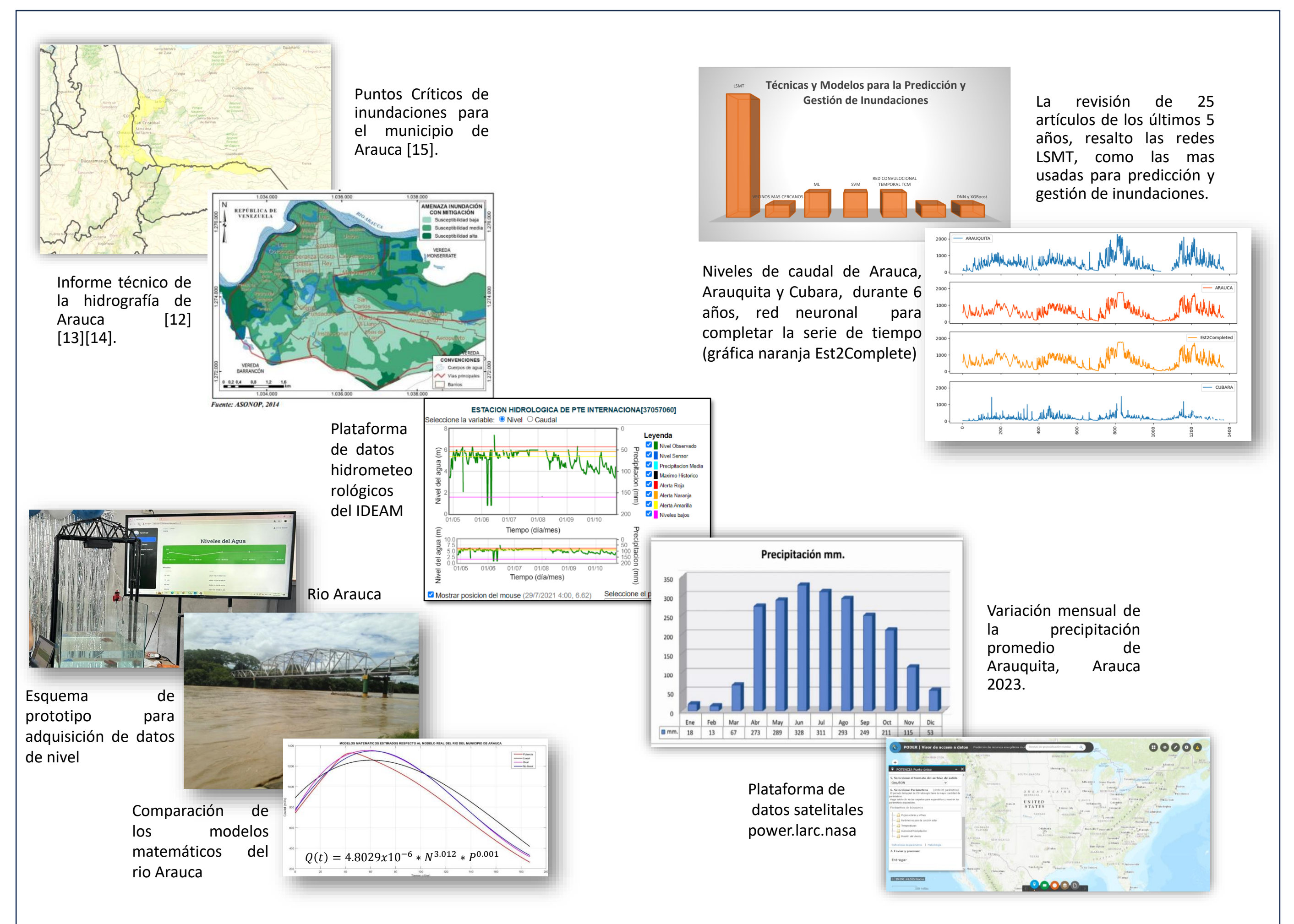


Fig. 2 Arquitectura del sistema de pronóstico y alerta SAT, según las orientaciones de la organización mundial meteorológica WMO

RESULTADOS



CONCLUSIONES

Los datos son parte fundamental para un correcto análisis, en este trabajo se obtienen de fuentes como: el IDEAM y satelitales obtenidos en archivos cvs, los datos satelitales cuentan con preprocesamiento y filtrado realizado por programas especializados para corrección. Los datos del IDEAM requieren de preprocesamiento como eliminación de valores atípicos y completar series temporales a través de redes neuronales, especialmente en datos incompletos por causas externas, se realizó la predicción de datos faltantes en las series de tiempo de caudal, y se evidencio que la redes neuronales, logran una predicción mas precisa. Con la Integración de datos hidrometereológicos, se busca aplicar en esta investigación un enfoque sistemático para la adquisición y análisis de datos, incluyendo precipitación, humedad, temperatura, nivel del río, caudal, evo transpiración, utilizando datos satelitales, datos locales, evidenciando que la adquisición de datos es un proceso fundamental para la predicción de inundaciones. La aplicación y evaluación comparativa entre modelos físicos convencionales y modelos de inteligencia artificial ha demostrado la capacidad de estos últimos para mejorar la precisión en la predicción de niveles de inundación.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA FACILITAR LA INTERACCIÓN CON PERSONAS SORDAS EN ÁREAS DE SERVICIO AL CLIENTE.

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL FLOREZ ZAMBRANO

RESUMEN

La presente propuesta doctoral plantea el desarrollo de un sistema de comunicación inteligente que permita la traducción bidireccional en tiempo real entre el español y la Lengua de Señas Colombiana (LSC), mediante la implementación de dos avatares interactivos. La iniciativa surge como respuesta a las barreras comunicativas persistentes que enfrentan las personas sordas en entornos de atención al público, donde la falta de intérpretes limita el ejercicio pleno de sus derechos. A través de la integración de algoritmos de inteligencia artificial, visión por computador y procesamiento de lenguaje natural, el sistema busca facilitar una interacción fluida, autónoma y accesible, promoviendo una inclusión real y efectiva en espacios de servicio

METODOLOGÍA

Se desarrollará una metodología en cuatro fases:

- Diseño del corpus lingüístico**, basado en 300 señas frecuentes en contextos de atención al público, validadas con expertos en LSC.
- Implementación de un sistema de reconocimiento y traducción**, utilizando modelos de aprendizaje profundo (CNN, RNN, Transformers) entrenados con herramientas como TensorFlow, PyTorch y Mediapipe.
- Diseño e integración de dos avatares interactivos**, uno que traduzca del español a LSC y otro que realice el proceso inverso. Estos avatares incluirán animaciones gestuales sincronizadas y capacidades de interacción contextual.
- Validación participativa**, a través de pruebas piloto en entornos reales, con participación de personas sordas y personal de atención al cliente, siguiendo un enfoque de diseño centrado en el usuario.

REFERENCIAS

- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Bragg, D., Koller, O., & Pal, C. (2019). Sign Language Recognition, Generation, and Translation. *ACM Transactions on Graphics*.
- Cooper, H., Bowden, R., & Ong, E. (2020). *Interactive Avatars for Sign Language Communication*. IEEE Transactions.
- Arvanitakis, G., Marras, I., & Anastasopoulos, D. (2022). *AI-Powered Assistive Technologies for the Deaf: Advances and Challenges*. IEEE Access.
- Gómez, J., & Álvarez, M. (2020). *Evaluación de modelos de aprendizaje profundo en la traducción automática de lenguajes de señas*. Revista de Inteligencia Artificial.

MARCO TEÓRICO

Los avances recientes en inteligencia artificial han abierto nuevas posibilidades para el desarrollo de tecnologías inclusivas dirigidas a comunidades con discapacidad auditiva. Diversos estudios han abordado el reconocimiento automático de señas (Cooper et al., 2020), la síntesis de movimientos en avatares virtuales (Bragg et al., 2019) y la traducción de texto a señas mediante redes neuronales generativas (Saunders et al., 2020).

Sin embargo, en el contexto latinoamericano, y especialmente en Colombia, la investigación aplicada a la Lengua de Señas Colombiana (LSC) sigue siendo incipiente. Este proyecto se propone no solo avanzar en la construcción de herramientas tecnológicas adaptadas a las realidades lingüísticas locales, sino también contribuir al fortalecimiento del derecho a la comunicación como pilar de la equidad social. Las referencias analizadas muestran un creciente interés global en la convergencia entre accesibilidad, IA y avatarización, lo que respalda la pertinencia científica de esta propuesta.



RESULTADOS

Se prevé el desarrollo de una aplicación funcional que ofrezca traducción en tiempo real con alta precisión semántica, facilitada por dos avatares virtuales. Este sistema permitirá a las personas sordas mantener conversaciones autónomas en contextos institucionales, comerciales y educativos. Además, se obtendrán métricas sobre el desempeño del sistema en condiciones reales, identificando variables críticas para su escalabilidad y replicabilidad. Asimismo, se espera generar un repositorio digital de señas optimizado para aplicaciones futuras en ámbitos similares.



CONCLUSIONES

El sistema propuesto representa una contribución significativa al campo de la accesibilidad comunicativa mediante el uso de inteligencia artificial. Su impacto se proyecta no solo en términos tecnológicos, sino también sociales, al fomentar una cultura de inclusión y equidad. Esta investigación ofrece una base sólida para futuras iniciativas en reconocimiento de lenguas de señas, y propone un modelo replicable que podría adaptarse a otras lenguas de señas en el ámbito latinoamericano. A largo plazo, la herramienta podrá integrarse en políticas públicas que garanticen el derecho a la comunicación sin barreras

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

DESARROLLO DE MODELOS INTELIGENTES PARA EL DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS NO TÉCNICAS BASADO EN LA PERFILACIÓN DE USUARIOS DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

M.Sc. Karla Yohana Sanchez Mojica, Dr. Oscar Javier Suarez Sierra

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar una plataforma digital que integre modelos inteligentes para el diagnóstico de pérdidas no técnicas en el servicio de energía eléctrica, basándose en la perfilación de usuarios. La investigación se centra en la detección de comportamientos anómalos que puedan estar relacionados con fraudes o inconsistencias en el consumo energético, utilizando datos reales proporcionados por Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS), correspondientes a más de 63.000 usuarios del municipio de Cúcuta.

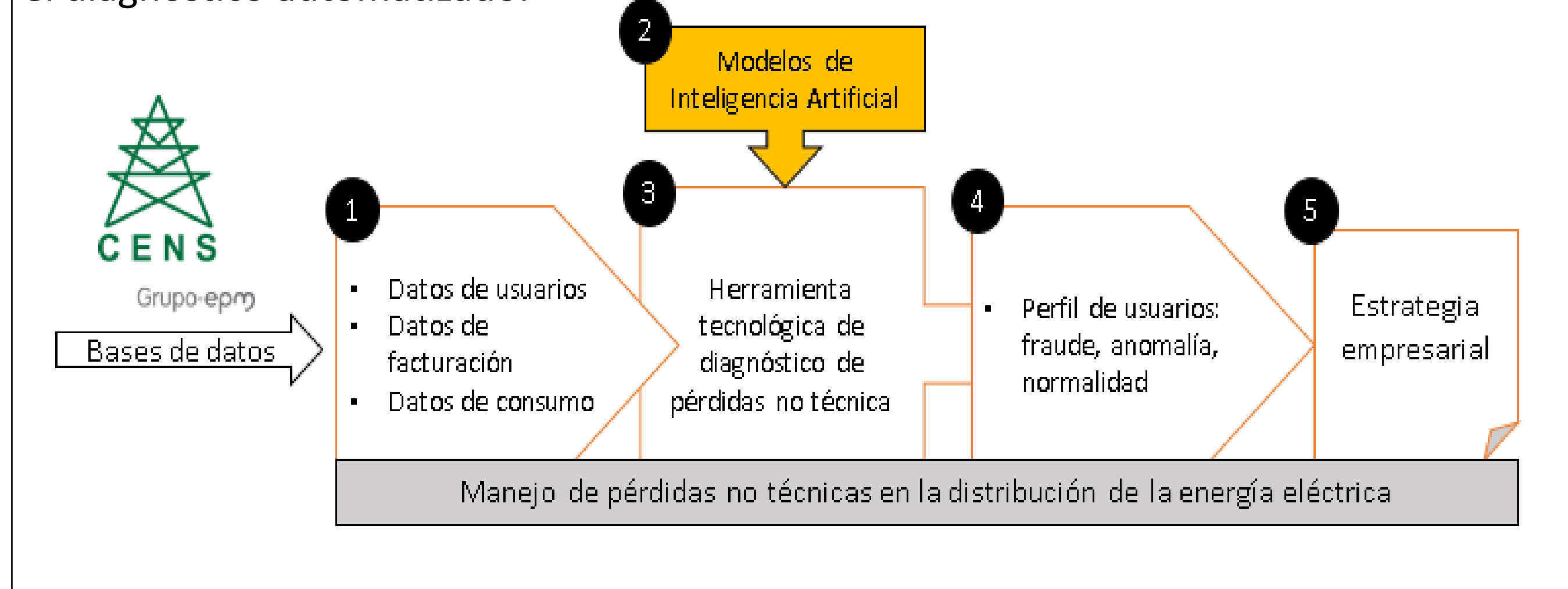
La metodología contempla un proceso de limpieza y reducción de variables, logrando una base de datos depurada con 30.939 registros y 182 características por usuario. Estos datos fueron particionados en conjuntos de entrenamiento y validación en una proporción del 70% y 30%, respectivamente.

Los resultados indican que el modelo híbrido CNN-LSTM-DNN presentó el mejor desempeño global en la clasificación de usuarios, con métricas destacadas como precisión de 0.70, recall de 0.74 y F1-score de 0.72. Este rendimiento sugiere que la combinación de redes neuronales convolucionales y recurrentes mejora la capacidad de detección de patrones asociados a pérdidas no técnicas, lo cual es clave para una intervención temprana y eficiente por parte de las empresas prestadoras del servicio.

METODOLOGÍA

La base de datos fue dividida en dos conjuntos: un 70% para entrenamiento de los modelos y un 30% para validación. Sobre estos datos se entrenaron inicialmente cuatro modelos básicos de aprendizaje profundo: perceptrón multicapa (MLP), red neuronal profunda (DNN), red neuronal recurrente (LSTM) y red neuronal convolucional (CNN). Además, se desarrollaron y evaluaron cuatro modelos híbridos que combinan las arquitecturas anteriores para mejorar el rendimiento: CNN-DNN, LSTM-DNN, CNN-LSTM-MLP y CNN-LSTM-DNN. Estos modelos se diseñaron para identificar patrones en el comportamiento de consumo que puedan estar asociados a pérdidas no técnicas, como fraudes o manipulaciones del servicio.

La evaluación de cada modelo se realizó mediante métricas estándar de clasificación como precisión, recall y F1-score, permitiendo identificar el enfoque más efectivo para el diagnóstico automatizado.



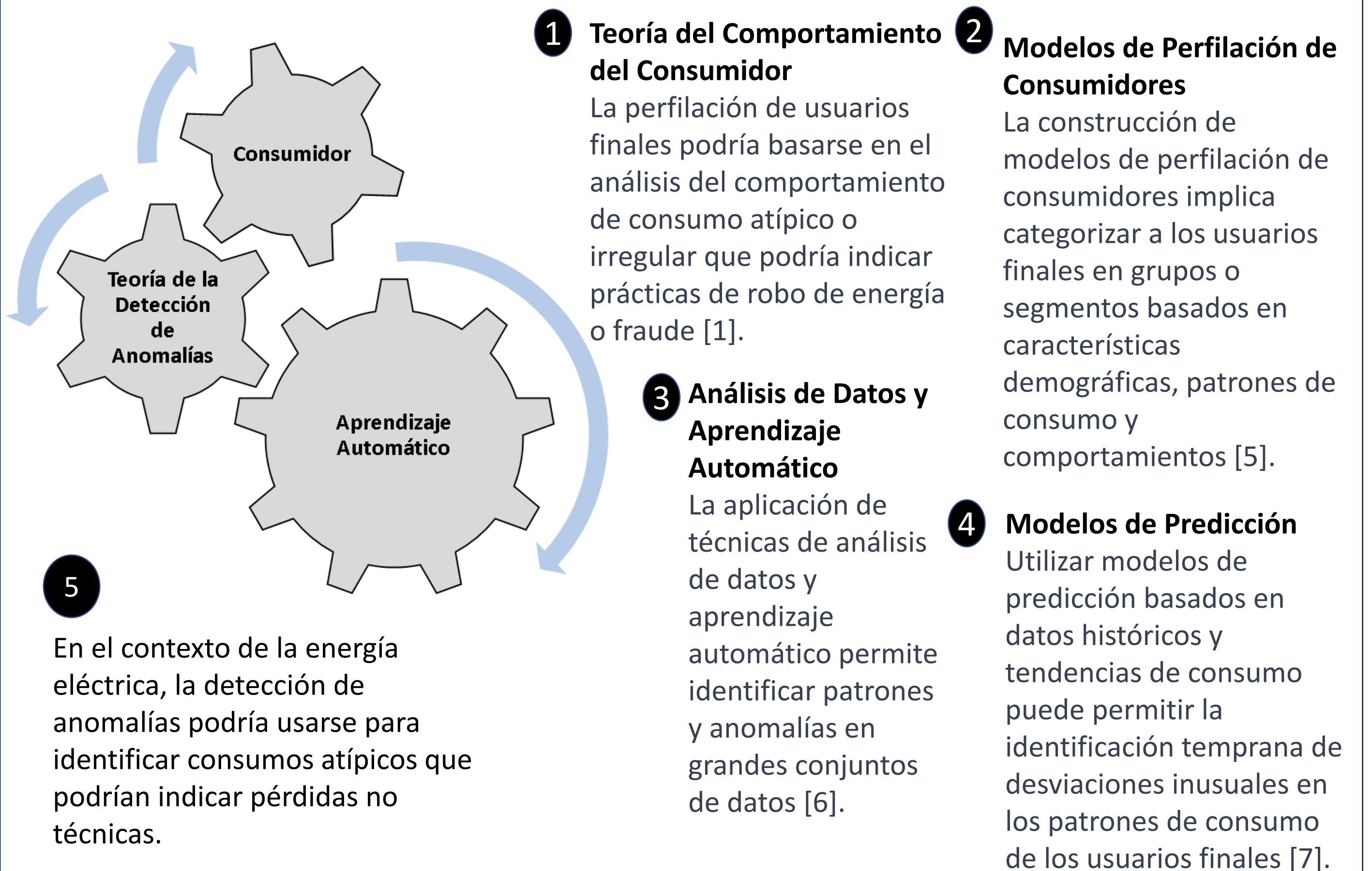
REFERENCIAS

- [1]Oscar Henao y José Fernando Cordoba L, «Comportamiento del consumidor, una mirada sociológica,» Entramado, pp. 18-29, 2007.
- [2]Juan Carlos Chávez Bravo, «La influencia de la inteligencia artificial en el futuro del marketing» Big Bang Faustiniiano, pp. 8-13, 2021.
- [3]Jorge Díaz-Ramírez, «Aprendizaje automático y aprendizaje profundo,» Revista chilena de ingeniería, vol. 29, pp. 180-181, 2021.
- [4]Alfonso Centeno Martín-Romero y María Jesús Giménez Abad, «Técnicas de machine learning para la creación de modelos predictivos para empresas,» Universidad Pontificia Comillas, 2020.

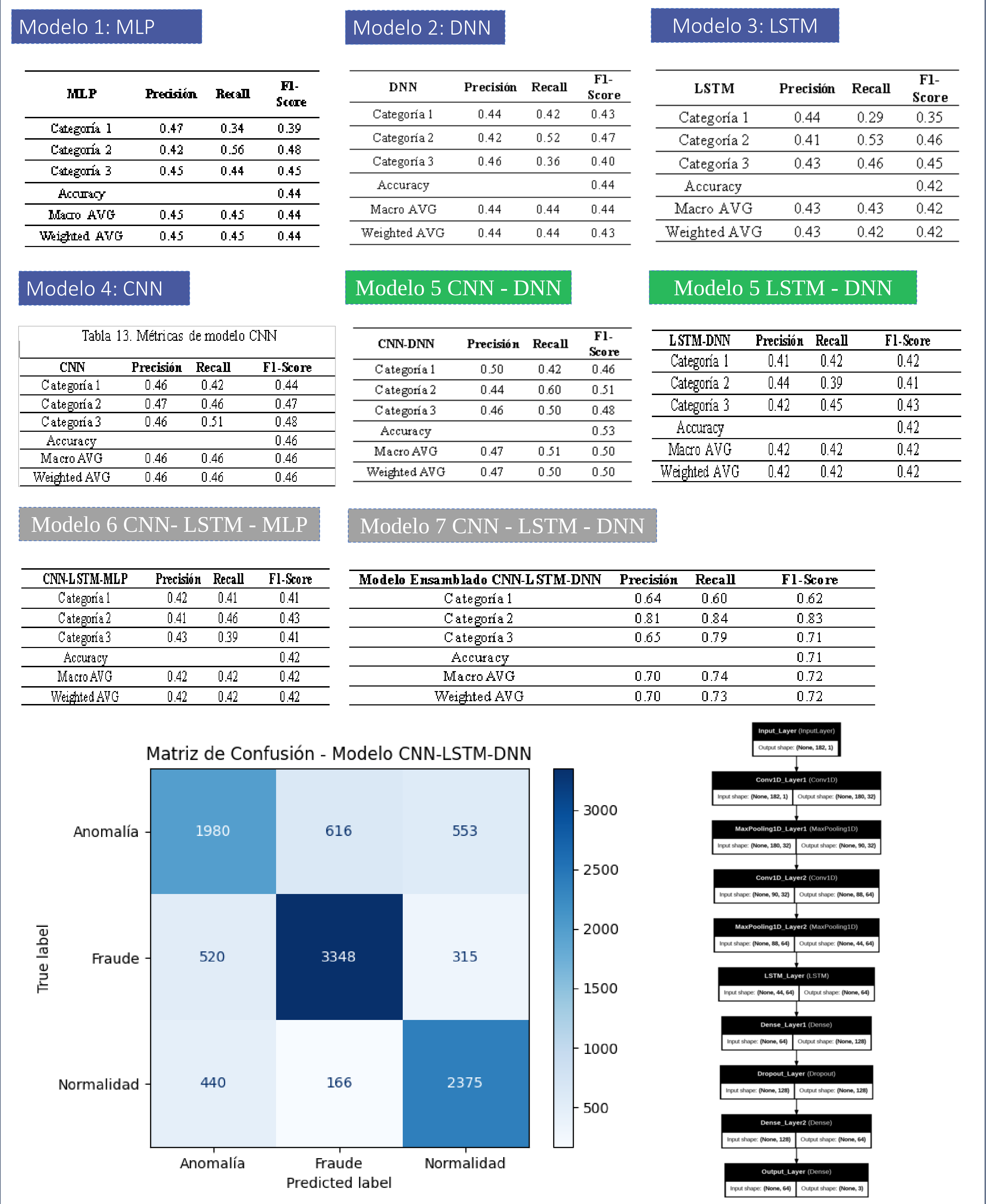
CONCLUSIÓN

Queda en evidencia que el enfoque híbrido es particularmente prometedor para problemas que requieren tanto la extracción de características locales como la modelación de relaciones globales como es el contexto de estudio. El modelo híbrido CNN-LSTM-DNN combina las fortalezas de tres técnicas avanzadas de aprendizaje profundo: las redes convolucionales (CNN), las redes neuronales recurrentes con memoria a largo plazo (LSTM) y las redes neuronales profundas (DNN). Este enfoque integrado resulta altamente efectivo para la detección de pérdidas no técnicas (PNT) en el sector eléctrico a través de la perfilación de usuarios.

MARCO TEÓRICO



RESULTADOS



Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

Estrategia de control basada en procesamiento de imágenes para la optimización de la producción y aplicación de agua electroactivada en frutas y verduras de Norte de Santander

MARIA CAROLINA DUQUE SUAREZ, PhD.VÍCTOR MANUEL GELVEZ

RESUMEN

MARCO TEÓRICO

Esta revisión bibliográfica explora el uso de procesamiento de imágenes y estrategias de control automatizado para optimizar la aplicación de agua electroactivada (AEA) en frutas y verduras. El análisis del estado del arte permite identificar avances, desafíos tecnológicos y oportunidades de innovación para su implementación en contextos agrícolas regionales como Norte de Santander.

METODOLOGÍA

Búsqueda Sistemática: Se consultaron bases de datos como Scopus, ScienceDirect y IEEE Xplore entre 2013-2024.

Criterios de Inclusión: Artículos revisados por pares, centrados en AEA, procesamiento de imágenes o control en agroindustria.

Análisis Temático: Clasificación por tipo de tecnología, aplicaciones, variables controladas, en la herramienta VosViewer.enfoques de investigación.

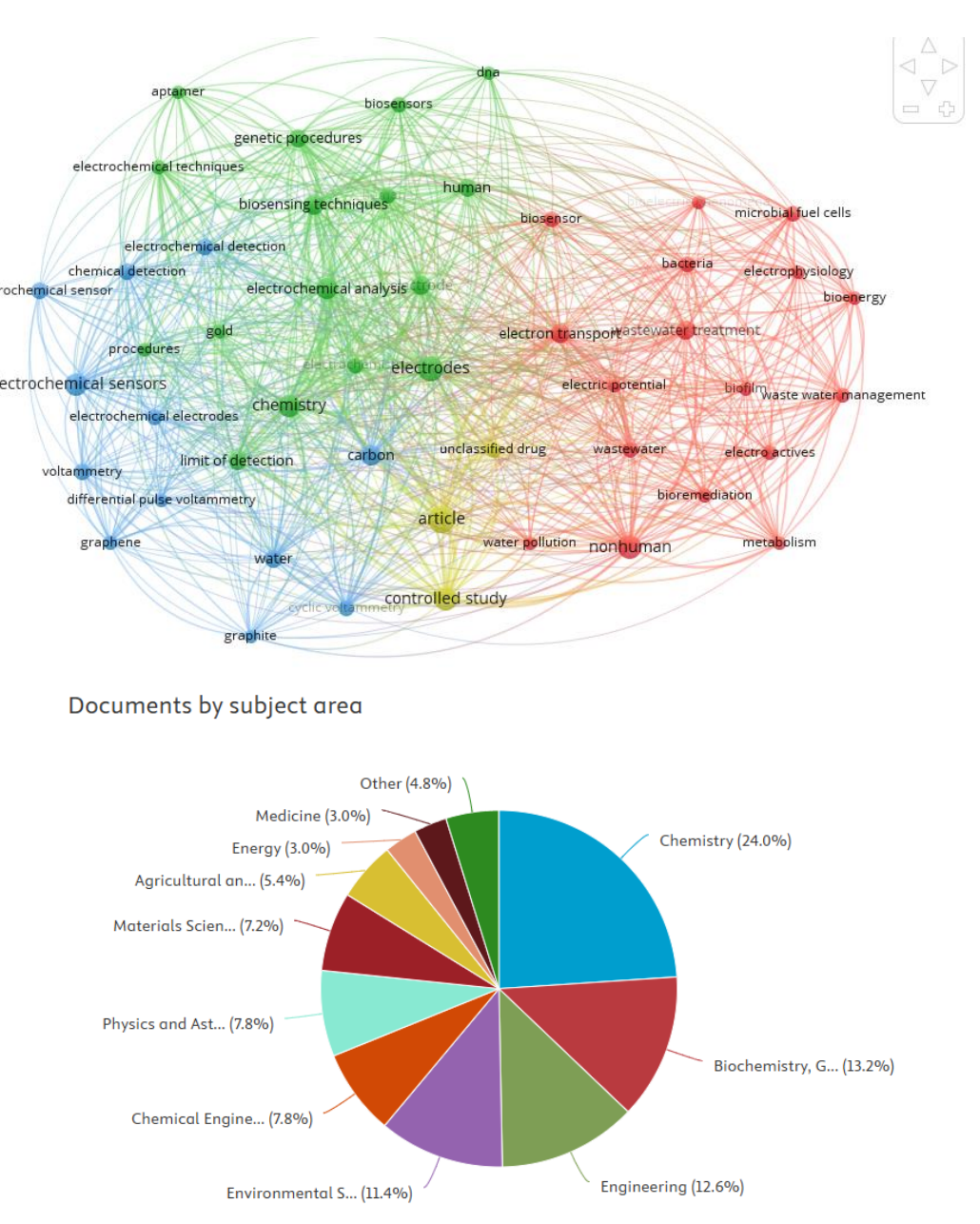


Figura 2. Análisis en Vosviewer del. RIS y Análisis por área, búsqueda en Scopus con: electroactive AND water AND food, realizo el 30 de febrero 2025..

REFERENCIAS

Bresciano, Á. (2018). Evaluación de la utilización de agua electroactivada como sustituto del hipoclorito de sodio en el procesado de vegetales (Tesis de especialización). Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Cadena Moreno, E. E. (2014). Estudio de la aplicación del agua electrolizada neutra en la desinfección de frutas y hortalizas frescas (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Envirolife. (2025). Aguas electroactivadas. <https://envirolife.com.ar/aguas-electroactivadas/>

Grimaldos García, B. A., Mendoza García, A. K., & Monsalve Patiño, D. (2019). Evaluación de la efectividad del agua electrolizada para desinfección de instrumental quirúrgico (Tesis de pregrado). Universidad de Santander, Colombia.

Hamid, M. S. B. (2021). Feasibility study of E. coli inactivation and development of portable water purifier using platinized titanium (Tesis de maestría). Nanyang Technological University, Singapur.

Huang, Z., Liu, J., Huang, Y., Lin, Y., Lin, J., & Lin, R. (2025). Slightly acidic electrolyzed water (SAEW) enhances the storability and quality maintenance of Chinese olive fruit during storage. Fujian Agriculture and Forestry University, China.

Agua Electroactivada (AEA): Solución generada por electrólisis con propiedades antimicrobianas, útil en sanitización sin residuos tóxicos.

Procesamiento de Imágenes: Técnica no invasiva que permite identificar defectos, madurez, y zonas críticas para aplicación dirigida.

Control Automático e IA: Integración de sensores, visión por computador y algoritmos de decisión para mejorar eficiencia y trazabilidad.

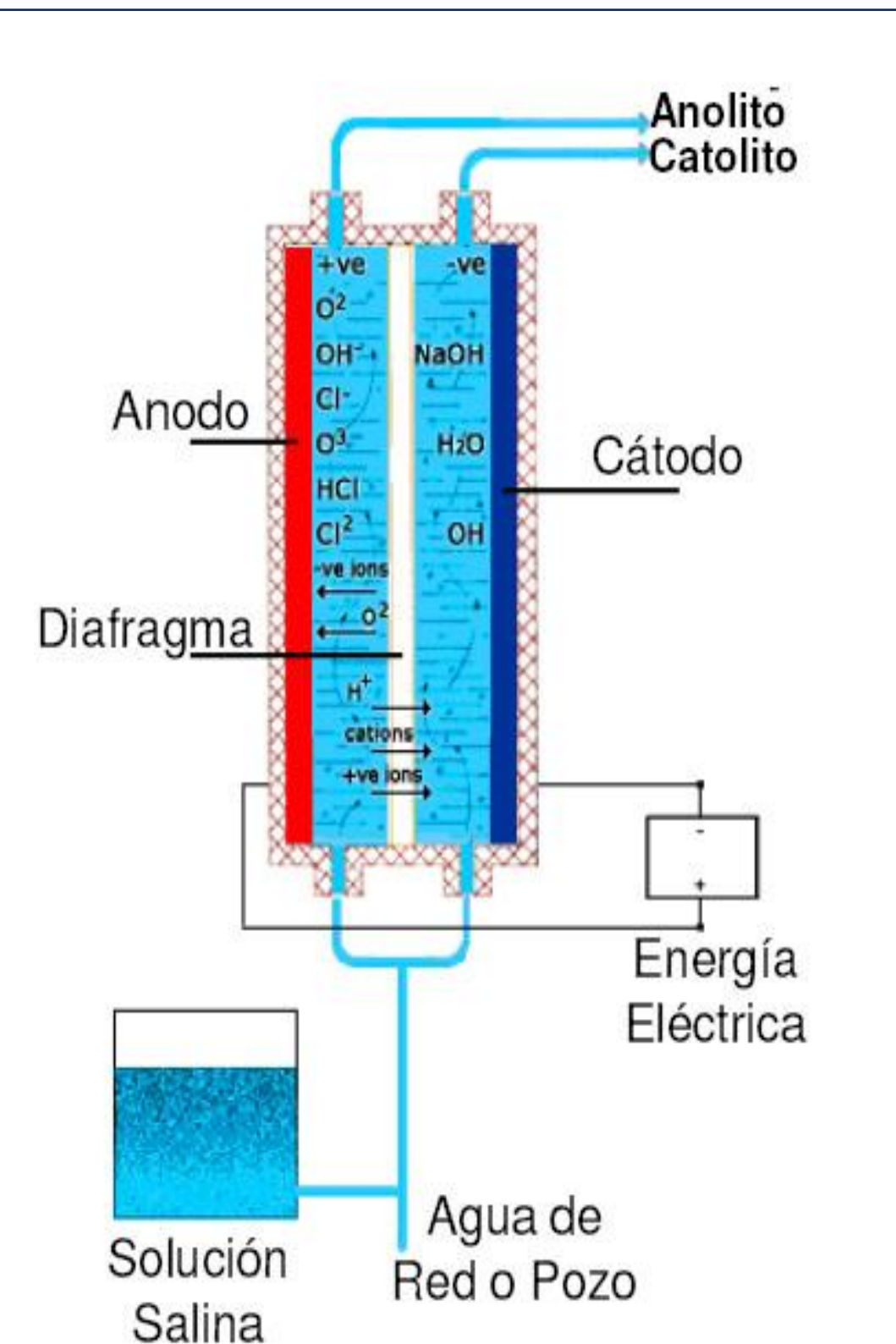


Figura 1. Esquema de proceso AEA. Fuente; Envirolife. (2025).

RESULTADOS

- AEA como alternativa sostenible a hipoclorito: efectiva contra patógenos, con bajo impacto ambiental.
- Procesamiento de imágenes empleado en clasificación, detección de contaminantes y evaluación superficial.
- Sistemas de control basados en IA y visión: se usan para ajustar parámetros de dosificación, identificar zonas de aplicación y mejorar trazabilidad.
- Vacíos identificados: escasa aplicación combinada de AEA + visión artificial, especialmente en contextos rurales de América Latina.

CONCLUSIONES

La revisión evidencia que la integración de visión artificial con control automático para aplicar AEA en productos agrícolas es una línea de investigación emergente, con alto potencial en términos de inocuidad, sostenibilidad y automatización. Se sugiere el desarrollo de estudios experimentales y prototipos adaptados a las condiciones agroindustriales del oriente colombiano.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

DESARROLLO DE UN ALGORITMO INNOVADOR DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA DETECCIÓN DE ENFERMEDADES CARDÍACAS A PARTIR DE SEÑALES ELECTROCARDIOGRÁFICAS ECG.

M.Sc. HERNANDO JOSÉ VELANDIA VILLAMIZAR

RESUMEN

La investigación propone desarrollar e implementar **algoritmos de aprendizaje automático** para la clasificación y diagnóstico de **patologías cardíacas** utilizando registros electrocardiográficos (ECG). El objetivo principal es crear soluciones que, sin sacrificar precisión, **incrementen la eficiencia computacional y la cantidad de enfermedades cardíacas detectadas**, respecto a los modelos existentes. Se realizará un estudio comparativo de técnicas recientes, evaluando su desempeño con métricas relevantes y la validación de especialistas, para identificar el enfoque más robusto y útil en entornos clínicos.

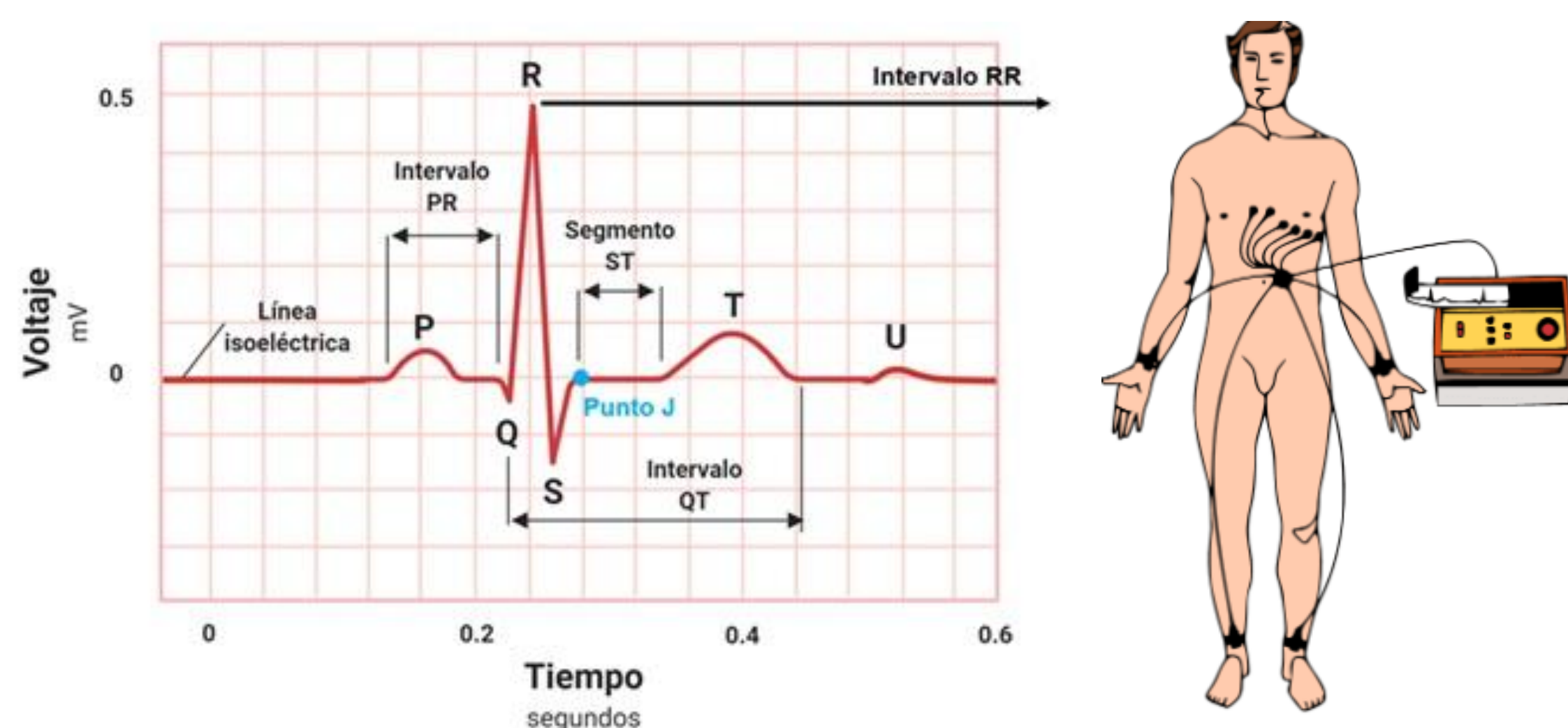


Figura 1. Señal ECG y ubicación de electrodos.

MARCO TEÓRICO

El diagnóstico automatizado de enfermedades cardíacas mediante ECG y aprendizaje inteligente es un **campo activo**, con avances en la clasificación de arritmias, detección de isquemia y predicción de eventos cardiovasculares. **Persisten desafíos** en la generalización, interpretabilidad y robustez ante la variabilidad de las señales ECG. La literatura reciente explora **modelos de redes neuronales, aprendizaje profundo y técnicas híbridas** para mejorar la precisión diagnóstica y la aplicabilidad clínica. El proyecto está enfocado en las áreas de Inteligencia Artificial, Métodos Estadísticos y Procesamiento de Señales e Imágenes, integrando la extracción de características, el análisis espectral y la validación cruzada como parte fundamental de su desarrollo.

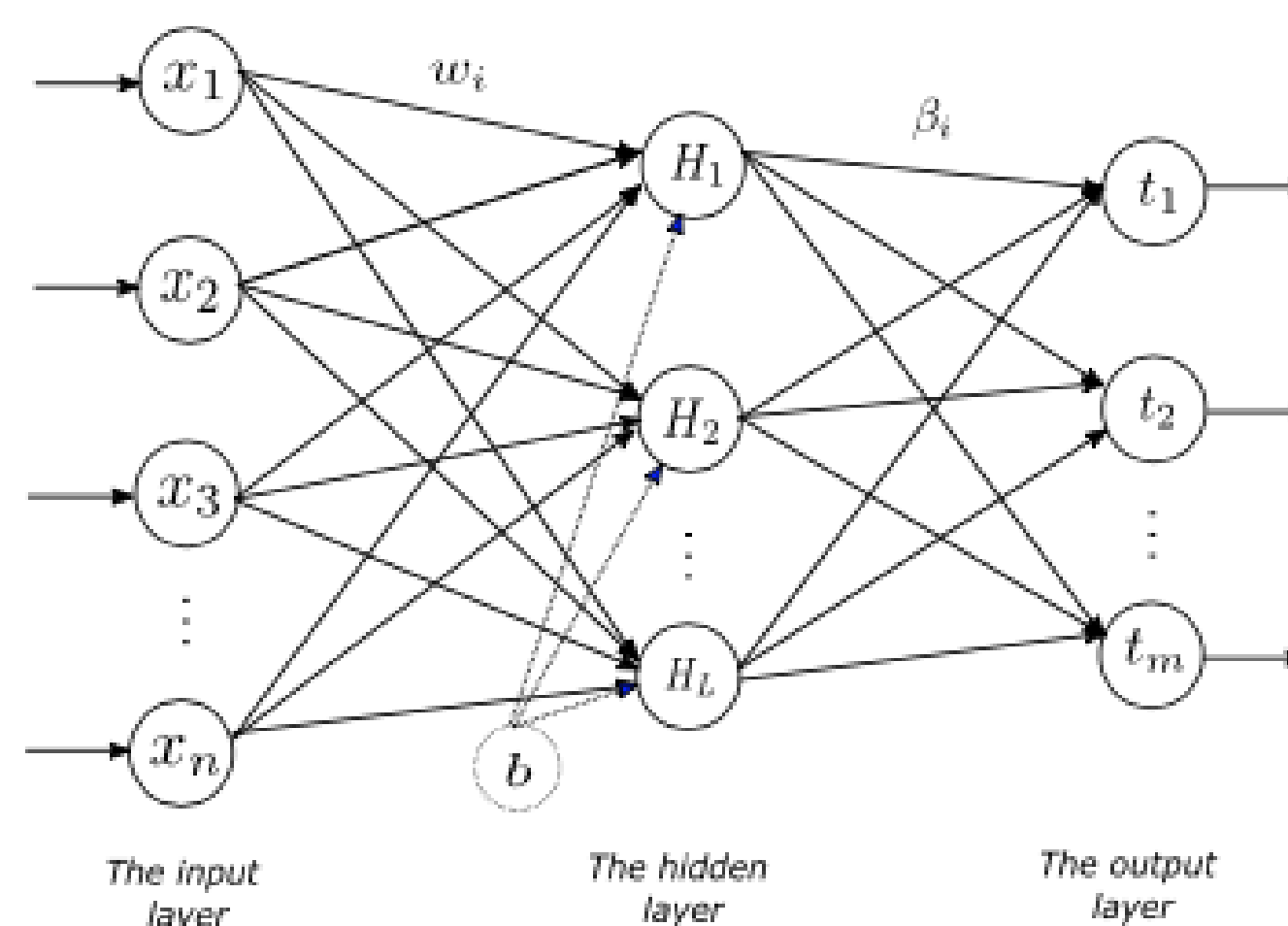


Figura 2. Esquema de aprendizaje ELM

$$\sum_{i=1}^L \beta_i g(w_i x_j + b_i) = t_j, j = 1, \dots, N \quad (1)$$

Ecuación 1. Salida de una ELM con aprendizaje supervisado.

METODOLOGÍA

Compuesta de las siguientes etapas: **1.** Desarrollo de algoritmos de **aprendizaje automático** para la clasificación y diagnóstico de patologías cardíacas a partir de señales ECG. **2.** Aplicación de **técnicas avanzadas** de procesamiento de señales, extracción de características y análisis espectral. **3.** **Validación** de los modelos desarrollados mediante comparación con diagnósticos realizados por cardiólogos y métricas estándar (precisión, sensibilidad, especificidad, robustez ante ruido). **4.** Uso de **equipos de computación** de alto rendimiento y **software** especializado (MATLAB, Python, TensorFlow, PyTorch, scikit-learn).

RESULTADOS

Al finalizar la investigación se espera obtener los siguientes resultados: **1.** Desarrollo de un algoritmo innovador que mejore la precisión y eficiencia en la detección automatizada de enfermedades cardíacas. **2.** Identificación de las técnicas de aprendizaje automático más efectivas para el análisis de señales ECG. **3.** Reducción de la variabilidad diagnóstica y optimización de la planificación de intervenciones cardiovasculares. **4.** Generación de una herramienta de apoyo clínico para profesionales de la salud, basada en modelos predictivos robustos y validados.

REFERENCIAS

- Abbasi, M. A., et al. (2025). Artificial intelligence electrocardiography for the evaluation of cardiac involvement in Fabry disease. Current Problems in Cardiology.
- Chou, C.-C., et al. (2024). Comparing artificial intelligence-enabled electrocardiogram models in identifying left atrium enlargement and long-term cardiovascular risk. Canadian Journal of Cardiology.
- Herman, R., et al. (2024). Validation of an automated artificial intelligence system for 12-lead ECG interpretation. Journal of Electrocardiology.
- Yeh, C.-H., et al. (2025). Artificial intelligence-enhanced electrocardiography improves the detection of coronary artery disease. Computational and Structural Biotechnology Journal.

CONCLUSIONES

Se espera que la investigación aporte un avance significativo en la **automatización y precisión** del diagnóstico de enfermedades cardíacas mediante ECG. La metodología propuesta puede reducir riesgos y **mejorar la calidad de vida de los pacientes**, además de ofrecer una **herramienta innovadora** para la toma de decisiones clínicas. El trabajo contribuirá al **desarrollo científico y tecnológico** en el campo de la salud, con impacto local, regional y nacional.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

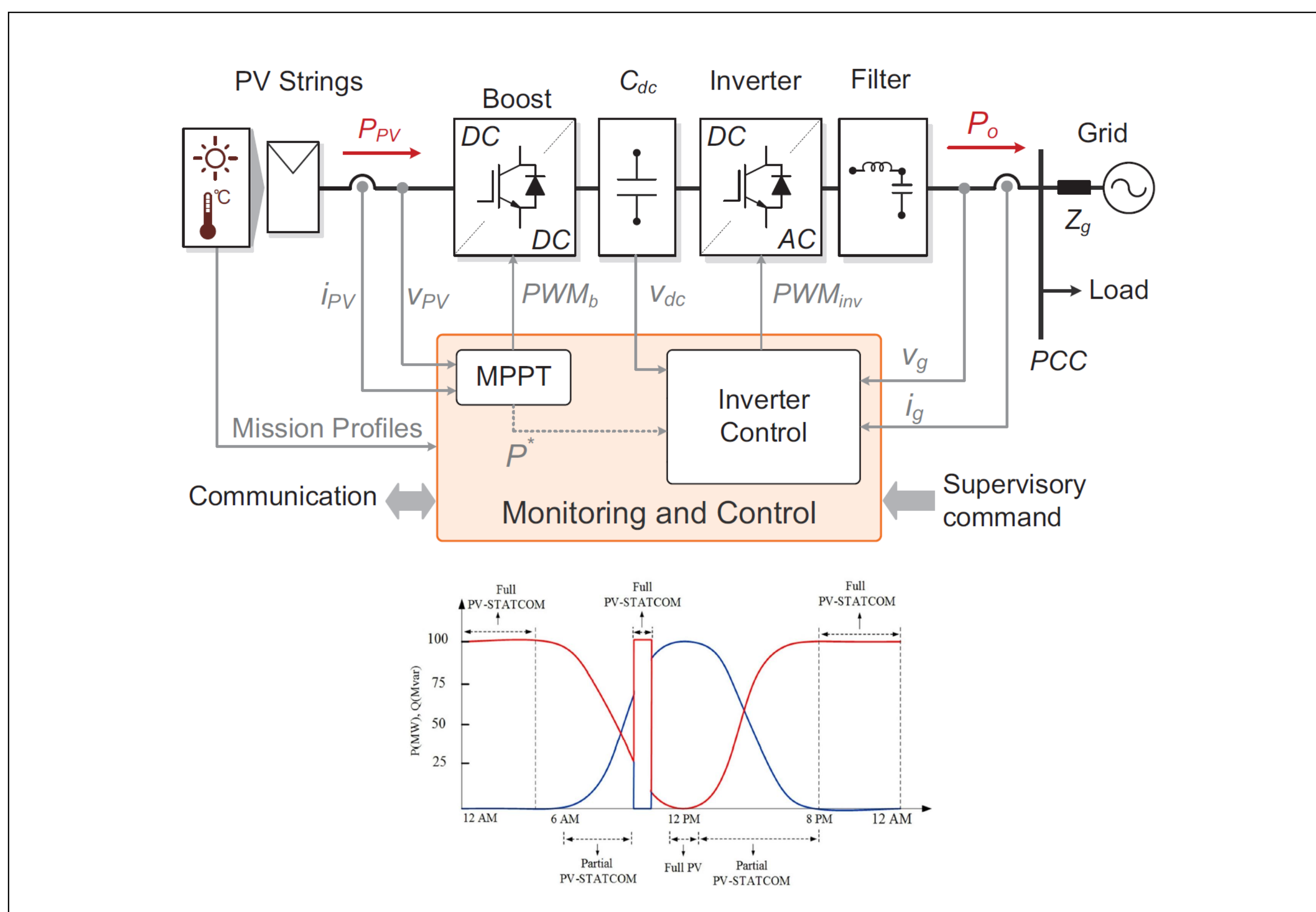
CONVERTIDOR MULTIFUNCIONAL MONOFÁSICO EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED

PhD(c) Edison Andrés Caicedo Peñaranda, PhD. Aldo Pardo García,
PhD. María Alejandra Mantilla Villalobo

RESUMEN

La presente tesis doctoral desarrolla un convertidor multifuncional monofásico para sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, fundamentado en la estimación de la potencia bajo la teoría PQ instantánea, adaptada para un sistema monofásico de forma que permita la separación de las componentes de la corriente en términos de potencia activa y reactiva en su componente constante y oscilante, las corrientes de compensación desagregadas corresponden al objetivo del control flexible que contempla las condiciones máximas de corriente del convertidor multifuncional mediante un sistema de saturadores dinámicos, priorizando la potencia activa, en segunda instancia la compensación de potencia reactiva y como tercera medida la mitigación de armónicos.

METODOLOGÍA



REFERENCIAS

- Madnani, R., Mishra, M. K., & Ghosh, A. (2024). Reactive Power Evaluation for Non-Sinusoidal Single Phase Systems. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 1–12. <https://doi.org/10.1109/tcsi.2024.3418068>
- Liang, G., Rodriguez, E., Farivar, G. G., & Pou, J. (2025). Ripple Current Reduction in DC-Link Capacitor for a Single-Phase Two-Stage Inverter. *IEEE Transactions on Power Electronics*. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2024.3507160>
- Ravithija, R., Sahoo, M., Shaw, P., & Thirumala, K. (2024). A Four Switch Common Ground-based Single Phase Current-fed Boost Inverter. *IEEE Transactions on Power Electronics*. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2024.3459638>
- Liang, W., Liu, Y., & Peng, J. (2021). A Day and Night Operational Quasi-Z Source Multilevel Grid-Tied PV Power System to Achieve Active and Reactive Power Control. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(1), 474–492. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3000818>
- Hrouda, J., Cernan, M., & Prochazka, K. (2024). A New Method of Smart Control of Single-Phase Photovoltaic Inverters at Low Voltage for Voltage Control and Reactive Power Management. *IEEE Access*, 12, 80071–80085. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3410374>
- Ahmed, H. F., el Moursi, M. S., Zahawi, B., & al Hosani, K. (2021). Single-Phase Photovoltaic Inverters with Common-Ground and Wide Buck-Boost Voltage Operation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(12), 8275–8287. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3066511>
- Duan, D., & Scharf, L. L. (2024). A Signal Theory of Instantaneous and Average Power. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3483178>
- Sahoo, A., Mahmud, K., & Ravishankar, J. (2021). An Enhanced Frequency-Adaptive Single-Phase Grid Synchronization Technique. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70. <https://doi.org/10.1109/TIM.2021.3070882>
- Saitou, M., & Shimizu, T. (2002, June 23). *Generalized Theory of Instantaneous Active and Reactive Powers in Single-phase Circuits based on Hilbert Transform*.

MARCO TEÓRICO

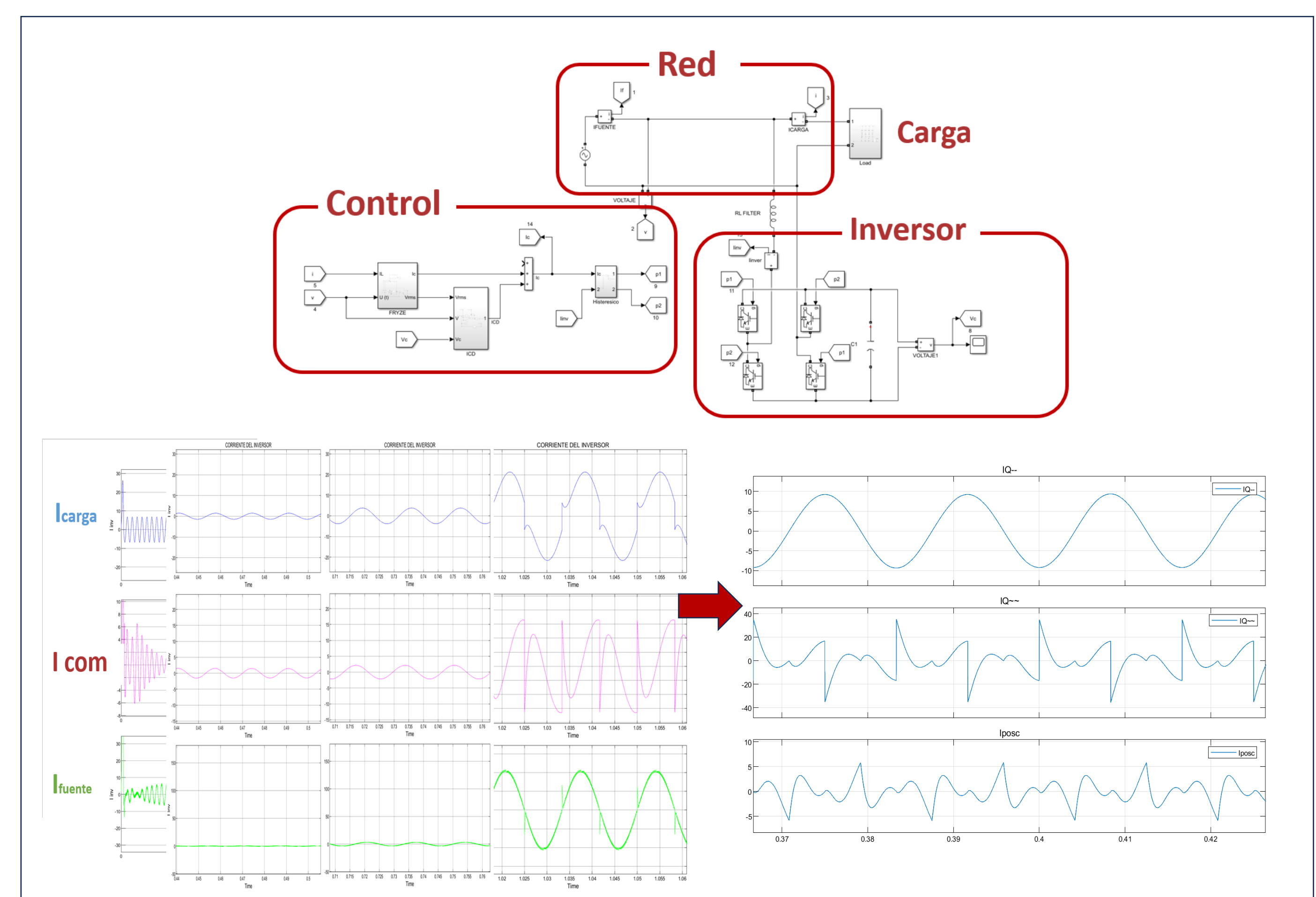
$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ -v_{\beta} & v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} \quad \text{PQ Instantánea}$$

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_{\alpha}^2 + v_{\beta}^2} \begin{bmatrix} v_{\alpha} & v_{\beta} \\ v_{\beta} & -v_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad \text{I compensación}$$

$$P_1 = k_p [U_{dc1,ref} - u_{dc1}(t)] + k_i \int_0^t [U_{dc1,ref} - u_{dc1}(\tau)] d\tau$$

$$i_k U_{dc}(t) = \frac{P_1}{(U_{RMS}^+)^2} u_{sk}^+(t)$$

RESULTADOS



CONCLUSIONES

- El método de estimación de potencia es funcional, permitiendo la separación de las corrientes para su control y limitación.
- Para el seguidor de corriente se requiere limitar el tamaño del filtro de acoplamiento y agregando un sistema rápido de conmutación en el orden de los microsegundos.
- Para garantizar la funcionalidad de sistema es indispensable el lazo de control externo de voltaje en corriente directa.
- Para reducir el efecto de los armónicos de voltaje en el sistema de control se plantea la implementación un algoritmo PLL (Phase-Locked Loop).

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

DESARROLLO DE TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN INTUITIVA PARA BRAZOS ROBÓTICOS COLABORATIVOS

Edison Martínez Oviedo, Dr. Cesar A. Peña Cortés, Dr. José Baca

RESUMEN

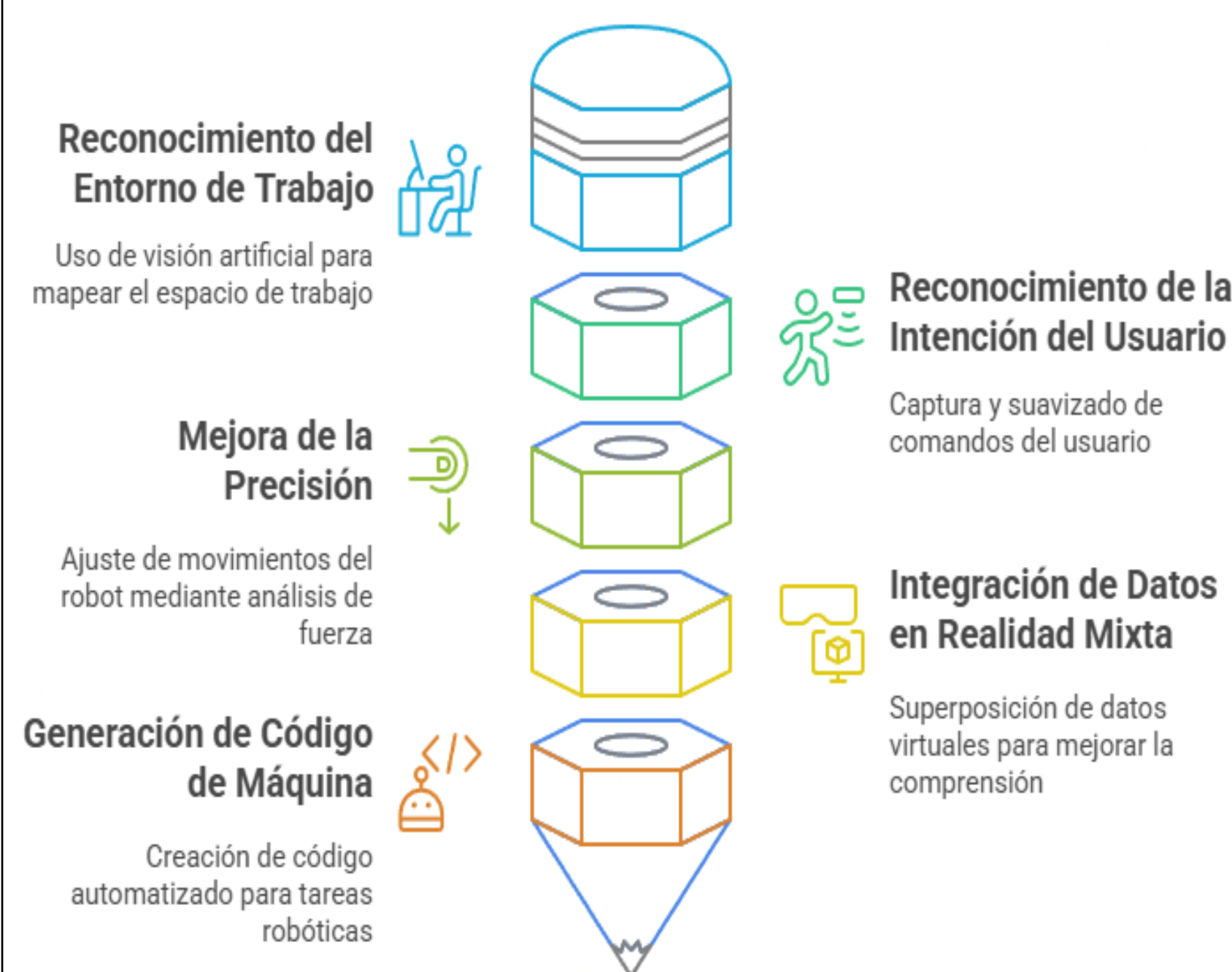


La propuesta de investigación está orientada al desarrollo de un sistema de programación intuitiva para brazos robóticos colaborativos (Cobots) que permita a los programadores y operadores definir y ajustar de una manera “sencilla” las referencias de trabajo y las trayectorias en un espacio de trabajo estructurado.

Para alcanzar este desarrollo se busca combinar algunas de las oportunidades, conceptos y tecnologías de la industria 4.0, como la visión artificial y la realidad aumentada, la programación por demostración de robots (PbD) y la posibilidad de usar reconocimiento de características físicas usando comandos de reflexión de fuerzas o palpación con que cuentan los robots colaborativos.

El proyecto está desarrollando en el laboratorio de Robótica de la universidad de pamplona generando un entorno estructurado, usando para validación el robot UR5E y equipos auxiliares de visión 3D, equipos de cómputo de la universidad y los investigadores, se aprovecharán los desarrollos alcanzados en varios proyectos del grupo y liderados por los investigadores. Se prioriza el uso de software libre y desarrollado específicamente para el proyecto.

METODOLOGÍA



Se plantea la integración de tecnologías de la industria 4.0 en las diferentes etapas del desarrollo.

La investigación combina:

- Programación por demostración y gestos
- Realidad aumentada para visualización
- Entradas táctiles y sistemas de reconocimiento de voz
- Mejoramiento de la precisión usando comandos de reflexión de fuerzas

Este enfoque integral busca crear un sistema de programación

intuitivo que permita incluso a personas sin formación específica en programación de robots completar tareas complejas con eficiencia comparable a la de expertos

CONCLUSIONES

- Las tareas de programación de robots implican el dominio de diferentes áreas básicas y avanzadas, este hace que en muchos casos los robots no hacen uso de la flexibilidad en aplicaciones y finalizan su vida útil realizando la misma tarea con la que fueron inicialmente instalados
- Para que un robot pueda compartir el espacio de trabajo con un trabajador requiere estar diseñado cumpliendo con los requerimientos de seguridad de las normas, pero a pesar de que cubren muchos campos aun hay aspectos por mejorar, por el momento es necesario que el diseño de la celda se realice atendiendo y este centrado en un análisis integral de seguridad, lo que puede resultar costoso y emplear mucho tiempo
- La importancia de la programación por demostración PbD, es que toda su estructura va orientada a la simplificación de las tareas de programación de brazos robóticos colaborativos, lo que como consecuencia lleva a la reducción de los tiempos de puesta a punto de un equipo robótico en una tarea determinada. También brinda un marco muy definido que ha permitido el desarrollo de tecnologías complementarias que no solo sirven en robótica sino en otras áreas de producción industrial

MARCO TEÓRICO

Los robots están presentes en diferentes entornos: manufactura, sistemas de almacenamiento, logística, agricultura. Uno de los factores limitantes para la aplicación se encuentra en el trabajo de programación, que requiere un profesional con conocimiento muy específico de lenguajes de programación de robots algunos de ellos con capas propietario de cada fabricante y otros complementarios: electromecánica, control, Sistemas de CAD (computer aided design) y simulación [1]

La (IFR), señaló que: “la programación y la integración representan del 50 al 70% del costo de una aplicación de robot. La programación de robots fue un gran problema durante mucho tiempo. Era un proceso que consumía mucho tiempo y económicamente inviable para la producción, ya que el costo de cambiar de un producto a otro era muy caro.” [2]

Muchos equipos robóticos tampoco hacen uso de su gran flexibilidad ya que reprogramar tareas se convierte en un desafío, algunos de estos equipos pasan toda su vida útil desarrollando su programación inicial. Dentro de los requerimientos de clientes tener una interfaz para fácil programación tiene una importancia del 79% de acuerdo a un estudio de TM Robotics [3]

- Cobots:** Los robots colaborativos están diseñados para interactuar de forma segura con humanos en espacios compartidos, gracias a sensores y sistemas de seguridad avanzados. Su desarrollo ha permitido aplicaciones más accesibles y versátiles en la industria, aunque su adopción sigue siendo baja en comparación con los robots industriales [4].
- Normativas:** La seguridad en la interacción humano-robot está regulada por normas como UNE-EN ISO 10218-1/2:2011 e ISO/TS 15066:2016, que establecen requisitos y directrices para la integración y operación segura de robots colaborativos [5].
- Programación por Demostración (PbD):** Permite a los robots aprender tareas mediante la observación de movimientos humanos
- Realidad Aumentada (AR):** Mejora la visualización de trayectorias, posiciones y alertas en el entorno de trabajo, permitiendo una interacción más intuitiva y segura con los robots

RESULTADOS

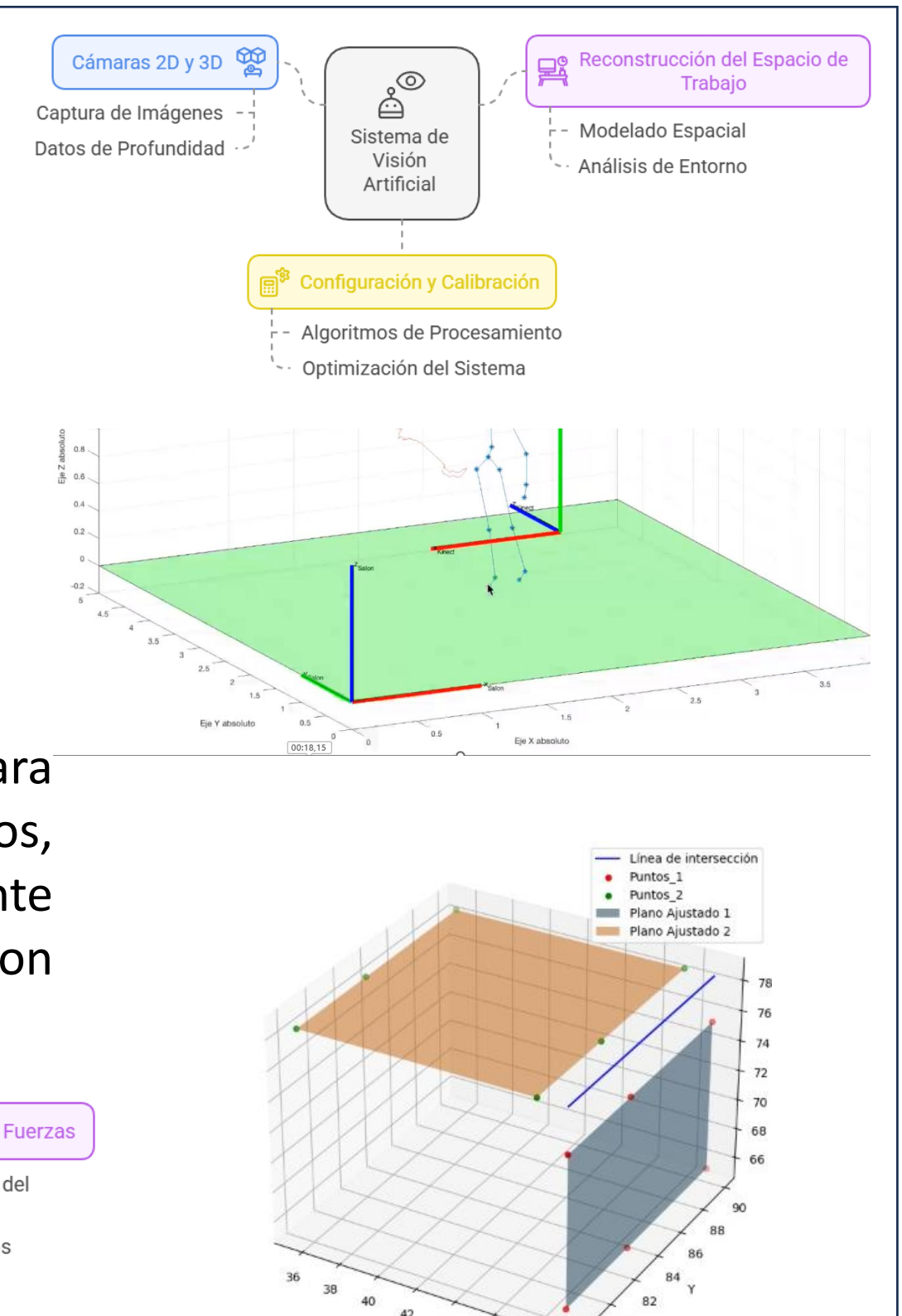
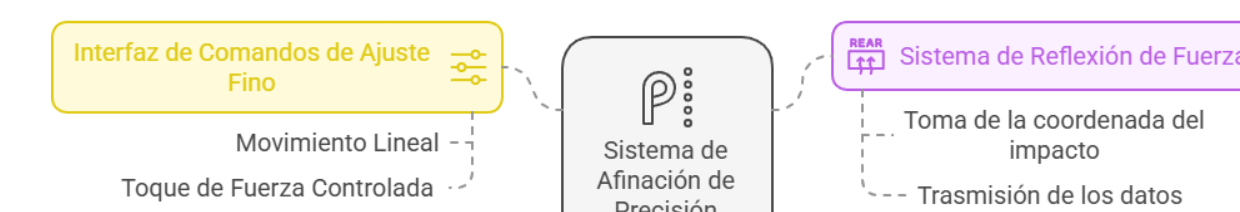
Reconocimiento del espacio de trabajo y del operador, con el uso de cámaras de baja resolución 2D y 3D se ha logrado reconstruir el espacio de Trabajo y reconocer los movimientos de una persona definiendo una trayectoria deseada.

Análisis de los datos del robot

Reconstrucción de la los planos de la pieza y cálculo de la línea de intersección, que permitirán la calibración del espacio de trabajo



Se desarrollaron los algoritmos para reconstruir las ecuaciones de los planos, evitando que se indeterminen o no presente solución debido a que en muchos casos son perpendiculares



REFERENCIAS

- [1] Standar Robots. Cobots: An ultimate guide to Collaborative robots. <https://standardbots.com/blog/what-are-cobots-a-comprehensive-guide-to-collaborative-robots>
- [2] IFR Traditional robot programming vs AI & machine vision. <https://ifr.org/post/traditional-robot-programming-vs-ai-machine-vision>
- [3] TM Robotics. The Global robotics report. <https://www.tmrobotics.com/images/blog/165/4/TMR006-Global-Robotics-Report-WP.pdf>
- [4] A. Bauer, D. Wollherr, and M. Buss, “Human-robot collaboration: A survey,” International Journal of Humanoid Robotics, vol. 5, no. 1, pp. 47–66, Mar. 2008, doi: 10.1142/S0219843608001303
- [5] ISO/TS 15066:2016, "Robots and robotic devices - Collaborative robots," International Organization for Standardization, 2016.

collaborative robots
robot programming

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Ingeniería

Predicción del Estado de Salud de Peces en Sistemas Acuapónicos a través de Modelos de Inteligencia Artificial

PhD (C). JORGE SAUL FANDIÑO PELAYO

RESUMEN

Este proyecto se centra en el desarrollo de un modelo de inteligencia artificial para predecir el estado de salud de los peces tilapia roja en un sistema acuapónico con lechuga cressa, analizando parámetros críticos como pH, oxígeno disuelto y temperatura. Durante un período de 8 meses, se recolectaron datos en un sistema acuapónico acoplado, donde se implementaron actuadores para regular las condiciones ambientales. Se utilizaron modelos de aprendizaje automático, incluyendo LDA, SVM y redes neuronales con Softmax, para clasificar el estado de salud de los peces en tres categorías: saludable, en distress y mortalidad. Los resultados mostraron que el modelo LDA alcanzó una precisión del 79%, mientras que el SVM sin ajuste llegó al 88%. Tras ajustar los hiperparámetros y realizar validación cruzada del SVM, la precisión se incrementó al 97%, cifra que también fue alcanzada por la red neuronal Softmax. Estos hallazgos demuestran la efectividad de los modelos en la clasificación del estado de salud de los peces basándose en los parámetros monitoreados, sugiriendo que la implementación de un sistema de monitoreo proactivo podría mejorar significativamente la gestión del cultivo acuapónico, optimizando las condiciones de los peces.

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un estudio durante 8 meses en un sistema acuapónico acoplado, donde se registraron datos de pH, oxígeno disuelto y temperatura. Se implementaron actuadores que regulaban automáticamente estas variables: aireadores para mantener el oxígeno disuelto por encima de 5 mg/L, y sistemas que ajustaban el pH usando bicarbonato de sodio o vinagre de manzana según fuera necesario. La temperatura se controlaba mediante bombas sumergibles y resistencias térmicas. Posteriormente, se aplicaron modelos de aprendizaje automático, incluyendo LDA, SVM y redes neuronales con Softmax. Los datos fueron divididos en conjuntos de entrenamiento y prueba, y se realizaron ajustes de hiperparámetros y validación cruzada para mejorar la precisión de los modelos.



REFERENCIAS

- [1] M. Aslanidou et al., "Nutrients use efficiency in coupled and decoupled aquaponic systems," *Horticulturae*, vol. 9, no. 10, p. 1077, 2023.
- [2] O. Capetillo-Contreras et al., "Artificial intelligence-based aquaculture system for optimizing the quality of water: A systematic analysis," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 1, p. 161, 2024.
- [3] L. A. Ibrahim et al., "Aquaponics: A sustainable path to food sovereignty and enhanced water use efficiency," *Water*, vol. 15, no. 24, p. 4310, 2023.
- [4] N. T. D. Trang, D. Konnerup, and H. Brix, "Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems," *Aquacult. Eng.*, vol. 78, no. 3, pp. 1–10, 2017.
- [5] M. Waqas et al., "Applications of machine learning and deep learning in agriculture: A comprehensive review," *Glob. Res. Environ. Technol. Sustain.*, p. 100199, 2025.
- [6] J. A. Sánchez-Molina et al., "IoT-based smart aquaponics system for real-time monitoring and machine learning-driven optimization," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 34567–34579, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3265678.
- [7] K. P. Ferentinos, T. A. Tsigilidis, and H. C. Liao, "Deep learning models for predictive control of water quality in decoupled aquaponic systems," *IEEE Trans. AgriFood Electron.*, vol. 2, no. 3, pp. 112–125, 2024, doi: 10.1109/TAFE.2024.3078912.
- [8] R. S. García, E. Martínez-Márquez, and L. P. Fernández, "Edge computing for nutrient dynamics analysis in IoT-enabled aquaponics," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 8, pp. 6789–6801, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3287450.
- [9] S. M. Rahman, A. K. M. B. Haque, and M. A. Hossain, "Machine learning-based fault detection in aquaponic sensors: SVM vs. neural networks," *IEEE Sens. J.*, vol. 23, no. 5, pp. 4982–4993, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3245671.
- [10] T. N. Nguyen, H. Q. Le, and D. D. Tran, "Blockchain-enabled traceability for sustainable aquaponics," *IEEE Trans. Sustain. Comput.*, vol. 8, no. 2, pp. 456–468, 2024, doi: 10.1109/TSUSC.2024.3367890.

MARCO TEÓRICO

La acuaponía combina acuicultura e hidroponía en sistemas sostenibles que permiten el reciclaje de nutrientes y un uso eficiente del agua [1], [2]. Su rendimiento depende de parámetros ambientales como pH, oxígeno disuelto y temperatura [3], [4]. La automatización mediante sensores, actuadores e IoT ha demostrado mejorar el control de estas variables críticas [5], [6]. Tecnologías emergentes como edge computing permiten el procesamiento local de datos, optimizando la respuesta del sistema en tiempo real [7], [8]. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha cobrado relevancia para monitorear, predecir y clasificar condiciones del sistema, especialmente mediante modelos como SVM y redes neuronales [5], [9]. Además, herramientas como blockchain refuerzan la trazabilidad y sostenibilidad en cadenas acuapónicas [10]. Así, la integración de IA y automatización contribuye a sistemas más eficientes, resilientes y ambientalmente responsables.

RESULTADOS

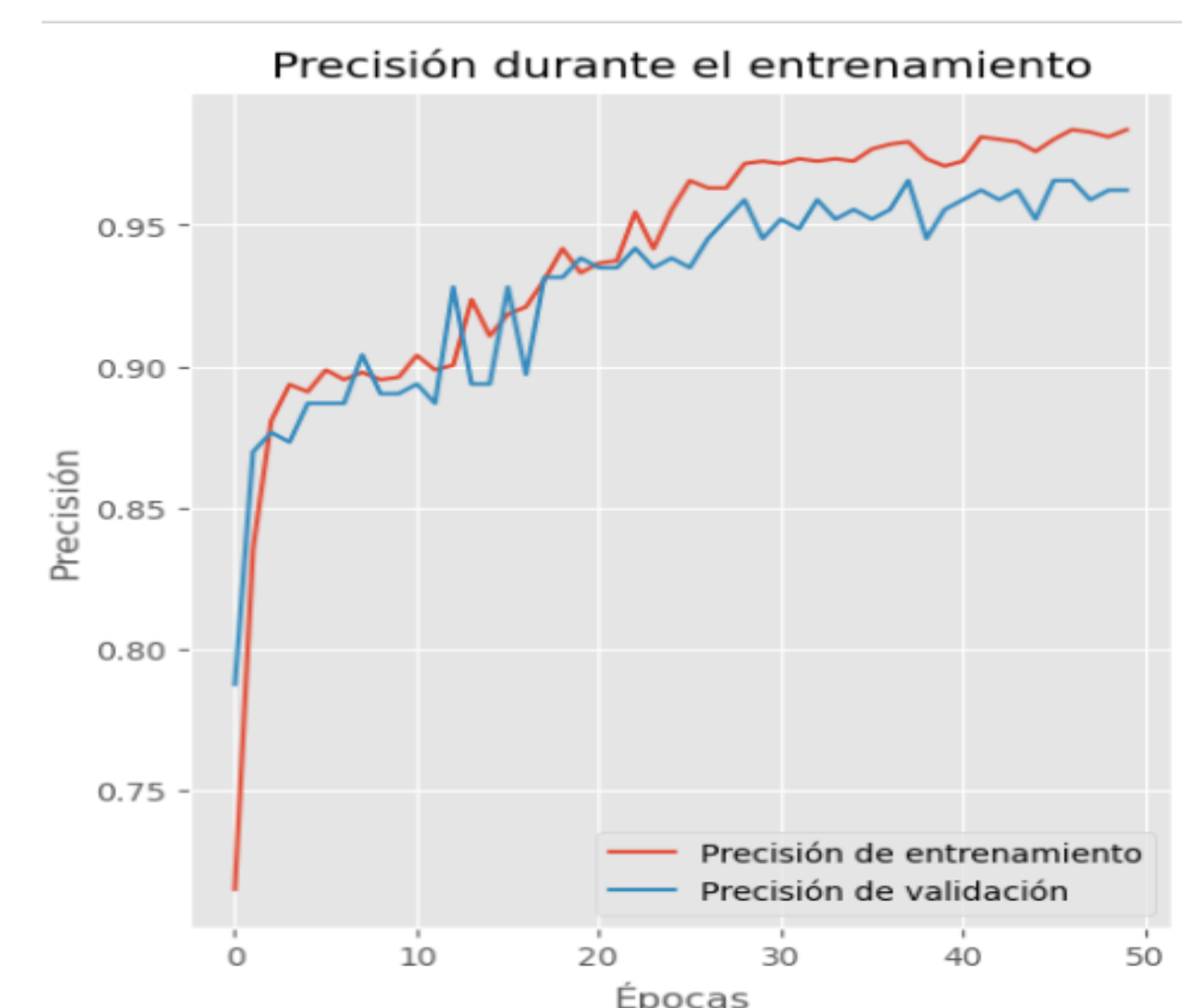
LDA: Alcanzó una precisión del 79%, con un f1-score de 0.87 para la clase saludable.

SVM (sin ajuste): Obtuvo una precisión del 88%, con un f1-score de 0.95 para la clase saludable.

SVM (con ajuste): Logró una precisión del 97%, destacándose con un f1-score de 0.98 para la clase saludable.

Red Neuronal Softmax: También alcanzó una precisión del 97%, con un f1-score de 0.98 para la clase saludable.

Métricas generales: La validación cruzada mostró un rendimiento consistente en todas las pruebas, confirmando la robustez de los modelos.



CONCLUSIONES

Los modelos de aprendizaje automático fueron efectivos para clasificar el estado de salud de la tilapia roja, con altas precisiones en la clase saludable. El SVM y la red neuronal Softmax alcanzaron un 97% de precisión tras ajustar sus hiperparámetros, destacando por su capacidad para manejar datos no lineales y complejos. Este ajuste fue clave para mejorar el rendimiento. La aplicación práctica de estos modelos en sistemas de monitoreo proactivo permitiría detectar a tiempo problemas de salud, optimizando intervenciones. En conjunto, estas herramientas contribuyen a mejorar la sostenibilidad y productividad en sistemas acuapónicos.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

M.Sc. Jorge Luis Díaz Rodríguez, PhD. Aldo Pardo Garcia

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un esquema de control vectorial por campo orientado tipo *sensorless*, al que también se realiza la adaptación de parámetros por modelo de referencia para el control de velocidad de un motor trifásico de inducción. La adaptación de la constante de tiempo del rotor, utilizando un esquema de control adaptable por modelo de referencia (MRAS).

Se obtiene el comportamiento de los parámetros en la adaptación, utilizando para ello cuatro modelos de referencia. El modelo del par electromagnético, el modelo de voltaje del eje directo, el modelo de voltaje del eje de cuadratura y el modelo de la potencia reactiva. Se obtiene el error de adaptación para cada modelo en cuestión considerando de forma independiente la operación en régimen transitorio y en estado estable. Utilizando estas ecuaciones, se analiza la convergencia en varias condiciones de operación del motor de inducción.

Se evalúa el desempeño de un control de velocidad para un motor trifásico de inducción, mediante el desarrollo de un sistema de control vectorial *sensorless* implementado en un inversor multinivel con bajo contenido armónico, este último mediante técnicas de eliminación selectiva de armónicos (SHE).

MARCO TEÓRICO

El control por campo orientado permite el control independiente de par y flujo del motor de inducción, lo que se traduce en la posibilidad de la aplicación de este en accionamientos de alto desempeño dinámico. El desacoplamiento del par y flujo es realizado mediante la orientación del flujo del rotor.

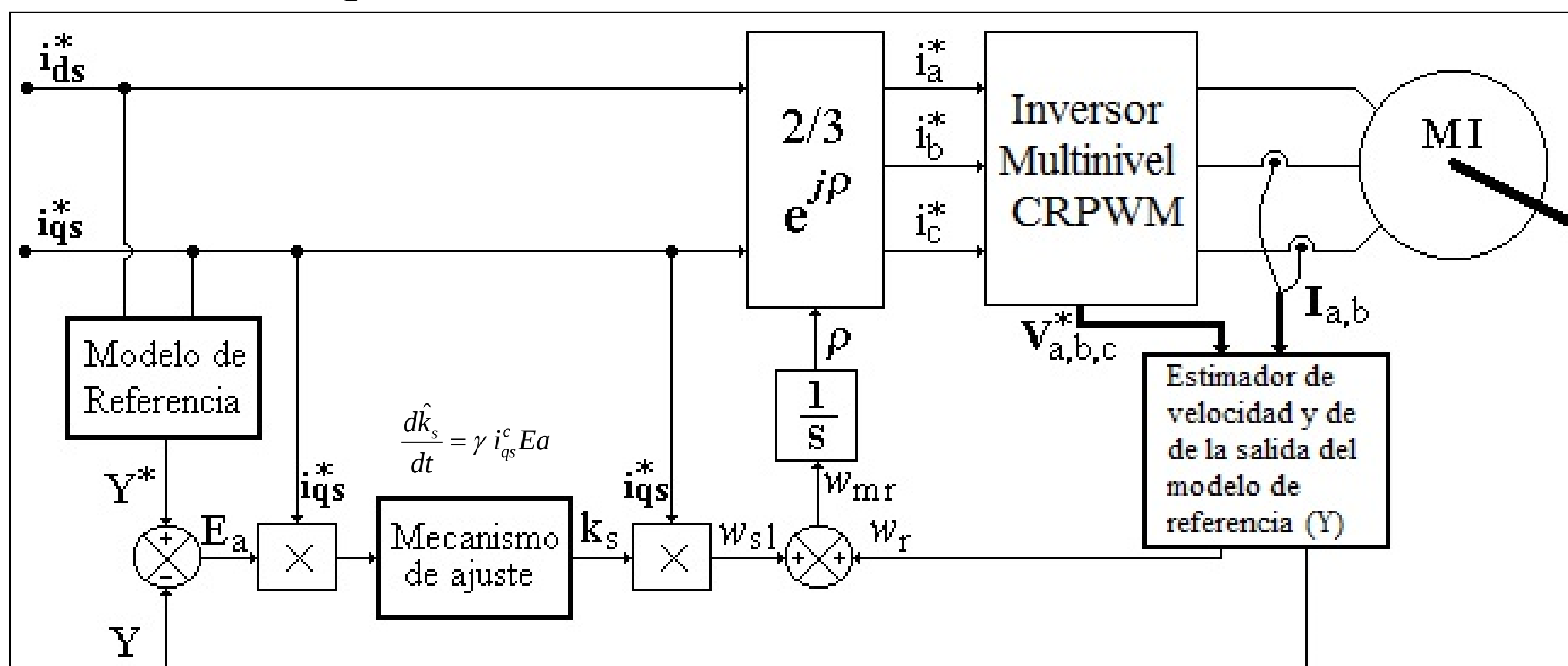
El desconocimiento del valor real de la constante de tiempo rotórica introduce degradaciones en el desempeño del control por campo orientado indirecto. Estas degradaciones se manifiestan como:

- Oscilaciones amortiguadas en las respuestas de par y flujo,
- Operación del rotor en regiones de sobreexcitación o sub-excitación que provoca un aumento de las pérdidas en el hierro y en el cobre,
- Sobrecalentamiento del motor en función del aumento de las pérdidas;
- Disminución de la relación par por ampere en determinada gama del error de deslizamiento.

En muchas aplicaciones, principalmente con motores de alta eficiencia donde tales efectos son más pronunciados, no puede tolerarse una degradación del control por campo orientado. Motivando así la búsqueda de técnicas que permitan reducir tal degradación.

El MRAS (*Model Reference Adaptive System*) es una de las técnicas más utilizadas para la estimación *sensorless* de la velocidad del rotor en motores de inducción trifásicos. Su principio se basa en comparar la salida de un modelo de referencia (que no depende de la velocidad) con un modelo ajustable (que sí depende de la velocidad) y adaptar este último para minimizar el error.

ESQUEMA DE ADAPTACIÓN MRAS



El modelo de referencia produce la salida (Y*) a partir de las referencias i_{ds}^* e i_{qs}^* . El modelo de referencia refleja el comportamiento del motor de inducción bajo la orientación del campo, Y* será el valor de una variable de acuerdo con el modelo de referencia elegido.

La diferencia $Y^* - Y$ constituye el error de adaptación E_a y determina si el motor está o no bajo la orientación del campo. Esta diferencia es utilizada por el mecanismo de adaptación para producir la ganancia k_s que lleva al sistema a operar en sintonía.

RESULTADOS

El mecanismo de adaptación utilizado en esta caso sigue la siguiente ley de adaptación: $\frac{d\hat{k}_s}{dt} = \gamma i_{qs}^c E_a$

El objetivo del mecanismo de adaptación es hacer que el error de adaptación converja a cero.

Las estrategias analizadas se utilizan de una misma estructura de adaptación, diferenciándose solamente por el modelo de referencia en que se basan.

Los modelos de referencia empleados producen como variable de salida:

1. El par electromagnético.

$$T_e = \frac{3}{2} (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \quad T_e^* = \frac{3}{2} \frac{P}{L_r} \frac{L_m^2}{L_r} i_{ds}^* i_{qs}^*; \quad E_a^{T_e} = T_e^* - T_e$$

2. El voltaje del eje directo del estator.

$$v_{ds} = R_s i_{ds} - w_{mr} L_{\sigma} i_{qs}; \quad v_{ds}^* = R_s i_{ds}^* - w_{mr} L_{\sigma} i_{qs}^*; \quad E_a^{v_{ds}} = v_{ds}^* - v_{ds} = \frac{L_m}{L_r} w_{mr} \lambda_{qr}$$

3. El voltaje del eje de cuadratura del estator.

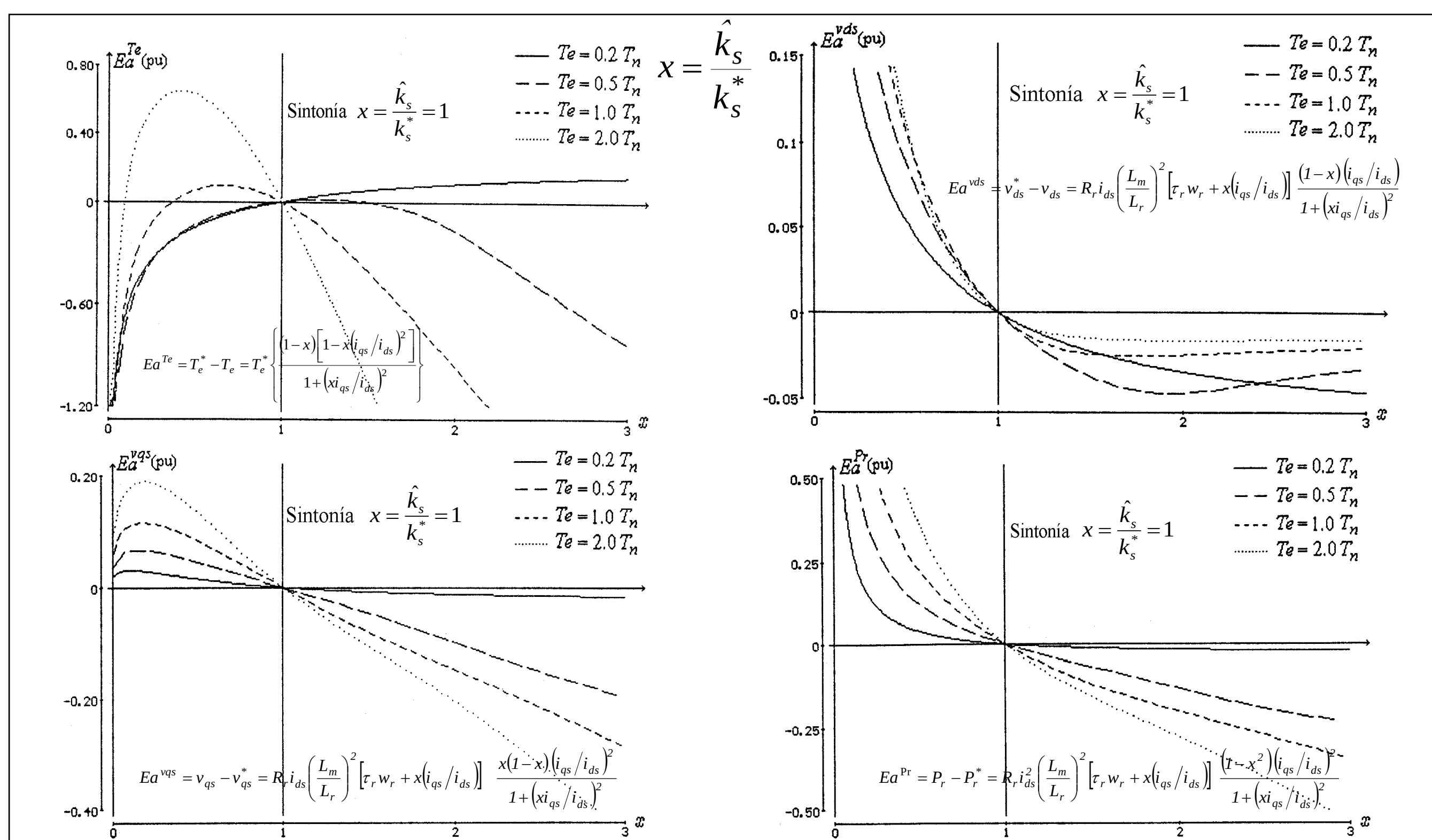
$$v_{qs} = R_s i_{qs} - w_{mr} L_{\sigma} i_{ds}; \quad v_{qs}^* = R_s i_{qs}^* - w_{mr} L_{\sigma} i_{ds}^*; \quad E_a^{v_{qs}} = v_{qs} - v_{qs}^* = w_{mr} \frac{L_m}{L_r} (\lambda_{dr} - L_m i_{ds}) + s \lambda_{qs}$$

4. La potencia reactiva.

$$P_r = w_{mr} (L_s i_{ds}^2 + L_{\sigma} i_{qs}^2) + w_{mr} \frac{L_m}{L_r} (\lambda_{dr} - L_m i_{ds}) + w_{mr} \frac{L_m}{L_r} \lambda_{qr} i_{qs} + i_{ds} s \lambda_{qs}; \quad P_r^* = w_{mr} [L_s (i_{ds}^c)^2 + L_{\sigma} (i_{qs}^c)^2]$$

$$E_a^{P_r} = P_r - P_r^* = w_{mr} \frac{L_m}{L_r} (\lambda_{dr} - L_m i_{ds}) + w_{mr} \frac{L_m}{L_r} \lambda_{qr} i_{qs} + i_{ds} s \lambda_{qs}$$

RESULTADOS



CONCLUSIONES

La adaptación de parámetros en el control por campo orientado indirecto del motor de inducción es importante tanto para garantizar el desempeño dinámico de las respuestas del par electromagnético y la velocidad del rotor, así como para mantener la eficiencia de la máquina.

La utilización de la técnica de control adaptable por modelo de referencia (MRAS) presenta una excelentes características para la adaptación de parámetros en el control por campo orientado del motor de inducción, y su implementación es relativamente simple, así no exige recursos adicionales significativos de hardware. Con las características de adaptación se obtiene un desempeño aceptable.

La elección del modelo de referencia en un esquema MRAS para adaptar la constante de tiempo del rotor ($Tr=L_r/R_r$) en un motor de inducción trifásico es clave para lograr una adaptación precisa y estable. En general, los modelos de referencia más efectivos para este propósito son los que explotan la relación entre el flujo de rotor y la velocidad del campo giratorio.

El modelo del voltaje de estator (*vsd*) resulta el adecuado para adaptar la constante de tiempo del rotor en esquemas MRAC para motores de inducción con control *sensorless*, por su buena sensibilidad a R_r , estabilidad y relativa facilidad de implementación.

Utilizar este modelo garantiza una buena observabilidad del error para adaptación y una variación pequeña en el rango de operación. Mejora en la eficiencia del control lo que permite estimaciones precisas de velocidad y posición sin retrasos significativos, que adicionalmente resulta bastante robusto frente a las variaciones lentas de parámetros térmicos, que afectan a la constante de tiempo del rotor (Tr).

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

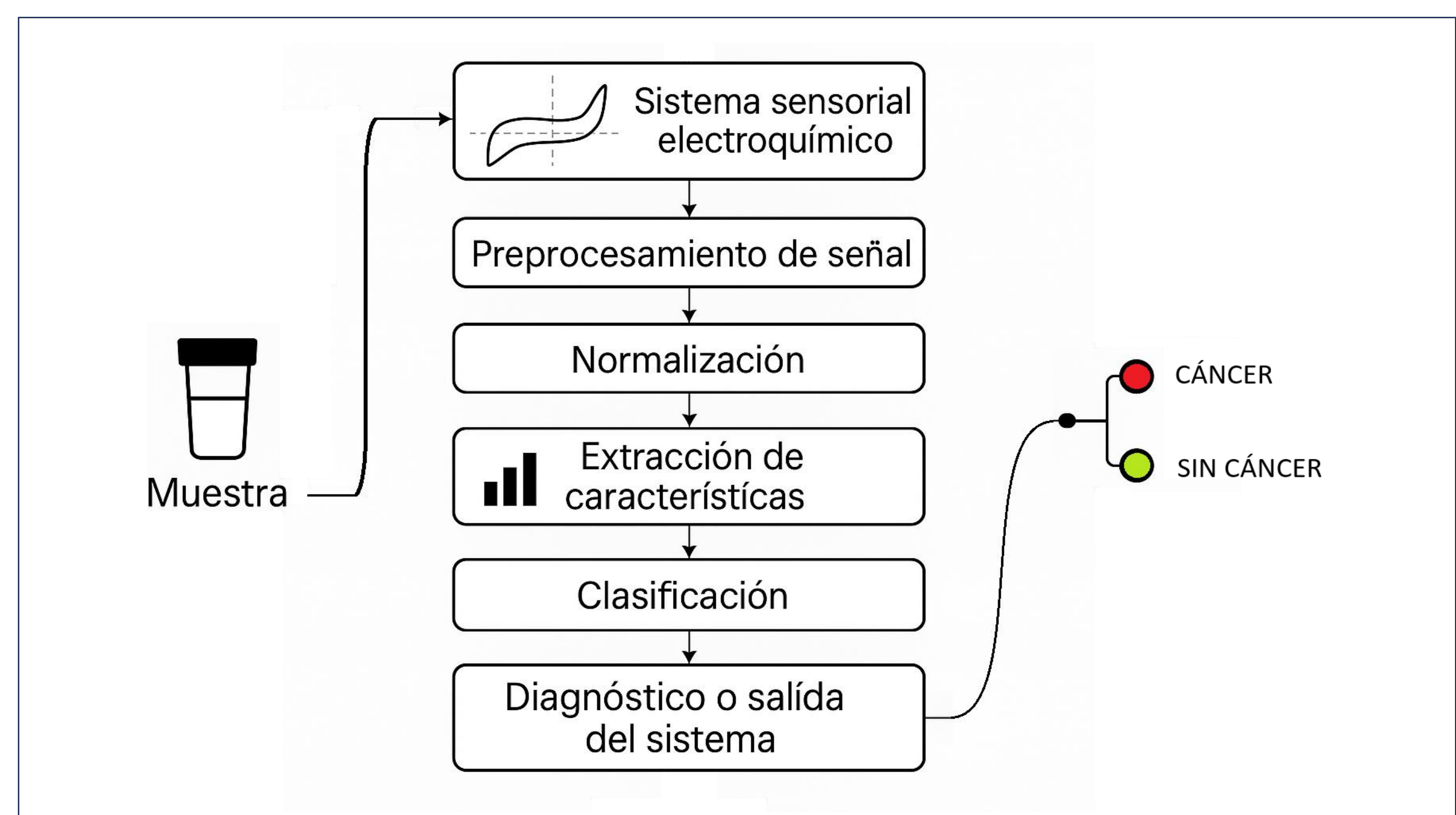
Uso de técnicas analíticas y sensoriales para la detección de cáncer colorrectal en muestras de orina

JOSE LUIS CARRERO CARRERO - CRISTHIAN MANUEL DURÁN ACEVEDO - ROGELIO FLORES RAMÍREZ -
JENIFFER KATERINE CARRILLO GÓMEZ

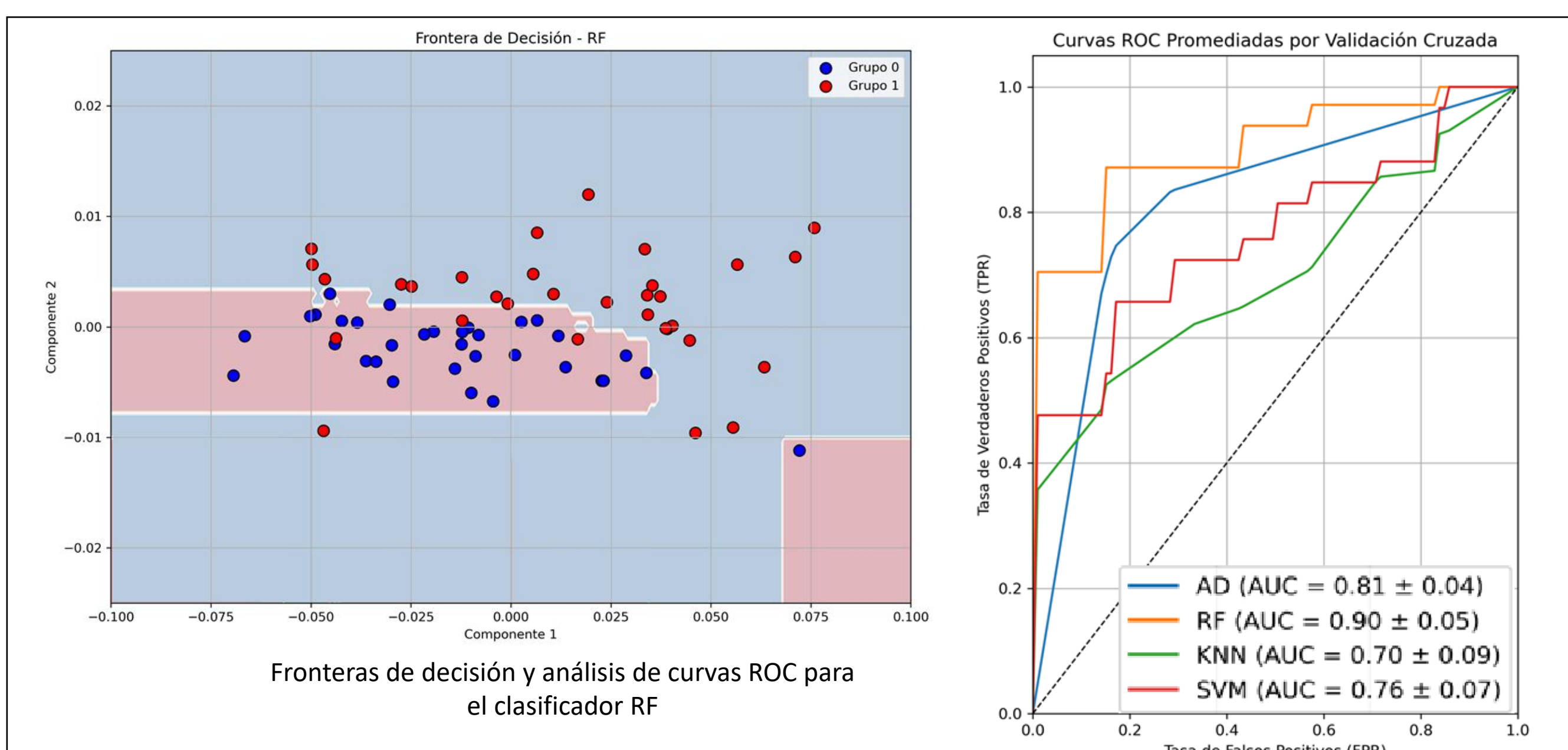
RESUMEN

- **Motivación:** El CCR tiene una de las tasas de mortalidad más alta en el mundo; su detección temprana mejora notablemente la supervivencia de a quienes se les diagnostica.
- **Método:** Probamos sensores serigrafiados C110 y voltamperometría cíclica en 65 muestras urinarias, aplicando normalización y cuatro clasificadores. Se complemento el análisis aplicando GC-MS en los COV generados de las muestras urinarias. Los modelos PCA y PLSDA evidenciaron una separación estadísticamente significativa entre los grupos CCR y Control.
- **Resultados clave:** Random Forest (RF) lideró desempeño: precisión 85 %, exactitud 86 %, Sensibilidad 87 % y especificidad 85 %.
- **Implicaciones:** La lengua electrónica junto al Aprendizaje automático promete un tamizaje urinario no invasivo y económico para detección de CCR.

METODOLOGÍA

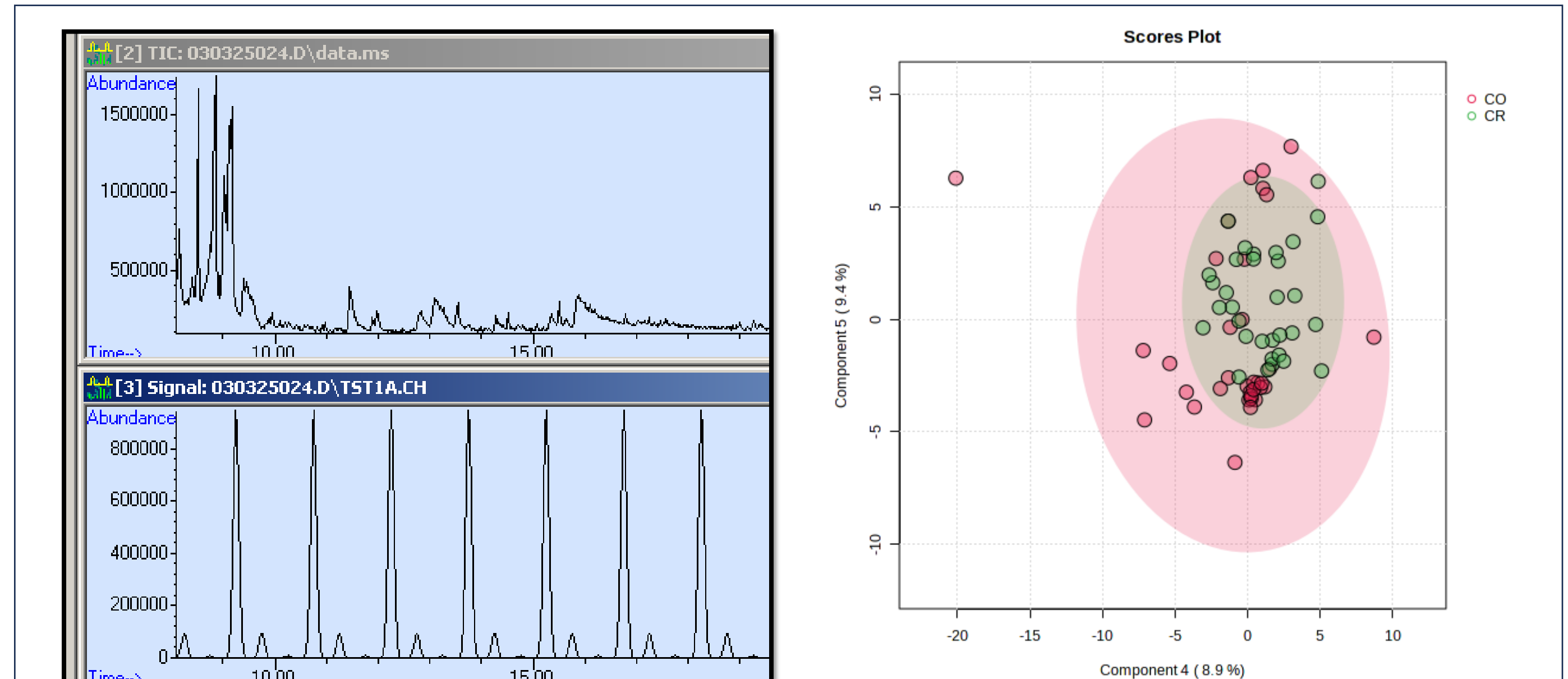


RESULTADOS E-TONGUE



A todos los modelos se les aplicó validación cruzada estratificada de 5 pliegues. El clasificador Random Forest demostró un rendimiento superior con precisión del 85%, exactitud del 86%, sensibilidad del 87% y especificidad del 85%. En AUC de las curvas ROC fue de 90% para RF, superando otros clasificadores como AD (81%), k-NN (70%) y SVM (76%).

RESULTADOS GC-MS



En el análisis cromatográfico y de metaboanalyst se identificaron componentes relevantes para la clasificación de CCR y Controles. se reportó el 4-metilfenol (p-cresol), N-etil-1 3-ditioisindolina, ácido octanóico, ácido hexanóico, Isobutil isotiocianato, 9H-pyrrolo[3',4':3,4]pyrrolo[2,1-a]phthalazine-9 11(10H)-dione 10-ethyl-8-phenyl, Tranylcypromine, pentafluorobenzoyl ester.

REFERENCIAS

- Van Liere ELS et al., Eur. J. Cancer (2023)
- Zniber M et al., Biosens. Bioelectron. 219, 114810 (2023)
- Braz DC et al., Talanta 243, 123327 (2022).
- Monreal-Trigo J et al., iScience 25, 104829 (2022)
- Belugina R et al., Talanta 234, 122696 (2021).
- Solovieva S et al., Sens. Actuators B 289, 42 (2019).
- Piepenbrink KH et al., J. Breath Res. 14, 026009 (2019)
- Wei B et al., Biosens. Bioelectron. 121, 41 (2018).
- Doménech-Carbó A et al., Sens. Actuators B 265, 346 (2018).
- Rozalski R et al., Biomarkers 20, 287 (2015)

CONCLUSIONES

- ✓ La Lengua electrónica en orina discrimina CCR vs control con solo dos características.
- ✓ La orina puede proporcionar información no sólo de los riñones y las vías urinarias, sino también de órganos distantes a través del plasma obtenido por filtración glomerular.
- ✓ En el análisis cromatográfico (GC-MS) de orina se identificaron 8 compuestos característicos de pacientes CCR.
- ✓ Random Forest fue el clasificador más robusto, superando a AD, k-NN y SVM en el análisis de e-tongue.
- ✓ Es un procedimiento no invasivo, económico y de ejecución rápida.
- ✓ Los sensores serigrafiados C110 son de bajo costo y portátiles, viables para tamizaje masivo.
- ✓ Para futuros desarrollos validar con cohortes mayores para uso clínico robusto.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

Arquitectura computacional para la gestión antifrágil de ecosistemas de innovación

Mg. Omar Portilla Jaimes, Dr. Oscar Suarez, Dr. Oliver López-Corona, Dr. José Aguilar Castro

RESUMEN

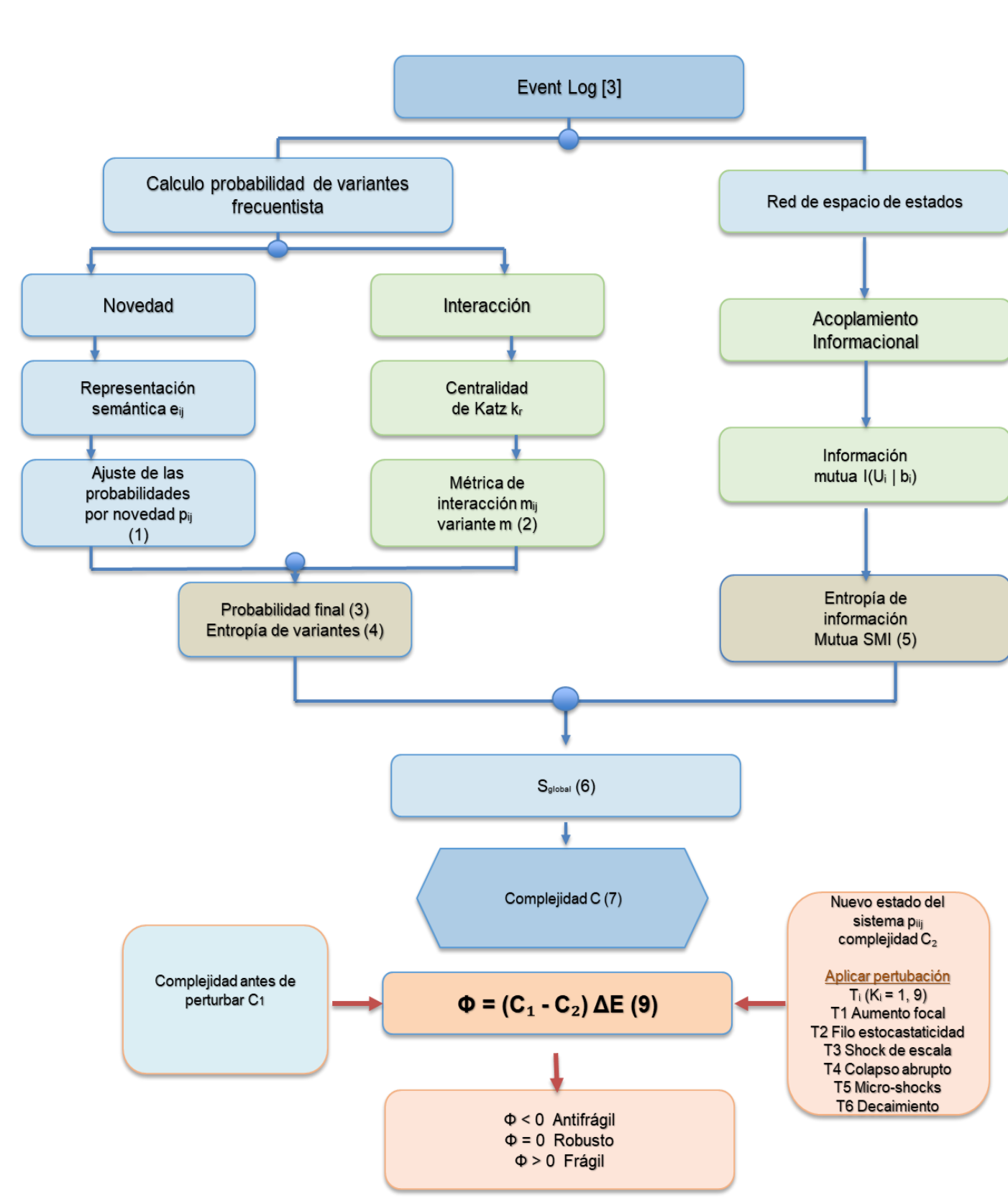
El mayor avance logrado consiste en un modelo matemático, fundamentado en la Teoría de Sistemas Complejos y la Teoría de la Información, para cuantificar la antifragilidad en ecosistemas digitales (por ejemplo, ecosistemas de innovación) modelados a partir de event logs, sentando las bases para la gestión automática de estos ecosistemas. El trabajo integra sinérgicamente cuatro dimensiones sistémicas clave: (i) la diversidad operativa de las trayectorias de proceso, (ii) la innovación inherente cuantificada mediante disimilitud semántica derivada de embeddings, (iii) la interdependencia funcional modelada por centralidad en redes complejas, y (iv) el acoplamiento informacional revelado por la entropía de la red de estados. Estas dimensiones convergen en una medida de **entropía global integrada**, la cual sirve como base para definir la **complejidad informacional**. Esta complejidad no mide el simple desorden, sino que captura el balance adaptativo crucial entre orden y aleatoriedad, un balance que se maximiza en regímenes críticos operativos. A partir de esta base, se define una **métrica cuantitativa de antifragilidad** que evalúa la respuesta del sistema ante perturbaciones específicas. Dicha métrica se calcula a partir del **cambio inducido en la complejidad informacional** (antes y después de la perturbación) y está ponderada por una medida del **grado de perturbación** sufrido. Esta métrica cuantifica la respuesta neta del sistema: un valor que indica **antifragilidad** refleja un incremento en la complejidad adaptativa del sistema, un valor que indica **fragilidad** refleja una disminución, y un valor cercano a cero indica **robustez**.

MARCO TEÓRICO

Los Sistemas Complejos Adaptativos (SCA) operan intrínsecamente en un balance dinámico entre orden (robustez) y desorden (adaptabilidad), a menudo fluctuando cerca de regímenes críticos. En este paradigma, la Complejidad (C) informacional emerge no como simple complicación, sino como una medida cuantitativa del equilibrio funcional entre procesos de auto-organización (que reducen la incertidumbre e incrementan el orden) y procesos de emergencia (que generan nueva información o variedad estructural/funcional) [1]. La Antifragilidad, conceptualizada por Taleb [2] y explorada en trabajos aplicados [3], describe la propiedad sistémica fundamental mediante la cual un SCA no solo resiste, sino que se beneficia intrínsecamente de la exposición a estresores, volatilidad o incertidumbre. Esta propiedad se distingue de la mera robustez (respuesta neutral) o la fragilidad (respuesta detrimental/cóncava) y se manifiesta matemáticamente a través de respuestas convexas del sistema ante perturbaciones, como se detalla en su definición formal [4] y se observa en diversas aplicaciones [5]–[8]. La Información de Fisher (IF) puede actuar como un concepto unificador subyacente [9], con aplicaciones que se extienden hasta la evaluación de la sostenibilidad y la antifragilidad planetaria [10], [11]. La Criticalidad, entendida como el estado que frecuentemente maximiza la complejidad informacional o el balance entre auto-organización y emergencia [1], parece coincidir con la maximización de la IF en diversos modelos de sistemas [9]. La IF cuantifica la sensibilidad del sistema a cambios paramétricos; por tanto, su maximización en regímenes críticos podría fundamentar la capacidad del sistema para percibir y explotar eficazmente la variabilidad ambiental, estableciendo un vínculo teórico fundamental entre Criticalidad y Antifragilidad [9]. Finalmente, el análisis de estos fenómenos en ecosistemas digitales complejos requiere representaciones de datos sofisticadas, como los Event Logs Centrados en Objetos (OCED), capaces de capturar las intrincadas interacciones de los SCA [12].

METODOLOGÍA

Se adopta una **metodología cuantitativa**. La fase inicial sigue un diseño **no experimental** centrado en el **desarrollo teórico y la formalización matemática** del modelo (construcción axiomática, operacionalización de S_{global} , C , Φ). Esta base teórica fundamenta una segunda fase de **validación mediante simulación computacional y experimentación in silico**. Utilizando la implementación Python derivada del modelo, se evalúa rigurosamente mediante experimentos sobre datos sintéticos y/o reales (event logs), la coherencia interna, sensibilidad y aplicabilidad del modelo para medir y explicar la dinámica adaptativa. El alcance es **instrumental** (desarrollo y validación de métricas) y **explicativo**, verificando empíricamente la capacidad del modelo formalizado.



RESULTADOS

1. Prob. x Novedad

$$p'_{ij} = \frac{p_{ij} e^{\lambda \text{Novedad}_{ij}}}{\sum_k p_{ik} e^{\lambda \text{Novedad}_{ik}}} \quad (1)$$

2. Métrica Interacción

$$m_{ij} = \frac{\sum_r x_{r,ij} f_{r,ij}}{\sum_r f_{r,ij}} \quad (2)$$

3. Probab. Ponderada

$$p_{ij}^{final} \propto (p'_{ij})^\alpha (m'_{ij})^\beta \quad (3)$$

4. Entropía x Variantes

$$S_{var} = - \sum_i w_i \sum_j p_{ij}^{final} \log p_{ij}^{final} \quad (4)$$

5. Entropía Información Mutua

$$S_{MI} \propto \sum_{(i,j) \neq (k,l)} I(v_{ij}; v_{kl}) \quad (5)$$

6. Entropía Global

$$S_{global} = \alpha' S_{var} + \beta' S_{MI} \quad (6)$$

7. Complejidad (C)

$$C = 4S_{global}(1 - S_{global}) \quad (7)$$

Teorema 1

Único Máximo de Complejidad
La función $C(S) = 4S(1-S)$ para $S \in [0, 1]$ posee un único máximo global $C=1$ en $S=0.5$.

8. Grado Perturbación

$$\Delta \Xi = \frac{1}{N_U} \sum_{i \in P_U} \frac{1}{2} \sum_j |p_{2,ij} - p_{1,ij}| \quad (8)$$

9. Antifragilidad (Phi)

$$\Phi = (C_1 - C_2) \cdot \Delta \Xi \quad (9)$$

CONCLUSIONES

Primer marco matemático cuantitativo y probabilístico para medir entropía (S_{global}), complejidad (C) y antifragilidad (Φ) en ecosistemas digitales a partir de event logs. Su novedad radica en la integración sinérgica de cuatro dimensiones sistémicas críticas —diversidad operativa (p_{ij}), innovación semántica (embeddings), interdependencia funcional (redes) y acoplamiento informacional (SMI)— en una entropía global (S_{global}) holística.

Se calcula la complejidad informacional del sistema, C , la cual se demuestra formalmente (Teorema 1) que posee un único máximo global en $S_{global}=0.5$. Esta propiedad cuantifica el balance óptimo entre orden y desorden, estableciendo un vínculo matemático entre la máxima complejidad, la criticalidad y la capacidad adaptativa inherente en Sistemas Complejos Adaptativos (SCA).

A partir de esta base, se introduce la métrica de antifragilidad operacional $\Phi = (C_1 - C_2) \Delta \Xi$ para evaluar la respuesta dinámica del sistema. La métrica pondera el cambio en la complejidad ($C_1 \rightarrow C_2$) por una medida de perturbación $\Delta \Xi$ que incorpora explícitamente alteraciones del sistema (e.g., adición/eliminación de procesos o variantes). Consecuentemente, un valor $\Phi < 0$ indica antifragilidad (ganancia neta de complejidad), mientras que $\Phi > 0$ denota fragilidad (pérdida neta de complejidad).

Al operacionalizar la tipología de estresores T1-T6 de Taleb en el modelo probabilístico, se permite la cuantificación y predicción de la (anti)fragilidad bajo diversos tipos de estrés, tendiendo el puente entre los dominios funcional y probabilístico.

El trabajo sienta la base teórica y computacional para la gestión proactiva y data-driven de la antifragilidad en cualquier ecosistema digital representable mediante event logs.

REFERENCIAS

- [1] N. Fernández, C. Maldonado, y C. Gershenson, "Information measures of complexity, emergence, self-organization, homeostasis, and autopoiesis," in *Guided Self-Organization: Inception*, M. Prokopenko, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014, pp. 19–51. doi: 10.1007/978-3-642-53734-9_2.
- [2] N. Taleb, "What Is Antifragility?," Foreword in *Applied Antifragility in Natural Systems: From Principles to Applications*, C. Axenie, R. Bauer, O. López Corona, y J. West, Eds. Cham: Springer Nature, forthcoming Jul. 2025. ISBN: 978-3031903908.
- [3] C. Axenie, R. Bauer, O. López Corona, y J. West, Eds., *Applied Antifragility in Natural Systems: From Principles to Applications*. Cham: Springer Nature, forthcoming Jul. 2025. ISBN: 978-3031903908.
- [4] N. Taleb y R. Douady, "Mathematical definition, mapping, and detection of (anti) fragility," *Quant. Finance*, vol. 13, no. 11, pp. 1677–1689, Nov. 2013. doi: 10.1080/14697688.2013.800219.
- [5] N. Taleb, "(Anti) fragility and convex responses in medicine," in *International Conference on Complex Systems*, A. Minaai, D. Braha, y Y. Bar-Yam, Eds. Cham: Springer, 2018, pp. 299–325. doi: 10.1007/978-3-319-96661-8_23.
- [6] N. Taleb y J. West, "Working with Convex Responses: Antifragility from Finance to Oncology," *Entropy*, vol. 25, no. 2, p. 343, Feb. 2023. doi: 10.3390/e25020343.
- [7] C. Axenie *et al.*, "Antifragility in complex dynamical systems," *npj Complex.*, vol. 1, no. 1, p. 12, Aug. 2024. doi: 10.1038/s44260-024-00014-y.
- [8] O. Pineda, H. Kim, y C. Gershenson, "A Novel Antifragility Measure Based on Satisfaction and Its Application to Random and Biological Boolean Networks," *Complexity*, vol. 2019, Art. ID 8679384, Nov. 2019. doi: 10.1155/2019/8679384.
- [9] O. López-Corona y P. Padilla, "Fisher Information as unifying concept for Criticality and Antifragility, a primer hypothesis," *Front. Physiol.*, vol. 15, Art. ID 1359812, 2024. doi: 10.3389/fphys.2024.1359812.
- [10] E. Ramírez-Carrillo *et al.*, "Assessing sustainability in north america's ecosystems using criticality and information theory," *PLoS ONE*, vol. 13, no. 7, p. e0200382, Jul. 2018. doi: 10.1371/journal.pone.0200382.
- [11] O. López-Corona, M. Kolb, E. Ramírez-Carrillo, y J. Lovett, "ESD Ideas: Planetary antifragility: a new dimension in the definition of the safe operating space for humanity," *Earth Syst. Dynam.*, vol. 13, no. 4, pp. 1145–1155, Aug. 2022. doi: 10.5194/esd-13-1145-2022.
- [12] W. van der Aalst, "Object-Centric Process Mining: Unraveling the Fabric of Real Processes," *Mathematics*, vol. 11, no. 12, p. 2691, Jun. 2023. doi: 10.3390/math11122691.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

ANÁLISIS PREDICTIVO SOBRE CARACTERÍSTICAS DE SUELOS EN CULTIVOS DE CACAO EMPLEANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL RENDIMIENTO EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

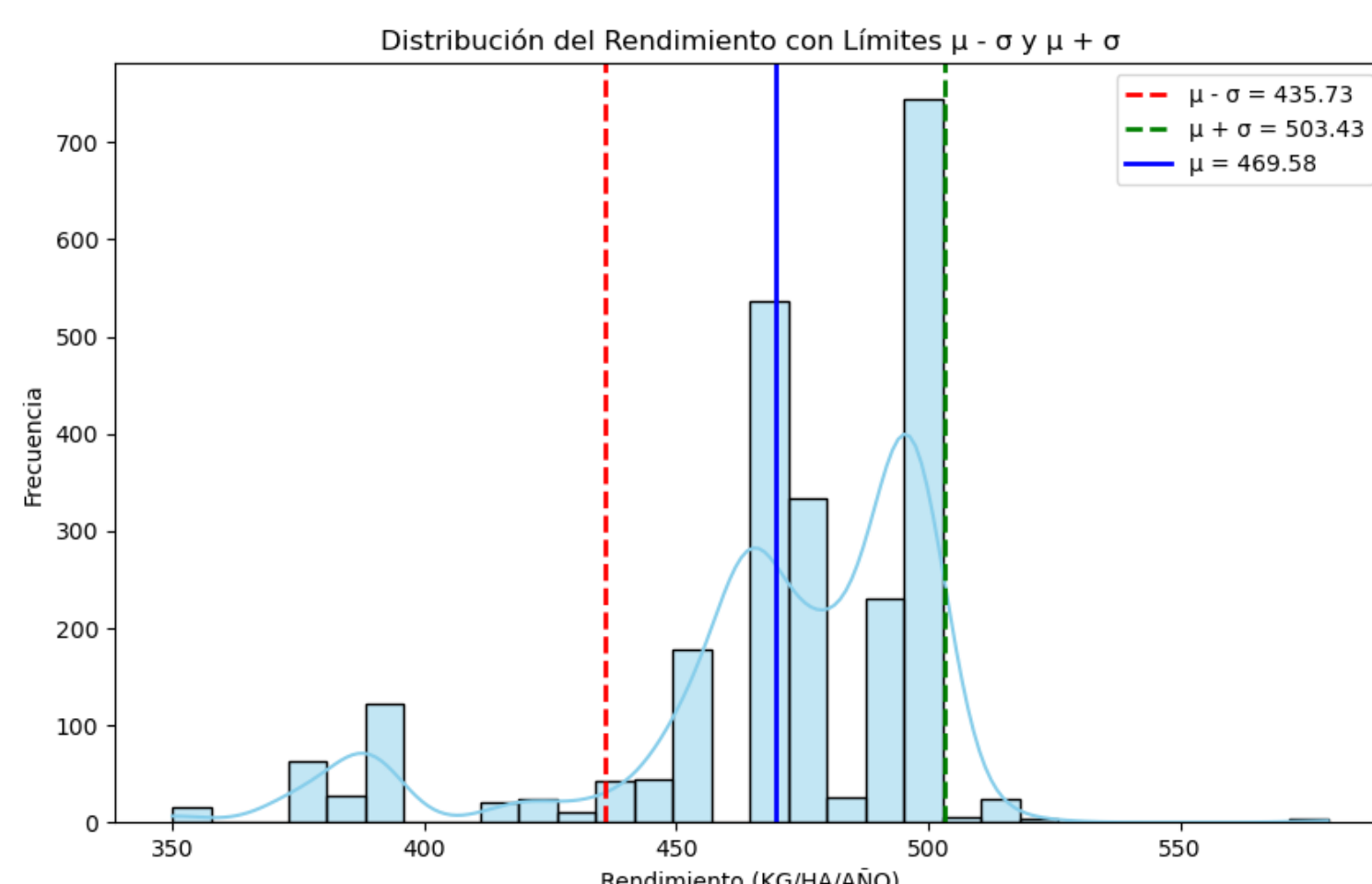
PhD(C). ROCIO CAZES ORTEGA

RESUMEN

Este proyecto evaluó diversos modelos de Inteligencia Artificial para predecir el rendimiento del cacao en Santander, Colombia, a partir de variables del suelo. Se aplicaron LDA, Random Forest, Decision Tree, XGBoost y SVM, siendo Random Forest el más preciso (63%), seguido de XGBoost (62%). Para el análisis, se establecieron tres clases de rendimiento (bajo, medio y alto), lo que permitió aplicar métricas como R^2 , PCA y ANOVA. En la clase de bajo rendimiento destacaron la materia orgánica, el manganeso, el potasio y el azufre; en la clase media, el fósforo, zinc, cadmio y sodio; y en la clase alta, el hierro, aluminio, fósforo y magnesio. Estos resultados permiten identificar los elementos del suelo más relevantes para cada nivel de rendimiento y apoyar la toma de decisiones para mejorar la productividad cacaotera.

METODOLOGÍA

Se clasificó el rendimiento del cultivo de cacao en tres niveles: bajo, medio y alto. Para predecir estas clases, se evaluaron cinco modelos de clasificación: Regresión Logística, Random Forest, SVM, XGBoost y CatBoostClassifier. Los modelos fueron entrenados con validación cruzada y ajuste de hiperparámetros, y evaluados mediante precisión, recall y f1-score. Además, se aplicaron análisis de componentes principales (PCA) y coeficiente de determinación (R^2) para identificar las variables del suelo más influyentes en cada nivel de rendimiento.



REFERENCIAS

- [1] V. Giuliana, M. Ruggeri, L. Gobbi y M. Savastano, «Social Life Cycle Assessment of Cocoa Production: Evidence from Ivory Coast and Ghana», Resources, vol. 13, nº 10, pp. 2-19, 2024.
- [2] L. Talero Sarmiento, S. Roa Prada, L. Caicedo Chacon y O. Gavanzo Cardenas, «A Data-Driven Approach to Improve Cocoa Crop Establishment in Colombia: Insights and Agricultural Practice Recommendations from an Ensemble Machine Learning Model», AgriEngineering, vol. 7, nº 1, p. 38, 2024.
- [3] I. Toumi, M. Ghrab, O. Zarrouk y K. Nagaz, «Impact of Deficit Irrigation Strategies Using Saline Water on Soil and Peach Tree Yield in an Arid Region of Tunisia», agriculture, vol. 14, nº 3, p. 377-390, 2024.
- [4] P. Yang, L. Wu, M. Cheng, J. Fan, S. Li, H. Wang y L. Qian, «Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China», Water, vol. 15, nº 9, p. 1733-1750, 2023.
- [5] B. Nsoh, A. Katimbo, H. Guo, D. M. Heeren, H. N. Nakabuye, X. Qiao, Y. Ge, D. R. Rudnick, J. Wanyama, E. Bwambale y S. Kiraga, «Internet of Things-Based Automated Solutions Utilizing Machine Learning for Smart and Real-Time Irrigation Management: A Review», sensor, vol. 24, nº 23, p. 7480-7515, 2024.
- [6] E. K. Aikins, J. O. Mensah, and R. K. Nkrumah, "Blockchain-Enabled Traceability for Ethical Cocoa Supply Chains: A Case Study of Ghanaian Cooperatives," IEEE Trans. AgriFood Electron., vol. 3, no. 2, pp. 145-158, 2024, doi: 10.1109/TAFE.2024.3098765.
- [7] M. C. Pérez-Sánchez, D. F. Patiño, and A. L. Gómez, "Machine Learning for Early Detection of *Moniliophthora roreri* in Cocoa Using Hyperspectral Imaging," IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens., vol. 17, pp. 2100-2115, 2024, doi: 10.1109/JSTARS.2024.3167890.
- [8] T. Okafor, S. Diallo, and L. M. Fernández, "IoT-Driven Precision Irrigation for Cocoa Seedlings: Enhancing Water-Use Efficiency," IEEE Internet Things J., vol. 11, no. 5, pp. 7892-7904, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3176543.
- [9] G. F. Ríos, P. K. Ndungu, and H. J. Wang, "Edge Computing for Real-Time Monitoring of Cocoa Fermentation Parameters," IEEE Sens. J., vol. 24, no. 6, pp. 8321-8333, 2024, doi: 10.1109/JSEN.2024.3182001.
- [10] C. D. Vega et al., "Carbon Footprint Optimization in Cocoa Agroforestry Systems Using AI-Driven Resource Allocation," IEEE Trans. Sustain. Comput., vol. 9, no. 1, pp. 112-125, 2025, doi: 10.1109/TSUSC.2025.3209120.

MARCO TEÓRICO

Factores como la composición del suelo, las prácticas agrícolas y el uso de tecnologías emergentes influyen directamente en el rendimiento del cultivo. En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) permite optimizar decisiones agronómicas mediante modelos como Random Forest, XGBoost y SVM, los cuales manejan múltiples variables y relaciones no lineales [2], [7]. Random Forest destaca por su precisión y capacidad para identificar variables relevantes [7]. Herramientas como PCA y ANOVA complementan el análisis al reducir la dimensionalidad y resaltar factores clave [3], [4]. Tecnologías como IoT, blockchain y edge computing fortalecen el monitoreo y la trazabilidad [5], [6], [9]. Asimismo, los sistemas agroforestales y la optimización de recursos contribuyen a una producción más sostenible [10]. Este proyecto aplica IA para predecir el rendimiento del cacao a partir de variables del suelo, aportando soluciones eficientes y sostenibles.

RESULTADOS

Se evaluaron cinco modelos de clasificación utilizando 16 variables del suelo para predecir el rendimiento del cacao (bajo, medio y alto): Random Forest, XGBoost, SVM, Decision Tree, y Regresión Logística.

Precisión: Los resultados mostraron que Random Forest alcanzó un 63% de precisión, seguido por XGBoost con 62%. SVM y Decision Tree obtuvieron 42% y 40%, respectivamente.

Rendimiento en comparación aleatoria: Dado que las clases son equilibradas, cualquier modelo que supere el 33.33% de precisión es mejor que una predicción aleatoria, lo que demuestra que Random Forest y XGBoost tienen un buen desempeño.

Análisis adicional: Se aplicaron R^2 y PCA para identificar las variables más influyentes en cada clase de rendimiento, lo que permitió mejorar la interpretación de los resultados.

CONCLUSIONES

El uso de modelos de Inteligencia Artificial permite predecir con precisión el rendimiento del cacao, superando ampliamente la predicción aleatoria. Random Forest (63%) y XGBoost (62%) fueron los modelos más eficaces, clasificando el rendimiento en niveles bajo, medio y alto. La caracterización del suelo según el rendimiento apoya decisiones agronómicas: en parcelas de bajo rendimiento influyeron la materia orgánica, el manganeso, el potasio y el azufre; en las de alto rendimiento, el hierro, fósforo y magnesio. Técnicas como PCA y ANOVA permitieron identificar variables clave, reducir la complejidad y mejorar la interpretación de los modelos. Este enfoque favorece la agricultura de precisión, con recomendaciones personalizadas para cada lote según su composición edáfica. Los resultados respaldan la incorporación de herramientas digitales e IA en el agro colombiano, alineándose con la tendencia global hacia una producción más eficiente, sostenible y resiliente ante condiciones ambientales cambiantes.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Ingeniería

DESARROLLO DE MEDIDOR DE CAUDAL AUTONOMO CON REGISTRO ON LINE POR APLICATIVO WEB

Ponentes: PhD (C). Carlos Arturo Vides Herrera

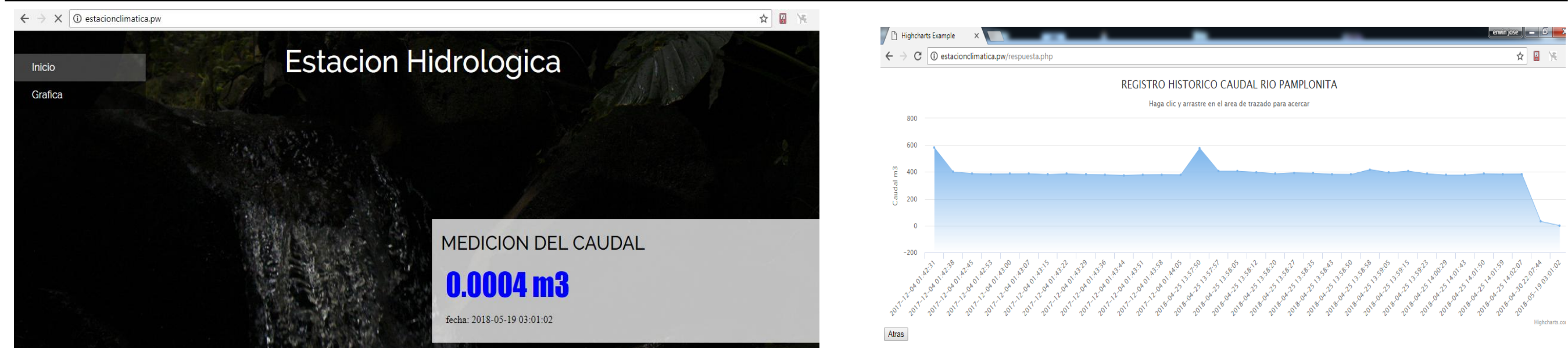
PhD. Aldo Pardo García

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema de medición de caudal ultrasónico con supervisión remota a través de plataformas web y móviles. La solución integra funciones de adquisición y transmisión inalámbrica de datos digitales, apoyada por una aplicación Android y un módulo RTC que registra con precisión la hora y fecha de las mediciones. El diseño incluye cinco entradas para sensores, una tarjeta Micro SD para el almacenamiento local y un módulo Wi-Fi que permite el control y monitoreo en tiempo real. La alimentación eléctrica puede obtenerse de la red doméstica, una batería recargable o paneles solares de hasta 12 V. El sistema también incorpora la recepción de datos GPS mediante un módulo GSM/GPRS para ubicar las mediciones espacialmente. Los datos se cargan en un servidor web, accesible desde cualquier navegador con internet, y se replican en una aplicación Android que permite consultar las variables desde teléfonos inteligentes. La alimentación del sistema se realiza de forma autónoma utilizando un sistema solar fotovoltaico, que incluye un panel solar fotovoltaico, un regulador de carga solar y una batería de descarga profunda. El sistema de energía autónomo se dimensiona para una autonomía de 4 días, ya que las zonas de trabajo del dispositivo son de pocas horas de sol pico al día.

METODOLOGÍA

Para este trabajo de investigación y desarrollo se utiliza una combinación de metodología mixta y experimental. primero se ha una investigación del estado del arte con el fin de establecer el contexto y la actualidad del tema. Como segundo paso se realiza un análisis de los avances cualitativos en el área de investigación, por medio del análisis de datos establecidos en los trabajos más relevantes encontrados en bases de datos científicas y tesis de grado. El tercer paso es la realización de la ingeniería básica, realización de diseños y por ultimo la implementación y las pruebas respectivas del prototipo en el sitio, el cual se estableció el río pamplonita en la ciudad de pamplona. Para garantizar la autonomía del sistema, se incorporó un sistema de respaldo energético compuesto por una batería recargable alimentada por paneles solares, permitiendo así su funcionamiento en ubicaciones sin acceso a la red eléctrica.



REFERENCIAS

- [1] M. C. J. Enrique and Calibri (Cuerpo)P. Canela, "o de un medidor de nivel por Dise n ultrasonido, aplicado a las lagunas de aguas residuales del Indice general."
- [2] S. Limited, SIM900_Hardware Design_V2.00,» 15 12 2010. [En línea]. Available: <http://www.sim.com/wm>. [Último acceso: 13 1 2017].
- [3] Prometec, «Módulo GSM/GPRS,» [En línea]. Available: <http://www.prometec.net>. [Último acceso: 12 10 2016].
- [4] S. A. c. o. S. Tech, «SIM900 AT Command Manual, » 24 12 2010. [En línea]. Available: <http://www.sim.com>. [Último acceso: 12 11 2016].
- [5] CLAVIJO MENDOZA, Juan Ricardo. Diseño y Simulación de Sistemas Microcontrolados En Lenguaje C. Colombia. 2011, 289p.
- [7] Eric López Perez, _INGENIERIA EN MICROCONTROLADORES Protocolo SPI(Serial Peripheral Interface)', Technology, 2008, 1–10 <<http://www.i-micro.com/pdf/articulos/spi.pdf>>.
- [8] Integrated Maxim, _DS 1364 X 8, Serial, I C Real-Time Clock', 2015, 1–14. {En línea}. {Consultado el 9 de noviembre 2016}. Disponible en: (<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>).
- [9] SOFTZONE. {En línea}. {Consultado el 15 de noviembre 2016}. Disponible en: (<http://www.softzone.es/2015/12/13/diferencias-fat32-ntfs-exfat-debo-elegir/>).
- [10] ESP8266 Datasheet, _ESP8266EX Datasheet', Espressif Systems Datasheet, 2015, 1–31. {En línea}. {Consultado el 9 de noviembre 2016}. Disponible en: (https://www.adafruit.com/images/product-files/2471/0A-ESP8266__Datasheet__EN_v4.3.pdf).

MARCO TEÓRICO

El medidor de caudal se diferencia según tipo del medio y ámbito de uso. Le ofrecemos por tanto medidor para la detección precisa de la velocidad del flujo de líquidos (fluidos) y / o de gases. Este medidor de caudal está controlado por un microprocesador y garantiza alta precisión y fiabilidad. Tiempos de respuesta cortos, así como en algunos modelos, carcasas protegidas contra el polvo y las salpicaduras de agua adecuan estos medidores para el empleo industrial o para la investigación y el desarrollo. Disponible con registro mecánico, tradicional, electrónico o dispositivo de salida de pulsos de arrastre magnético de rotor húmedo. Amplia gama de accesorios disponibles para satisfacer casi todas las necesidades de medición. Este trabajo tiene fuertes antecedentes a niveles internacionales, pero a nivel nacional se encuentra muy poca información; se pueden apreciar varios trabajos académicos en esta área los cuales se citarán a continuación.

RESULTADOS

sistema de comunicación para adquisición de información proveniente de sensores de manera inalámbrica, usando el módulo Wifi ESP8266, también utilizamos un módulo GSM Sim900 para lograr una buena cobertura en lugares remotos. Se desarrolló un aplicativo Android y una página web la cual hacen que el monitoreo del sistema se realice de una manera gráfica, teniendo acceso a los datos en cualquier momento y en cualquier parte donde nos encontremos para así poder estar supervisando nuestro sistema. Se diseñó el hardware del sistema, empleando componentes que se adaptaran a las necesidades que suple para la medición de caudal y de la comunidad, como la de generar registros, almacenar información, transmitirla y visualizarla de la manera más óptima y práctica para poder tener una buen manejo del sistema.



CONCLUSIONES

El módulo GPRS SIM900 posibilita la transmisión de datos en áreas con cobertura celular, siendo eficaz para aplicaciones remotas. No obstante, presenta una latencia mínima de 2 a 3 segundos entre muestras, debido a su tiempo de respuesta. Esta configuración es necesaria para garantizar la estabilidad en la comunicación. Se utilizó un sistema de adquisición de datos inalámbrico empleando el módulo Wi-Fi ESP8266 y el GSM SIM900. Esta integración mejora la portabilidad del prototipo y garantiza comunicación constante con el servidor. Se diseñó el hardware del sistema, empleando componentes que se adaptaran a las necesidades que suple para la medición de caudal y de la comunidad, como la de generar registros, almacenar información, transmitirla y visualizarla de la manera óptima y práctica para poder tener un buen manejo del sistema.

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

DISEÑO DE UN SISTEMA ROBÓTICO CON UNA ESTRUCTURA MODULAR PARA CULTIVOS EN AMBIENTES ESTRUCTURADOS

PhD(c). YESENIA RESTREPO CHAUSTRE, PhD. CÉSAR AUGUSTO PEÑA CORTÉS

RESUMEN

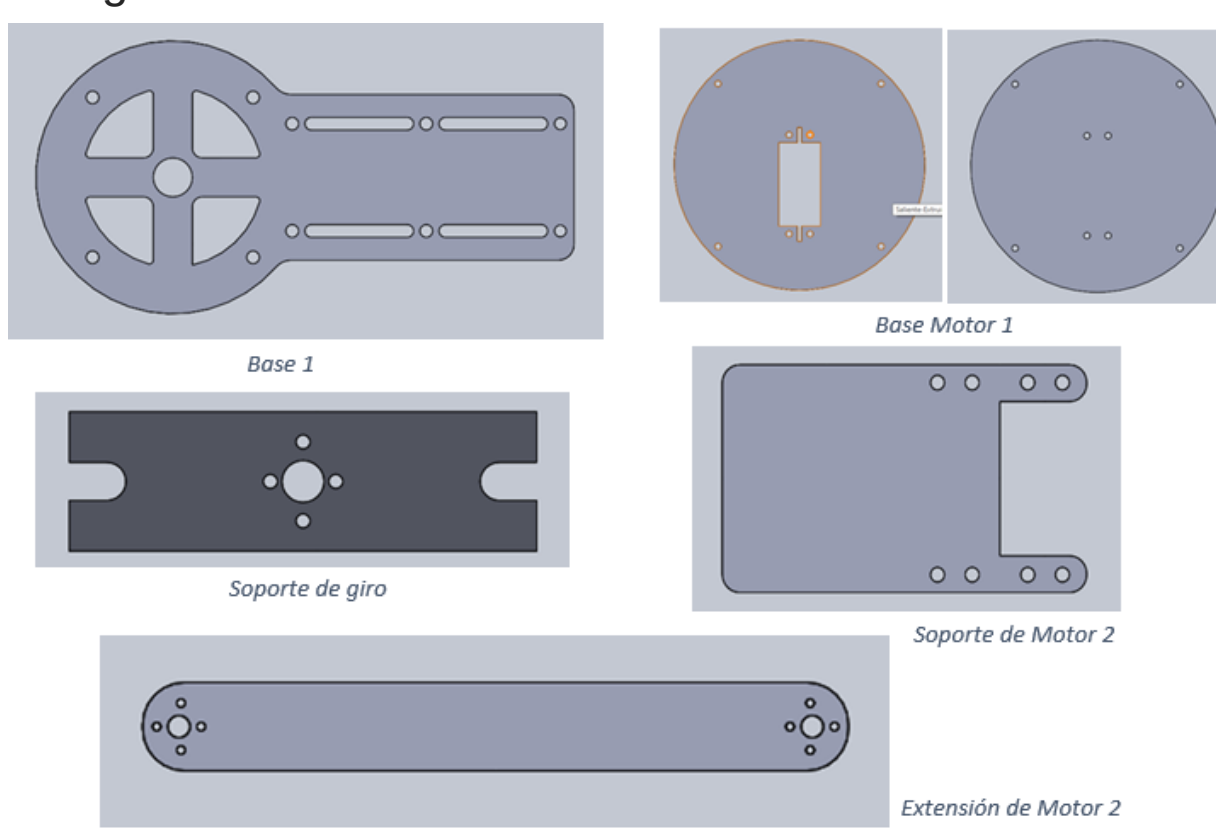
Esta propuesta de tesis doctoral es un proyecto de investigación aplicada cuyo objetivo es diseñar un sistema robótico con una estructura modular, para cultivos en ambientes estructurados. En términos generales se pretende mejorar la calidad y eficiencia del proceso de cultivo de las plántulas con la finalidad de incrementar su producción y/o disminuir el tiempo requerido para la misma.

A diferencia de la mayoría de cultivos protegidos donde se controla solo la temperatura del entorno, este proyecto propone controlar la temperatura del sustrato para mejorar las condiciones de producción. Otro factor innovador del sistema robótico es la capacidad de cambiar la orientación e inclinación del sustrato donde están sembradas las plántulas para variar la incidencia de los efectos gravitatorios y de esta forma analizar si es posible mejorar los escenarios de producción. Adicionalmente, el sistema modular contará con el control de la iluminación con longitudes de onda predeterminados, junto con el monitoreo del PH del suelo, el sistema de riego, suministro de nutrientes y las variables tradicionales en un cultivo protegido como la temperatura y humedad del ambiente, todo en búsqueda de aportar al incremento en la producción y disponibilidad de los alimentos con el uso o manejo adecuado del agua.

Los datos medidos y cuantificados se compararán con los datos cualitativos obtenidos de la observación del comportamiento del desarrollo, crecimiento de las plántulas y de la comparación de datos alcanzados en investigaciones previas, con el fin de corroborar o verificar si el sistema robótico con estructura modular para cultivos en ambientes estructurados es más eficiente en cuanto al tiempo de germinación, crecimiento, producción y calidad, comparado con los existentes actualmente en la región Norte Santandereana.

METODOLOGÍA

1. PROTOTIPO DE PLATAFORMA ROBÓTICA SEGUIDOR SATELITAL: Seguidor robótico aplicado en la agricultura con dos grados de libertad.



2. SONDA PORTÁTIL PARA MEDIR TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO Y AMBIENTE EN DIFERENTES ENTORNOS: Es una sonda portátil, que utiliza comunicación GPRS2G y zigbee para enviar datos a la plataforma ThingSpeak cada 15 segundos, utilizando TTGO y una batería de respaldo.

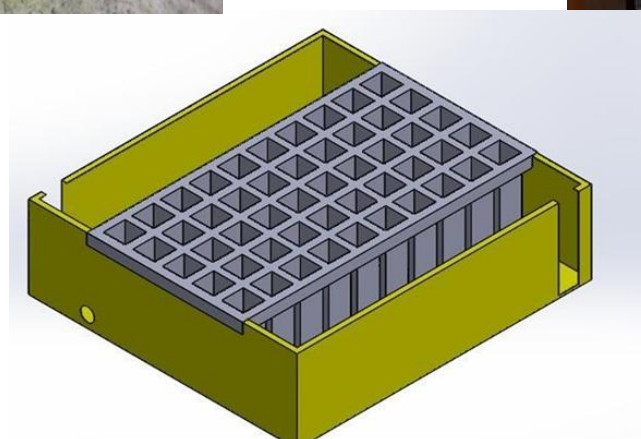


3. SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE TEMPERATURA CON SERPENTÍN CIRCULAR:

Para la construcción del ciclo básico de refrigeración se usó el diagrama de Mollier donde a partir de datos de diseño se elaboró el sistema o equipo. Se partió de las temperaturas máximas del recipiente donde estuvo la muestra y el ambiente del sitio donde estuvo el equipo.

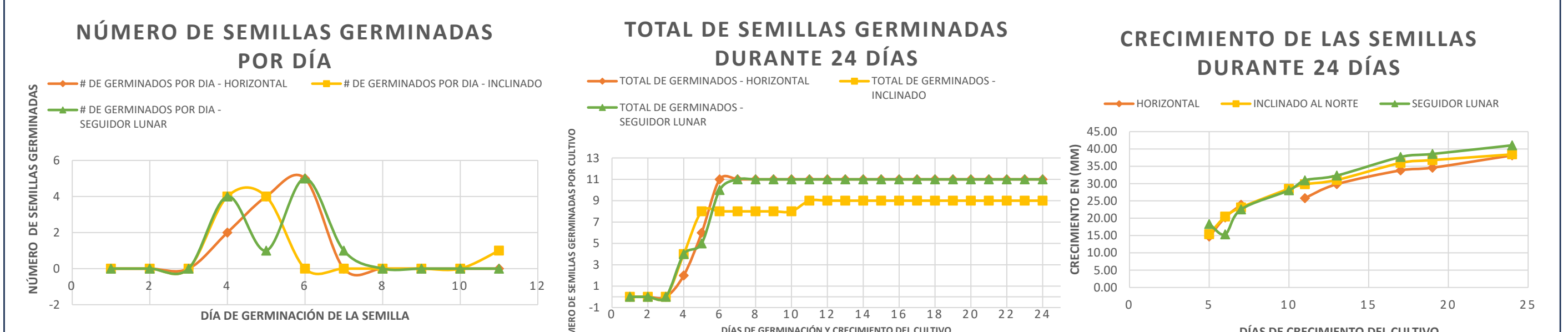


4. PARTICIPACIÓN XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE ELECTRÓNICA Y TECNOLOGÍAS DE AVANZADA: Con la ponencia virtual titulada: AGRICULTURAL INNOVATION: MONITORING ENVIRONMENTAL VARIABLES IN REMOTE CROPS THROUGH IOT APPLICATIONS

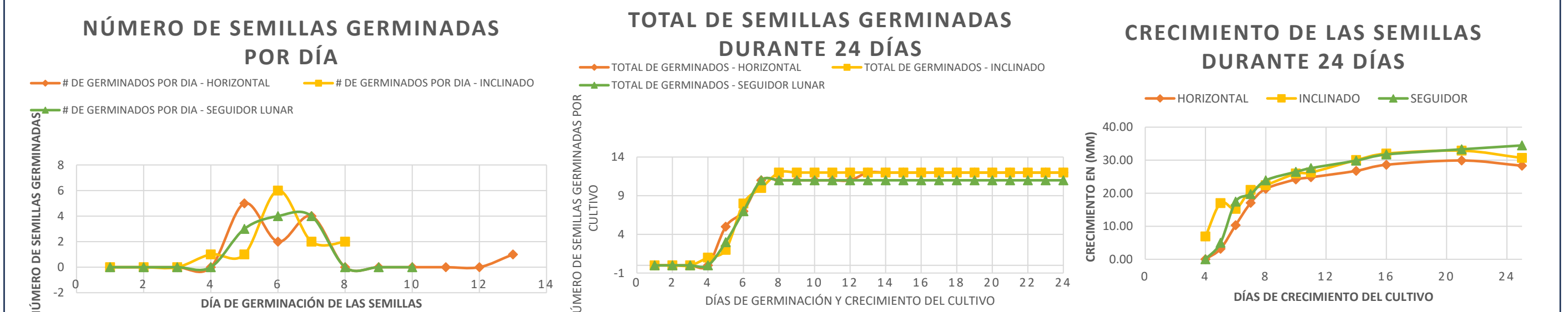


RESULTADOS

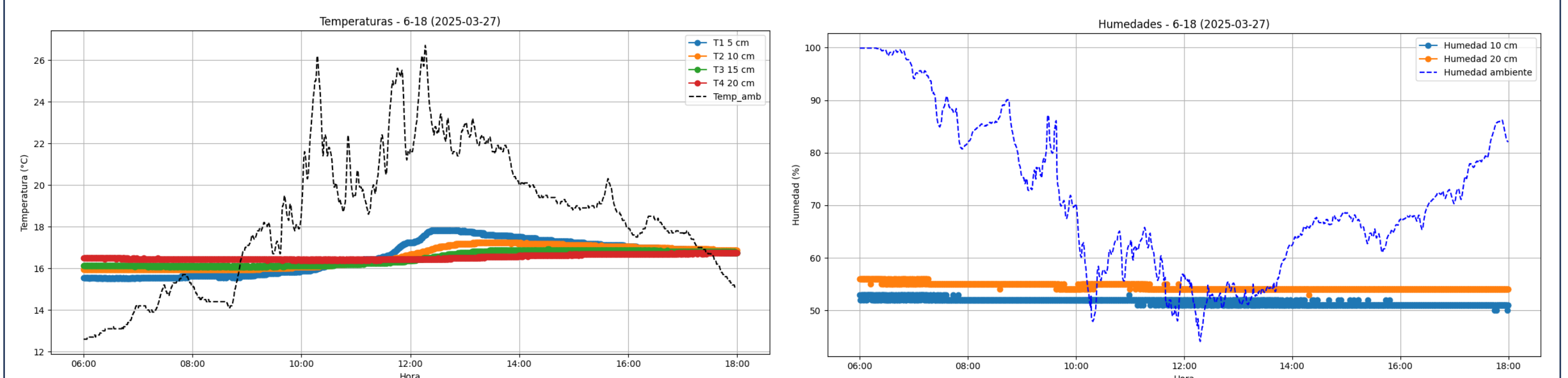
1.1. RESULTADOS EN EL PRIMER CULTIVO- PROTOTIPO PLATAFORMA ROBÓTICA:



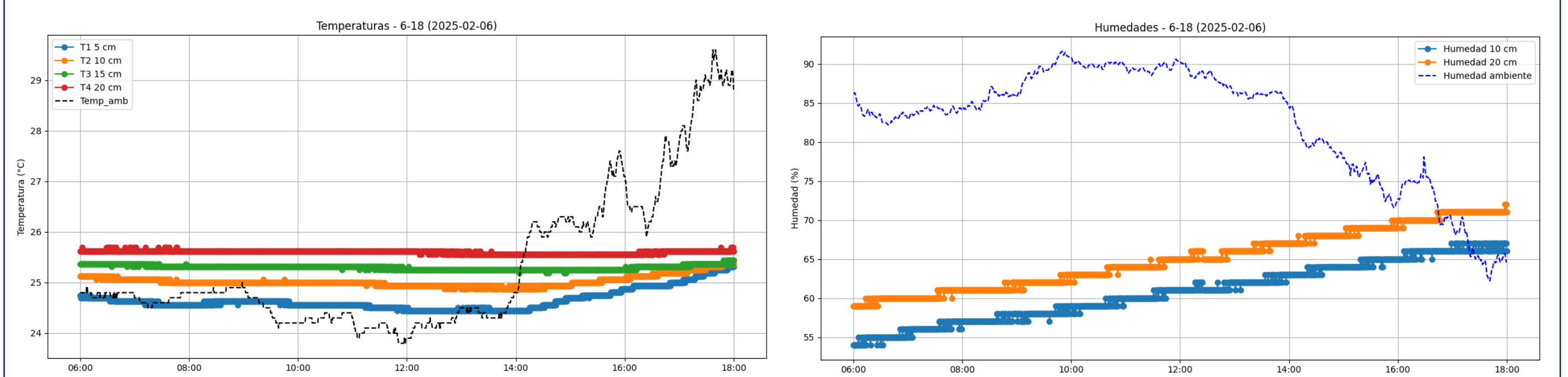
1.2. RESULTADOS EN EL SEGUNDO CULTIVO – PROTOTIPO PLATAFORMA ROBÓTICA:



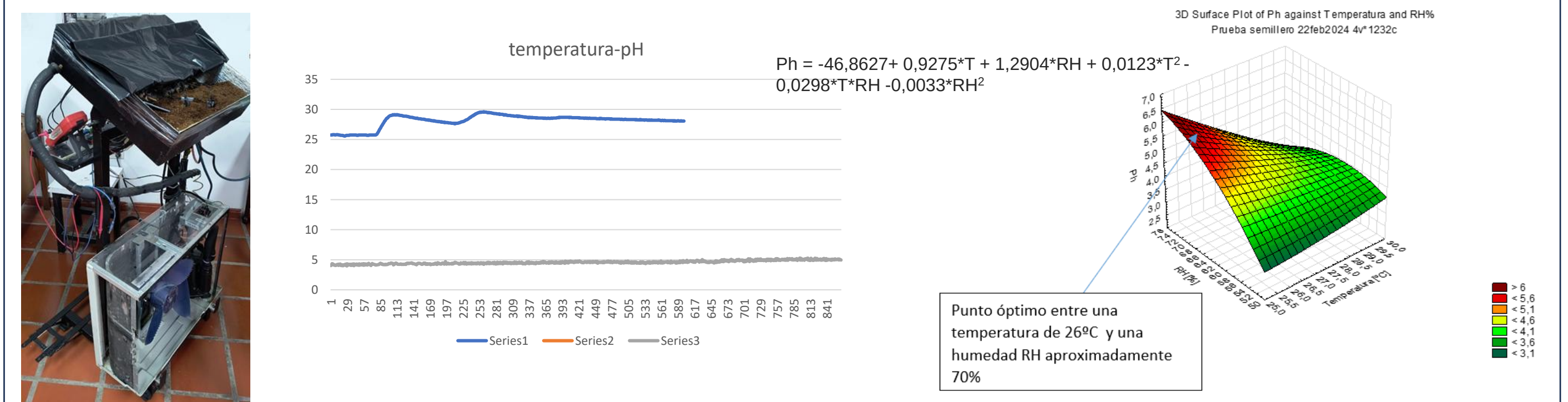
2.1 RESULTADOS DE LA SONDA PORTÁTIL EN UNA FRANJA HORARIA – PAMPLONA:



2.2 RESULTADOS DE LA SONDA PORTÁTIL EN UNA FRANJA HORARIA – CÚCUTA:



3.1 RESULTADOS DEL SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE TEMPERATURA:



REFERENCIAS



¡Escanéame!

Socialización de los avances de los estudiantes del Doctorado en Automática

STUDY OF URINE AND BREATH VOLATILOMICS FOR THE NON-INVASIVE DETECTION OF PROSTATE CANCER USING GC-MS AND AN ELECTRONIC NOSE

Jeniffer Katherine Carrillo Gómez^{1,2}, María Llambich², Carlos Cuastumal Vasquez¹, Raquel Cumeras², Jesús Brezmes Llecha², Cristhian Manuel Durán Acevedo¹

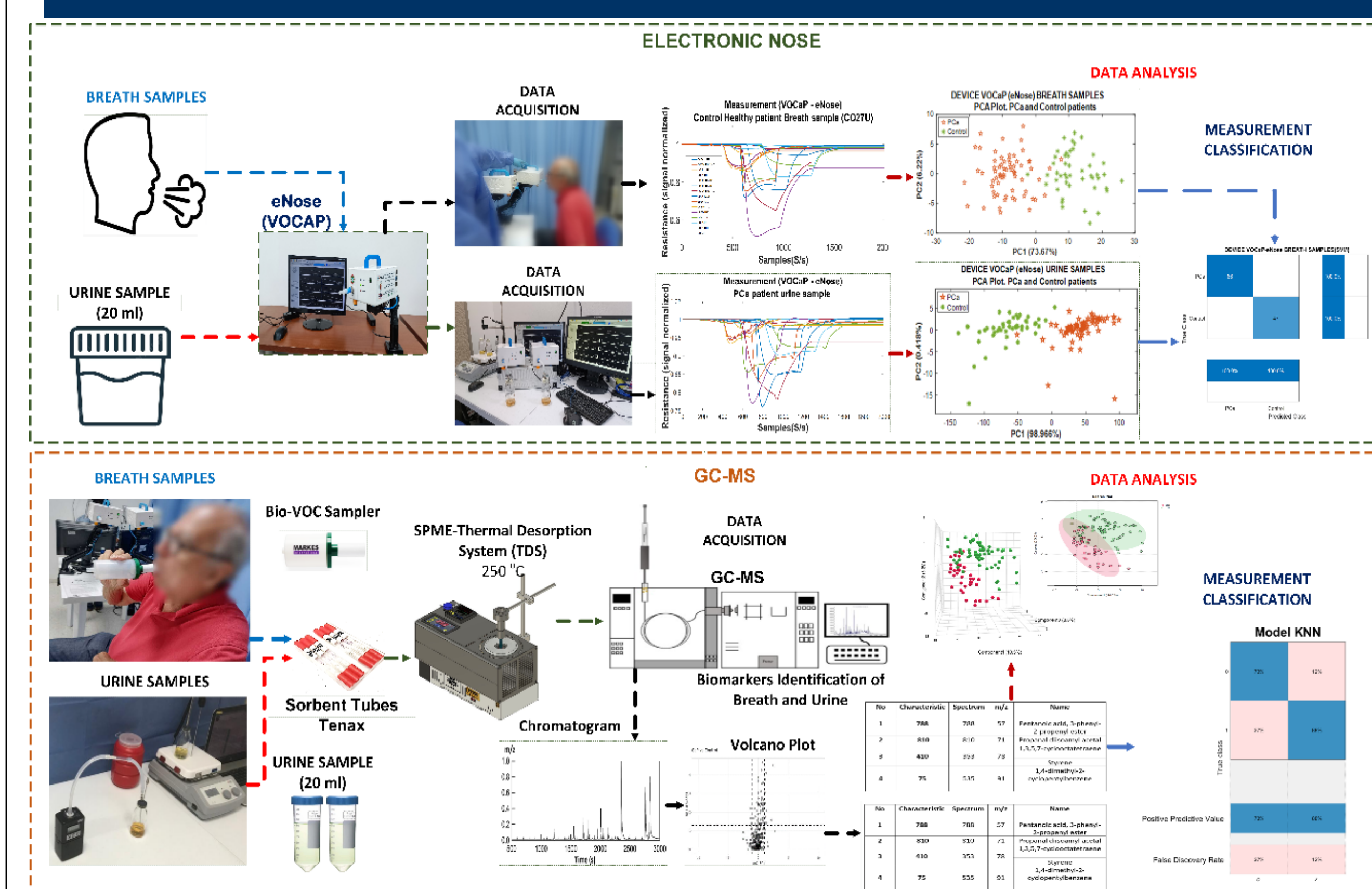
¹ GISM Research Group, Engineering and Architecture Faculty, University of Pamplona, Pamplona, Colombia

² Department of Electrical Electronic Engineering and Automation Mil@b Group & IISPV, University Rovira I Virgili, Tarragona, Spain

ABSTRACT

Prostate cancer (PCa) is one of the leading causes of morbidity among men worldwide, and its early detection remains challenging due to the low specificity of conventional methods such as prostate-specific antigen (PSA) testing and digital rectal examination (DRE). This study implemented two non-invasive volatilomics-based approaches to improve diagnostic performance: Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and an electronic nose (eNose). Urine and breath samples were collected from 115 participants, including 66 with confirmed PCa and 49 healthy controls. GC-MS analysis enabled the identification of 22 and 27 discriminant volatile organic compounds (VOCs) in urine and breath, respectively, achieving classification accuracies of up to 80%. In parallel, the eNose, based on chemical sensors and machine learning algorithms (KNN, SVM, and Random Forest), achieved 100% classification accuracy using 5-fold cross-validation. These findings reveal that the combined use of GC-MS and eNose offers a more accurate and rapid approach for PCa detection, outperforming current clinical methods.

METHODOLOGY



RESULTS

Breath analysis

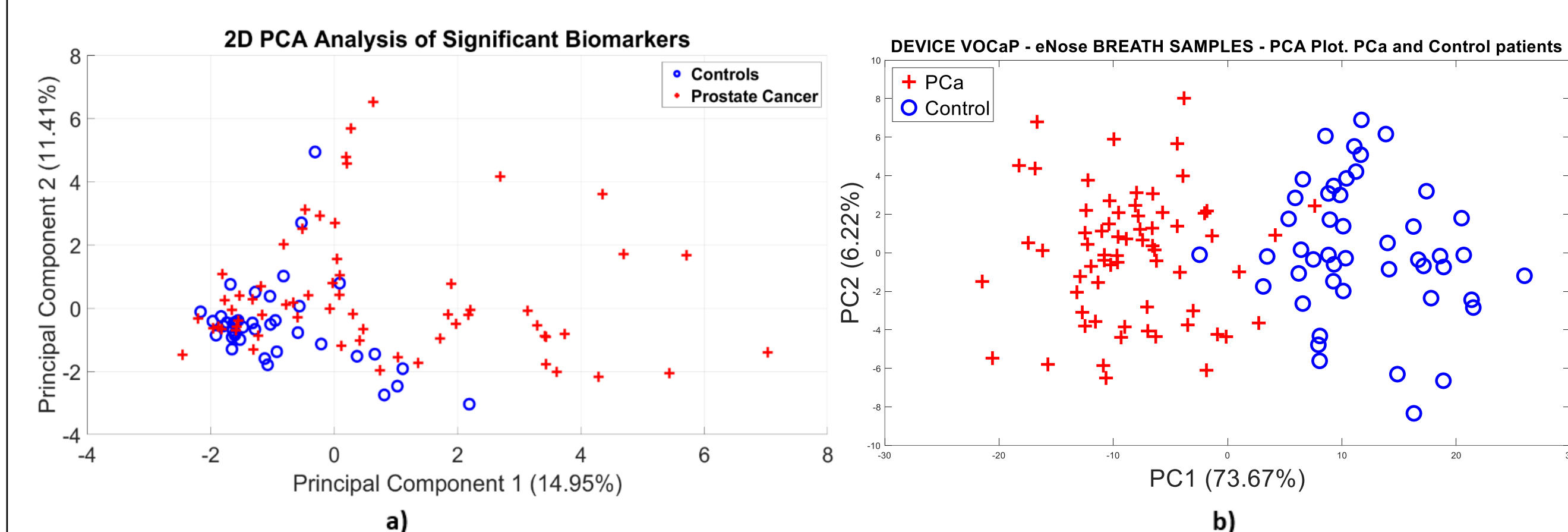


Figure 1. PCA of exhaled breath samples from prostate cancer and control groups, acquired using a) GC-MS and b) electronic nose.

(a) GC-MS, based on 27 significant volatile organic compounds (VOCs), including Decanethiol acetate, Oxalic acid, Cyclohexylmethyl ethyl ester, Benzene, 1-ethenyl-3-ethyl, 4-Methylpentyl pentanoate, Heptanoic acid, 1,3-Benzodioxole, 2-acetyl-4-methoxy-2-methyl, p-Tolylacetic acid, Tetradecane, 4-ethyl, Pentanoic acid, 3-phenyl-2-propenyl ester, Propanal diisoamyl acetal, 2,4-Octadiene, Methyl 2-oxo-4-phenylbutanoate, 7-Ethyl-4-decen-6-one, Benzoic acid, 2-hydroxy-, butyl ester, and others.

(b) eNose analysis, based on sensor array response patterns, yields a clearer separation, with PC1 and PC2 accounting for 73.67% and 6.22% of the variance, respectively. The electronic nose demonstrated higher discriminative capability between PCa and control subjects based on breath VOC profiles.

Urine analysis

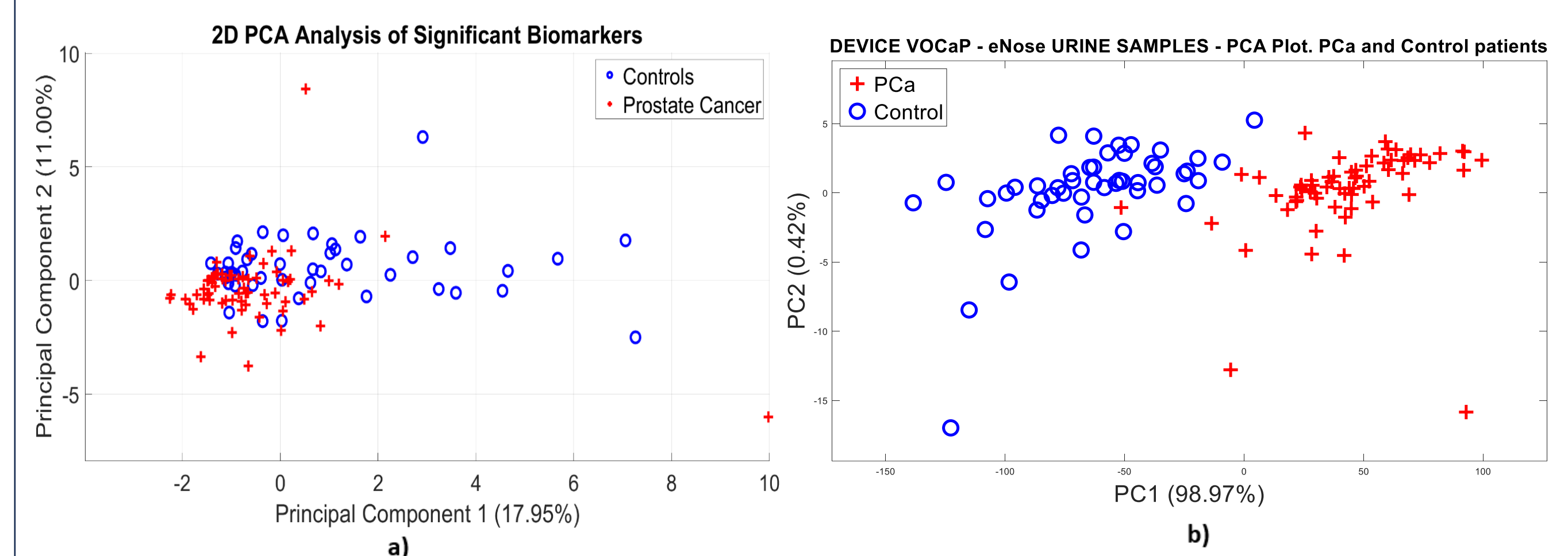


Figure 2. PCA of exhaled urine samples from prostate cancer and control groups, acquired using a) GC-MS and an b) electronic nose.

(a) GC-MS, 22 VOCs were identified, including Benzyl phenyl ether, Phenylmethanesulfinic acid ethyl ester, Succinic acid di(3-methylbut-2-yl) ester, Butanoic acid 3-methyl-, 3-phenyl-2-propenyl ester, Pentadecanoic acid methyl ester, 1-methyl-2-phenylmethylbenzene, 4-Methylpentyl pentanoate, 2-n-Octylfuran, Benzamide pentafluoro-N-pentyl, Isophthalic acid isobutyl 3-methylbut-2-yl ester, Tetradecane 4-ethyl, Benzene 4-ethyl-1,2-dimethyl, Benzoic acid 2-(1-oxopropyl) methyl ester, 4,6-Dimethyloctane-3,5-dione, and others. PC1 explains 17.95% and PC2 11.00% of the total variance, showing partial group separation between prostate cancer and control samples. (b) eNose analysis, based on sensor array response patterns, yields a more precise separation, with PC1 and PC2 accounting for 98.97% and 0.42% of the variance in urine samples.

Table 1 shows the results obtained using both techniques, applying machine learning methods.

TECHNIQUE	BREATH		URINE	
	KNN	SVM	RF	SVM
GC-MS	85%		75%	
eNose		100%		100%

Table 1. Machine learning methods applied to breath and urine samples (PCa vs. control) using GC-MS and eNose

CONCLUSIONS

The GC-MS technique provides detailed chemical characterization and enables the specific identification of biomarkers, while the eNose in this study stood out as an effective diagnostic tool in terms of speed, sensitivity, operational simplicity, and discriminative capability.

The strategic combination of both technologies could offer a comprehensive solution for early prostate cancer detection and monitoring in clinical and community settings.

Acknowledgments

- This research was funded by MINCIENCIAS under grant number 112184468047 and contract number 929-2019.
- 933-2023 Call for applications – national doctoral training program with a territorial, ethnic, and gender approach.

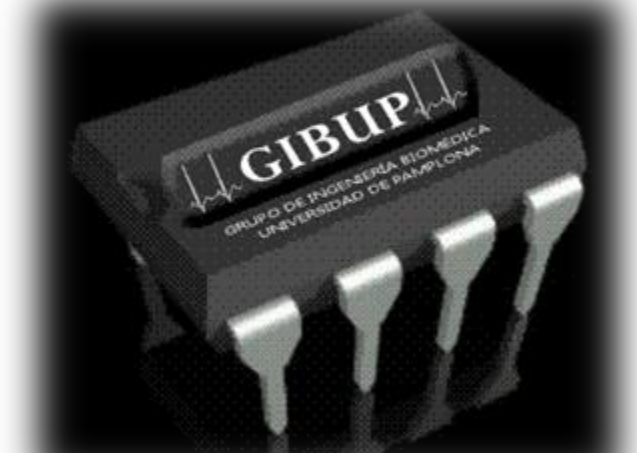




PLATAFORMA INTELIGENTE PARA LA OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y PRODUCTIVA EN LA AGROINDUSTRIA DE NORTE DE SANTANDER MEDIANTE IOT E IA

Luis Alberto Muñoz¹, Luis Enrique Mendoza¹, Ivaldo Torres Chávez²

¹Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIBUP), Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Colombia. ²Grupo de Investigación LOGOS, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Colombia.



XVII Congreso Internacional de tecnologías de avanzada

RESUMEN

El proyecto integra una red de estaciones meteorológicas IoT con Inteligencia Artificial para optimizar el uso de energías renovables en la agroindustria de Norte de Santander. El sistema recolectará datos climáticos (radiación solar, viento) mediante comunicación híbrida (Wi-Fi/LoRaWAN) para alimentar modelos de IA. Estos modelos generarán mapas de potencial energético y recomendaciones tecnológicas específicas para sectores como el café y cacao. El objetivo es crear una plataforma de decisión que reduzca costos operativos, aumente la sostenibilidad y fortalezca la competitividad regional.

PALABRAS CLAVE: Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial, Energías Renovables, Agroindustria, Estación Meteorológica, Norte de Santander, LoRaWAN.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria en Norte de Santander enfrenta una doble limitación: la falta de datos meteorológicos granulares que dificulta la planificación [1] y una alta dependencia de energías convencionales. La adopción de Energías Renovables (ERA) es una solución estratégica, pero requiere una evaluación precisa del recurso disponible en el territorio. Este proyecto propone un sistema de monitoreo y análisis inteligente para cerrar esa brecha, proveyendo los datos necesarios para una transición energética eficiente y adaptada a las necesidades locales, en concordancia con las metas nacionales de sostenibilidad [2].

MARCO TEÓRICO

- **IoT en Agricultura (Agro-IoT):** Red de sensores conectados para el monitoreo en tiempo real de condiciones ambientales, optimizando el uso de recursos [1].
- **LoRaWAN:** Protocolo de comunicación de largo alcance y bajo consumo (LPWAN), ideal para el despliegue de sensores en zonas rurales sin conectividad convencional [3].
- **IA para Recursos Energéticos:** Uso de algoritmos de Machine Learning (ej. Regresión, LSTM) para analizar datos climáticos, estimar el potencial energético y predecir la disponibilidad del recurso [4].
- **Energías Renovables en el Agro:** Aplicación de tecnologías como la solar fotovoltaica y térmica para reducir costos operativos y el impacto ambiental en procesos agrícolas [5].

METODOLOGÍA

El proyecto se ejecuta en cuatro fases, como se describe en el diagrama de bloques (Fig. 1).

- **Fase I: Diseño y Despliegue de Red:** Construcción y despliegue estratégico de estaciones meteorológicas IoT con sensores clave (radiación, viento, T/H) y comunicación híbrida (Wi-Fi/LoRaWAN).
- **Fase II: Desarrollo de Plataforma de Datos:** Implementación de una arquitectura en la nube para la ingesta (vía MQTT/LoRaWAN) y almacenamiento de datos en una base de series temporales.
- **Fase III: Modelado con Inteligencia Artificial:** Entrenamiento de modelos de Machine Learning para interpolar datos, generar mapas de potencial energético y crear un sistema de recomendación tecnológica.
- **Fase IV: Visualización y Transferencia:** Creación de un dashboard web interactivo y ejecución de talleres de capacitación con actores regionales (agricultores, gremios, academia) para la apropiación de la herramienta.

ASPECTOS MATEMÁTICOS

El potencial de generación de energía solar fotovoltaica (E) se estimará usando la siguiente relación fundamental:

$$E=A \cdot r \cdot H \cdot PR$$

Donde:

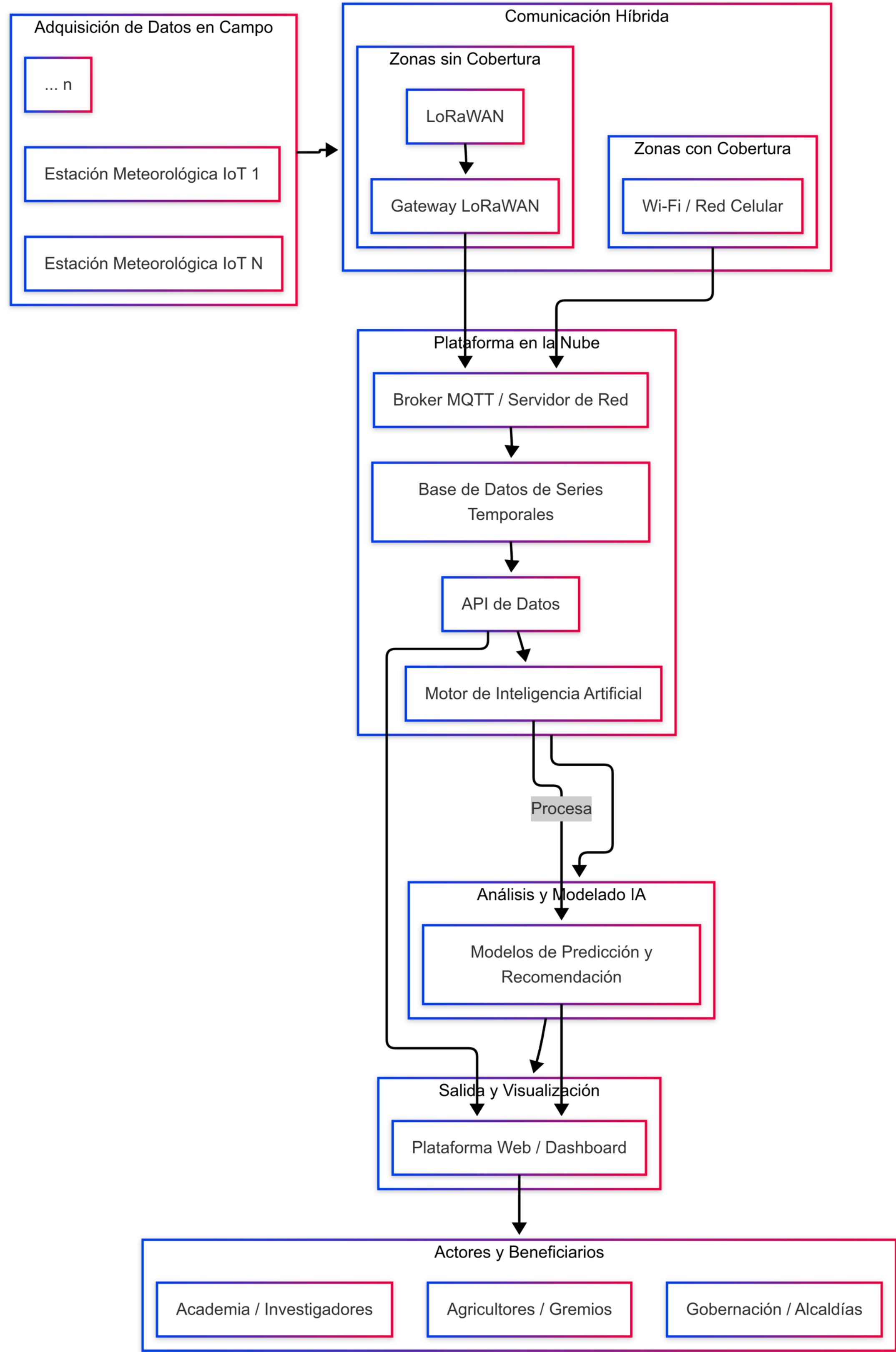
A : Área total del panel solar (m^2).

r : Eficiencia del panel (%).

H : Irradiación solar diaria promedio sobre el plano del panel ($kWh/m^2/día$), obtenida de los sensores y modelos de interpolación.

PR : *Performance Ratio*, factor que considera las pérdidas del sistema (temperatura, cableado, inversor), usualmente entre 0.75 y 0.90 [4].

Para la predicción de series temporales (ej. irradiación H_{t+1}), se usarán modelos LSTM, que son redes neuronales recurrentes capaces de aprender dependencias a largo plazo, cuya estructura se basa en celdas con compuertas de olvido (ft), entrada (it) y salida (ot).



RESULTADOS (Esperados)

- Una red funcional de al menos 15 estaciones meteorológicas autónomas desplegadas en Norte de Santander.
- Una base de datos robusta y de acceso abierto (Open Data) con información meteorológica granular de la región.
- Mapas de potencial energético (solar y eólico) de alta resolución para el departamento, disponibles a través de la plataforma web.
- Una plataforma web interactiva y funcional que ofrezca dashboards, visualizaciones y un módulo de recomendación de tecnologías renovables para al menos 3 sectores agroindustriales prioritarios.
- Al menos dos publicaciones científicas y la formación de capital humano a través de proyectos de grado y pasantías con la UFPS y el SENA.

CONCLUSIONES

El proyecto representa una solución innovadora y de alto impacto para Norte de Santander, al integrar tecnologías de la Industria 4.0 para resolver problemas estructurales del sector agroindustrial. La generación de datos localizados y la aplicación de IA no solo optimizarán la toma de decisiones para la implementación de energías renovables, sino que también fortalecerán la resiliencia climática del sector. Se espera que esta iniciativa sirva como un modelo replicable para otras regiones de Colombia con desafíos similares, fomentando una transformación digital y sostenible del campo.

REFERENCIAS

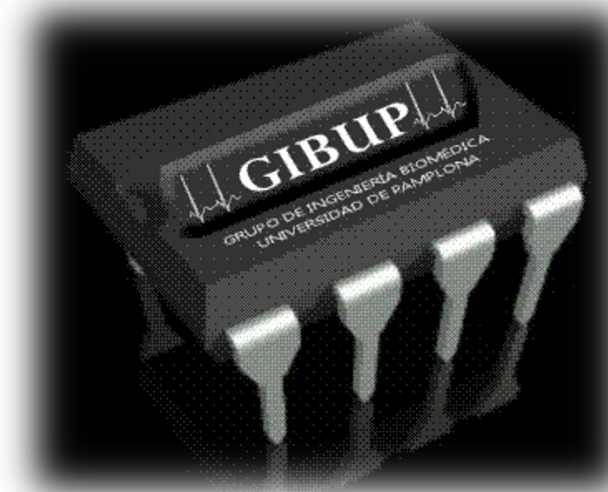
- [1] A. Khanna and S. Kaur, "Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 157, pp. 218-231, Feb. 2019.
- [2] Ministerio de Minas y Energía de Colombia, "Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050," UPME, Bogotá, 2015.
- [3] U. Raza, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara, "Low Power Wide Area Networks: An Overview," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 2, pp. 855-873, Secondquarter 2017.
- [4] A. Mellit and A. M. Pavan, "A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy," *Solar Energy*, vol. 84, no. 5, pp. 807-821, May 2010.
- [5] S. A. O. O-A., L. G. G. P-P., and C. A. G. G-M., "Renewable energy in the Colombian agricultural sector: A review of the potential and a proposed strategy for its development," *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 42, no. 165, pp. 343-356, 2018.
- [6] M. R. H. R. J. H. T. A. T. W. M. Banks, "MQTT Version 3.1.1," *OASIS Standard*, 29 October 2014. [Online]. Available: <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>.



EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA POLINIZACIÓN APÍCOLA EN CULTIVOS DE CAFÉ EN NORTE DE SANTANDER: ESTRATEGIAS TECNOLÓGICAS Y MARCO REGULATORIO

Luis Alberto Muñoz¹, Luis Enrique Mendoza¹, Ivaldo Torres Chávez²

¹Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIBUP), Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Colombia. ²Grupo de Investigación LOGOS, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Colombia.



XVII Congreso Internacional de tecnologías de avanzada

RESUMEN

La calidad y rendimiento del café colombiano dependen de la polinización por abejas, un servicio vital amenazado por la disminución de la salud de las colmenas. Para fortalecer esta sinergia en los cafetales de Pamplona, este proyecto implementa una plataforma tecnológica que utiliza sensores IoT no invasivos para el monitoreo en tiempo real de las colmenas. Los datos recolectados son procesados por modelos de Inteligencia Artificial (IA) que generan alertas tempranas sobre la salud de las abejas y predicen su potencial de polinización. El fin último es crear un modelo de manejo sostenible que eleve la productividad del café, asegure el cumplimiento de la normativa de protección de abejas [1] y aumente la rentabilidad para los productores de la región.

PALABRAS CLAVE: Polinización, Café, *Apis mellifera*, IoT, Inteligencia Artificial, Sostenibilidad, Norte de Santander.

INTRODUCCIÓN

La calidad y el rendimiento del café en Norte de Santander dependen críticamente de la polinización por abejas, un servicio que puede incrementar la productividad de los cultivos [2]. Sin embargo, la salud de las abejas está amenazada por múltiples factores [3], lo que pone en riesgo este beneficio. En este contexto, y bajo el marco de la Ley 2193 que protege a los polinizadores en Colombia [1], este proyecto desarrolla una plataforma tecnológica (IoT-IA). El objetivo es monitorear la salud de las colmenas de forma no invasiva para optimizar la polinización, aumentar la sostenibilidad del cultivo y asegurar el cumplimiento normativo.

MARCO TEÓRICO

El evaluación se sustenta en:

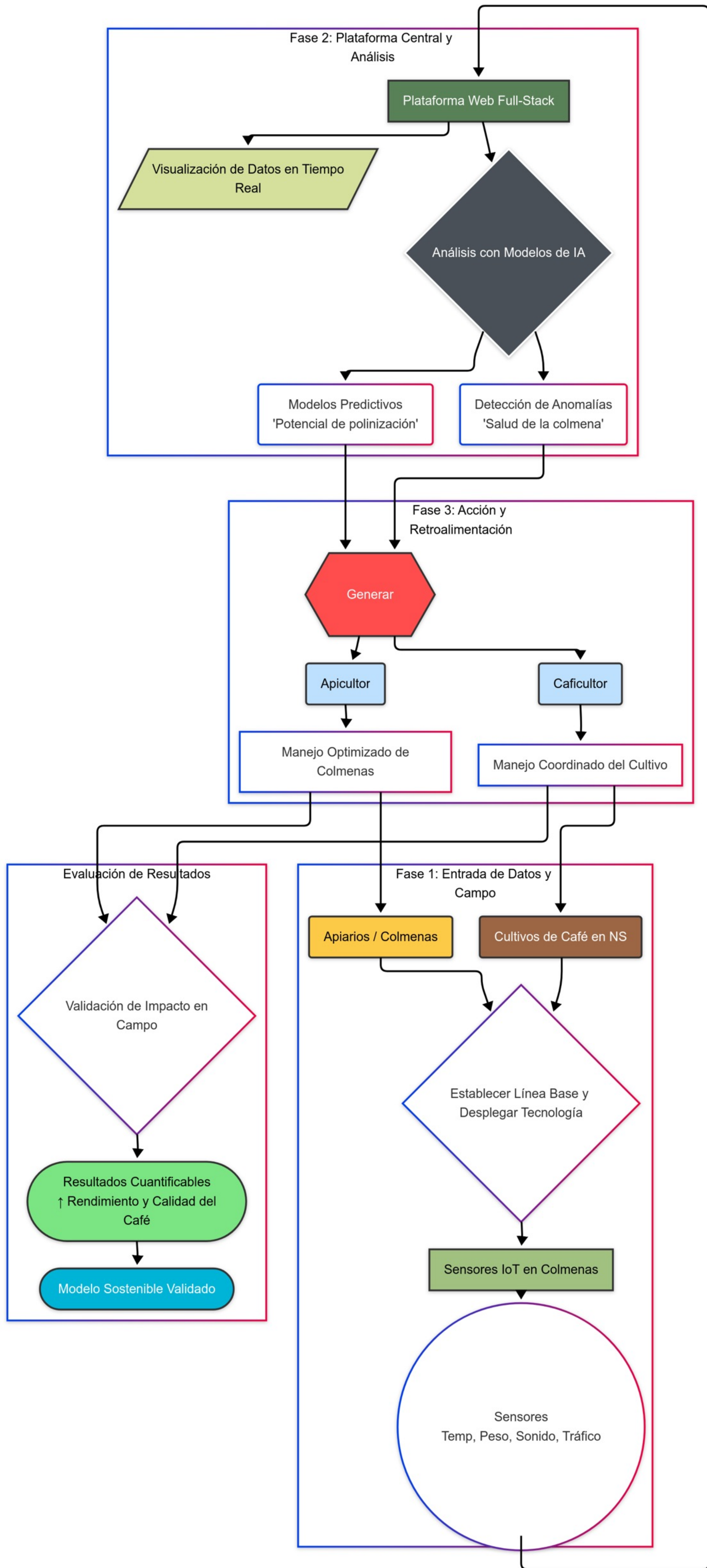
- **Salud de la Colmena y Polinización del Café:** El rendimiento y la calidad del grano de café mejoran con la polinización por abejas [2]. Por tanto, la salud y fortaleza de una colmena (población, nutrición, ausencia de estrés) es un factor productivo directo en la caficultura.
- **Normativa Nacional y Prácticas Agrícolas:** La Ley 2193 [1] y las Buenas Prácticas Apícolas (BPAP) del ICA [4] conforman el marco legal que exige la protección de las abejas y regula la coexistencia de la apicultura y la agricultura.
- **Apicultura de Precisión:** Es la aplicación de tecnologías como IoT e IA para el monitoreo en tiempo real de colmenas. Esto permite una gestión basada en datos que mejora la salud de las abejas y reduce la necesidad de inspecciones invasivas [5].

METODOLOGÍA

- **Implementación y Línea Base:** Se seleccionarán fincas de café y apiarios en Pamplona para establecer una línea base de rendimiento y salud. Simultáneamente, se desplegarán unidades de monitoreo IoT no invasivas en las colmenas, equipadas con sensores de peso, temperatura/humedad, sonido y tráfico de abejas, utilizando comunicación LoRaWAN.
- **Desarrollo de Plataforma e IA:** Se creará una plataforma web full-stack para visualizar los datos de los sensores en tiempo real. Esta información alimentará modelos de Inteligencia Artificial diseñados para detectar anomalías de salud en las colmenas (enfermedad, estrés) y predecir su potencial de polinización.
- **Validación del Impacto:** Se evaluará el sistema comparando el rendimiento y la calidad del café entre las parcelas monitoreadas y un grupo de control. Además, se validará la precisión y utilidad de las alertas generadas por la IA con los apicultores y caficultores participantes.

ASPECTOS MATEMÁTICOS

- **Análisis Estadístico:** Se utilizarán pruebas de hipótesis (ej. *T-student*, ANOVA) para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento (*kg/ha*) y la calidad del grano (tamaño, peso) entre los grupos de tratamiento y control.
- **Modelos de Clasificación (IA):** Se entrenarán clasificadores (SVM, CNN) para asignar un estado a la colmena.
- **Modelos de Regresión (IA):** Se usarán modelos de series temporales (LSTM) para predecir el peso futuro de la colmena $W(t+1)$ basándose en datos históricos y exógenos (clima).



RESULTADOS (Esperados)

- Un prototipo funcional y de bajo costo de monitoreo IoT para colmenas, adaptado a las condiciones de la caficultura de montaña en Norte de Santander.
- Una plataforma web que centralice la información y provea alertas tempranas a apicultores y caficultores, facilitando un manejo coordinado y en cumplimiento con las BPAP [4].
- Modelos de IA con una precisión superior al 90% en la detección de eventos clave en la colmena.
- Un incremento medible (esperado >10%) en los indicadores de rendimiento y calidad del café en las parcelas bajo manejo tecnológico, como resultado de una polinización más eficiente.
- La consolidación de un modelo de negocio de "polinización dirigida" como un servicio de valor agregado para los apicultores de la región.

CONCLUSIONES

La implementación de tecnologías de apicultura de precisión representa una oportunidad estratégica para la caficultura colombiana [5]. Al enfocarse en la salud de la colmena como pilar de la polinización, este enfoque no solo busca aumentar la productividad del café, sino también proteger a un polinizador esencial, promoviendo la biodiversidad y la sostenibilidad del agroecosistema cafetero. Este proyecto sentará las bases para un modelo replicable en otras zonas productoras del país, demostrando que la tecnología, la agricultura y la conservación ambiental pueden y deben avanzar de la mano. La principal limitación a superar es la necesidad de generar más datos que correlacionen cuantitativamente los indicadores internos de la colmena con la eficiencia polinizadora en campo.

REFERENCIAS

- [1] Congreso de la República de Colombia, *Ley 2193 de 2022*. Ene. 6, 2022.
- [2] A. Chain-Guadarrama *et al.*, "Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate," en *Climate Change and Coffee*, Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing, 2019.
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Iniciativa Colombiana de Polinizadores: Ejes temáticos y líneas de acción*. Bogotá, Colombia: MinAmbiente, 2018.
- [4] Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, *Resolución 00008390 de 2023*. Jul. 12, 2023.
- [5] A. Zacepins, A. Meitalovs, y E. Stalidzans, "Application of Information Technologies in Precision Apiculture," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 6, p. 2949, Mar. 2022.