

Una revisión de literatura del uso de lógica difusa con raspberry pi y python

Victor Manuel Torres Gaytán¹, Martín Montes Rivera¹, Alberto Ochoa-Zezzatti², Julio César Ponce Gallegos³ y Victor Arturo Maldonado Ruelas¹

¹Maestría en Ciencias de Ingeniería, Universidad Politécnica de Aguascalientes, Aguascalientes, México, ORCID: VMTG [0009-0000-0599-1550], MMR [0000-0003-3897-6212], VAMR [0000-0003-2125-1557]

² Maestría en Ciencias de Ingeniería, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, México ORCID: AOZ [0000-0002-9183-6086]

³ Maestría en Ciencias de Ingeniería, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México ORCID: JCPG [0000-0002-1062-5288]

Resumen

El control de sistemas no lineales con incertidumbre paramétrica es un desafío central en ingeniería aplicada. Frente a los controladores clásicos, que exigen modelos matemáticos exactos de la dinámica de planta, los controladores de inferencia difusa ofrecen una alternativa robusta basada en computación blanda. Este artículo presenta una revisión de literatura sobre el uso esta alternativa, con énfasis en la transición desde su diseño y simulación hasta la implementación en plataformas embebidas de bajo costo. El análisis examina el papel de Python y, particularmente, de Raspberry Pi como herramientas para integrar inferencia, adquisición de datos, comunicación y control físico. Se analizaron 33 estudios candidatos y se aplicó una metodología uniforme de evaluación basada en siete criterios de pertinencia, obteniéndose un corpus final de 27 trabajos científicos. Los resultados muestran tres tendencias principales: el uso continuo de arquitecturas Mamdani y Takagi-Sugeno, la creciente hibridación con controladores clásicos, sistemas neuro-difusos y algoritmos de optimización, y el avance hacia implementaciones embebidas y validaciones experimentales. No se identificó una arquitectura universalmente superior; su conveniencia depende del equilibrio entre interpretabilidad, precisión, adaptabilidad y costo computacional. La principal brecha observada se encuentra entre los resultados obtenidos en simulación y su validación reproducible bajo restricciones reales de hardware, tiempo de muestreo y capacidad de procesamiento. Raspberry Pi se posiciona como una plataforma útil para investigación, prototipado y validación de bajo costo, mientras que Python facilita flujos de trabajo abiertos e integrados. En este contexto, UPAFuzzySystems se analiza como una alternativa dentro del ecosistema de herramientas open-source.

Palabras clave— Controlador inteligente, Lógica difusa, Open-source, Raspberry Pi, Sistemas embebidos

A literature review on the use of fuzzy logic with raspberry pi and python

Abstract

The control of nonlinear systems with parametric uncertainty represents a major challenge in applied engineering. Unlike classical controllers, which require accurate mathematical models of plant dynamics, fuzzy inference controllers offer a robust alternative based on soft computing. This article presents a literature review on the use of this alternative, emphasizing the transition from design and simulation to implementation on low-cost embedded platforms. The analysis examines the role of Python and, particularly, Raspberry Pi as tools for integrating inference, data acquisition, communication, and physical control. A total of 33 candidate studies were analyzed using a uniform evaluation methodology based on seven relevance criteria, resulting in a final corpus of 27 scientific papers. The results reveal three main trends: the continued use of Mamdani and Takagi-Sugeno architectures; the increasing hybridization with classical controllers, neuro-fuzzy systems, and optimization algorithms; and the progression toward embedded implementations and experimental validation. No universally superior architecture was identified; its suitability depends on the balance among interpretability, accuracy, adaptability, and computational cost. The main gap identified lies between the results obtained through simulation and their reproducible validation under actual constraints related to hardware, sampling time, and processing capacity. Raspberry Pi is positioned as a useful platform for low-cost research, prototyping, and validation, while Python facilitates open and integrated workflows. In this context, UPAFuzzySystems is analyzed as an alternative within the open-source tools ecosystem.

Keywords— Embedded systems, Fuzzy logic, Intelligent controller, Open source, Raspberry Pi.

I. INTRODUCCION

El control de sistemas no lineales e inciertos continúa siendo un problema relevante en automatización, robótica, energía y procesos industriales. En numerosos casos, el diseño de

controladores convencionales requiere disponer de un modelo matemático con precisión suficiente para representar la dinámica de la planta y sus perturbaciones. Cuando dicho modelo es difícil de obtener o cambia con las condiciones de operación, los sistemas de inferencia difusa (*Fuzzy Inference Systems*, FIS) constituyen una alternativa de computación

Recibido: 31 de marzo de 2026

Aceptado: 28 de julio de 2026

Publicado: 1 de agosto de 2026

blanda capaz de representar conocimiento experto mediante variables lingüísticas y reglas del tipo IF-THEN [1], [2]. Esta característica ha favorecido el uso de controladores difusos en aplicaciones donde existen no linealidades, incertidumbre o información imprecisa.

La evolución de los FIS ha dado lugar a distintas arquitecturas y estrategias de diseño. Los sistemas Mamdani y Takagi-Sugeno continúan siendo dos de las configuraciones más utilizadas, mientras que los controladores Fuzzy-PID, los sistemas neuro-difusos y los esquemas optimizados mediante algoritmos metaheurísticos amplían la capacidad de adaptación de los controladores. Las revisiones recientes muestran que la investigación actual no se limita al diseño de reglas y funciones de membresía, sino que también considera la reducción de complejidad, optimización de parámetros, aprendizaje, robustez e implementación experimental [3], [4].

Esta transición entre simulación e implementación constituye uno de los problemas centrales del área. Una parte importante de los trabajos continúa validando los controladores en entornos de simulación, mientras que un número menor incorpora restricciones de hardware, tiempo de muestreo, interfaces de entrada/salida y capacidad de procesamiento. El mapeo sistemático de Fernández Mareco y Pinto-Roa identifica precisamente la limitada validación experimental y las restricciones computacionales como brechas recurrentes en el control inteligente [4]. Por ello, además de evaluar el desempeño del FIS, resulta necesario analizar las herramientas y plataformas utilizadas para llevarlo desde el modelo computacional hasta la ejecución física.

Dentro de este contexto, Raspberry Pi representa una alternativa de bajo costo para investigación y prototipado. Su capacidad para ejecutar un sistema operativo completo, interactuar con sensores y actuadores a través de GPIO y comunicarse mediante distintas interfaces ha permitido su uso en automatización, energía, agricultura, robótica e Internet de las Cosas [5]. La literatura incluye implementaciones de controladores neuro-difusos mediante Processor-In-the-Loop [1], sistemas ANFIS ejecutados con Python en aplicaciones de bombeo fotovoltaico [6] y controladores difusos optimizados mediante algoritmos genéticos implementados directamente en Raspberry Pi [7]. Estos ejemplos muestran el potencial de la plataforma, aunque también evidencian que su uso debe analizarse en función de los requerimientos temporales, computacionales y de confiabilidad de cada aplicación.

Python introduce una segunda dimensión relevante. Su ecosistema abierto permite integrar cálculo numérico, adquisición de datos, visión computacional, comunicaciones y control dentro de un mismo entorno. En robótica, por ejemplo, se han combinado controladores difusos desarrollados en Python con ROS y Fuzzylab para navegación autónoma [8]. También existen bibliotecas orientadas al diseño de FIS; entre ellas, UPAFuzzySystems integra estructuras Mamdani, Takagi-Sugeno y controladores difusos con simulación mediante funciones de transferencia y modelos en espacio de estados [2].

El presente artículo adopta un eje transversal centrado en el proceso de diseño, optimización, validación e implementación de sistemas de inferencia difusa para control. Los dominios específicos se utilizan como casos de evidencia para comparar arquitecturas, estrategias de optimización, plataformas y herramientas de desarrollo. En consecuencia, el análisis se orienta a determinar el estado actual del uso de los sistemas de inferencia difusa en aplicaciones de control y a establecer el papel que desempeñan Python y las plataformas embebidas de bajo costo, particularmente Raspberry Pi, en su diseño, simulación e implementación.

El objetivo de este trabajo es analizar el estado actual de los sistemas de inferencia difusa aplicados al control, identificando: i) las arquitecturas y estrategias híbridas más utilizadas; ii) las tendencias de optimización y reducción de complejidad; iii) el nivel de validación embebida y experimental; y iv) el papel de Raspberry Pi, Python y las herramientas abiertas en la transición desde la simulación hasta la implementación física. Para ello, se consolidó un conjunto de 33 estudios candidatos indicados en [1 - 33] encontrados en una primera exploración con filtros específicos para favorecer el enriquecimiento de la investigación, además se aplicó una metodología uniforme de evaluación, obteniéndose un corpus final de 27 trabajos científicos [1 - 27] y 6 trabajos excluidos [29 - 33] derivado al método de selección empleado en este trabajo y explicado en la sección de metodología. La conformación de este corpus permite comparar tendencias de forma sistemática y explicar explícitamente las razones de inclusión y exclusión.

El análisis conecta trabajos que tradicionalmente se presentan por separado y examina la secuencia diseño del FIS, optimización, simulación, implementación embebida y validación experimental. A partir de esta síntesis se identifican las oportunidades y limitaciones de los entornos abiertos de desarrollo y se delimita el papel de bibliotecas como Fuzzylab y UPAFuzzySystems dentro de un ecosistema más amplio de herramientas para control difuso.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. La Sección II presenta el estado del arte y sintetiza los estudios por arquitecturas, estrategias híbridas, optimización, implementación embebida y herramientas abiertas. La Sección III describe la consolidación de los estudios, los criterios de selección y la matriz de pertinencia aplicada. Finalmente, se presentan las principales conclusiones, las brechas identificadas y las oportunidades de trabajo futuro.

II. ESTADO DEL ARTE

El corpus seleccionado muestra que el desarrollo reciente de la lógica difusa aplicada al control converge en tres líneas principales: el diseño y comparación de arquitecturas de inferencia, la hibridación y optimización de los controladores, y su implementación en plataformas embebidas. En esta revisión, los distintos dominios de aplicación: motores, sistemas fotovoltaicos, robótica, procesos industriales, edificios inteligentes y sistemas asistivos, no se consideran líneas

temáticas independientes, sino escenarios que permiten comparar cómo se diseñan, validan e implementan los sistemas de inferencia difusa (FIS).

Las revisiones recientes confirman este enfoque transversal. Tang y Ahmad identifican el uso de la lógica difusa en sistemas energéticos, acondicionamiento ambiental y robótica, destacando la tendencia hacia arquitecturas adaptativas, controladores híbridos y técnicas de optimización [3]. De forma complementaria, Fernández Mareco y Pinto-Roa, en un mapeo sistemático de 188 estudios sobre control inteligente, clasifican las contribuciones dominantes en estrategias de control, optimización de parámetros y mecanismos de adaptabilidad. En dicho estudio, los controladores basados en lógica difusa representan una de las familias más recurrentes, al mismo tiempo que se señalan como brechas persistentes la dependencia excesiva de simulaciones, la limitada validación experimental, las restricciones computacionales y la falta de criterios de evaluación homogéneos [4].

A. Arquitecturas de Inferencia y Aplicaciones de Control.

La literatura seleccionada confirma que Mamdani y Takagi-Sugeno continúan siendo las arquitecturas de inferencia más utilizadas en aplicaciones de control y modelado. Mamdani conserva como ventaja la interpretabilidad lingüística de sus consecuentes difusos, mientras que Takagi-Sugeno sustituye dichos consecuentes por valores constantes o funciones, lo que puede simplificar el cálculo de la salida y favorecer aplicaciones con mayores exigencias computacionales.

Pop, Pescaru y Micea compararon ambas arquitecturas en la calibración de modelos continuos de seguimiento vehicular. Aunque los dos FIS lograron calibrar el modelo, Takagi-Sugeno presentó una respuesta más estable y menores errores. Para la distancia recorrida del vehículo seguidor, el MAE disminuyó de 9.3816 con Mamdani a 2.5408 con Takagi-Sugeno, y el RMSE de 11.6682 a 3.1904 [9]. La diferencia se atribuyó principalmente a la definición de los consecuentes y al empleo del promedio ponderado en Takagi-Sugeno.

La misma comparación ha sido estudiada en otros dominios. Bellini et al. desarrollaron modelos cohesivos Mamdani y Sugeno para evaluar la calidad del agua. Ambos métodos condujeron a la misma categoría final de calidad, pero mostraron compromisos diferentes entre interpretabilidad y eficiencia de cálculo; el modelo Sugeno se destacó por su eficiencia computacional y su facilidad de integración con técnicas de optimización y adaptación [10]. En sistemas fotovoltaicos, Samavat et al. implementaron cuatro configuraciones Mamdani/Sugeno para seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), considerando diferentes cantidades de funciones de membresía y ajuste mediante algoritmo genético [11]. En conjunto, estos trabajos muestran que la elección de la arquitectura no debe realizarse de forma aislada, sino considerando la precisión requerida, el número de funciones de membresía, el método de defuzzificación y el costo computacional de la aplicación.

La comparación entre sistemas difusos tipo 1 y tipo 2 aporta una dimensión adicional. Cervantes, Caraveo y Castillo evaluaron ambas arquitecturas en el control de una bomba de insulina mediante múltiples configuraciones y análisis estadístico [12]. Los sistemas tipo 2 pueden representar incertidumbre adicional en las funciones de membresía, pero esta capacidad también incrementa la carga de cálculo. Por ello, los sistemas tipo 1 continúan siendo especialmente relevantes cuando la implementación debe realizarse en plataformas de recursos limitados.

Las aplicaciones industriales recientes muestran que los controladores difusos conservan utilidad en procesos no lineales y sometidos a perturbaciones. Ghiormez, Panoiu y Panoiu diseñaron un FLC para regular la potencia activa de un horno de arco eléctrico mediante el error y el cambio del error. Las simulaciones consideraron cambios de referencia, perturbaciones y variaciones de operación del transformador, y mostraron alta precisión en estado estacionario, sobre-oscilación reducida y compensación robusta de perturbaciones [13].

B. Hibridación, optimización y reducción de complejidad

Una segunda tendencia dominante consiste en reducir el costo de cálculo del controlador o mejorar automáticamente sus parámetros. Esta dirección es especialmente importante cuando el objetivo final es una implementación embebida, ya que el número de reglas, las funciones de membresía y la estructura del controlador determinan la cantidad de operaciones que deben ejecutarse en cada periodo de muestreo.

Tarbosh et al. estudiaron sistemáticamente la simplificación de bases de reglas para el control de velocidad de motores de inducción. Su procedimiento redujo configuraciones de 49, 25 y 9 reglas a 9, 7 y 5 reglas, respectivamente, manteniendo respuestas cercanas a las obtenidas con las bases completas [14]. Este resultado evidencia que una base de reglas más extensa no garantiza una mejora proporcional del desempeño y que la selección estructurada de reglas puede disminuir los requerimientos de procesamiento sin degradar sustancialmente la respuesta.

Otra línea ampliamente estudiada es la combinación entre lógica difusa y control PID. Messaadi y Amroun emplearon un FIS para ajustar automáticamente K_p , K_i y K_d en el control de velocidad de un motor DC. En simulación, el Fuzzy-PID obtuvo error estacionario nulo y un tiempo de asentamiento de 0.274 s, frente a 1.19 s del PID convencional; posteriormente, una prueba implementada en Arduino llevó el motor a la referencia en aproximadamente 120 ms [15]. En motores BLDC, Maghfiroh et al. también analizaron una estructura Fuzzy-PID de 25 reglas y reportaron mejoras frente a esquemas convencionales de control [16]. Estos trabajos muestran que la lógica difusa puede actuar no solo como controlador directo, sino también como mecanismo de ajuste en línea de estructuras clásicas.

La optimización metaheurística extiende esta idea al ajuste automático de funciones de membresía, factores de escala y parámetros del controlador. Pereira et al. estudiaron la robustez

de un controlador Fuzzy-FOPID para un convertidor DC-DC, cuyos parámetros fueron optimizados mediante algoritmo genético [17]. Caraveo et al. utilizaron el algoritmo de optimización Grasshopper para diseñar un FLC aplicado a un motor DC [18]. Por su parte, Nasser et al. llevaron la optimización hasta la implementación embebida, combinando algoritmo genético, un FLC tipo 1, Python y una Raspberry Pi 3 [7]. En conjunto, estos estudios reflejan una tendencia desde el ajuste manual basado exclusivamente en experiencia hacia procedimientos de optimización que buscan equilibrar desempeño, robustez y costo computacional.

Las arquitecturas neuro-difusas representan otra forma de adaptación. Khati et al. implementaron un ANFIS para el control de un péndulo invertido en una Raspberry Pi 3 mediante Processor-In-the-Loop (PIL). El controlador se ejecutó en la tarjeta con aritmética de doble precisión y una frecuencia de muestreo de 10 kHz, mientras el resto del lazo se mantuvo en MATLAB/Simulink [1]. Bellahirich, Mezghani y Mami aplicaron un ANFIS a un sistema de bombeo fotovoltaico para riego por goteo e implementaron el controlador en Raspberry Pi mediante Python; el sistema alcanzó un caudal cercano a 34 L/min y los autores reportaron una eficiencia aproximada del 95% [6].

C. Implementación embebida y plataformas de bajo costo

La implementación en hardware introduce restricciones que no siempre son visibles durante la simulación. Tiempo de muestreo, precisión numérica, memoria, interfaces de entrada/salida y latencia condicionan la viabilidad del controlador. El trabajo de Nada y Bayoumi ilustra este problema mediante la implementación de controladores FLC, PD-like y PID-like en una arquitectura FPGA reconfigurable. Su propuesta empleó un NI-sbRIO y LabVIEW FPGA para explotar procesamiento paralelo y validó experimentalmente los controladores en una plataforma mecatrónica [19]. Aunque este tipo de hardware ofrece alta determinación temporal, su costo y complejidad de desarrollo motivan el uso de alternativas más accesibles cuando los requerimientos de la aplicación lo permiten.

En este contexto, Raspberry Pi se ha consolidado como una plataforma de prototipado capaz de integrar sensores, actuadores, interfaces de comunicación y lenguajes de alto nivel. La revisión de Mathe et al. documenta su uso en automatización industrial, energía, agricultura, robótica, salud e Internet de las Cosas [5]. No obstante, los autores también señalan limitaciones para aplicaciones de grado industrial, entre ellas confiabilidad, durabilidad, potencia de procesamiento, disponibilidad de interfaces específicas y compatibilidad con estándares. Por tanto, Raspberry Pi no debe presentarse como sustituto universal de hardware industrial, sino como una plataforma de bajo costo especialmente valiosa para investigación, prototipado y validación experimental.

Los trabajos seleccionados muestran una evolución desde aplicaciones tempranas hasta sistemas de control más

complejos. Molina Solana et al. implementaron un controlador difuso unificado para calidad ambiental interior en Raspberry Pi, demostrando la viabilidad del control embebido en edificios inteligentes [20]. Mostafa et al. desarrollaron e implementaron en hardware un controlador Fuzzy-PI para un inversor trifásico conectado a red, combinando Raspberry Pi, Arduino y comunicación entre dispositivos [21]. Xu et al. integraron optimización, control difuso y microservicios en una plataforma de cómputo en el borde ejecutada en Raspberry Pi 3 para regular automáticamente el ambiente de una casa inteligente [22].

Las aplicaciones robóticas ofrecen evidencia particularmente clara de la integración entre inferencia, sensores y actuación. Helshani, Qarkaxhija y Prevalla desarrollaron un robot autónomo con Raspberry Pi 4, GPS, cámara y sensores de proximidad. El algoritmo, programado en Python 3 con OpenCV y RPi.GPIO, empleó lógica difusa para navegación y evasión de obstáculos en un prototipo probado en un entorno dinámico [23]. González-Cely et al. implementaron controladores difusos en Python para un prototipo de silla de ruedas gobernado mediante movimientos de la cabeza y lo evaluaron experimentalmente con 10 participantes [24]. Ambos casos evidencian que el valor de las plataformas abiertas radica en integrar en un mismo flujo la adquisición sensorial, la inferencia y el control físico.

Como contexto complementario, la revisión de Kitcharoen et al. muestra que Arduino continúa siendo una plataforma relevante para la enseñanza y el desarrollo de aplicaciones de inteligencia artificial y automatización, incluyendo técnicas como ANFIS y métodos de optimización [25]. Sin embargo, la mayor capacidad de procesamiento y la posibilidad de ejecutar un sistema operativo completo favorecen a Raspberry Pi cuando se requieren bibliotecas de alto nivel, visión computacional, comunicación en red o ejecución concurrente de varios procesos.

D. Python y herramientas abiertas para sistemas difusos

La relación entre Python y lógica difusa aparece tanto en aplicaciones de control como en sistemas de inferencia no orientados directamente a un lazo cerrado. Estos últimos son útiles para demostrar la capacidad de ejecutar FIS completos en hardware económico. Monroy-Sahade et al. implementaron en Python un sistema de descripción difusa de color sobre Raspberry Pi 3 [26]; posteriormente, Villaseñor-Aguilar et al. combinaron Raspberry Pi, Python, OpenCV y clasificación difusa/ANFIS para automatización agrícola [27]. Aunque estos trabajos no constituyen aplicaciones de control, aportan evidencia sobre la madurez del entorno Python-Raspberry Pi para adquisición, procesamiento e inferencia.

En control robótico, Avelar, Castillo y Soria desarrollaron un controlador difuso tipo Sugeno mediante la biblioteca Fuzzylab en Python y lo integraron con ROS para navegación autónoma de un TurtleBot3. El sistema fue evaluado tanto en simulación como en un robot real [8]. Este trabajo es especialmente relevante porque muestra la posibilidad de incorporar un FIS desarrollado en Python dentro de un ecosistema abierto de

robótica. A diferencia de una arquitectura neuro-difusa, su contribución principal es la integración de un controlador Sugeno, Fuzzylab y ROS en un flujo reproducible de navegación.

La presencia de Python como lenguaje de propósito general se utiliza en esta revisión únicamente como contexto para comprender el interés en herramientas abiertas. La Fig. 1 muestra la comparación reportada por el índice TIOBE. Esta fuente no forma parte del corpus científico seleccionado y se emplea solamente para contextualizar la adopción del lenguaje [28].

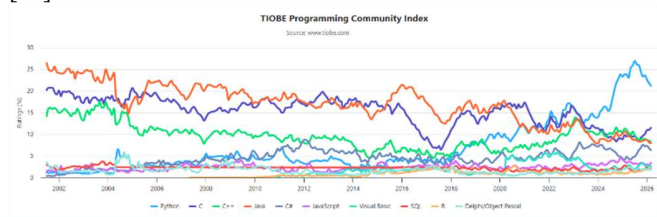


Fig. 1. Comparación del uso de Python de acuerdo con el índice TIOBE (www.TIOBE.com; consultado el 10 de Julio de 2026).

Dentro del ecosistema Python existen bibliotecas para diseñar FIS y, en algunos casos, controladores difusos. Rivera et al. propusieron UPAFuzzySystems como una biblioteca abierta que integra en un mismo entorno el diseño de universos difusos, sistemas Mamdani, Takagi-Sugeno y lineales, estructuras P, PD y PD-I, así como la simulación de controladores con funciones de transferencia y modelos en espacio de estados [2]. La Tabla I resume la comparación funcional reportada por los autores.

TABLA I.

COMPARACIÓN DE BIBLIOTECAS DE PYTHON PARA SISTEMAS DE INFERENCIA DIFUSA, ADAPTADA DE [2]

Librería	Diseño de sistemas FIS	Control difuso	PID difuso	Simulación con función de transferencia
UPAFuzzy Systems	Sí	Sí	Sí	Sí
Fuzzy-logic-toolbox	Sí	No	No	No
Scikit-fuzzy	Sí	Sí (Mamdani)	No	No
Fuzzylab	Sí	No	No	No
Fuzzython	Sí	No	No	No
Type2Fuzzy	Sí (tipo 2)	No	No	No
Fuzzy-machines	Sí	No	No	No
Pyfuzzylite	Sí	Sí	No	No
Simplful	Sí	No	No	No
PyFume	Sí	No	No	No

En la validación reportada para UPAFuzzySystems, las distintas estructuras controlaron la posición de un motor DC y mantuvieron el error estacionario por debajo del 1% sin

perturbaciones y por debajo del 4% ante una perturbación aleatoria uniforme del 10%. El análisis comparativo identificó al controlador PD-I difuso como la estructura con mejor combinación de error y características transitorias [2]. En la presente revisión, este trabajo se considera una contribución relevante dentro del ecosistema de herramientas abiertas, pero no constituye por sí solo el eje del corpus.

Las Fig. 2 y 3 muestran, como ejemplo ilustrativo, las funciones de membresía de un controlador Mamdani implementado con UPAFuzzySystems. La Fig. 4 presenta la respuesta de un sistema de primer orden en lazo cerrado. Estas figuras se conservan para ejemplificar el flujo de diseño y simulación en Python, no como evidencia única del estado del arte.

E. Síntesis de tendencias y brecha identificada

El análisis conjunto de los estudios seleccionados permite identificar una secuencia de madurez tecnológica. En un primer nivel se encuentran el diseño y la simulación del FIS; en el segundo, la optimización de reglas, funciones de membresía o parámetros; y en el tercero, la implementación en hardware mediante plataformas como FPGA, Arduino o Raspberry Pi. Los trabajos más cercanos al eje central de la revisión son aquellos que conectan estos niveles y evitan tratar la simulación y la implementación como etapas separadas.

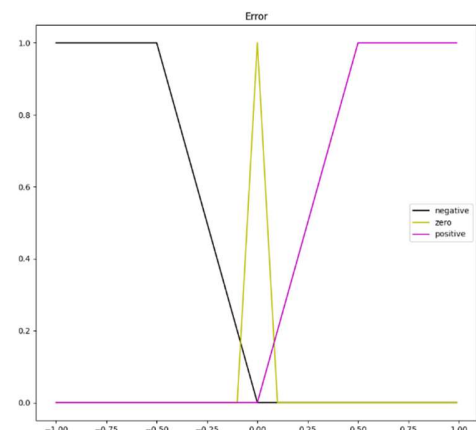


Fig. 2. Funciones de membresía para la variable de entrada error.

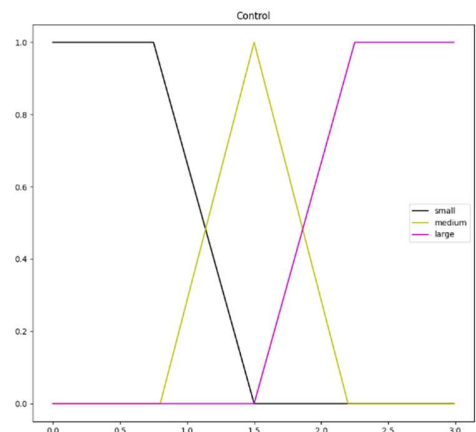


Fig. 3. Funciones de membresía para la variable de salida control.

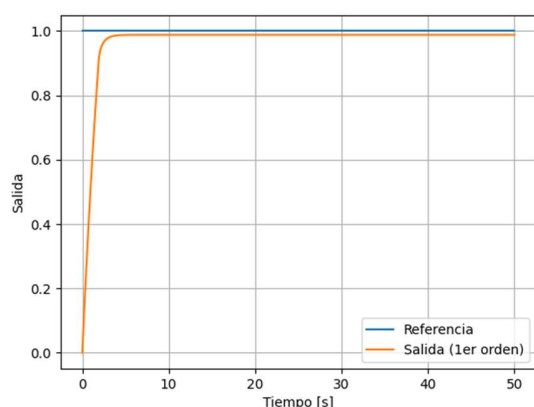


Fig. 4. Respuesta del sistema de primer orden $G(s) = 2/(4s + 1)$ en lazo cerrado con un controlador Mamdani

La literatura también muestra que no existe una única arquitectura superior para todas las aplicaciones. Mamdani favorece la interpretabilidad, Takagi-Sugeno puede ofrecer ventajas de eficiencia y estabilidad numérica, los sistemas tipo 2 amplían la representación de incertidumbre a costa de mayor complejidad y ANFIS incorpora capacidad de aprendizaje. De forma similar, las técnicas de optimización metaheurística pueden mejorar el ajuste del controlador, pero añaden una etapa de diseño y validación que debe justificarse frente al beneficio obtenido.

La principal brecha identificada se encuentra en la transición entre los resultados obtenidos en simulación y la validación reproducible en hardware de bajo costo. Aunque el corpus contiene implementaciones experimentales relevantes, una parte importante de la literatura continúa concentrada en MATLAB/Simulink o en pruebas de simulación. Al mismo tiempo, las aplicaciones desarrolladas con Raspberry Pi y Python demuestran que es posible integrar adquisición, inferencia, control y registro de datos en una misma plataforma, pero persisten desafíos de tiempo real, confiabilidad, interfaces físicas y estandarización.

Por ello, el papel de Python y Raspberry Pi dentro del estado actual no debe interpretarse como una sustitución universal de herramientas propietarias o hardware industrial, sino como una ruta de bajo costo y alta reproducibilidad para acercar el diseño de sistemas difusos a su implementación experimental. En este marco, bibliotecas como Fuzzylab y UPAFuzzySystems, junto con herramientas de propósito general como NumPy, OpenCV y las interfaces GPIO, representan componentes de un ecosistema abierto que puede reducir la distancia entre la formulación del controlador y su ejecución física. La oportunidad de investigación se concentra, por tanto, en desarrollar flujos de trabajo que integren diseño, simulación, validación y despliegue, y que reporten de forma consistente tanto el desempeño del control como los requerimientos computacionales de la plataforma.

III. METODOLOGÍA

La presente revisión se desarrolló mediante un procedimiento estructurado de búsqueda, consolidación, evaluación y síntesis de literatura. El propósito metodológico fue evitar una selección basada únicamente en el dominio de aplicación y mantener como eje común la relación entre sistemas de inferencia difusa, aplicaciones de control, herramientas de programación abiertas y plataformas embebidas de bajo costo.

El análisis se orientó a establecer el estado actual del uso de sistemas de inferencia difusa en aplicaciones de control y a examinar el papel de Python y de las plataformas embebidas de bajo costo, particularmente Raspberry Pi, en su diseño, simulación e implementación. Esta orientación permitió analizar trabajos de motores, robótica, energía, procesos industriales y otras áreas como evidencia de distintos enfoques de diseño e implementación, en lugar de considerarlos como líneas temáticas independientes.

A. Consolidación del conjunto de estudios

La búsqueda documental se realizó mediante motores de búsqueda académicos, bibliotecas digitales y herramientas de exploración de literatura científica. Se consultaron Google Scholar, Semantic Scholar, Directory of Open Access Journals (DOAJ), DBLP, ACM Digital Library y Connected Papers. De manera complementaria, se revisaron portales editoriales y repositorios especializados asociados con IEEE y MDPI. SCImago Journal & Country Rank se utilizó como apoyo para verificar información de las revistas, sin intervenir en la puntuación de pertinencia.

La localización de estudios se efectuó mediante combinaciones de términos relacionados con *fuzzy logic*, *fuzzy inference system*, *fuzzy control*, Raspberry Pi, Python, *embedded control*, Mamdani, Sugeno, ANFIS y Fuzzy-PID. Los documentos localizados se depuraron para eliminar duplicados y verificar que contaran con información suficiente sobre objetivo, metodología y resultados.

Con el propósito de ampliar y precisar la localización de publicaciones relevantes, se realizó una búsqueda más abierta mediante la combinación de los términos principales *fuzzy logic*, *fuzzy inference system*, *fuzzy control*, Raspberry Pi, Python y *embedded control*. Asimismo, se delimitó el periodo de publicación entre 2019 y 2026 y se consideraron únicamente artículos de revista. Como resultado, se identificaron 81 trabajos que se encuentran de [2],[6], [34-112], de los cuales 67 han sido citados por otras publicaciones académicas, acumulando un total de 3,041 citas. Además, cuatro de estos trabajos han sido citados por siete patentes, registrándose un total de siete citas provenientes de documentos de propiedad industrial. Estos indicadores muestran la vigencia académica del área y su potencial de aplicación en el desarrollo de soluciones tecnológicas.

TABLA II.

RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA ACADÉMICA REALIZADA ENTRE 2019 Y 2026

Indicador	Cantidad
Trabajos académicos localizados	81
Trabajos citados por patentes	4
Patentes que citan los trabajos localizados	7
Citas provenientes de patentes	7
Trabajos citados por publicaciones académicas	67
Citas académicas acumuladas	3,041

La Figura 5 presenta la distribución temporal y geográfica de los 81 artículos científicos que se encuentran de [2],[6], [34-112]. En cuanto a la evolución temporal, se observa un incremento en el número de publicaciones entre 2019 y 2022, año en el que se alcanzó la mayor producción, con 23 trabajos. Posteriormente, la cantidad de publicaciones disminuyó, aunque se registró un nuevo incremento durante 2025.

Por otra parte, la Figura 6 muestra la distribución geográfica de los artículos científicos publicados durante el periodo 2019–2026. China presenta la mayor cantidad de trabajos, con seis publicaciones, seguida de España con cinco, Italia con cuatro, y Australia y Estados Unidos con tres artículos cada uno. Canadá, Reino Unido, Corea del Sur y México registran dos publicaciones, mientras que Bangladesh, Bulgaria, Chile, Finlandia, Francia, Grecia, India, Irán, Malasia, Polonia, Portugal, Rusia, Arabia Saudita, Turquía y Taiwán cuentan con una publicación cada uno. El mapa permite visualizar la presencia internacional de estas investigaciones, mientras que la gráfica de barras facilita la comparación de la producción asociada con cada país.

Como resultado de este proceso se consolidaron 33 estudios candidatos. Todos fueron sometidos al mismo procedimiento de evaluación y a los mismos criterios de pertinencia. La fuente TIOBE se mantuvo fuera del corpus científico y se utilizó únicamente como referencia contextual para mostrar la posición de Python frente a otros lenguajes de programación. Para cada estudio se registró la información mostrada en la Tabla III. Los datos bibliométricos, como DOI, revista y año, se conservaron para fines de trazabilidad.

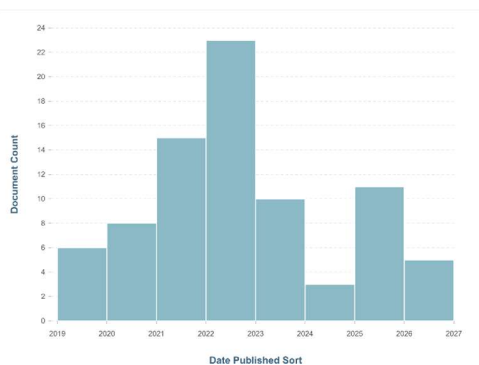


Fig. 5. Distribución anual de los artículos científicos localizados durante el periodo 2019–2026

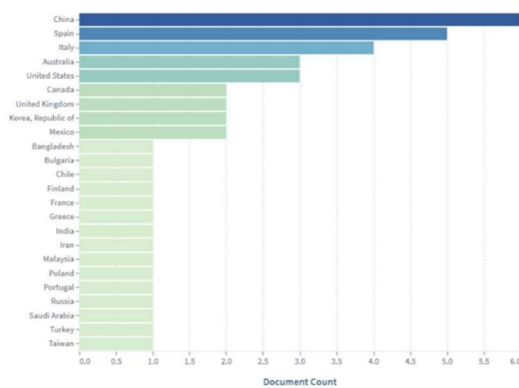
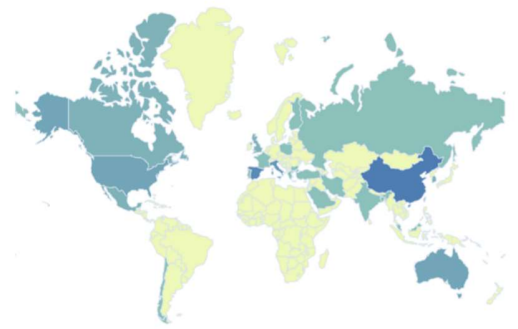


Fig. 6. Distribución geográfica y cantidad de artículos científicos publicados por país durante el periodo 2019–2026.

TABLA III.
INFORMACIÓN EXTRAÍDA DE CADA ESTUDIO CANDIDATO.

Campo	Información registrada
Datos bibliográficos	Autores, título, año, revista o conferencia y DOI
Propósito	Objetivo y problema abordado por el estudio
Enfoque difuso	Mamdani, Sugeno, ANFIS, Fuzzy-PID u otra arquitectura
Aplicación de control	Proceso, planta o sistema analizado
Implementación	Simulación, PIL/HIL, tiempo real o hardware físico
Plataforma	Raspberry Pi, Arduino, FPGA u otra plataforma
Software	Python, MATLAB/Simulink, LabVIEW u otras herramientas
Resultados	Principales hallazgos y contribución metodológica

B. Criterios de inclusión y exclusión

Se consideraron elegibles documentos que presentaran metodología y resultados completos y que contribuyeran de forma directa o complementaria a uno o más de los siguientes aspectos: sistemas de inferencia difusa, aplicaciones de control, implementación embebida o en tiempo real, Raspberry Pi, Python, herramientas *open-source* u optimización de controladores inteligentes.

Se excluyeron documentos con información metodológica insuficiente, así como trabajos cuya relación con el eje central de la revisión fuera insuficiente. La diversidad del dominio de

aplicación no constituyó por sí misma una causa de exclusión; el criterio determinante fue la contribución del estudio al análisis del diseño, simulación o implementación de sistemas difusos y de control.

C. Matriz de pertinencia

Los 33 estudios candidatos se evaluaron mediante siete criterios comunes. Cada criterio recibió una puntuación de 0, 1 o 2, donde 0 indica ausencia, 1 una relación parcial o contextual y 2 una relación directa. La Tabla IV resume la escala aplicada.

TABLA IV.
CRITERIOS DE PERTINENCIA APLICADOS DE FORMA UNIFORME A LOS 33 ESTUDIOS CANDIDATOS

Criterio	0 puntos	1 punto	2 puntos
C1. Lógica difusa / FIS	Ausente	Secundaria o contextual	Elemento central del estudio
C2. Aplicación a control	Sin aplicación de control	Relación indirecta, calibración o decisión	Control directo de un sistema o proceso
C3. Implementación embebida / tiempo real	No se presenta	Tiempo real simulado	Implementación en hardware físico o embebido
C4. Raspberry Pi	Ausente	Componente contextual o secundario	Plataforma central de implementación
C5. Python / <i>open-source</i>	Ausente	Uso parcial o contextual	Herramienta central de implementación
C6. Contribución metodológica	Limitada	Aplicación o comparación relevante	Revisión, metodología, librería u optimización significativa
C7. Alineación con el eje central de la revisión	Baja	Media o de soporte	Directa

Para el estudio i , la puntuación total se calculó como:

$$S_i = \sum_{j=1}^7 C_{ij}, \quad 0 \leq S_i \leq 14 \quad (1)$$

Un estudio fue incluido cuando cumplió simultáneamente las siguientes condiciones: una puntuación total $S_i \geq 6$, una alineación mínima $C_{i7} \geq 1$. Adicionalmente, se excluyeron formatos no elegibles, como editoriales. El empleo de una condición específica de alineación evitó incorporar trabajos con puntuaciones altas derivadas de coincidencias tecnológicas, pero sin una contribución real al eje central de la revisión.

El umbral de 6 puntos se estableció para conservar estudios de soporte que, aunque no combinaran simultáneamente Python y Raspberry Pi, aportaran evidencia metodológica sobre el diseño, comparación, optimización o implementación de controladores difusos. La condición adicional $C_{i7} \geq 1$ evitó

incluir trabajos con coincidencias tecnológicas, pero sin una contribución suficiente al eje central de la revisión.

Como resultado, 27 estudios fueron incluidos en el corpus final y 6 fueron excluidos debido a su baja alineación temática o puntuación insuficiente.

La Fig. 7 presenta la puntuación de los 33 candidatos. La representación actualizada permite distinguir los estudios incluidos de los excluidos y mostrar el umbral de selección.

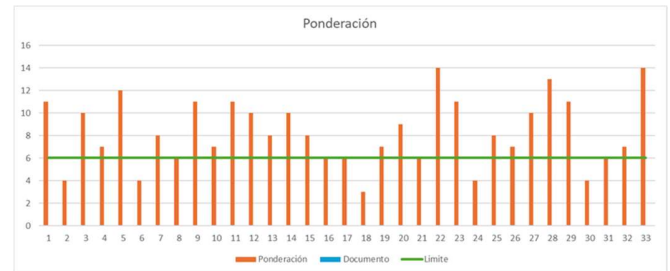


Fig. 7. Puntuación de pertinencia de los 33 estudios candidatos. La selección combinó un umbral de 6 puntos, una alineación temática mínima y exclusiones automáticas por tipo de documento.

D. Clasificación del corpus final

Los 27 estudios seleccionados se organizaron según su función dentro de la revisión y no únicamente por su campo de aplicación. Se definieron tres grupos:

- **Núcleo (n = 10):** estudios con relación directa entre lógica difusa, control y Python, Raspberry Pi o implementación embebida.
- **Soporte directo (n = 13):** trabajos sobre diseño, comparación, optimización o desempeño de controladores difusos.
- **Contexto (n = 4):** estudios que fundamentan el papel de las plataformas de bajo costo, Python o aplicaciones embebidas relacionadas.

La Fig. 8 muestra la distribución del corpus final de acuerdo con esta clasificación.

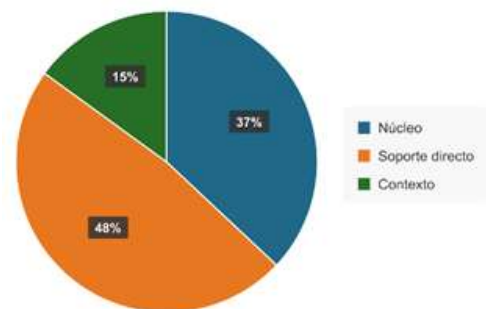


Fig. 8. Distribución del corpus final de 27 estudios según su función analítica: núcleo (n = 10), soporte directo (n = 13) y contexto (n = 4).

La frecuencia de los criterios en los estudios incluidos se presenta en la Tabla V. La columna “Presente” contabiliza los estudios con puntuación de 1 o 2, mientras que “Directo” considera únicamente los casos con puntuación de 2.

TABLA V.
FRECUENCIA DE LOS CRITERIOS EN LOS 27 ESTUDIOS INCLUIDOS.

Criterio	Presente (≥ 1)	Directo (= 2)
C1. Lógica difusa / FIS	26	23
C2. Aplicación a control	25	21
C3. Embebido / tiempo real	16	12
C4. Raspberry Pi	10	10
C5. Python / <i>open-source</i>	9	8
C6. Contribución metodológica	27	18
C7. Alineación con el eje central	27	14

E. Análisis y síntesis de los estudios seleccionados

Los estudios incluidos se analizaron comparativamente en función de la arquitectura difusa, la estrategia de control, la plataforma de implementación, el software utilizado, el tipo de validación y los principales resultados reportados.

Esta estructura permitió comparar estudios procedentes de distintos dominios sin perder el eje central de la revisión y facilitó la identificación de brechas entre el diseño y la simulación de sistemas difusos en software y su implementación en plataformas embebidas.

IV. CONCLUSIÓN

Esta revisión analizó el estado actual de los sistemas de inferencia difusa aplicados al control y examinó el papel de Python y de las plataformas embebidas de bajo costo, particularmente Raspberry Pi, en su diseño, simulación e implementación. A partir de 33 estudios candidatos evaluados mediante una metodología uniforme, se integró un corpus final de 27 trabajos científicos, clasificados en estudios de núcleo, soporte directo y contexto. Esta selección permitió observar las tendencias del área desde una perspectiva más amplia y, al mismo tiempo, mantener un eje común entre aplicaciones desarrolladas en dominios diferentes.

De manera complementaria, se realizó una búsqueda bibliográfica ampliada mediante la combinación de los términos *fuzzy logic*, *fuzzy inference system*, *fuzzy control*, *Raspberry Pi*, *Python* y *embedded control*. La consulta se delimitó al periodo 2019–2026 y a publicaciones clasificadas como artículos de revista, lo que permitió localizar 81 trabajos científicos. De este conjunto, 67 estudios habían recibido citas de otras publicaciones académicas, acumulando 3,041 citas, mientras que cuatro trabajos fueron citados por siete patentes, con un total de siete citas provenientes de documentos de propiedad industrial. Estos resultados confirman la vigencia académica del

tema y muestran que las investigaciones relacionadas con lógica difusa, Python y plataformas embebidas también presentan potencial de aplicación tecnológica.

Los resultados muestran que la lógica difusa continúa siendo una alternativa vigente para sistemas no lineales, inciertos o difíciles de modelar con precisión. Mamdani y Takagi-Sugeno permanecen como las arquitecturas de inferencia más empleadas, aunque la literatura no evidencia una configuración universalmente superior. Mamdani mantiene ventajas asociadas con la interpretabilidad de las reglas, mientras que Takagi-Sugeno puede ofrecer mayor simplicidad de cálculo y estabilidad en determinadas aplicaciones. De forma similar, los sistemas tipo 2 y las arquitecturas ANFIS amplían la capacidad de representación y adaptación, pero incrementan la complejidad computacional y el esfuerzo de diseño.

Una tendencia clara del corpus es la hibridación de los FIS con controladores clásicos y técnicas de optimización. Los esquemas Fuzzy-PID, Fuzzy-PI y neuro-difusos muestran que la lógica difusa se utiliza tanto como controlador directo como mecanismo de ajuste de parámetros. Asimismo, los algoritmos genéticos y otras metaheurísticas se emplean para optimizar funciones de membresía, factores de escala y parámetros del controlador. Los estudios sobre simplificación de reglas también indican que una mayor cantidad de reglas no garantiza necesariamente un mejor desempeño y que la reducción estructurada de la base de conocimiento puede disminuir el costo computacional sin degradar de forma significativa la respuesta del sistema.

La principal brecha identificada se encuentra entre los resultados obtenidos en simulación y su validación reproducible en hardware. Una parte importante de la literatura continúa concentrada en entornos de simulación, mientras que un conjunto menor incorpora restricciones de tiempo de muestreo, precisión numérica, memoria, latencia e interfaces de entrada/salida. Las implementaciones analizadas en FPGA, Arduino y Raspberry Pi confirman que el desempeño del controlador no puede evaluarse únicamente mediante métricas de respuesta dinámica; también deben considerarse los requerimientos computacionales y las características de la plataforma de ejecución.

Dentro de este panorama, Raspberry Pi se posiciona como una alternativa útil para investigación, prototipado y validación experimental de bajo costo. Su capacidad para integrar sensores, actuadores, comunicaciones y software de alto nivel ha permitido implementar controladores difusos, ANFIS y sistemas híbridos en aplicaciones reales. Sin embargo, sus limitaciones de determinismo temporal, confiabilidad industrial e interfaces específicas impiden considerarla como sustituto universal de plataformas especializadas. Su valor principal radica en facilitar la transición entre el desarrollo algorítmico y la experimentación física.

Python desempeña un papel complementario en esa transición. Su ecosistema abierto permite reunir procesamiento numérico, adquisición de datos, visión computacional, comunicación y control en un mismo entorno. Las

implementaciones revisadas con Fuzzylab, ROS, OpenCV y otras bibliotecas muestran que Python puede formar parte de flujos de trabajo completos para sistemas de inferencia y control. En este contexto, UPAFuzzySystems se identifica como una alternativa relevante por integrar el diseño de FIS, estructuras de control y simulación de plantas dentro de Python. No obstante, su papel en esta revisión se limita a una contribución dentro de un ecosistema más amplio y no a un criterio de selección o al propósito exclusivo del artículo.

En síntesis, el estado actual del área puede resumirse como una transición progresiva desde el diseño aislado de controladores difusos hacia flujos más integrados que incluyen optimización, simulación, implementación embebida y validación experimental. Python y Raspberry Pi contribuyen a esta transición al reducir barreras de costo y facilitar la reproducibilidad, aunque la evidencia disponible todavía muestra una separación importante entre las soluciones demostradas en simulación y aquellas evaluadas bajo condiciones físicas y temporales reales.

Como trabajo futuro, se recomienda fortalecer metodologías que reporten de manera simultánea el desempeño del control y el costo computacional de la implementación. También resulta necesario ampliar las comparaciones entre arquitecturas difusas bajo condiciones equivalentes, documentar con mayor precisión los tiempos de ejecución y muestreo, y promover flujos reproducibles que integren diseño, simulación y despliegue en hardware. Estas acciones permitirían evaluar con mayor objetividad cuándo una plataforma abierta de bajo costo es suficiente y cuándo se requiere hardware especializado para garantizar el comportamiento del sistema.

REFERENCIAS

- [1] H. Khati, H. Talem, M. Mellah, M. A. Touat, and M. A. Nehmar, "Processor-in-the-loop simulation of a neuro-fuzzy controller on a Raspberry Pi 3 board," in *2022 19th IEEE International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (SSD)*. IEEE, 2022, pp. 146–151.
- [2] M. M. Rivera, M. Olvera-Gonzalez, E. Escalante-Garcia et al., "UPAFuzzySystems: A Python library for control and simulation with fuzzy inference systems," *Machines*, vol. 11, no. 5, p. 572, 2023.
- [3] H. H. Tang and N. S. Ahmad, "Fuzzy logic approach for controlling uncertain and nonlinear systems: A comprehensive review of applications and advances," *Systems Science & Control Engineering*, vol. 12, no. 1, p. 2394429, 2024.
- [4] E. R. Fernández Mareco and D. Pinto-Roa, "Application of artificial intelligence in control systems: Trends, challenges, and opportunities," *AI*, vol. 6, p. 326, 2025.
- [5] S. E. Mathe, H. K. Kondaveeti, S. Vappangi et al., "A comprehensive review on applications of Raspberry Pi," *Computer Science Review*, vol. 52, p. 100636, 2024.
- [6] S. Bellahirich, D. Mezghani, and A. Mami, "Design and implementation of an intelligent anfis controller on a raspberry pi nano-computer for photovoltaic pumping intended for drip irrigation," *Energies*, vol. 14, no. 17, p. 5217, 2021.
- [7] A. I. Nasser, H. M. Kadhim, and E. A. Hussien, "Utilizing Raspberry-Pi 3 to implement fuzzy logic controller optimized by genetic algorithm," *Iraqi Journal for Electrical and Electronic Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 99–107, 2025.
- [8] E. Avelar, O. Castillo, and J. Soria, "Fuzzy logic controller with Fuzzylab Python library and the robot operating system for autonomous mobile robot navigation," *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 48–54, 2020.
- [9] M.-D. Pop, D. Pescaru, and M. V. Micea, "Mamdani vs. Takagi–Sugeno fuzzy inference systems in the calibration of continuous-time car-following models," *Sensors*, vol. 23, no. 21, p. 8791, 2023.
- [10] F. Bellini, Y. Barzegar, A. Barzegar et al., "Sustainable water quality evaluation based on cohesive Mamdani and Sugeno fuzzy inference system in Tivoli (Italy)," *Sustainability*, vol. 17, no. 2, p. 579, 2025.
- [11] T. Samavat, M. Nazari, M. Ghalehnoie, M. A. Nasab, M. Zand, P. Sanjeevikumar, and B. Khan, "A comparative analysis of the mamdani and sugeno fuzzy inference systems for mppt of an islanded pv system," *International Journal of Energy Research*, vol. 2023, p. 7676113, 2023.
- [12] L. Cervantes, C. Caraveo, and O. Castillo, "Performance comparison between type-1 and type-2 fuzzy logic control applied to insulin pump injection in real time for patients with diabetes," *Mathematics*, vol. 11, no. 3, p. 730, 2023.
- [13] L. Ghiormez, M. Panoiu, and C. Panoiu, "Fuzzy logic controller for power control of an electric arc furnace," *Mathematics*, vol. 12, no. 21, p. 3445, 2024.
- [14] Q. A. Tarbosh, O. Aydogdu, N. Farah et al., "Review and investigation of simplified rules fuzzy logic speed controller of high performance induction motor drives," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 49 377–49 394, 2020.
- [15] N. Messaadi and A. Amroun, "Speed control of DC motor using fuzzy PID controller," *arXiv preprint arXiv:2108.05450*, 2021.
- [16] H. Maghfiroh, M. Ahmad, A. Ramelan, and F. Adriyanto, "Fuzzy-pid in bldc motor speed control using matlab/simulink," *Journal of Robotics and Control*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [17] L. F. d. S. C. Pereira, E. Batista, and M. A. G. de Brito, "A robustness analysis of a fuzzy fractional order pid controller based on genetic algorithm for a dc-dc boost converter," *Electronics*, vol. 11, no. 12, p. 1894, 2022.
- [18] C. Caraveo, L. Cervantes, J. Soto, and O. Castillo, "Optimal fuzzy logic controller for dc motor using grasshopper optimization algorithm," in *Studies in Computational Intelligence*. Springer, 2024.
- [19] A. A. Nada and M. A. Bayoumi, "Development of embedded fuzzy control using reconfigurable fpga technology," *Automatika*, vol. 65, no. 2, pp. 609–626, 2024.
- [20] M. Molina Solana, M. Ros, and M. Delgado, "Unifying fuzzy controller for ieq: Implementation in a raspberry pi," in *Proceedings of the 2015 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology*, 2015.
- [21] S. Mostafa, A. Zekry, A. Youssef, and W. R. Anis, "Raspberry pi design and hardware implementation of fuzzy-pi controller for three-phase grid-connected inverter," *Energies*, vol. 15, no. 3, p. 843, 2022.
- [22] R. Xu, W. Jin, Y. Hong, and D.-H. Kim, "Intelligent optimization mechanism based on an objective function for efficient home appliances control in an embedded edge platform," *Electronics*, vol. 10, no. 12, p. 1460, 2021.
- [23] L. Helshani, J. Qarkakhija, and B. Prevalla, "Sensor based algorithm for self-navigating robot using internet of things (iot)," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 16, no. 23, 2022.
- [24] A. X. González-Cely, M. Callejas-Cuervo, and T. Bastos-Filho, "Wheelchair prototype controlled by position, speed and orientation using head movement," *HardwareX*, vol. 11, p. e00306, 2022.
- [25] P. Kitcharoen, S. Howimanporn, and S. Chookaew, "Review process to investigate trends of using Arduino to enhance AI study," in *International Conference on Computers in Education (ICCE)*, 2023.
- [26] E. A. Monroy-Sahade, D. Lázaro-Mata, E. A. Vázquez-Rodríguez, A. I. Barranco-Gutiérrez, and J. A. Padilla-Medina, "Fuzzy color description on raspberry pi 3," in *Congreso Internacional de Robótica y Computación*, 2019.
- [27] M. J. Villaseñor-Aguilar, J. A. Padilla-Medina, and J. Prado-Olivarez, "Fuzzy classification of color carrots (dacus carota) using raspberry pi towards farming 4.0," in *2023 IEEE 13th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 2023.
- [28] TIOBE Software, "TIOBE index," <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>, 2026, consultado el 17 de marzo de 2026.
- [29] K. T. Atanassov, "Type-1 fuzzy sets and intuitionistic fuzzy sets," *Algorithms*, vol. 10, no. 3, p. 106, 2017, doi: 10.3390/a10030106.
- [30] D. Hidalgo, L. Cervantes, O. Castillo, P. Melin, and R. Martínez Soto, "Fuzzy parameter adaptation in genetic algorithms for the optimization of fuzzy integrators in modular neural networks for multimodal biometry," *Computación y Sistemas*, vol. 24, no. 3, pp. 1093–1105, 2020, doi: 10.13053/CyS-24-3-3329.

- [31] M.-J. Villaseñor-Aguilar, J.-A. Padilla-Medina, J. Prado-Olivarez, J.-E. Botello-Álvarez, M.-G. Bravo-Sánchez, and A.-I. Barranco-Gutiérrez, "Low-cost sensor for lycopene content measurement in tomato based on Raspberry Pi 4," *Plants*, vol. 12, no. 14, p. 2683, 2023, doi: 10.3390/plants12142683.
- [32] M. Montes Rivera, M. O. Aguilar Justo, and M. Perez-Hernández, "Transfer function identification with few-shots learning and a genetic algorithm using proposed signal-signature," *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 45–71, 2024, doi: 10.61467/2007.1558.2024.v15i2.445.
- [33] N. Bektaş, F. Lilik, and O. Kegyes-Brassai, "Development of a fuzzy inference system based rapid visual screening method for seismic assessment of buildings presented on a case study of URM buildings," *Sustainability*, vol. 14, no. 23, p. 16318, 2022, doi: 10.3390/su142316318.
- [34] Sophia C. Dent, Dale L. Hutchinson, Matthew A. Fort, Kristin M. Hedman, Stanley H. Ambrose, "Stable isotope analysis of dental calculus and dietary change in the North Carolina Piedmont, AD 800-1710," *American journal of physical anthropology*, vol. 171, no. S69, pp. 69–70, 2020, doi: 10.1002/ajpa.24023.
- [35] Mohammad Soleimani Amiri, Rizaaddin Ramli, Norazam Aliman, "Adaptive Swarm Fuzzy Logic Controller of Multi-Joint Lower Limb Assistive Robot," *Machines*, vol. 10, no. 6, pp. 425–425, 2022, doi: 10.3390/machines10060425.
- [36] Jonas Queiroz, Paulo Leitao, Eugenio Oliveira, "A Fuzzy Logic Recommendation System to Support the Design of Cloud-Edge Data Analysis in Cyber-Physical Systems," *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, vol. 3, pp. 174–187, 2022, doi: 10.1109/ojies.2022.3152725.
- [37] Swapnil Sayan Saha, Sandeep Singh Sandha, Mani Srivastava, "Machine Learning for Microcontroller-Class Hardware: A Review," *IEEE sensors journal*, vol. 22, no. 22, pp. 21362–21390, 2022, doi: 10.1109/jsen.2022.3210773.
- [38] Panzhen Zhao, Shijiang Duan, Songfeng Wang, Aihua Wang, Lingfeng Meng, Zhicheng Wang, Yingpeng Dai, "The Bayesian mixture expert recognition model for tobacco leaf curing stages based on feature fusion," *Plant methods*, vol. 21, no. 1, pp. 86–86, 2025, doi: 10.1186/s13007-025-01384-7.
- [39] Osama F Hassan, Ahmed F Ibrahim, Ahmed Gomaa, M A Makhlof, B Hafiz, "Real-time driver drowsiness detection using transformer architectures: a novel deep learning approach," *Scientific reports*, vol. 15, no. 1, pp. 17493–17493, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-02111-x.
- [40] T Ananth Kumar, R Rajmohan, Sunday Adeola Ajagbe, Tarek Gaber, Xiao-Jun Zeng, Fatma Masmoudi, "A novel CNN gap layer for growth prediction of palm tree plantings," *PloS one*, vol. 18, no. 8, pp. e0289963–e0289963, 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0289963.
- [41] Cesar A. Llorente, Elmer P. Dadios, "Development and validation of a camera-based illumination controller for people detection, tracking and recognition using computational intelligence," *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, vol. 8, no. 2, pp. 3181–3185, 2019, doi: 10.35940/ijrte.b3219.078219.
- [42] Muhammad Fayaz, Quoc Bao Pham, Nguyen Thi Thuy Linh, Pham Thi Thao Nhi, Dao Nguyen Khoi, Muhammad Shuaib Qureshi, Abdul Salam Shah, Shah Khalid, "A Water Supply Pipeline Risk Analysis Methodology Based on DIY and Hierarchical Fuzzy Inference," *Symmetry*, vol. 12, no. 1, p. 44, 2019, doi: 10.3390/sym12010044.
- [43] Feng Luo, Zhenyu Yang, Zhaojing Zhang, Zitong Wang, Bowen Wang, Mingzhi Wu, "A Multi-Layer Intrusion Detection System for SOME/IP-Based In-Vehicle Network," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 23, no. 9, pp. 4376–4376, 2023, doi: 10.3390/s23094376.
- [44] Haitham M A Ahmed, Swaleha Zubair, Mohammed Tawfik, "A privacy-preserving cloud storage framework with hybrid encryption, homomorphic keyword search, and blockchain-based integrity verification," *Scientific reports*, vol. 16, no. 1, 2026, doi: 10.1038/s41598-026-48705-x.
- [45] Azimbek Khudoyberdiev, Shabir Ahmad, Israr Ullah, Do-Hyeun Kim, "An Optimization Scheme Based on Fuzzy Logic Control for Efficient Energy Consumption in Hydroponics Environment," *Energies*, vol. 13, no. 2, p. 289, 2020, doi: 10.3390/en13020289.
- [46] Taimia Bitam, Aya Yahiaoui, Djallel Eddine Boubiche, Rafael Martínez-Peláez, Homero Toral-Cruz, Pablo Velarde-Alvarado, "Artificial Intelligence of Things for Next-Generation Predictive Maintenance," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 25, no. 24, pp. 7636–7636, 2025, doi: 10.3390/s25247636.
- [47] B. Sridhar, K. Lalitha Divya Sindhu, N. Ragasudha, M. Mounika, K. Premnath Chakri, "Development of Raspberry-Pi Based IoT Agricultural System using Fuzzy Techniques," *International Journal of Soft Computing and Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 31–39, 2020, doi: 10.35940/ijscce.f3402.0710120.
- [48] David Chunhu Li, Chiing Ting Huang, Chia Wei Tseng, Li-Der Chou, "Fuzzy-Based Microservice Resource Management Platform for Edge Computing in the Internet of Things," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, no. 11, p. 3800, 2021, doi: 10.3390/s21113800.
- [49] Mohamed Fahim, Abderrahim El Mhouti, Tarik Boudaa, Abdeslam Jakimi, "Modeling and implementation of a low-cost IoT-smart weather monitoring station and air quality assessment based on fuzzy inference model and MQTT protocol," *Modeling earth systems and environment*, vol. 9, no. 4, pp. 1–4102, 2023, doi: 10.1007/s40808-023-01701-w.
- [50] A R Al-Ali, Salwa Beheiry, Ahmad Alnabulsi, Shahed Obaid, Noor Mansoor, Nada Odeh, Alaaeldin Mostafa, "An IoT-Based Road Bridge Health Monitoring and Warning System," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 24, no. 2, pp. 469–469, 2024, doi: 10.3390/s24020469.
- [51] Andrzej Czyżewski, "Remote Health Monitoring of Wind Turbines Employing Vibroacoustic Transducers and Autoencoders," *Frontiers in Energy Research*, vol. 10, 2022, doi: 10.3389/fenrg.2022.858958.
- [52] Zeyad Ghaleb Al-Mekhlafi, Jalal M H Altmami, Mahmood A Al-Shareeda, Ahmed Abbas Jasim Al-Hchaimi, Raad Z Homod, Badiea Abdulkarem Mohammed, Gharbi Alshammari, Kawther A Al-Dhlan, Reem Alrashdi, Yaser A Alkhabra, "ChebIoD: a Chebyshev polynomial-based lightweight authentication scheme for internet of drones environments," *Scientific reports*, vol. 15, no. 1, pp. 32897–32897, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-18387-y.
- [53] S Vishnu Kumar, G Aloy Anuja Mary, Miroslav Mahdal, "Integrated Edge Deployable Fault Diagnostic Algorithm for the Internet of Things (IoT): A Methane Sensing Application," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 23, no. 14, pp. 6266–6266, 2023, doi: 10.3390/s23146266.
- [54] Yinong Chen, Gennaro De Luca, "Technologies Supporting Artificial Intelligence and Robotics Application Development," *Journal of Artificial Intelligence and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.37965/jait.2020.0065.
- [55] Wang Tong, Azhar Hussain, Wang Xi Bo, Sabita Maharjan, "Artificial Intelligence for Vehicle-to-Everything: A Survey," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 10823–10843, 2019, doi: 10.1109/access.2019.2891073.
- [56] Marcos-Jesús Villaseñor-Aguilar, José-Alfredo Padilla-Medina, Juan Prado-Olivarez, José-Erinque Botello-Álvarez, Micael-Gerardo Bravo-Sánchez, Alejandro-Israel Barranco-Gutiérrez, "Low-Cost Sensor for Lycopene Content Measurement in Tomato Based on Raspberry Pi 4," *Plants (Basel, Switzerland)*, vol. 12, no. 14, pp. 2683–2683, 2023, doi: 10.3390/plants12142683.
- [57] Shakila Zaman, Khaled Alhazmi, Mohammed Aseeri, Muhammad R. Ahmed, Risala Tasin Khan, M. Shamim Kaiser, Mahmud, "Security Threats and Artificial Intelligence Based Countermeasures for Internet of Things Networks: A Comprehensive Survey," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 94668–94690, 2021, doi: 10.1109/access.2021.3089681.
- [58] Grzegorz Dec, Dorota Stadnicka, Łukasz Paško, Maksymilian Mądział, Roberto Figliè, Daniele Mazzei, Marios Tyrovolas, Chrysostomos Stylios, Joan Navarro, Xavier Solé-Beteta, "Role of Academics in Transferring Knowledge and Skills on Artificial Intelligence, Internet of Things and Edge Computing," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, no. 7, pp. 2496–2496, 2022, doi: 10.3390/s22072496.
- [59] George Dimas, Dimitris Diamantis, Panagiotis Kalozoumis, Dimitris K. Iakovidis, "Uncertainty-Aware Visual Perception System for Outdoor Navigation of the Visually Challenged," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 20, no. 8, p. 2385, 2020, doi: 10.3390/s20082385.
- [60] Mariusz Pelc, Radana Vilimkova Kahankova, Monika Blaszczyzyn, Dariusz Mikołajewski, Mariusz Konieczny, Volodymir Khoma, Gregor Bara, Jarosław Zygarlicki, Radek Martinek, Munish K Gupta, Edward Jacek Gorzelanczyk, Mateusz Pawłowski, Bogdan Czapiga, Małgorzata Zygarlicka, Aleksandra Kawala-Sterniuk, "Initial study on an expert system for spine diseases screening using inertial measurement unit," *Scientific reports*, vol. 13, no. 1, pp. 10440–10440, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-36798-7.
- [61] D Nithyanantham, Akhil Nair, Usha Y Nayak, "Leveraging Artificial Intelligence for Advancements in Liquid Dosage Formulations in the

- Pharmaceutical Industry.,” *Therapeutic innovation & regulatory science*, vol. 59, no. 5, pp. 1004–1031, 2025, doi: 10.1007/s43441-025-00823-w.
- [62] Armin Najipour, Siamak Khorramymehr, Mehdi Razeghi, Kamran Hassani, “Deep Learning-Based Evaluation of Postural Control Impairments Caused by Stroke Under Altered Sensory Conditions.,” *Biomimetics* (Basel, Switzerland), vol. 10, no. 9, pp. 586–586, 2025, doi: 10.3390/biomimetics10090586.
- [63] Juuso Autiosalo, Riku Ala-Laurinaho, Joel Mattila, Miika Valtonen, Valtteri Peltoranta, Kari Tammi, “Towards Integrated Digital Twins for Industrial Products: Case Study on an Overhead Crane,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 2, p. 683, 2021, doi: 10.3390/app11020683.
- [64] Nikolaos Peladarinos, Dimitrios Piromalis, Vasileios Cheimaras, Efthymios Tserepas, Radu Adrian Munteanu, Panagiotis Papageorgas, “Enhancing Smart Agriculture by Implementing Digital Twins: A Comprehensive Review.,” *Sensors* (Basel, Switzerland), vol. 23, no. 16, pp. 7128–7128, 2023, doi: 10.3390/s23167128.
- [65] Various Various, “Engineering, Technology & Applied Science Research (ETASR), Vol. 12, No. 2, pp. 8228-8481,” Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research), 2022, doi: 10.5281/zenodo.6509470.
- [66] Elena Fedorchenko, Evgenia Novikova, Anton Shulepov, “Comparative Review of the Intrusion Detection Systems Based on Federated Learning: Advantages and Open Challenges,” *Algorithms*, vol. 15, no. 7, pp. 247–247, 2022, doi: 10.3390/a15070247.
- [67] Elizabeth López-Lozada, Elsa Rubio-Espino, J. Humberto Sossa-Azuela, Victor H. Ponce-Ponce, “Reactive navigation under a fuzzy rules-based scheme and reinforcement learning for mobile robots,” *PeerJ. Computer science*, vol. 7, p. e556, 2021, doi: 10.7717/peerj-cs.556.
- [68] Faisal Jamil, Hyun-Kook Kahng, Suyeon Kim, Do-Hyeun Kim, “Towards Secure Fitness Framework Based on IoT-Enabled Blockchain Network Integrated with Machine Learning Algorithms,” *Sensors* (Basel, Switzerland), vol. 21, no. 5, p. 1640, 2021, doi: 10.3390/s21051640.
- [69] Karam M. Al-Obaidi, Mohataz Hossain, Nayef A. M. Alduais, Husam S. Al-Duais, Hossein Omrany, Amirhosein Ghaffarianhoseini, “A Review of Using IoT for Energy Efficient Buildings and Cities: A Built Environment Perspective,” *Energies*, vol. 15, no. 16, pp. 5991–5991, 2022, doi: 10.3390/en15165991.
- [70] Paul Reedy, “Interpol review of digital evidence for 2019-2022.,” *Forensic science international. Synergy*, vol. 6, pp. 100313–100313, 2023, doi: 10.1016/j.fsisy.2022.100313.
- [71] Jose Manuel Soto-Hidalgo, Autilia Vitiello, Jose M. Alonso, Giovanni Acampora, Jesús Alcalá-Fdez, “Design of Fuzzy Controllers for Embedded Systems With JFML,” *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 204–214, 2019, doi: 10.2991/ijcis.2019.125905646.
- [72] Valentina Bellini, Emanuele Rafano Carnà, Michele Russo, Fabiola Di Vincenzo, Matteo Berghenti, Marco Baciarello, Elena Bignami, “Artificial intelligence and anesthesia: a narrative review.,” *Annals of translational medicine*, vol. 10, no. 9, pp. 528–528, 2022, doi: 10.21037/atm-21-7031.
- [73] Jorge Saúl Fandiño Pelayo, Luis Sebastián Mendoza Castellanos, Rocío Cazes Ortega, Luis G Hernández-Rojas, “AI-Driven Monitoring for Fish Welfare in Aquaponics: A Predictive Approach.,” *Sensors* (Basel, Switzerland), vol. 25, no. 19, pp. 6107–6107, 2025, doi: 10.3390/s25196107.
- [74] Sri Koneru Satyanarayana, Sri Lakshman Havish, Sri Raja Harin, S Mantha, L Reddy, A Kumar, R Kantam, M Venkata Narayana, , Govardhani, “National Conference on Recent Advances in Communication Engineering and Information Technology,” *International Journal For Innovative Engineering and Management Research*, pp. 1–377, 2020, doi: 10.48047/ijiemr/v08/spe/02.
- [75] Cezary Kownacki, Slawomir Romaniuk, Marcin Derlatka, “Applying neural networks as direct controllers in position and trajectory tracking algorithms for holonomic UAVs.,” *Scientific reports*, vol. 15, no. 1, pp. 12605–12605, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-97215-9.
- [76] Manuel Graña, “Basque Conference on Cyber Physical Systems and Artificial Intelligence,” Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research), 2022, doi: 10.5281/zenodo.6574965.
- [77] Giuseppe Marco Tina, Cristina Ventura, Sergio Ferlito, Saverio De Vito, “A State-of-Art-Review on Machine-Learning Based Methods for PV,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 16, p. 7550, 2021, doi: 10.3390/app11167550.
- [78] Sanket Deshmukh, Netra Lokhande, Saket Yeolekar, “Predictive temperature control of electric two wheeler hub motor using gradient aware neural regulation with degradation tracking and fault tolerant multi condition torque adaptation.,” *Scientific reports*, vol. 16, no. 1, 2026, doi: 10.1038/s41598-026-37505-y.
- [79] Emmanuel Abiodun Abioye, Oliver Hensel, Travis J. Esau, Olakunle Elijah, Mohamad Shukri Zainal Abidin, Ajibade Sylvester Ayobami, Omosun Yerima, Abozar Nasirahmadi, “Precision Irrigation Management Using Machine Learning and Digital Farming Solutions,” *AgriEngineering*, vol. 4, no. 1, pp. 70–103, 2022, doi: 10.3390/agriengineering4010006.
- [80] Abdellatif Soussi, Enrico Zero, Roberto Sacile, Daniele Trincherro, Marco Fossa, “Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review.,” *Sensors* (Basel, Switzerland), vol. 24, no. 8, pp. 2647–2647, 2024, doi: 10.3390/s24082647.
- [81] Deepa Ashok Patil, Shyamala G, “A comprehensive survey on securing the social internet of things: protocols, threat mitigation, technological integrations, tools, and performance metrics.,” *Scientific reports*, vol. 15, no. 1, pp. 40190–40190, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-23865-4.
- [82] Turki Khaled Salem, Wai Kit Wong, Thu Soe Min, Eng Kiong Wong, “One- and Five-Ringgit Malaysia banknotes reader with counterfeit detection for visually impaired person using backlight mechanism and image processing techniques.,” *F1000Research*, vol. 10, pp. 1098–1098, 2022, doi: 10.12688/f1000research.58446.2.
- [83] Manuel Graña, “Basque Conference on Cyber Physical Systems and Artificial Intelligence,” Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research), 2022, doi: 10.5281/zenodo.6568145.
- [84] Tidiane Sylla, Mohamed Aymen Chalouf, Francine Krief, Karim Samaké, “SETUCOM: Secure and Trustworthy Context Management for Context-Aware Security and Privacy in the Internet of Things,” *Security and Communication Networks*, vol. 2021, pp. 1–24, 2021, doi: 10.1155/2021/6632747.
- [85] Nikos Kalatzis, George Routis, Yiorgos Marinellis, Marios Avgeris, Ioanna Roussaki, Symeon Papavassiliou, Miltiades E. Anagnostou, “Semantic Interoperability for IoT Platforms in Support of Decision Making: An Experiment on Early Wildfire Detection,” *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 19, no. 3, p. 528, 2019, doi: 10.3390/s19030528.
- [86] Jose Guzman, Felipe Núñez, “A Cyber-Physical Systems Approach to Collaborative Intersection Management and Control,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 99617–99632, 2021, doi: 10.1109/access.2021.3096330.
- [87] Manuel Graña, “Basque Conference on Cyber Physical Systems and Artificial Intelligence,” Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research), 2022, doi: 10.5281/zenodo.7010718.
- [88] S Muthamil Selvan, R Kavitha, “Class-balanced dermoscopic lesion segmentation using MoG-LISA and optimized Swin-UNet via the GM-FDE framework.,” *iScience*, vol. 29, no. 3, pp. 115012–115012, 2026, doi: 10.1016/j.isci.2026.115012.
- [89] Yavuz Selim Taspinar, Murat Sele, “Object Recognition with Hybrid Deep Learning Methods and Testing on Embedded Systems,” *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 71–77, 2020, doi: 10.18201/ijisae.2020261587.
- [90] Zheng Zhou, Yusong Qiao, Xusheng Lin, Purui Li, Nan Wu, Dong Yu, “A Deployment Method for Motor Fault Diagnosis Application Based on Edge Intelligence.,” *Sensors* (Basel, Switzerland), vol. 25, no. 1, pp. 9–9, 2024, doi: 10.3390/s25010009.
- [91] Pedro J. Correa-Cañedo, Horacio Rostro-Gonzalez, Martín A. Rodríguez-Licea, Óscar Octavio Gutiérrez-Frías, C. A. Herrera-Ramírez, Iris I. Méndez-Gurrola, Miroslava Cano-Lara, Alejandro I. Barranco-Gutiérrez, “GPS Data Correction Based on Fuzzy Logic for Tracking Land Vehicles,” *Mathematics*, vol. 9, no. 21, p. 2818, 2021, doi: 10.3390/math9212818.
- [92] Manuel Graña, “Basque Conference on Cyber Physical Systems and Artificial Intelligence,” Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research), 2022, doi: 10.5281/zenodo.7039276.
- [93] Rongxu Xu, Bong Wan Kim, Sa Jim Soe Moe, Anam Nawaz Khan, Kwangsoo Kim, Do Hyeun Kim, “Predictive worker safety assessment through on-site correspondence using multi-layer fuzzy logic in outdoor construction environments.,” *Heliyon*, vol. 9, no. 9, pp. e19408–e19408, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19408.
- [94] JRE JRE, “Edisi Lengkap Vol.15, No.12, Agustus 2019,” *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, vol. 15, no. 2, 2019, doi: 10.17529/jre.v15i2.14670.

- [95] Amitabh Thapliyal, Om Prakash Verma, Amioy Kumar, "Mask Covered Face Recognition Using Haar Cascade Classifier and Fuzzy Logic," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 12, no. 8, pp. 152–166, 2022, doi: 10.46338/ijetae0822_19.
- [96] Francisco M. Lopez-Rodriguez, F. Cuesta, "An Android and Arduino Based Low-Cost Educational Robot with Applied Intelligent Control and Machine Learning," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 1, p. 48, 2020, doi: 10.3390/app11010048.
- [97] Anna Lekova, Ivan Chavdarov, "A Fuzzy Shell for Developing an Interpretable BCI Based on the Spatiotemporal Dynamics of the Evoked Oscillations.," *Computational intelligence and neuroscience*, vol. 2021, no. 1, pp. 6685672–6685672, 2021, doi: 10.1155/2021/6685672.
- [98] Tao Han, Khan Muhammad, Tanveer Hussain, Jaime Lloret, Sung Wook Baik, "An Efficient Deep Learning Framework for Intelligent Energy Management in IoT Networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 5, pp. 3170–3179, 2021, doi: 10.1109/jiot.2020.3013306.
- [99] Mohsen Rostami, Payman Habibi, Amirhamzeh Farajollahi, "Fuzzy energy management using a chaotic model to improve fuel consumption of fuel cell-battery hybrid fixed-wing UAVs operating under uncertainty control.," *Scientific reports*, vol. 16, no. 1, pp. 4196–4196, 2026, doi: 10.1038/s41598-025-34306-7.
- [100] Sebastián Herrera Aristizábal, Julio Alejandro Hincapié Correa, Luis Hernando Ríos González, Sebastián López Flórez, "PID-fuzzy of DC motors using Raspberry PI," *Visión electrónica*, vol. 14, no. 1, pp. 85–101, 2020, doi: 10.14483/22484728.16361.
- [101] Akshit Saxena, Aayushi Agarwal, Bhavya Nagrath, Carmel Sanjana Jayavanth, Shamita Thulasidoss, S Maheswari, P Sasikumar, "Deep learning-driven IoT solution for smart tomato farming.," *Scientific reports*, vol. 15, no. 1, pp. 31092–31092, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-15615-3.
- [102] Wahiba Yaïci, Karthik Krishnamurthy, Evgueniy Entchev, Michela Longo, "Recent Advances in Internet of Things (IoT) Infrastructures for Building Energy Systems: A Review.," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, no. 6, p. 2152, 2021, doi: 10.3390/s21062152.
- [103] Kenneth Li-Minn Ang, Jasmine Kah Phooi Seng, Ericmoore Ngharamike, Gerald K. Ijamaru, "Emerging Technologies for Smart Cities' Transportation: Geo-Information, Data Analytics and Machine Learning Approaches," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 11, no. 2, pp. 85–85, 2022, doi: 10.3390/ijgi11020085.
- [104] Ruthber Rodriguez Serrezuela, Roberto Sagaro Zamora, Daily Milanes Hermosilla, Andres Eduardo Rivera Gomez, Enrique Marañon Reyes, "Hybrid Convolutional Vision Transformer for Robust Low-Channel sEMG Hand Gesture Recognition: A Comparative Study with CNNs.," *Biomimetics (Basel, Switzerland)*, vol. 10, no. 12, pp. 806–806, 2025, doi: 10.3390/biomimetics10120806.
- [105] IJCSIS Editor, "Journal of Computer Science IJCSIS December 2021 Full Volume," *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*, 2022, doi: 10.5281/zenodo.5886137.
- [106] Betty Saridou, Joseph Ryan Rose, Stavros Shiaeles, Basil Papadopoulos, "SAGMAD—A Signature Agnostic Malware Detection System Based on Binary Visualisation and Fuzzy Sets," *Electronics*, vol. 11, no. 7, pp. 1044–1044, 2022, doi: 10.3390/electronics11071044.
- [107] Guest Editor Dr. M. Manikandan, "A Special issue on Multidisciplinary research to promote the applications in Biological sciences," *International Journal of Life Science and Pharma Research*, pp. 1–154, 2022, doi: 10.22376/ijpbs/ijlpr/sp22/2022.1-154.
- [108] Łukasz Paśko, Maksymilian Mądział, Dorota Stadnicka, Grzegorz Dec, Anna Carreras-Coch, Xavier Solé-Beteta, Lamprini Pappa, Chrysostomos Stylios, Daniele Mazzei, Daniele Atzeni, "Plan and Develop Advanced Knowledge and Skills for Future Industrial Employees in the Field of Artificial Intelligence, Internet of Things and Edge Computing," *Sustainability*, vol. 14, no. 6, pp. 3312–3312, 2022, doi: 10.3390/su14063312.
- [109] Ana Cabrera-Tobar, Alessandro Massi Pavan, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, "A Review of the Optimization and Control Techniques in the Presence of Uncertainties for the Energy Management of Microgrids," *Energies*, vol. 15, no. 23, pp. 9114–9114, 2022, doi: 10.3390/en15239114.
- [110] Sahar Busaeed, Iyad Katib, Aiiad Albeshri, Juan M Corchado, Tan Yigitcanlar, Rashid Mehmood, "LidSonic V2.0: A LiDAR and Deep-Learning-Based Green Assistive Edge Device to Enhance Mobility for the Visually Impaired.," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 22, no. 19, pp. 7435–7435, 2022, doi: 10.3390/s22197435.
- [111] David Vallejo-Gómez, Marisol Osorio, Carlos A. Hincapié, "Smart Irrigation Systems in Agriculture: A Systematic Review," *Agronomy*, vol. 13, no. 2, pp. 342–342, 2023, doi: 10.3390/agronomy13020342.
- [112] Wen Shi, Rui Fan, Jian Hu, Jingrong Wang, Mei Bian, Wei Jiang, "A knowledge-driven framework for surgical safety check integration using speech recognition and speaker verification.," *Frontiers in neuroscience*, vol. 19, pp. 1726720–1726720, 2026, doi: 10.3389/fnins.2025.1726720.