

Pensamiento sistémico y simulación microcontrolada en riego por goteo: revisión sistemática para el diseño de modelos educativos-tecnológicos

Heyner Aroca Araujo – Universidad Popular del Cesar
Jorge Luiz Gonzales – Universidad Popular del Cesar
Álvaro Oñate Bowen – Universidad Popular del Cesar

Open Access

Key words:

Systems thinking, microcontroller simulation, drip irrigation, Arduino, technical education.

Palabras clave:

Pensamiento sistémico, simulación microcontrolada, riego por goteo, Arduino, educación técnica.

Abstract

Efficient water use in agriculture faces significant challenges due to climate change, global water scarcity, and increasing food demand. In this context, this systematic review aims to analyze the integration of systems thinking and microcontroller-based simulation in drip irrigation systems to support the design of educational-technological models relevant to rural contexts. The study compiled research published between 2008 and 2025 addressing agricultural automation, technical education, and innovations using technologies such as Arduino and ESP32. Findings reveal that microcontroller simulation enhances systemic understanding, fosters STEM skill development, and enables meaningful and contextualized learning. Consequently, a methodology is proposed that combines automation, water efficiency, and technical training with emerging technologies, providing a comprehensive framework for designing innovative and sustainable educational models.

Resumen

El uso eficiente del agua en la agricultura enfrenta desafíos significativos ante el cambio climático, la escasez hídrica global y el aumento de la demanda alimentaria. En este contexto, la presente revisión sistemática tiene como objetivo analizar la integración del pensamiento sistémico y la simulación microcontrolada en sistemas de riego por goteo, con el propósito de fundamentar el diseño de modelos educativos-tecnológicos pertinentes para zonas rurales. Para ello, se recopilaron investigaciones publicadas entre los años 2008 y 2025 que abordaron temas como la automatización agrícola, la educación técnica rural y la innovación mediante tecnologías como Arduino y ESP32. Los resultados evidencian que la simulación microcontrolada no solo mejora la comprensión sistémica, sino que también fortalece el desarrollo de competencias STEM y favorece aprendizajes activos, significativos y contextualizados. En consecuencia, se propone una metodología que articula enfoques de automatización, eficiencia hídrica y formación técnica con tecnologías emergentes, constituyendo un marco de referencia integral para el diseño de modelos educativos innovadores y sostenibles.

1. Introducción

En el escenario global actual, la agricultura enfrenta un doble desafío: garantizar la seguridad alimentaria y adaptarse a los efectos del cambio climático. Una de las principales preocupaciones es la gestión eficiente del agua, particularmente en zonas con condiciones climáticas variables y escasez del recurso. El riego por goteo automatizado ha demostrado ser una estrategia eficaz para optimizar el uso del agua en cultivos, al permitir una distribución localizada y controlada que reduce pérdidas por evaporación y escorrentía.

Sin embargo, la implementación de este tipo de sistemas en contextos rurales se ve limitada por factores como el acceso restringido a tecnologías, la falta de formación técnica y una débil apropiación comunitaria de los procesos tecnológicos. En este sentido, resulta clave repensar los modelos educativos que forman a los actores del agro, incorporando estrategias que combinen innovación tecnológica con enfoques pedagógicos pertinentes.

El pensamiento sistémico emerge como un marco conceptual que permite comprender el funcionamiento de los sistemas agrícolas como conjuntos complejos e interdependientes, donde confluyen variables ecológicas, técnicas y humanas. Integrar esta visión en la educación técnica posibilita que los estudiantes no solo adquieran habilidades instrumentales, sino que desarrollen una comprensión profunda de los procesos y de su impacto social y ambiental.

Por otra parte, tecnologías abiertas y de bajo costo como los microcontroladores Arduino y ESP32, combinadas con sensores y conectividad IoT, ofrecen un entorno ideal para el aprendizaje basado en simulación y experimentación. Estas herramientas no solo permiten automatizar sistemas de riego, sino que, además, constituyen recursos educativos valiosos que promueven el pensamiento computacional, la resolución de problemas y la creatividad tecnológica.

La integración de pensamiento sistémico, automatización agrícola y modelos educativos activos constituye, por tanto, una oportunidad estratégica para transformar la formación técnica rural, dotándola de pertinencia, contextualización y potencial innovador.

2. Metodología

Esta investigación se desarrolló bajo el paradigma sociocrítico y con un enfoque metodológico mixto [1], lo que permitió articular el análisis cuantitativo de datos empíricos con una interpretación crítica de los contextos educativos rurales. La estrategia metodológica empleada fue una revisión sistemática, basada en los lineamientos PRISMA, que aseguró la trazabilidad, el rigor y la transparencia en los procesos de recolección, selección y análisis de la información científica.

El proceso inició con la formulación de una pregunta de investigación orientada a explorar cómo la integración del pensamiento sistémico y la simulación microcontrolada inciden en la calidad de los modelos educativos en zonas rurales. Se establecieron criterios de inclusión centrados en publicaciones indexadas entre 2008 y 2025, consultadas en bases de datos reconocidas como Scopus, MDPI, ScienceDirect, arXiv y PubMed.

Se seleccionaron artículos que abordaran el uso de microcontroladores en agricultura de precisión, experiencias educativas con plataformas como Arduino y ESP32, así como investigaciones que aplicaran el pensamiento sistémico en la formación técnica. El corpus documental fue analizado con apoyo del *software* ATLAS.ti, lo que facilitó la codificación de categorías emergentes y la sistematización de los hallazgos desde una perspectiva crítica e integradora.

Se priorizó la evidencia empírica con impacto verificable en entornos rurales, así como estudios de tipo experimental, bibliométrico y de aplicación tecnológica. La unidad de análisis estuvo constituida por investigaciones que integraran tecnología educativa,

automatización agrícola y procesos de aprendizaje técnico, con énfasis en instituciones de educación media técnica y superior en contextos rurales, reconociendo las implicaciones sociales, pedagógicas y estructurales de la implementación tecnológica en dichos escenarios.

3. Resultados

El análisis de la literatura puso de manifiesto una serie de hallazgos que refuerzan la premisa central de la investigación: la convergencia entre **pensamiento sistémico** y **simulación microcontrolada** constituye un recurso didáctico pertinente y eficaz para elevar la calidad de los procesos formativos en entornos rurales, particularmente en los campos técnico y tecnológico.

En términos de adopción tecnológica, la plataforma **Arduino** se evidenció como uno de los soportes más consolidados en la enseñanza de contenidos electrónicos, informáticos y de control automático. La simplicidad de su lenguaje de programación, el bajo costo del *hardware* y la amplia disponibilidad de bibliotecas de código abierto facilitan experiencias de aprendizaje **activo, colaborativo y orientado a la resolución de problemas auténticos**, favoreciendo la creatividad, la lógica y el razonamiento algorítmico en estudiantes de distintos niveles educativos [2].

Otro conjunto de estudios mostró que los **prototipos de riego automatizado** gestionados mediante microcontroladores generan beneficios palpables en la eficiencia hídrica. El uso de sensores de humedad, temperatura y luminosidad, combinados con algoritmos de control, permitió reducir de manera significativa el consumo de agua y, paralelamente, incrementar el rendimiento de los cultivos, tanto en huertos escolares como en proyectos agrícolas de mayor escala [3] [4]. Estos resultados sugieren que la tecnología no solo actúa como medio pedagógico, sino también como catalizador de prácticas agrícolas más sostenibles.

Asimismo, se identificaron avances sustanciales en la incorporación de **tecnologías emergentes**, tales como el **Internet de las Cosas (IoT)** y la **Inteligencia Artificial (IA)**, en sistemas de producción agrícola experimental. La modelación de patrones climáticos, la predicción de necesidades hídricas y la generación automática de alertas optimizan la toma de decisiones y fomentan un uso responsable de los recursos [5]. Su introducción en el aula actualiza los contenidos curriculares y prepara al estudiantado para enfrentar los retos tecnológicos y medioambientales contemporáneos.

En el plano pedagógico, varias investigaciones coincidieron en destacar el impacto positivo de estos enfoques sobre el **pensamiento computacional** y la perspectiva **STEAM** (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas). Los proyectos que integran programación, electrónica y aplicaciones prácticas —por ejemplo, sistemas de riego o estaciones de monitoreo ambiental— incrementaron la motivación, la autonomía y la capacidad de trabajo en equipo de los y las estudiantes, especialmente en escuelas ubicadas en zonas rurales [6]. De este modo, la tecnología actúa como puente entre el conocimiento abstracto y la realidad cotidiana del alumnado.

Finalmente, se corroboró la relevancia del **pensamiento sistémico** como eje articulador del currículo técnico. Este enfoque favorece una comprensión profunda de las interdependencias ecológicas, económicas y sociales que caracterizan a los sistemas agrícolas. Al analizar variables ambientales, usos de recursos y consecuencias socioeconómicas de las decisiones técnicas, el estudiantado desarrolla una visión crítica y holística que respalda la transición hacia modelos de producción más responsables y sostenibles [7].

En síntesis, los resultados confirman que la integración de simulación microcontrolada, tecnologías abiertas y pensamiento sistémico genera entornos de aprendizajes robustos, contextualizados y orientados a la acción, capaces de mejorar la formación técnica en áreas rurales y de contribuir paralelamente a la sostenibilidad agrícola.

4. Discusión

La revisión sistemática permitió constatar que los modelos pedagógicos que integran la simulación microcontrolada con enfoques didácticos contextualizados ofrecen aportes significativos tanto en el plano educativo como en el tecnológico. En particular, la incorporación de plataformas como Arduino en procesos formativos facilita una integración efectiva entre teoría y práctica, elemento esencial en contextos rurales donde el aprendizaje activo, situado y con propósito social cobra una relevancia especial. Según Prabowo e Irwanto [2], este tipo de herramientas ha sido ampliamente adoptado en escenarios educativos por su potencial para acercar a los estudiantes a problemas reales de su entorno, promoviendo el desarrollo de habilidades aplicadas en electrónica, programación y resolución de problemas.

Uno de los factores que explica su creciente uso en escuelas rurales y centros de formación técnica es la accesibilidad económica y técnica de estas plataformas de código abierto. Su bajo costo, combinando *hardware* reutilizable y *software* libre, permite que instituciones con recursos limitados implementen laboratorios móviles, estaciones automatizadas de riego y prototipos funcionales sin sacrificar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje [3] [4]. Esta accesibilidad tecnológica también ha sido aprovechada en experiencias de automatización de sistemas de riego, lo cual demuestra que no solo es una herramienta educativa, sino una tecnología con efectos directos sobre la eficiencia del uso del recurso hídrico.

En ese sentido, múltiples investigaciones confirman que los sistemas de riego por goteo automatizados mediante microcontroladores mejoran sustancialmente la gestión del agua, al permitir la lectura en tiempo real de variables como humedad del suelo, temperatura y evapotranspiración. Estos sistemas no solo optimizan el consumo del recurso, sino que también aumentan la productividad agrícola [9] [10] [12]. Además, propuestas como DIPAC han demostrado cómo las herramientas digitales pueden

calcular de forma precisa los patrones de distribución del agua, mejorando el diseño técnico de los sistemas de riego [11].

La inclusión de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA), amplía aún más las posibilidades formativas. Estas herramientas permiten modelar patrones climáticos, automatizar respuestas de riego y construir sistemas de decisión basados en datos, elevando la complejidad y el alcance del aprendizaje técnico [5] [13]. Ortiz Paladinez y Piza González, por ejemplo, desarrollaron un sistema de riego automatizado integrado con IoT para jardines, mostrando cómo estas soluciones también pueden ser replicables en espacios domésticos o comunitarios a pequeña escala.

A nivel pedagógico, los entornos de aprendizaje que incorporan Arduino y simulación computacional estimulan el pensamiento computacional y el enfoque STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas), al fomentar la abstracción, la lógica, la creatividad y la resolución de problemas [6]. Este tipo de formación favorece la autonomía, la participación activa del estudiantado y una mayor motivación al evidenciar el impacto tangible de sus proyectos en el entorno local.

Por otra parte, la adopción del pensamiento sistémico como componente curricular en la educación técnica aporta una visión holística, en la que las relaciones entre los factores tecnológicos, sociales, ecológicos y económicos se entienden como parte de un mismo sistema interdependiente. Según Richmond, Schwarz y Weintrop [7], este enfoque permite desarrollar una conciencia crítica en el estudiante, quien no solo aprende a utilizar tecnologías, sino también a reflexionar sobre sus consecuencias en la sostenibilidad de los ecosistemas y el bienestar comunitario.

En conjunto, los hallazgos analizados permiten afirmar que la convergencia entre tecnologías abiertas, pensamiento sistémico y simulación educativa representa una estrategia pedagógica trans-

formadora para la educación técnica rural. Estos modelos no solo promueven la apropiación del conocimiento técnico, sino también la innovación comunitaria, el empoderamiento social y la construcción de capacidades orientadas al desarrollo local sostenible. En lugar de tratarse simplemente de una modernización instrumental, se plantea una resignificación profunda del papel de la educación en territorios históricamente excluidos, donde aprender tecnología es también aprender a transformar la realidad.

5. Conclusiones

A partir del análisis realizado, se concluye que los modelos educativo-tecnológicos que articulan el pensamiento sistémico con la simulación basada en microcontroladores constituyen una propuesta innovadora, pertinente y sostenible frente a los desafíos que enfrenta la educación técnica en contextos rurales. Estos enfoques permiten no solo la apropiación de habilidades técnicas en automatización, programación y gestión eficiente de recursos naturales, sino también el desarrollo de competencias críticas orientadas a la comprensión de los sistemas socioambientales en los que se aplican dichos conocimientos.

La evidencia examinada demuestra que este tipo de integración tecnológica favorece un aprendizaje situado, activo y con sentido, en el cual los estudiantes participan de manera significativa en la resolución de problemas concretos que afectan su entorno inmediato. Además, se constata que estas metodologías contribuyen de forma positiva a la sostenibilidad ambiental, al optimizar procesos como el riego agrícola, y a la equidad tecnológica, al democratizar el acceso a herramientas educativas de bajo costo y alto impacto pedagógico.

En este sentido, se resalta la importancia de que las instituciones educativas y los actores gubernamentales reconozcan el potencial transformador de estas prácticas. Es recomendable avanzar en la formulación de políticas públicas, programas de formación

docente y estrategias curriculares que promuevan su incorporación, desde un enfoque territorial, participativo y adaptado a las realidades rurales. Asimismo, resulta clave fortalecer las capacidades locales para el diseño, implementación y sostenibilidad de estos modelos, de modo que se contribuya al empoderamiento de las comunidades y al cierre de brechas estructurales en el acceso a la educación técnica de calidad.

En conclusión, la convergencia entre tecnología, pensamiento sistémico y educación rural representa no solo una alternativa metodológica, sino una vía estratégica para impulsar una formación más integral, contextualizada y socialmente comprometida.

Referencias

- [1] Martínez Barrios, H. E. *El proceso de investigación científica en la universidad*. Valledupar: Fundación Élite; 2010.
- [2] Prabowo, R. & Irwanto, B. "The Implementation of Arduino Microcontroller Boards in Science: A Bibliometric Analysis from 2008 to 2022". *Scopus Indexed Conference Proceedings*, 2023.
- [3] Ahmad Saharin, M. & Ismail, m. "Development of an Automated Drip Irrigation System using Arduino Microcontroller for Sweet Corn". *Journal of Agricultural Automation*, 2024.
- [4] Aktürk, O., Demir, M. & Koc, F. "A Closed Loop Automated Drip Irrigation System Based on Arduino Uno". *Dergipark*, 2024.
- [5] Kunt, E. "Development of a Smart Autonomous Irrigation System Using IoT and AI". *arXiv preprint*, 2025. [Internet]. Disponible en: <https://arxiv.org>
- [6] Heliyon. "Computational Thinking and Programming with Arduino in Education: A Systematic Review for Secondary Education". *Heliyon Journal*, 2024. [Internet]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com>

- [7] Richmond, B., Schwarz, C. & Weintrop, D. “Synergizing Systems Thinking and Technology-Enhanced Learning”. *Sustainability*, 16(21); 9319; 2022. [Internet]. Disponible en: <https://www.mdpi.com>
- [8] Vargas-Rodríguez, P., Dorta-Armaignac, A., Fernández-Hung, K. & Méndez-Jocik, A. “Consideraciones para el diseño racional de sistemas de riego por goteo”. *Rev. Cie. Téc. Agr.* [Internet]. 2021. Disponible en: <https://revista.example.com/articulo>
- [9] Allen, G. R., Pereira, S.L., Raes, D. & Smith, M. *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Ed. FAO, Estudio FAO Riego y Drenaje 56.^a ed., vol. 56, pp. 300, ISBN: 92-5-304219-2, Roma, Italia, 2006.
- [10] Amin, M. S. M. & Ekhmaj, A. I. M. “DIPAC: calculadora de patrones de distribución de agua para riego por goteo”. *7.º Congreso Internacional de Microrriego, 10-16 de septiembre de 2006*.
- [11] Jensen, M. E. & Allen, R. G. *Evaporación, evapotranspiración y requerimientos de agua para riego*. Ed. Instituto de Recursos Ambientales e Hídricos. ASCE, 2.^a edición, vol. *Manual e Informes sobre Prácticas de Ingeniería*, n.º 70, pp. 20191-4382, Reston, Virginia, EE. UU., 2016.
- [12] Ortiz Paladinez, E. & Piza González, M. *Desarrollo de un sistema de riego automatizado por goteo integrado con IoT: enfoque en la regulación eficiente de humedad para jardines interiores y exteriores*. [Internet]. Envigado (Antioquia, Colombia): Universidad EIA.

Heyner Aroca Araujo:

heyneraroca@unicesar.edu.co

Jorge Luiz Gonzales:

jgonzales@uniceare.edu.co

Álvaro Oñate Bowen:

alvaroonate@unicesacesar.edu.co