

## Análisis de la implementación de hardware educativo basado en Internet de las cosas (IoT) para la mediación de experiencias de educación ambiental: una revisión sistemática

Analysis of the implementation of educational hardware based on the Internet of Things (IoT) for the mediation of environmental education experiences: a systematic review

Análise da implementação de hardware educacional baseado na Internet das coisas (IoT) para a mediação de experiências de educação ambiental: uma revisão sistemática

Johan Fabricio Torres Madrigal  
Universidad Nacional

 <https://ror.org/01t466c14>  
Heredia, Costa Rica

[johantorresmadrigal@gmail.com](mailto:johantorresmadrigal@gmail.com)

 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0663-6586>

Luis David Badilla Oviedo  
Universidad Nacional

 <https://ror.org/01t466c14>  
Heredia, Costa Rica

[luis.badilla.oviedo@una.ac.cr](mailto:luis.badilla.oviedo@una.ac.cr)

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0182-7686>

Recibido – Received – Recebido: 12/09/2024 Corregido – Revised – Revisado: 07/02/2025 Aceptado – Accepted – Aprovado: 03/04/2025

DOI: <https://doi.org/10.22458/ie.v27i43.5474>

URL: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/innovaciones/article/view/5474>

**Resumen:** Esta investigación tuvo como objetivo analizar la factibilidad de la vinculación de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) en la mediación de prácticas experimentales de educación ambiental que contribuyan al fortalecimiento de competencias científicas, habilidades tecnológicas y conciencia ambiental en contextos de educación formal. Se realizó una revisión sistemática de literatura a partir de artículos y tesis publicadas en los últimos 12 años. Este proceso se dividió en tres etapas: 1) identificación, 2) cribado y 3) inclusión de los estudios seleccionados. Se consultaron bases de datos como IEEE Xplore, Science Direct y Scielo, así como el motor de búsqueda Google Académico. Del proceso de inclusión y exclusión, se seleccionaron un total de 35 publicaciones: 30 artículos, dos libros y tres tesis. Los hallazgos de la investigación se organizaron en cuatro subtemas: 1) integración del IoT en prácticas experimentales sobre educación ambiental, 2) instrumentación de dispositivos IoT, 3) software y herramientas de programación y 4) diseño metodológico de prácticas experimentales de educación ambiental. Se evidenció que la implementación de hardware educativo de bajo costo basado en IoT ofrece la posibilidad de desarrollar experiencias educativas que permiten a las personas estudiantes obtener conocimiento ambiental mediante el monitoreo de parámetros físicos contextualizados a entornos de aprendizaje de educación formal. Además, se determinó que las tecnologías emergentes de la Industria 4.0 representan una oportunidad para impulsar la innovación educativa en la enseñanza de las ciencias. Las principales limitaciones identificadas incluyen la disponibilidad de estudios sobre la integración del IoT en educación ambiental y la diversidad metodológica de las investigaciones analizadas.

**Palabras claves:** cambio climático, educación ambiental, método experimental, innovación educacional, tecnología educacional.

**Abstract:** This research had as objective to analyze the feasibility of the connection between technologies based on Internet of Things (IoT) with the mediation of environmental education practices that contribute to improve scientific competencies, technological abilities, and environmental awareness in formal education contexts. A systematic

literature review from papers and thesis published in the last 12 years was developed. This process had three stages: 1) identification, 2) screening, and 3) inclusion of the selected studies. Databases such as IEEE Xplore, Science Direct and Scielo were consulted, as well as the search engine Scholar Google. From the inclusion and exclusion process, were selected a total of 35 publications: 30 papers, two books and three theses. The research results are organized in four subjects: 1) IoT integration in environmental education experimental practices, 2) instrumentation of IoT devices, 3) programming software and tools, and 4) methodological design of environmental education experimental practices. It was shown that the implementation of low-cost educational hardware based on IoT offers the possibility of developing educational experiences which allow students to obtain environmental knowledge through monitoring physical parameters contextualized to formal learning environments. Besides, it was determined that technologies emerged from the 4.0 Industry represent an opportunity to impulse educative innovation in science teaching. The main limitations identified include the availability of research about IoT integration in environmental education, and the methodological diversity among the analyzed studies.

**Keywords:** climate change, environmental education, experiential method, educational innovation, educational technology.

**Resumo:** Esta pesquisa teve como objetivo analisar a viabilidade da vinculação de tecnologias baseadas na Internet das Coisas (IoT) na mediação de práticas experimentais de educação ambiental que contribuam para o fortalecimento de competências científicas, habilidades tecnológicas e consciência ambiental em contextos de ensino formal. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura a partir de artigos e teses publicados nos últimos 12 anos. Este processo foi dividido em três etapas: 1) identificação, 2) crivado, e 3) inclusão dos estudos selecionados. Foram consultadas bases de dados como IEEE Xplore, Science Direct e Scielo, assim como o motor de busca Google Acadêmico. Do processo de inclusão e exclusão foram selecionadas um total de 35 publicações: 30 artigos, dois livros e três teses. Os resultados da pesquisa se organizam em quatro tópicos: 1) integração da IoT em práticas experimentais sobre educação ambiental, 2) instrumentação de dispositivos da IoT, 3) software e ferramentas de programação, e 4) desenho metodológico de práticas experimentais de educação ambiental. Demonstrou-se que a implementação de hardware educacional de baixo custo baseado em IoT oferece a possibilidade de desenvolver experiências educativas que permitem aos alunos adquirir conhecimento ambiental por meio do monitoramento de parâmetros físicos contextualizados aos ambientes de aprendizagem da educação formal. Além disso, se determinou que as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 representam uma oportunidade para impulsionar a inovação educacional no ensino de ciências. As principais limitações identificadas incluem a disponibilidade de estudos sobre a integração da IoT na educação ambiental e a diversidade metodológica das pesquisas analisadas.

**Palavras-chave:** cambio climático, educação ambiental, método experimental, inovação educacional, tecnologia educacional.

## INTRODUCCIÓN

Los avances en ciencia y tecnología han impulsado cambios significativos en diversos campos del conocimiento, lo cual ha llevado a la educación a experimentar transformaciones en sus enfoques curriculares. En este sentido, la educación actual se orienta hacia el desarrollo de competencias y habilidades que preparen a la persona estudiante para enfrentar los desafíos del mundo laboral (Lizitza y Sheepshanks, 2020).

Ahora bien, los avances de la Industria 4.0 han traído consigo el desarrollo de tecnologías y plataformas de comunicación avanzada que habilitan la interacción multilateral entre el mundo físico y digital. Dicha integración digital de la información supone un alcance mucho más amplio para diversos sectores de la sociedad interesados en su aprovechamiento, en el cual la educación formal no debería ser una excepción.

Actualmente, el uso de tecnologías avanzadas en la educación científica es una realidad que cada vez adquiere más relevancia. La integración de tecnología en la mediación pedagógica es una pieza clave para innovar en la educación científica, para ello resulta indispensable que el profesorado de esta área interdisciplinar posea competencias de orden superior (Arabit *et al.*, 2021). Con base en los avances tecnológicos de la Industria 4.0, surgió la Educación 4.0, cuyo propósito es incorporar tecnologías de la Cuarta revolución industrial como herramientas pedagógicas en la mediación de prácticas educativas que faciliten el proceso de aprendizaje (Centurión, 2023).

Bajo este contexto, el Internet de las Cosas, por sus siglas en inglés IoT (*Internet of Things*), es una tecnología perteneciente a la Industria 4.0, la cual es considerada la próxima revolución del internet debido a su capacidad

de gestionar y de analizar datos para crear fuentes de información y conocimiento. La integración del IoT en el ámbito educativo fomenta la creación de canales de información y suscita el desarrollo de competencias en las personas estudiantes por medio de simuladores, emuladores y servicios en la nube (Álvarez y Santoyo, 2017; Cuchillac, 2023).

En este sentido, la enseñanza de las ciencias desempeña un papel fundamental en el desarrollo de competencias que permitan a la persona estudiante un acercamiento pedagógico a la ciencia y a la tecnología desde la educación media básica. El aprendizaje de las ciencias permite formar ciudadanos capaces de aplicar el conocimiento científico y tecnológico para resolver problemas y generar nuevo conocimiento en respuesta a las demandas de la sociedad (Castro y Ramírez, 2013). Por otra parte, en los últimos años se han intensificado las alteraciones en el funcionamiento habitual de los ecosistemas, causadas por humanos o inclusive de origen natural, lo cual ha captado la atención internacional para concretar acciones que mitiguen los efectos de este fenómeno global. La preocupación sobre esta problemática se centra en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En este contexto, la educación ambiental permite informar y motivar a las personas a cambiar actitudes y comportamientos para reducir el impacto del cambio climático y aprender a adaptarse a este. Además, se considera que los escenarios de educación formal son espacios ideales para realizar talleres y actividades didácticas que brinden a la población una formación ambiental centralizada en el cambio climático (Salazar *et al.*, 2021).

En atención a las oportunidades que brindan las tecnologías emergentes para el desarrollo de experiencias educativas en la enseñanza de las ciencias, este trabajo consistió en una revisión sistemática de literatura, cuyo objetivo fue analizar la factibilidad de la vinculación de tecnologías basadas en Internet de las Cosas en la mediación de prácticas experimentales de educación ambiental que contribuyan al fortalecimiento de competencias científicas, habilidades tecnológicas y conciencia ambiental en contextos de educación formal.

Para lograr el objetivo planteado, se consultaron bases de datos electrónicas y motores de búsqueda en inglés y en español, se aplicaron filtros para limitar los resultados de búsqueda a los últimos 12 años. El proceso de selección de investigaciones se basó en criterios de inclusión y exclusión, los estudios seleccionados fueron sometidos a una revisión de texto completo para extraer y sintetizar información relevante para el propósito de este estudio.

La literatura sobre el tema se clasificó en siete ejes temáticos: estándares de educación científica, competencias científicas en la educación, IoT, implementación del IoT en la educación, cambio climático, legislación global y educación ambiental basada en IoT. Asimismo, los hallazgos de la investigación se clasificaron en cuatro subtemas: integración del IoT en prácticas experimentales sobre educación ambiental, instrumentación de dispositivos de IoT, *software* y herramientas de programación, y diseño metodológico de prácticas experimentales de educación ambiental.

## LITERATURA SOBRE EL TEMA

### Estándares de educación científica

Las experiencias educativas de educación formal en ciencias naturales representan un escenario donde el proceso enseñanza-aprendizaje se basa en la exploración de saberes por medio de la comprobación de teorías y de la argumentación crítica. En los últimos 60 años, la educación científica ha sufrido diversas modificaciones debido a los cambios en las demandas y las exigencias de la sociedad, surgiendo en Estados Unidos un nuevo concepto denominado: Estándares de Ciencia de Próxima Generación, por sus siglas en inglés NGSS (*Next Generation Science Standards*) (Berry y Tapia, 2022; Hughes, 2023).

En este contexto, los NGSS constituyen un conjunto de estándares que adoptan un enfoque tridimensional de aprendizaje, diseñado para profundizar el conocimiento del estudiantado. Representan la última actualización de los estándares de educación científica K-12 en Estados Unidos, los cuales se han implementado en 19 estados. Aunque estos estándares son específicos de la política educativa estadounidense, han tenido un impacto global debido a su influencia en el desarrollo de la educación científica (Hageman, 2023; Sadler y Brown, 2018).

## Competencias científicas en la educación

En relación con las competencias científicas, Pérez y Meneses (2020) las definen como habilidades relacionadas al pensamiento científico y a sus niveles de interpretación en relación con fenómenos naturales. Por otra parte, Coronado y Arteta (2015) definen este concepto como un conjunto de conocimientos, capacidades y actitudes que permiten actuar en contextos donde se necesita producir o aplicar conocimientos científicos.

Respecto a lo anterior, el desarrollo de competencias científicas permite a la persona estudiante comprender la realidad a través de ideas abstractas, por lo cual la educación científica implica saber de ciencia y saber sobre ciencia. Para ello, es necesario que la persona docente promueva ambientes de aprendizaje centrados en la integración del conocimiento y la producción de saberes sólidos (Adúriz, 2018; Berry y Tapia, 2022).

Bajo este contexto, resulta fundamental mediar procesos de educación científica mediante estrategias que acerquen a la persona estudiante a la ciencia en situaciones contextualizadas a la vida real. En este sentido, pueden emplearse actividades como prácticas experimentales, las cuales son descritas por Mengascini y Mordeglija (2014) como actividades que promueven la aplicación del conocimiento científico para realizar observaciones, plantear hipótesis y ejecutar experimentos con el apoyo de instrumentos científicos, con el propósito de extraer conclusiones sobre el fenómeno estudiado.

Dentro de este marco, las prácticas experimentales desempeñan un papel esencial en la didáctica de las ciencias, dado que permiten demostrar y validar conceptos teóricos a través de espacios reflexivos y analíticos que favorecen la construcción de explicaciones sobre el objeto de estudio. La implementación de este recurso facilita la comprensión de las relaciones entre los fenómenos observables y los conceptos científicos subyacentes (Dyszel *et al.*, 2023). En este sentido, resulta fundamental abordar la enseñanza de las ciencias naturales mediante la integración de estrategias didácticas que permitan desarrollar competencias científicas en las personas estudiantes (Castro y Ramírez, 2013).

## Internet de las Cosas (IoT)

El IoT es un concepto que surgió a finales de los años noventa en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, por sus siglas en inglés: MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). El IoT se puede definir como la capacidad de integrar sensores y dispositivos físicos en objetos cotidianos para comunicarse entre sí por medio de la computación física y del internet (Cruz *et al.*, 2018; Veintimilla *et al.*, 2018).

Los sensores y procesadores empleados en el IoT son capaces de transmitir información por medio de redes, lo cual permite obtener, monitorear y gestionar datos de forma remota para generar bases de datos, realizar estadísticas, tendencias y probabilidades a partir de la actividad humana o del ambiente (Alvear *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2022).

Además, Saavedra *et al.* (2023) sostienen que el IoT, dada su versatilidad, ofrece numerosas aplicaciones en una amplia gama de sectores industriales. Los autores ilustran cómo este concepto se aplica en campos como la agricultura, la seguridad social, el transporte, la industria de la salud, los servicios médicos y la educación, entre otros.

## Implementación del IoT en la educación

El desarrollo de *hardware* y de *software* basado en la tecnología de IoT brinda la oportunidad de ser empleado con fines didácticos para mejorar la calidad del aprendizaje y promover el desarrollo de competencias científicas y habilidades digitales a través del uso de dispositivos electrónicos como herramientas de medición en procesos educativos relacionados a fenómenos físicos (Pinchuk y Sokolyuk, 2022; Veintimilla *et al.*, 2018).

En la educación formal, el IoT puede integrarse mediante laboratorios presenciales o remotos para facilitar la comprensión de fenómenos. Asimismo, se puede emplear en entornos híbridos de aprendizaje para combinar situaciones reales con elementos virtuales, lo cual permite experimentar y aplicar conocimientos con el apoyo de recursos digitales. Además, se pueden desarrollar plataformas de aprendizaje equipadas con aplicaciones informáticas para monitorear e interactuar con objetos físicos en entornos reales para brindar una experiencia de aprendizaje más práctica. Su implementación en la educación posee impactos significativos en metodologías y estilos de aprendizaje, dado que suscita la actividad cognitiva y facilita la formación de personas capaces de utilizar su conocimiento en la vida real (Lema, 2023; Pinchuk y Sokolyuk, 2022).

## Cambio climático

El cambio climático se define como el cambio de clima debido a la acción directa o indirecta del ser humano que modifica la composición atmosférica global. La causa más significativa del fenómeno es el aumento del efecto invernadero, ocasionado por gases emitidos en procesos de producción industrial, agrícola, transporte y consumo (Hernández, 2020; Romero, 2020).

En este contexto, el cambio climático puede ser ocasionado por fenómenos naturales como erupciones volcánicas o cambios en la composición de la atmósfera, y por factores externos como modulaciones de los ciclos solares. Sin embargo, estudios realizados evidencian que aproximadamente el 95 % del cambio climático es responsabilidad de los seres humanos, debido a su estilo de vida irracional y a la explotación de recursos naturales; el 5 % restante corresponde a fenómenos externos o de la naturaleza (Gómez y Freire, 2022).

Para una mejor comprensión del fenómeno en discusión, se considera pertinente definir algunos conceptos teóricos: La tierra está cubierta por una capa de gases denominada atmósfera, esencial para que pueda existir la vida. La capa de gases de efecto invernadero GEI se encuentra situada en una zona baja de la atmósfera, dicha capa permite el paso de la radiación solar, la cual calienta la superficie terrestre. El calor de la superficie es emitido hacia la atmósfera, retenido por los GEI y reemitidos hacia la superficie terrestre en todas direcciones, lo cual resulta en un aumento en la temperatura superficial (Hernández, 2020).

El efecto invernadero es un fenómeno natural, los gases más eficientes en absorber y en remitir calor son: el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>). El CO<sub>2</sub> es el GEI más relevante debido a que las actividades humanas más comunes son fuentes primarias de emisión hacia la atmósfera. Este fenómeno es necesario para la vida en la tierra, pero el incremento de las emisiones de GEI ha aumentado el promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, lo cual ha ocasionado el derretimiento de mantos de hielo, la disminución del agua disponible, los impactos ecológicos y los efectos en la salud (Hernández, 2020).

## Legislación global

Ahora bien, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamado global a la acción, con el propósito de poner fin a la pobreza, proteger el ambiente y asegurar el bienestar de todos. Existen 17 ODS interrelacionados, este marco aborda una variedad de desafíos, desde la igualdad de género, el cambio climático, la promoción de la salud y la educación de calidad accesible para todos. Los ODS representan una guía fundamental para construir un futuro más equitativo, sostenible y próspero (León *et al.*, 2019).

En relación con el cambio climático, el ODS 13 se enfoca en las acciones por el clima, su finalidad es inculcar en la población acciones que ayuden a combatir este fenómeno y sus efectos. Sus objetivos específicos: son fortalecer la capacidad de adaptación a los riesgos climáticos y a los desastres naturales en todos los países, implementar acciones contra el cambio climático en políticas, estrategias y planes nacionales, y elevar la sensibilización en la población y en las instituciones mediante la educación, para reducir los efectos de este fenómeno, mejorar la adaptación y lograr la alerta temprana (Romero, 2020).

## Educación ambiental basada en Internet de las Cosas (IoT)

En consideración de lo anterior, la educación formal e informal es esencial para enfrentar este fenómeno, la importancia de educar y formar personas desde esta problemática va más allá de aspectos cognitivos y alfabetización climática, se debe enfatizar en generar respuestas emocionales y actitudinales. La educación ambiental requiere del desarrollo y de la integración de estrategias metodológicas que preparen a las personas para el desastre, su minimización y adaptación a sus consecuencias inevitables (Salazar *et al.*, 2021).

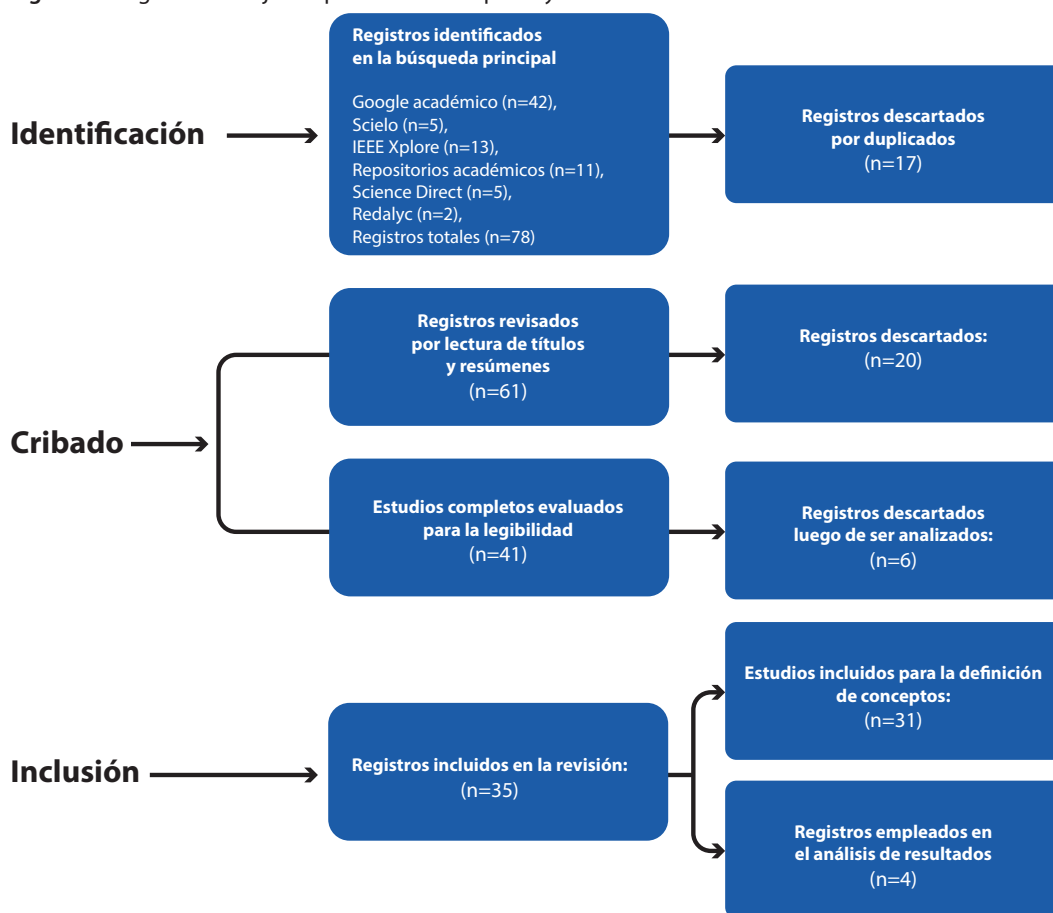
Debido a la necesidad de educar a la población desde esta problemática, ha surgido el interés por utilizar redes de sensores de IoT para monitorear el consumo de electricidad y la calidad ambiental de centros educativos o de reservas naturales, con el fin de obtener datos reales que puedan ser implementados en la educación STEM. En este contexto, en Grecia, Italia y Suecia, se han utilizado herramientas de IoT para el monitoreo en tiempo real de parámetros ambientales en edificios educativos. Los datos obtenidos son utilizados para desarrollar experiencias de aprendizaje para educar y concientizar a la persona estudiante sobre los efectos ambientales del consumo energético (Tziortzioti *et al.*, 2018).

Asimismo, la implementación de dispositivos de monitoreo de calidad ambiental basados en IoT en la educación superior permite generar informes de calidad ambiental, lo cual puede servir como base para el desarrollo de prácticas de educación ambiental. La integración de herramientas basadas en esta tecnología promueve el desarrollo de competencias científicas y tecnológicas, así como la alfabetización y la conciencia ambiental para promover ambientes sostenibles (Liao *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2022).

## MÉTODO

Este artículo corresponde a un diseño de revisión sistemática de literatura, definido por Carrizo y Moller (2018) como un estudio secundario que emplea una metodología rigurosa para identificar, analizar e interpretar de manera imparcial y transparente la evidencia relacionada con el objeto de estudio. Bajo este enfoque, la revisión se llevó a cabo conforme a los estándares establecidos en la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Asimismo, este estudio se realizó bajo el marco de un análisis temático, el cual corresponde a una técnica de investigación que permite identificar, analizar y reportar patrones o temas recopilados de forma empírica a partir de un conjunto de datos (Escudero, 2020). La metodología se estructuró en tres etapas: identificación, cribado e inclusión de los estudios seleccionados (ver Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de búsqueda y selección de estudios



Nota. Elaboración propia.

**Etapla 1: Identificación.** Se consultaron bases de datos electrónicas como Scielo, IEEE Xplore, Science Direct, y motores de búsqueda como Google Académico y su versión en inglés Google Scholar. Estos últimos fueron seleccionados debido a su amplio acceso a publicaciones científicas de diversas disciplinas y a su capacidad para indexar artículos de múltiples fuentes, como repositorios institucionales y conferencias especializadas. Se emplearon términos de búsqueda clave como “educación científica”, “educación ambiental”, “Internet de las Cosas”, “learning technologies” y “environmental education”. Asimismo, se utilizaron filtros para reducir los resultados de las búsquedas a artículos publicados en los últimos 12 años, garantizando así la relevancia y actualidad de la información recopilada.

**Etapla 2: Cribado.** Los criterios de inclusión y exclusión contemplaron estudios originales en español y en inglés que abordaran temáticas relacionadas con la educación, el cambio climático y el IoT como herramienta didáctica. Se excluyeron las investigaciones que no aportaban información relevante, estudios que no articulaban el IoT con la educación y trabajos que no estaban disponibles en texto completo. Se realizó una revisión de los títulos y resúmenes de los artículos para determinar su relevancia y pertinencia. Las fuentes que cumplieron con los criterios de inclusión fueron sometidas a una revisión de texto completo.

**Etapla 3: Inclusión.** De cada publicación seleccionada, se extrajeron y sintetizaron datos y resultados relevantes de acuerdo con el propósito de la investigación. Se incluyeron un total de 34 estudios, de los cuales 30 fueron utilizados para la descripción de conceptos y cuatro, en la discusión de resultados.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La sistematización de la revisión de literatura consideró bases de datos académicas y motores de búsqueda de acceso abierto. La búsqueda avanzada tomó como criterios publicaciones de los últimos 12 años que aborden temas: como IoT en prácticas experimentales, educación ambiental, IoT en monitoreo ambiental, *software* y análisis de datos para IoT en educación, en idioma inglés y español. Los hallazgos fueron clasificados en cuatro subtemas que se desarrollan a continuación.

### Integración del IoT en prácticas experimentales sobre educación ambiental

En Taiwán, Liao *et al.* (2021) realizaron un estudio en donde emplearon la realidad aumentada, por sus siglas en inglés AR (Augmented Reality), y el IoT como herramientas didácticas en la educación ambiental. Su objetivo fue determinar el impacto que poseen estas tecnologías en el rendimiento y en la satisfacción del estudiantado. En esta investigación, participaron 90 personas estudiantes de quinto año del sur de Taiwán, se utilizó la AR en 45 estudiantes y el IoT en los 45 restantes.

Asimismo, en España, Tabuenca *et al.* (2023) realizaron una investigación para suscitar la conciencia ambiental a través del uso del IoT como herramienta de aprendizaje. Para ello, las personas autoras desarrollaron un dispositivo que mide diversos parámetros ambientales. A partir del dispositivo elaborado, diseñaron dos escenarios de aprendizaje para su implementación en prácticas de educación ambiental: uno dirigido a personas estudiantes y otro dirigido a personas docentes.

En esta línea, Guler *et al.* (2022) llevaron a cabo una investigación en Estados Unidos sobre la integración de *hardware* en la educación para promover la alfabetización climática y la investigación científica. El estudio se enfocó en el uso de computación física y sensores de IoT en personas estudiantes de educación rural K-12 en Alaska. Para ello, las personas investigadoras desarrollaron Tekniverse, una plataforma de aprendizaje de IoT que incorpora herramientas diseñadas para instruir a la persona estudiante en la creación de redes de IoT, donde a través del uso de objetos físicos (sensores), se midieron y analizaron datos experimentales.

Del mismo modo, en un estudio colaborativo entre investigadores de Austria, Chipre y España, Rodosthenous *et al.* (2022) diseñaron una estación de calidad ambiental basada en IoT para medir parámetros dentro de las aulas, con el propósito de fomentar la conciencia ambiental y las actitudes responsables hacia el ambiente. Para enriquecer la experiencia de aprendizaje, las personas autoras propusieron el uso de la estación mediante estrategias pedagógicas que promuevan un aprendizaje ambiental interactivo a través de la gamificación.

### Instrumentación de dispositivos de IoT

Para integrar el IoT en la educación ambiental, Liao *et al.* (2021) diseñaron un dispositivo utilizando un webduino de bajo costo para combinar diversos sensores. Además, fabricaron una caja por medio de impresión 3D, en la cual instalaron un sensor para medir temperatura, humedad y material particulado (PM<sub>1.0µm</sub>, PM<sub>2.5µm</sub>, PM<sub>10µm</sub>) del ambiente en tiempo real; los datos obtenidos fueron revelados mediante una pantalla OLED. En la Tabla 1, se detallan los componentes físicos de este instrumento de IoT con sus respectivos precios locales aproximados.

**Tabla 1**

Componentes físicos del dispositivo de IoT realizado en Taiwán

| Componente                               | Función                            | Unidad de medida  | Precio local |
|------------------------------------------|------------------------------------|-------------------|--------------|
| Protoboard                               | Montaje del circuito electrónico   | No aplica         | 2 dólares    |
| Webduino                                 | Placa de desarrollo                | No aplica         | 10 dólares   |
| Sensor DHT11                             | Sensor de temperatura/humedad      | °C/%              | 6 dólares    |
| Sensor PMSA003i                          | Sensor de materia particulada      | µm/m <sub>3</sub> | 70 dólares   |
| Pantalla OLED                            | Visualización de datos             | No aplica         | 10 dólares   |
| Carcas impresa en 3D                     | Protección de componentes internos | No aplica         | -            |
| <b>Precio aproximado del dispositivo</b> |                                    |                   | 98 dólares   |

Por otra parte, la estación de calidad ambiental basada en IoT desarrollada por Tabuenca *et al.* (2023), incorporó sensores para medir: concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura ambiente, humedad relativa y luz ambiental, así como temperatura y humedad del suelo. Además, incorporaron un anillo led para indicar alertas relacionadas a las variables medidas, agregaron una pantalla OLED para visualizar los datos y un panel solar. En la Tabla 2, se detallan los componentes físicos de la estación ambiental diseñada en España, con sus precios locales aproximados.

**Tabla 2**

Componentes físicos de la estación desarrollada en España

| Componente                               | Función                                                           | Unidad de medida | Precio local |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|
| Placa circuito impreso                   | Montaje del circuito electrónico                                  | No aplica        | 2 dólares    |
| ESP32                                    | Placa de desarrollo                                               | No aplica        | 15 dólares   |
| Sensor SCD30                             | Sensor de concentración de CO <sub>2</sub> /temperatura y humedad | ppm/°C/%         | 60 dólares   |
| Sensor VEML7700                          | Sensor de luz ambiental                                           | lux              | 8 dólares    |
| Sensor capacitivo de humedad del suelo   | Sensor de humedad del suelo                                       | %                | 5 dólares    |
| DfRobot-DS18B20                          | Sensor de temperatura del suelo                                   | °C               | 20 dólares   |
| Anillo led RGB                           | Indicador de niveles de las variables medidas                     | No aplica        | 12 dólares   |
| Panel solar                              | Fuente de energía para el dispositivo                             | No aplica        | 20 dólares   |
| Módulo de tarjeta SD                     | Almacenar los datos obtenidos recopilados                         | No aplica        | 5 dólares    |
| Carcasa impresa en 3D                    | Protección de componentes internos                                | No aplica        | -            |
| <b>Precio aproximado del dispositivo</b> |                                                                   |                  | 147 dólares  |

En la misma línea, el dispositivo desarrollado por Guler *et al.* (2022) consistió: en una placa de circuito impreso dotado de un microcontrolador NRF52840 con protocolos de conexión inalámbrica, un sensor de luz, un acelerómetro, un sensor de temperatura, un altavoz, un indicador led con código de colores, unos pines de comunicación para enviar y recibir información y un sistema de alimentación compuesto por baterías AAA. Las personas autoras nombraron a este dispositivo: Bluebird (v1.8), el cual está disponible para su compra en la página web de Teknikio a un precio aproximado de 32 dólares.

Asimismo, la estación de calidad ambiental basada en IoT diseñada por Rodosthenous *et al.* (2022) estaba equipada con sensores para medir luz ambiental, concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad relativa del aire, así como temperatura y humedad del suelo. Además, contaba con un indicador led que representaba los datos recopilados mediante códigos de color, una pantalla OLED para su visualización numérica y una tarjeta SD para el almacenamiento local de la información. Las personas investigadoras no especificaron los modelos de los sensores utilizados, lo cual impidió calcular el costo estimado de construcción del dispositivo a nivel local.

## Software y herramientas de programación

El dispositivo desarrollado por Liao *et al.* (2021) no incluyó ningún sistema de comunicación. En contraste, tanto la estación ambiental diseñada por Tabuenca *et al.* (2023) como la desarrollada por Rodosthenous *et al.* (2022) incorporaron protocolos de comunicación que permitieron la visualización y la interacción con los datos obtenidos. Ambos dispositivos utilizaron los siguientes protocolos, los cuales se describen a continuación:

- Panel de visualización de datos: consiste en la conexión de la estación a la plataforma Thingsboard.io mediante el protocolo MQTT. Dicho protocolo permite visualizar en tiempo real las mediciones de magnitudes físicas recopiladas por los sensores.
- Chatbot Telegram Messenger: se fundamenta en el diseño de un bot de Telegram, el cual se comunica por medio de API con la plataforma Thingsboard.io. En este caso, se utiliza el protocolo MQTT igual que en el sistema anterior.
- Hojas de cálculo: mediante el módulo de lector de tarjetas SD, el sistema almacena los valores en formato de hojas de cálculo que pueden exportarse en formato csv. a un ordenador para ser analizados.

Por otro lado, el dispositivo Bluebird (v1.8), utilizado por Guler *et al.* (2022) en su investigación, se encontraba enlazado a un panel de monitoreo de datos dotado de gráficas que representaban la información recopilada por los sensores. Estos datos podían ser descargados en formato.json para su posterior análisis mediante programas estadísticos como Excel que soporten este tipo de archivo.

En cuanto a la programación del Bluebird (v1.8), Guler *et al.* (2022) propusieron un enfoque de programación por bloques, diseñado para ser sencillo e intuitivo, especialmente para usuarios principiantes. Este sistema incluyó tres tipos de bloques (entrada, modificador y salida) y cinco categorías (internet, efectos, lógica, matemáticas y análisis), además incorporaron bloques personalizados para el monitoreo de sismos y estaciones meteorológicas inteligentes. Las personas autoras señalaron que el dispositivo también podía ser programado mediante Python o Arduino IDE para aquellos que estaban más familiarizados con estos lenguajes de programación.

## Diseño metodológico de prácticas experimentales de educación ambiental

En cuanto al diseño metodológico, Liao *et al.* (2021) en su investigación dispusieron de 120 minutos para utilizar el dispositivo, al inicio de la actividad la persona docente a cargo explicó aspectos pertinentes a la contaminación del aire, los objetivos de la educación ambiental y las habilidades necesarias para utilizar los sistemas experimentales. Antes de comenzar a operar el dispositivo IoT, las personas estudiantes fueron sometidas a una prueba formativa para evaluar sus conocimientos previos.

Durante la experiencia de aprendizaje, las personas estudiantes tuvieron acceso a internet para buscar contenido de su interés relacionado a la educación ambiental, tras 60 minutos se les solicitó realizar otra prueba formativa para evaluar los conocimientos adquiridos sobre contaminación del aire. La prueba constó de 25 ítems de selección múltiple para evaluar el nivel de desempeño durante el aprendizaje, se determinó el coeficiente  $\alpha$  de Cronbach para conocer la confiabilidad del cuestionario, donde se obtuvo el valor de 0.92, el cual se traduce como una confiabilidad excelente (Liao *et al.*, 2021).

Los resultados de la prueba de conocimientos previos y la prueba posterior al uso del IoT, como recurso tecnológico en la educación ambiental, fueron analizados por medio de estadística descriptiva y una prueba t, donde determinaron las puntuaciones del desarrollo de aprendizaje. Las personas autoras evidenciaron una mejora de 13.07 puntos en la media después de utilizar esta herramienta, quienes concluyeron que el uso de esta tecnología potencia el rendimiento académico de la persona estudiante al ofrecer la oportunidad de observar, interactuar y experimentar con su entorno real, lo cual favorece la construcción del conocimiento ambiental contextualizado a la vida diaria (Liao *et al.*, 2021).

Seguidamente, las personas investigadoras aplicaron un cuestionario, mediante una escala de Likert de 5 puntos midieron el nivel de satisfacción de las personas estudiantes al emplear el IoT en la educación ambiental, donde obtuvieron como resultado una media de más de 4 puntos. Con base en los resultados, las personas autoras concluyeron que las personas participantes desarrollaron una muy buena satisfacción al utilizar este recurso, debido a su enfoque innovador (Liao *et al.*, 2021).

Con lo que respecta a la investigación de Tabuenca *et al.* (2023), las personas investigadoras diseñaron dos escenarios de aprendizaje para integrar el IoT en prácticas ambientales, el primero de ellos fue destinado a personas estudiantes y dividido en seis actividades:

- Demostración: se realizó una presentación del dispositivo de IoT para mostrar sus componentes y principales funciones, se recopilaron datos en tiempo real a modo de demostración.
- Interacción: las personas estudiantes utilizaron el dispositivo para determinar cómo varían los datos de la humedad del suelo, la luz ambiental y la concentración de CO<sub>2</sub> en función de acciones concretas como agregar agua al suelo, tapar el sensor de luz y exhalar aliento sobre el sensor de CO<sub>2</sub>.
- Análisis: se formaron parejas a quienes se les entregó una hoja con mediciones realizados por el sistema de IoT el día anterior, cada una analizó los valores de las mediciones e identificó cuáles acciones pueden variar los datos que obtienen los sensores.
- Discusión: se realizó una pequeña discusión sobre las unidades estándar de cada medición (ppm de CO<sub>2</sub>, luxes de luz, porcentaje de humedad y grados Celsius de temperatura), así como los valores recomendados de estos parámetros en interiores para el bienestar de plantas y personas. Se describieron las correlaciones observadas entre las variables recopiladas durante la sesión.
- Programación: se efectuó una demostración del sistema de IoT conectando un sensor de temperatura a un microcontrolador, se escribió un código para obtener valores de este parámetro a través de una pantalla. Las personas estudiantes ejecutaron el programa y calibraron la frecuencia de lectura e impresión de datos en función de la fluctuación de la variable.
- Presentación de informes: se solicitó a las personas estudiantes proporcionar de forma voluntaria sus comentarios y opiniones sobre el dispositivo de IoT utilizado.

El segundo escenario fue destinado a personas docentes, con base en Tabuenca *et al.* (2023). Este escenario se dividió en dos actividades:

- Aprendizaje, enseñanza y formación: se capacitó al personal docente durante dos días en sesiones presenciales, donde se abordaron temas pertinentes a las competencias científicas, a las habilidades digitales verdes y al diseño de actividades de aprendizaje basadas en el IoT, la implementación de la gamificación bajo esta tecnología y el desarrollo de la conciencia ambiental. Las personas docentes fueron capacitadas para utilizar el dispositivo de IoT, recolectar datos y analizarlos.
- Diseño de actividad de aprendizaje: se desafió al profesorado a diseñar actividades de aprendizaje mediante el uso de la tecnología de IoT con base en el contexto de sus salones de clase.

Los datos obtenidos por Tabuenca *et al.* (2023) fueron analizados bajo un enfoque mixto, donde se evaluaron ambos escenarios. Además, desarrollaron un análisis cualitativo con cuatro preguntas al estudiantado, por medio de una evaluación cuantitativa determinaron la usabilidad y la calidad del sistema utilizado, para ello emplearon la Escala de Usabilidad del Sistema con diez preguntas en una escala de Likert de cinco puntos.

En el primer escenario, se solicitó a las personas estudiantes comentar algunos usos potenciales que puede tener el dispositivo de IoT en el contexto educativo. Destacaron la posibilidad de aprender sobre los efectos que poseen las plantas en interiores sobre las personas, el desarrollo de conciencia ambiental, la formación de competencias científicas y digitales, la exploración de energías renovables, las estrategias para ahorrar recursos y la adquisición de conocimientos relacionados con electrónica (Tabuenca *et al.*, 2023).

Los resultados del análisis cualitativo demostraron que las personas participantes consideraron interesante e intuitivo el sistema que utilizaron, pues les permitió medir diversas variables en un solo dispositivo. Destacaron que al ser un sistema de bajo costo, les motiva a desarrollarlo y aplicarlo en sus hogares. Por otra parte, comentaron que les gustaría que mejorara la robustez de la estructura del dispositivo y que se agregaran sensores adicionales para medir más variables (Tabuenca *et al.*, 2023).

Mediante evaluación cuantitativa, las personas autoras determinaron una alta usabilidad del sistema de IoT por parte de las personas estudiantes, obteniendo una puntuación de 71.1 (por encima de la media de usabilidad, 68). Asimismo, obtuvieron el valor de 0.84 para el coeficiente  $\alpha$  Cronbach, lo cual afirma una buena confiabilidad del cuestionario. Las personas estudiantes emplearon diversos adjetivos para describir la cualidad hedónica del sistema, donde se obtuvieron: atractivo ( $n = 10$ ), innovador ( $n=8$ ), fácil de usar ( $n=6$ ), rápido ( $n=4$ ), eficiente ( $n=4$ ) y útil ( $n=4$ ) (Tabuenca *et al.*, 2023).

Respecto al segundo escenario, Tabuenca *et al.* (2023) reportaron que, a la fecha de publicación de su investigación, se crearon 29 actividades de aprendizaje con base en dispositivos de IoT, con el objetivo de promover la conciencia ambiental. El 58.6 % de las actividades se diseñaron para trabajar en grupos de 3-5 estudiantes, el 34.5 % para trabajar individualmente y un 31.0 % para toda la clase. Las estrategias de aprendizaje fueron diseñadas para educación primaria en un 34,5 %, para educación secundaria en un 31.0 % y en educación superior en un 41.4 %. Estas destacaron por propiciar el desarrollo de competencias científicas, suscitar la adquisición de habilidades tecnológicas mediante el uso de telemetría y promover la conciencia ambiental mediante el uso de plantas (Tabuenca *et al.*, 2023).

En cuanto al diseño metodológico empleado por Guler *et al.* (2022) en su investigación, los autores trabajaron con una muestra de 100 participantes, a quienes se les proporcionó un dispositivo Bluebird (v1.8), un conjunto de datos de estaciones meteorológicas locales y registros sísmicos de Alaska. La investigación incluyó cuatro sesiones virtuales de una hora cada una, realizadas a través de Zoom, en las cuales las personas estudiantes fueron divididas en siete grupos. A continuación, se describen las cuatro sesiones según lo reportado por los autores:

- Sesión 1: se brindó una introducción a la plataforma Tekniverse y al concepto de IoT, además de una explicación sobre el uso del dispositivo Bluebird (v1.8). Posteriormente, se asignó a las personas estudiantes un ejercicio básico que consistió en utilizar el acelerómetro del dispositivo para diseñar un temporizador.
- Sesión 2: se desarrolló un módulo sobre ecología para familiarizar a las personas estudiantes con el monitoreo ambiental mediante los sensores de luz y temperatura del Bluebird (v1.8). Este módulo abarcó cinco temáticas: (1) introducción, (2) luz, (3) calor, (4) agua y (5) factores bióticos y abióticos.
- Sesión 3: como parte del módulo sobre ecología, se impartió una lección centrada en el análisis de terrenos. En esta sesión, las personas participantes aprendieron a configurar los bloques de monitoreo de sismos y a visualizar los datos recopilados mediante gráficas.
- Sesión 4: se explicó a las personas estudiantes cómo configurar los bloques del código para interactuar con las estaciones meteorológicas inteligentes. La sesión concluyó con un espacio de preguntas y respuestas, seguido de una invitación a aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos a lo largo de las cuatro sesiones para desarrollar proyectos propios y compartirlos en la plataforma.

Las personas participantes completaron un cuestionario antes y después de la experiencia educativa desarrollada por Guler *et al.* (2022). En este, se les preguntó sobre sus habilidades computacionales y el uso de tecnologías para fomentar la educación ambiental y la conciencia ecológica en sus comunidades. Como resultado, las personas autoras informaron que todos las personas participantes reconocieron que las tecnologías empleadas mejoraban su aprendizaje. Además, determinaron que aquellas personas estudiantes con conocimientos limitados aprendieron a recopilar y a contrastar datos reales a partir de una estación meteorológica.

Por último, el diseño metodológico propuesto por Rodosthenous *et al.* (2022) corresponde a una estrategia didáctica para desarrollar una experiencia de aprendizaje. Esta metodología se estructuró en dos escenarios: el primero dirigido a personas docentes y el segundo a personas estudiantes de educación primaria y secundaria. En su investigación, las personas autoras se limitaron a describir el planteamiento de las actividades, no reportaron resultados, dado que consideran esta metodología como un punto de partida para futuras aplicaciones y para desarrollo de experiencias de aprendizaje.

En cuanto al primer escenario, Rodosthenous *et al.* (2022) describieron la implementación de una plataforma en línea de acceso abierto para la capacitación del personal docente que utilice su estación de calidad ambiental. La propuesta incluyó cinco sesiones sincrónicas de dos horas cada una, en las cuales se propuso abordar temas: como el cuidado de las plantas, su relación con las personas, la investigación-acción pedagógica, el uso de sensores ambientales de IoT y las tecnologías de visualización de datos, además de otras herramientas aplicables al proceso educativo.

Respecto al segundo escenario, la estrategia planteada por Rodosthenous *et al.* (2022) se encontró dentro del marco de la gamificación, donde propusieron analizar los datos recopilados por la estación ambiental mediante estrategias de juego cuantitativas que promuevan la participación y el interés de la persona estudiante. Las personas autoras plantearon una actividad en la que pequeños grupos de estudiantes reciben una planta y una estación. En el panel de visualización, propusieron mostrar el estado de la planta (feliz, triste, sedienta, entre otros) según los datos obtenidos. A partir de esta información y las observaciones realizadas, establecieron que cada grupo concrete acciones específicas en función del estado de la planta (ver Tabla 3).

**Tabla 3**

Mapeo del estado de las plantas según los parámetros ambientales y observaciones

| Estado de la planta | Parámetros ambientales             | Observaciones                         | Mensaje       | Acciones por realizar                                  |
|---------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------|
| Feliz               | Temperatura, CO <sub>2</sub> y luz | Hojas verdes sin signos de enfermedad | Cara feliz    | Rociar las hojas con agua                              |
| Triste              | Temperatura, CO <sub>2</sub> y luz | Caída de hojas                        | Cara triste   | Verificar la humedad del suelo y el color de las hojas |
| Sedienta            | Temperatura                        | La maceta está completamente seca     | Cara sedienta | Verificar la humedad del suelo y regar las plantas     |

Nota. Adaptada de "Creating Environmental Awareness in Education Through IoT and Gamification" (p. 663) por C. Rodosthenous, E. Mavrotheris, W. Greller y B. Tabuenca, 2022, *International Conference on Interactive Collaborative Learning*, pp. 657-668.

Por último, Rodosthenous *et al.* (2022) plantearon una segunda actividad que incorpora el juego de roles en forma individual o en grupos (ver Tabla 4), lo cual fomenta la competencia entre personas estudiantes y fortalece el compromiso de participar mediante puntos, insignias o recompensas dentro del juego. Según las personas autoras, este tipo de actividades promueve habilidades relacionadas con la interpretación de datos y la predicción de eventos, esto a su vez potencia competencias científicas y conciencia ambiental.

**Tabla 4**

Asignación de tareas a realizar por el estudiantado con base en su rol dentro del juego

| Tarea por realizar                                                                                                                                                     | Rol                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Coordinar los tiempos de monitoreo de la estación                                                                                                                      | Administrador      |
| Compartir el estado actualizado de las plantas de forma periódica                                                                                                      | Comunicador        |
| Formar equipos de personas que analicen y comparen datos de varias plantas para identificar las diferencias entre cada una y explicar por qué ocurren esas diferencias | Analista de datos  |
| Verificar si la contaminación afecta la salud de una planta colocando la planta y la estación en diferentes lugares de la escuela                                      | Científico         |
| Monitorear el estado de la planta mediante observaciones, regarla, rociar sus hojas y verificar que ni el suelo ni sus hojas estén secos                               | Experto en plantas |

Nota. Adaptada de "Creating Environmental Awareness in Education Through IoT and Gamification" (p. 664) por C. Rodosthenous, E. Mavrotheris, W. Greller y B. Tabuenca, 2022, *International Conference on Interactive Collaborative Learning*, pp. 657-668.

Los resultados de la revisión respaldan la viabilidad de vincular la tecnología de IoT con la educación ambiental a través de la construcción de prototipos y su despliegue en experiencias educativas basadas en prácticas experimentales de asignaturas de ciencias naturales. Los hallazgos publicados por Liao *et al.* (2021), Tabuenca *et al.* (2023), Guler *et al.* (2022) y Rodosthenous *et al.* (2022), representan validaciones en campo que compartieron como propósito el fortalecimiento de la alfabetización climática y el desarrollo de conciencia ambiental.

## CONCLUSIONES

La implementación de tecnologías emergentes como el IoT en contextos de educación formal representa una oportunidad de innovación educativa para la enseñanza de las ciencias. Por ello, se debería promover la alfabetización digital de docentes de ciencias, en ejercicio y en formación, para su aprovechamiento e incorporación sostenible en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

El creciente interés de la comunidad científica por la tecnología de IoT aplicada al estudio del monitoreo ambiental ha impulsado la disponibilidad de componentes de bajo costo, así como de información científica validada. Estos recursos representan insumos valiosos para el diseño de experiencias de educación ambiental en asignaturas de ciencias, las cuales integren herramientas de computación física y análisis de datos con el propósito de enseñar conceptos teóricos mediante un enfoque de aprendizaje experiencial.

A partir de la revisión y de la información sistematizada, se determina que el desarrollo de estaciones ambientales de IoT con fines didácticos es factible desde las perspectivas económica, metodológica y logística. Esto se sustenta en que los componentes empleados en los trabajos analizados tendrían un costo local aproximado de \$150 (ciento cincuenta dólares estadounidenses). Además, los planes de estudio de ciencias en la educación formal contemplan la educación ambiental como un eje transversal y la fabricación y ensamblaje de los prototipos puede llevarse a cabo en laboratorios de fabricación y en espacios de creación disponibles en instituciones de educación superior.

## CONTRIBUCIÓN DE LAS PERSONAS AUTORAS

Johan Fabricio Torres Madrigal: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, validación, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición final.

Luis David Badilla Oviedo: conceptualización, curación de datos, análisis formal, captación de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, redacción - borrador original.

## REFERENCIAS

- Adúriz Bravo, A. (2018). Enseñanza de las ciencias naturales estructurada en torno a "competencias": ¿qué hay de nuevo? *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 13(1), 5-6. <https://doi.org/10.14483/23464712.12916>
- Álvarez Martínez, A., y Santoyo Díaz, J. S. (2017). Internet de las cosas y herramientas de software libre aplicadas a la educación. *Revista Ingeniare*, 13(22). <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.22.1339>
- Alvear-Puertas, V., Rosero-Montalvo, P., Peluffo-Ordóñez, D., y Pijal-Rojas, J. (2017). Internet of Things and Artificial Vision, Performance and Applications: Literature Review. *Enfoque UTE*, 8(1), 244-256. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.121>
- Arabit-García, J., García-Tudela, P. A., y Prendes-Espinosa, M. P. (2021). Uso de tecnologías avanzadas para la educación científica. *Revista Iberoamericana De Educación*, 87(1), 173-194. <https://doi.org/10.35362/rie8714591>
- Berry, S., y Tapia-Gutiérrez, O. M. (2022). Competencias científicas en el contexto del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales. *Portal De La Ciencia*, 3(1), 13-26. <https://doi.org/10.51247/pdlc.v3i1.307>
- Carrizo, D., y Moller, C. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26, 45-54. <http://dx.doi.org/10.4067/50718-33052018000500045>
- Castro Sánchez, A., y Ramírez Gómez, R. (2013). Enseñanza de las ciencias naturales para el desarrollo de competencias científicas. *Amazonia Investiga*, 2(3), 30-53. <https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/646>
- Centurión, D. (2023). Educación 4.0: un proceso continuo de innovación educativa. *Revista UNIDA Científica*, 7(1), 32-34. <https://revistacientifica.unida.edu.py/publicaciones/index.php/cientifica/article/view/137>
- Coronado Borja, M. E., y Arteta Vargas, J. (2015). Competencias científicas que propician docentes de Ciencias naturales. *Zona Próxima*, (23), 131-144. <https://doi.org/10.14482/zp.22.5832>
- Cruz-Felipe, M. del R., Pinargote-Ortega, J. M., Demera-Ureta, G. P., y Zambrano-Zambrano, D. M. (2018). Tecnologías de internet de las cosas en la obtención de información. *Dominio De Las Ciencias*, 4(2), 147-160. <https://doi.org/10.23857/dc.v4i2.783>
- Cuchillac, V. M. (2023). La enseñanza de IoT como estrategia para desarrollar competencias técnicas para la Industria 4.0. *Realidad y Reflexión*, 1(57), 15-38. <https://doi.org/10.5377/ryr.v1i57.16694>
- Dyszel, F., Espinoza, A. M., y Acevedo, C. (2023). Experimentos en clases de ciencias: transacciones de significado en un grupo de trabajo colaborativo. *Revista Latinoamericana De Estudios Educativos*, 53(1), 369-396. <https://doi.org/10.48102/rlee.2023.53.1.529>
- Escudero, C. (2020). El análisis temático como herramienta de investigación en el área de la Comunicación Social: contribuciones y limitaciones. *La trama de la comunicación*, 24(2), 89-100. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668-56282020000200005&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668-56282020000200005&script=sci_arttext)

- Gómez, V. J. G., y Freire, E. E. E. (2022). Educación para el cambio climático. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5(2), 17-24. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/493>
- Guler, S. D., Sotelo, S., y Iwabuchi, M. (2022, June). Tekniverse: Towards a connected future for sensors, education, and action: Fostering Environmental Literacy with IoT and Physical Computing. En *Proceedings of the 21st Annual ACM Interaction Design and Children Conference* (pp. 583-589). <https://doi.org/10.1145/3501712.3535291>
- Hageman, J. (2023). *A Next Generation Science Standards (NGSS) Aligned 3rd Grade Weather Unit* [Proyecto de Graduación de Maestría, University of Northern Iowa]. <https://scholarworks.uni.edu/grp/3730/>
- Hernández, Y. (2020). Cambio climático: causas y consecuencias. *Renovat: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, Tecnología e Innovación*, 4(1), 38-53. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/rnt/article/view/3517>
- Hughes, J. (2023). *Development and Implementation of a NGSS Curriculum Unit for Astronomy in Ninth-Grade Earth and Space Science* [Proyecto de Graduación de Maestría, University of Northern Iowa]. <https://scholarworks.uni.edu/grp/3604/>
- Lema, R. (2023). *Estudio de vigilancia científica sobre los factores claves en el desarrollo de dispositivos de IoT para aplicaciones en educación* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26584>
- León Pupo, N. I., Castellanos Domínguez, M. I., Curra Sosa, D., Cruz Ramírez, M., y Rodríguez Palma, M. I. (2019). Investigación en la Universidad de Holguín: compromiso con la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. *Actualidades Investigativas en Educación*, 19(1), 348-378. <https://dx.doi.org/10.15517/aie.v19i1.35699>
- Liao, Y. W., Hsieh, M. C., y Wei, C. W. (2021). Effectiveness of integrating AR and IoT technologies into environmental education for elementary school students. *International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, 78-80. <https://doi.org/10.1109/ICALT52272.2021.00031>
- Lizitza, N., y Sheepshanks, V. (2020). Educación por competencias: cambio de paradigma del modelo de enseñanza-aprendizaje. *Revista Argentina de Educación Superior: RAES*, (20), 89-107. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7592063>
- Mengascini, A. S., y Mordeglia, C. (2014). Caracterización de prácticas experimentales en la escuela a partir del discurso de docentes de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(2), 71-89. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.755>
- Pérez, S., y Meneses Villagrà, J. Á. (2020). La competencia científica en las actividades de aprendizaje incluidas en los libros de texto de Ciencias de la Naturaleza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(2), 210101-210118. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2020.v17.i2.2101](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i2.2101)
- Pinchuk, O. P., y Sokolyuk, O. M. (2022). Use of digital educational equipment experiment as a current problem of environmental education. *ACNS Conference Series: Social Sciences and Humanities*, 2, 1-6. <https://doi.org/10.55056/cs-ssh/2/01006>
- Rodosthenous, C., Mavrotheris, E., Greller, W., y Tabuenca, B. (2022). Creating environmental awareness in education through IoT and gamification. En *International Conference on Interactive Collaborative Learning* (pp. 657-668). Cham, Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26190-9\\_69](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26190-9_69)
- Romero, R. (2020). El cambio climático y el ODS 13: acción por el clima ante la reciente sanción de la ley de presupuestos mínimos de adaptación y mitigación al cambio climático global. En *XVI Jornadas y VI Internacionales de Comunicación Científica de la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales y Políticas UNNE* (pp. 356-360). Corrientes, Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Derecho y Ciencias Sociales y Políticas. Universidad Nacional del Nordeste. <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/29651>
- Sadler, T. D., y Brown, D. E. (2018). Introduction to the special issue: A critical examination of the Next Generation Science Standards. *J Res Sci Teach*, 55, 903-906. <https://doi.org/10.1002/tea.21508>

- Salazar, A., Sosa, M., y Munguía, A. (2021). La educación como clave para combatir el cambio climático en el estado de Yucatán. En S. E. Martínez, J. F. Sarmiento y M. C. Valles (Coords.), *Aproximaciones teórico-metodológicas para el análisis territorial y el desarrollo regional sostenible: Vol. 1. Recuperación transformadora de los territorios con equidad y sostenibilidad* (pp. 719-734) Universidad Nacional Autónoma de México. <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/5395>
- Saavedra-Neira, J. J., Hernández-Barba, M. I., y Mendoza-De Los Santos, A. C. (2023). Aplicaciones y beneficios IOT como alternativa en el gobierno TI: Revisión sistemática de literatura. *Revista Científica de la UCSA*, 10(1), 120-138. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2023.010.01.120>
- Silva Díaz, F. R., Fernández-Ferrer, G., Vázquez-Vílchez, M., Ferrada, C., Narváez, R., y Carrillo-Rosúa, J. (2022). Tecnologías emergentes en la educación STEM. Análisis bibliométrico de publicaciones en Scopus y WoS (2010-2020). *Bordón. Revista De Pedagogía*, 74(4), 25-44. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94198>
- Tabuenca, B., Moreno-Sancho, J.-L., Arquero-Gallego, J., Greller, W., y Hernández-Leo, D. (2023). Generating an environmental awareness system for learning using IoT technology. *Internet of Things*, 22, 100756. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100756>
- Tziortzioti, C., Mavrommati, I., Mylonas, G., Vitaletti, A., y Chatzigiannakis, I. (2018). Scenarios for Educational and Game Activities using Internet of Things Data. En *IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/CIG.2018.8490370>
- Veintimilla, J., Ulloa, J., y Veintimilla, M. (2018). Transformación de la educación superior por medio del surgimiento del internet de las cosas (IoT). *Sistemas, cibernética e informática*, 15(1), 1-5. <https://www.iiisci.org/journal/PDV/risci/pdfs/CA097GC17.pdf>
- Wu, T. N., Chin, K. Y., y Lai, Y. C. (2022). Applications of Intelligent Environmental IoT Detection Tools in Environmental Education of College Students. En *International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, 240-243. <https://doi.org/10.1109/IIAIAAI55812.2022.00055>