



ORIGINAL

Innovative model for the integration of ICTs in rural environmental education: towards a sustainable pedagogy

Modelo innovador para la integración de tic en la educación ambiental rural: hacia una pedagogía sostenible

Rubén Baena-Navarro^{1,2} , Luis Serrano-Ardila³ , Yulieth Carriazo-Regino² 

¹Universidad de Córdoba. Colombia.

²Universidad Cooperativa de Colombia. Colombia.

³Colombia Universidad Metropolitana De Educación, Ciencia y Tecnología. Panamá.

Citar como: Baena-Navarro R, Serrano-Ardila L, Carriazo-Regino Y. Innovative model for the integration of ICTs in rural environmental education: towards a sustainable pedagogy. Southern perspective / Perspectiva austral. 2024; 2:35. <https://doi.org/10.56294/pa202435>

Enviado: 02-10-2023

Revisado: 18-01-2024

Aceptado: 28-07-2024

Publicado: 29-07-2024

Editor: Mileydis Cruz-Quevedo 

ABSTRACT

This study examines the hypothesis that effective integration of Information and Communication Technologies (ICT) in environmental education, through well-designed pedagogical strategies and the development of critical digital competencies, can significantly improve sustainability learning and student engagement with environmental issues. Through a rigorous bibliometric analysis of the literature between 2018 and 2023, we developed the Model of Pedagogical Integration for Sustainability and Technology (MIPST), which is grounded in active pedagogy, critical digital competence, inclusion and accessibility, and community engagement. The findings suggest that ICT, when implemented within an appropriate pedagogical framework, not only offer valuable tools for sustainability teaching and learning, but that their success is crucially dependent on effective inclusion and community collaboration. This paper contributes to the field of environmental education by providing a detailed framework for effective ICT integration, with the potential to transform both the teaching and learning of sustainability. Furthermore, it highlights the importance of tailoring educational interventions to the specific needs of each community, ensuring that technology serves as a bridge to a more sustainable and equitable future.

Keywords: Environmental Education; Information and Communication Technologies; MIPST Model; Active Pedagogy; Sustainability.

RESUMEN

Este estudio examina la hipótesis de que la integración efectiva de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la educación ambiental, a través de estrategias pedagógicas bien diseñadas y el desarrollo de competencias digitales críticas, puede mejorar significativamente el aprendizaje sobre sostenibilidad y la participación de los estudiantes en temas ambientales. Mediante un riguroso análisis bibliométrico de la literatura entre 2018 y 2023, desarrollamos el Modelo de Integración Pedagógica para la Sostenibilidad y la Tecnología (MIPST), que se fundamenta en pedagogía activa, competencia digital crítica, inclusión y accesibilidad, y participación comunitaria. Los hallazgos sugieren que las TIC, cuando se implementan dentro de un marco pedagógico adecuado, no solo ofrecen herramientas valiosas para la enseñanza y el aprendizaje de la sostenibilidad, sino que su éxito es crucialmente dependiente de la inclusión efectiva y la colaboración comunitaria. Este trabajo contribuye al campo de la educación ambiental al proporcionar un marco detallado para la integración efectiva de las TIC, con el potencial de transformar tanto la enseñanza como el aprendizaje de la sostenibilidad. Además, resalta la importancia de adaptar las intervenciones educativas a las necesidades específicas de cada comunidad, asegurando que la tecnología sirva como un puente hacia un futuro más sostenible y equitativo.

Palabras clave: Educación Ambiental; Tecnologías de la Información y Comunicación; Modelo MIPST; Pedagogía Activa; Sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

La integración de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la educación ambiental es fundamental para promover el desarrollo sostenible, especialmente en instituciones educativas rurales. En este contexto, estudios recientes han abordado diversas estrategias y resultados de implementar programas educativos ambientales con apoyo tecnológico, destacando su potencial para mejorar el aprendizaje y la conciencia ambiental. Por ejemplo, Sarmah y Deka (2023) resaltan la importancia de los programas de educación ambiental basados en la escuela en Assam, India, como un componente clave para lograr el desarrollo sostenible en la región, enfatizando la iniciativa del gobierno para promover la educación ambiental (Sarmah & Deka, 2023). Del mismo modo, Korotkova y Zakirova (2021) subrayan la conexión intrínseca entre la educación para el desarrollo sostenible y la educación ambiental, argumentando que ambas áreas se desarrollan más efectivamente cuando se trabajan conjuntamente (Korotkova & Zakirova, 2021).

Kozorez y Olevskya (2022) destacan la importancia de integrar la educación ambiental con el desarrollo sostenible en instituciones educativas rurales, subrayando cómo estas iniciativas educativas pueden promover una mayor conciencia y responsabilidad socioambiental entre los estudiantes (Kozorez & Olevskya, 2022). Por otro lado, los desafíos para implementar plataformas educativas en Acapulco, Guerrero, México, durante la pandemia de COVID-19, resaltan la falta de recursos e infraestructura necesaria para la conectividad, lo cual es crucial para la integración efectiva de las TIC en la educación (Bedolla Solano et al., 2023).

En contraste, el Programa Cultivando Agua Boa (CAB) en Santa Helena, PR, ha utilizado la Pedagogía de la Autonomía de Paulo Freire y la investigación participativa para involucrar a los agricultores en compromisos hacia soluciones para desafíos ambientales, demostrando cómo la educación ambiental puede fomentar el desarrollo rural sostenible (Barros, N. H., Capponi, N. F., Schwanke, J., Grisa, 2019). Este enfoque subraya la capacidad de las iniciativas educativas ambientales para promover no solo el conocimiento, sino también la acción hacia la sostenibilidad.

A nivel global, la UNESCO enfatiza la capacidad de la tecnología digital para complementar, enriquecer y transformar la educación, acelerando el progreso hacia el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 (SDG 4) para garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos. Este enfoque no solo mejora la calidad y relevancia del aprendizaje sino que también fortalece la inclusión y permite una educación accesible para todos (UNESCO, 2023a). Además, se ha planteado la necesidad de discernir entre las expectativas exageradas y la contribución real de la tecnología a la educación, con estimaciones del tamaño del mercado global de la tecnología educativa variando entre USD 123 mil millones y USD 300 mil millones en 2022, destacando tanto el potencial optimista de expansión como la importancia de establecer criterios y estándares para evaluar el impacto real de la tecnología en la educación (UNESCO, 2023b).

La UNESCO también ha instado a hacer de la educación ambiental un componente central del currículo en todos los países para 2025, resaltando la importancia de adquirir conocimientos, habilidades, valores y actitudes que fomenten el cambio positivo y la protección del futuro de nuestro planeta (UNESCO, 2022). Esta dirección subraya la creciente necesidad y urgencia de integrar las TIC en la educación ambiental, proporcionando un marco para la adopción de prácticas educativas que no solo informen, sino que también empoderen a los estudiantes a tomar acciones conscientes hacia la sostenibilidad.

En Colombia, estudios destacan el papel fundamental de las herramientas tecnológicas y sostenibles en la educación ambiental. A través de diversas investigaciones enfocadas en el municipio de El Socorro, Santander, se evidencia cómo la adopción de tecnologías en escuelas rurales no solo enriquece el aprendizaje ambiental, sino que también involucra activamente a la comunidad educativa en la adopción de prácticas sostenibles. Este enfoque subraya la necesidad de una educación que trascienda los límites del aula, integrando la tecnología como un medio para alcanzar el desarrollo sostenible en comunidades locales (Vega Serrano, 2020).

La metodología adoptada para este estudio se fundamenta en una rigurosa revisión sistemática de la literatura, analizando estudios relevantes entre 2018 y 2023, para comprender integralmente cómo las TIC se han integrado en la educación ambiental hacia la consecución del desarrollo sostenible. Este enfoque nos permite identificar patrones, desafíos y oportunidades emergentes en la literatura existente, y desarrollar un modelo proyectivo que articula las tecnologías digitales con estrategias pedagógicas en contextos rurales. Este modelo busca ser un referente para la implementación y evaluación de programas educativos ambientales, promoviendo una participación comunitaria activa y sostenible. La naturaleza

proyectiva de esta investigación subraya su compromiso con la creación de soluciones prácticas y teóricas para enfrentar los desafíos ambientales contemporáneos, destacando la importancia de una base empírica sólida y la innovación educativa para un futuro sostenible.

MÉTODO

La metodología para esta investigación se enfoca en una revisión sistemática de la literatura, siguiendo pasos específicos para identificar y analizar trabajos relevantes. Se utilizará una cadena de búsqueda en bases de datos académicas, centrada en las TIC, la educación ambiental y modelos educativos innovadores. Los criterios de inclusión y exclusión están claramente definidos, priorizando artículos recientes, relevantes y revisados por pares. Se realizará una extracción y análisis detallado de datos para evaluar el impacto de las innovaciones pedagógicas. Basándose en este análisis, se desarrollará un modelo innovador que integre efectivamente las TIC en la educación ambiental, adaptable a varios contextos y promoviendo un aprendizaje significativo y participativo. Este enfoque no solo ofrece una comprensión profunda del estado actual de la investigación, sino que también contribuye al campo con un modelo educativo original y práctico.

La metodología se centrará en una revisión sistemática de literatura, siguiendo estos pasos:

Fase 1: Búsqueda de Literatura

Usar bases de datos académicas con la cadena de búsqueda: (“Information and Communication Technologies” OR ICT) AND (“environmental education”) AND (“educational models” OR “pedagogical innovation”) (Page et al., 2021; Vidal-Durango et al., 2024).

Criterios de Inclusión

- Artículos publicados entre 2018 y 2023.
- Estudios que se enfoquen específicamente en la aplicación de las TIC en la educación ambiental.
- Trabajos que presenten modelos educativos o innovaciones pedagógicas.
- Solo artículos en revistas con revisión por pares.

Criterios de Exclusión

- Artículos fuera del rango de fechas especificado.
- Estudios no relacionados directamente con las TIC y la educación ambiental.
- Literatura gris, como tesis, disertaciones y conferencias no revisadas por pares.

Como parte de nuestra metodología, se aplicaron técnicas estadísticas para cuantificar la dispersión y la relación entre el número de citas y el año de publicación de los artículos revisados. Estos cálculos son fundamentales para la bibliometría, ya que ofrecen un panorama cuantitativo sobre las tendencias y patrones dentro de la literatura académica. La varianza de las citas de los artículos (s^2) ofrece una medida de dispersión alrededor del promedio de citas y se calculó utilizando la ecuación (1) (Storey et al., 2014):

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad (1)$$

Donde x_i representa el número de citas de un artículo individual, \bar{x} es el promedio de citas y N es el número total de artículos analizados. Un alto valor de varianza indica una gran variabilidad en la frecuencia de citación de los estudios, lo que podría estar influenciado por la relevancia del tema, la prominencia de la revista y la difusión del artículo.

Por otro lado, la covarianza entre el número de citas (x) y los años de publicación (y) proporciona una medida de la relación lineal entre estas dos variables cuantitativas y se determinó con la ecuación (2):

$$cov(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N - 1} \quad (2)$$

Un valor positivo en la covarianza señalaría que ambos conjuntos de datos varían juntos en la misma dirección, mientras que un valor negativo sugiere variaciones en direcciones opuestas. Esta medida es esencial para identificar tendencias potenciales entre las dos variables cuantitativas y para destacar áreas de la literatura que podrían requerir atención adicional o que ya están bien establecidas (Falloon, 2020).

Fase 2: Extracción de Datos y Análisis

Identificar y sintetizar los hallazgos principales de los artículos seleccionados, evaluando la eficacia y el impacto de las innovaciones pedagógicas y los modelos educativos en la educación ambiental. La extracción de datos se enfocará en identificar tendencias, desafíos, y oportunidades en la integración de las TIC en la educación ambiental, así como en evaluar la eficacia de modelos educativos y pedagógicos innovadores. Basándose en esta síntesis de la literatura, se propondrá un modelo original que fomente una educación ambiental efectiva y atractiva mediante el uso de tecnologías, adaptado a diversos contextos educativos y promoviendo un aprendizaje significativo y participativo.

Fase 3: Desarrollo de un Modelo Innovador

Basándose en el análisis, diseñar un modelo que integre las TIC en la educación ambiental de manera efectiva, promoviendo tanto el aprendizaje significativo como la participación de los estudiantes en la sostenibilidad ambiental. Este modelo se caracterizará por su adaptabilidad a diversos contextos educativos, especialmente en entornos rurales, y por promover una interacción dinámica entre estudiantes, tecnología y contenido educativo ambiental.

Esta metodología permitirá no solo comprender el estado actual de la investigación sino también contribuir significativamente al campo con un modelo educativo innovador y original, diseñado para mejorar la educación ambiental mediante el uso de las TIC.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la figura 1 parecen centrarse en la intersección de conceptos clave como “environmental education”, “higher education”, “sustainability”, e “ICT”. La densidad de conexiones sugiere una estrecha relación entre estas áreas, resaltando la importancia de las TIC en la promoción de una educación ambiental que contribuye a la sostenibilidad en el ámbito de la educación superior. La innovación y los métodos de enseñanza emergen como temas secundarios pero relevantes, indicando que la adopción de nuevas tecnologías es fundamental para los avances educativos. Este mapa visual también sugiere la presencia de discusiones sobre la cognición y la metodología, lo que puede reflejar un interés en comprender cómo los estudiantes procesan y aplican la educación ambiental. La educación a distancia y el aprendizaje electrónico parecen ser métodos de entrega pertinentes dentro del contexto educativo actual, posiblemente acentuados por los desafíos recientes de la pandemia de COVID-19.

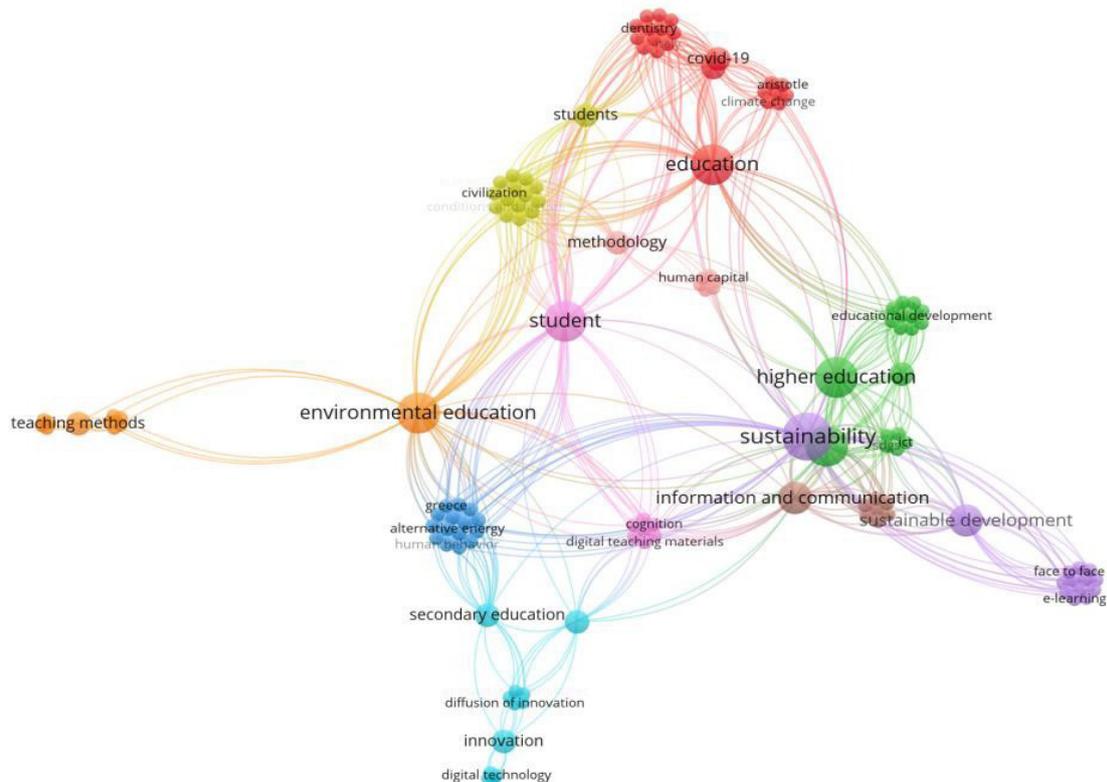


Figura 1. Red de Cocurrencia de Términos

La figura 2 muestra un mapa de densidad conceptual de los temas que emergen alrededor de la educación ambiental. Las “nubes” de calor representan la frecuencia y la conexión entre los conceptos. Los términos más destacados son “environmental education”, “sustainability”, “information and communication”, y “higher education”, que indican los principales focos de discusión.

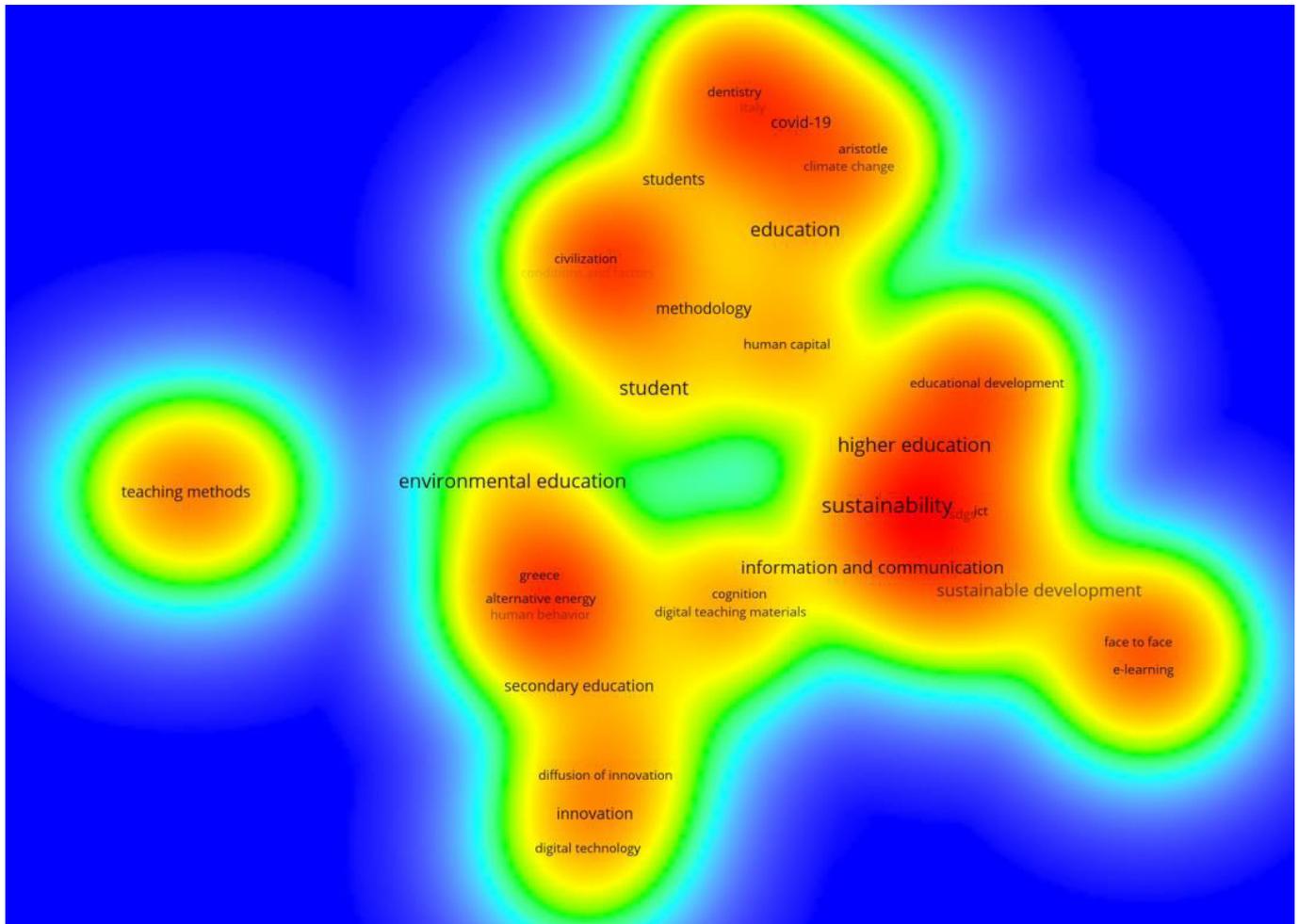


Figura 2. Mapa de Densidad de Investigaciones

Cada concentración de color en la figura 2 señala un área temática que podría ser explorada más a fondo:

1. Área Azul: «Teaching methods» y «secondary education» sugieren un énfasis en las estrategias pedagógicas aplicadas al nivel secundario.
2. Área Roja: «COVID-19», «students», y «education» reflejan el impacto de la pandemia en la educación y cómo ha afectado a los estudiantes.
3. Área Verde: «Sustainable development» y «information and communication» aluden a la integración de las TIC en el aprendizaje para el desarrollo sostenible.
4. Área Amarilla: «Higher education» y «sustainability» destacan la importancia de la educación superior en la promoción de la sostenibilidad.

La intersección y la proximidad de estas áreas temáticas indican cómo la educación ambiental puede actuar como un nexo entre diferentes niveles educativos y la sostenibilidad, posiblemente afectados por el cambio global y los desafíos actuales como la pandemia.

En la figura 3, observamos cómo se distribuyen distintos temas clave en un plano definido por su relevancia central (centrality) y su grado de desarrollo (density). Esta disposición de los temas en cuadrantes ofrece una perspectiva estratégica para la identificación de áreas de enfoque potencial. Temas como «sustainability» y «ICT» aparecen como fundamentales y bien establecidos, lo que los califica como motores de investigación futura. Por otro lado, «secondary education» se presenta como un tema emergente, sugiriendo un campo de creciente interés y desarrollo dentro de la educación ambiental.

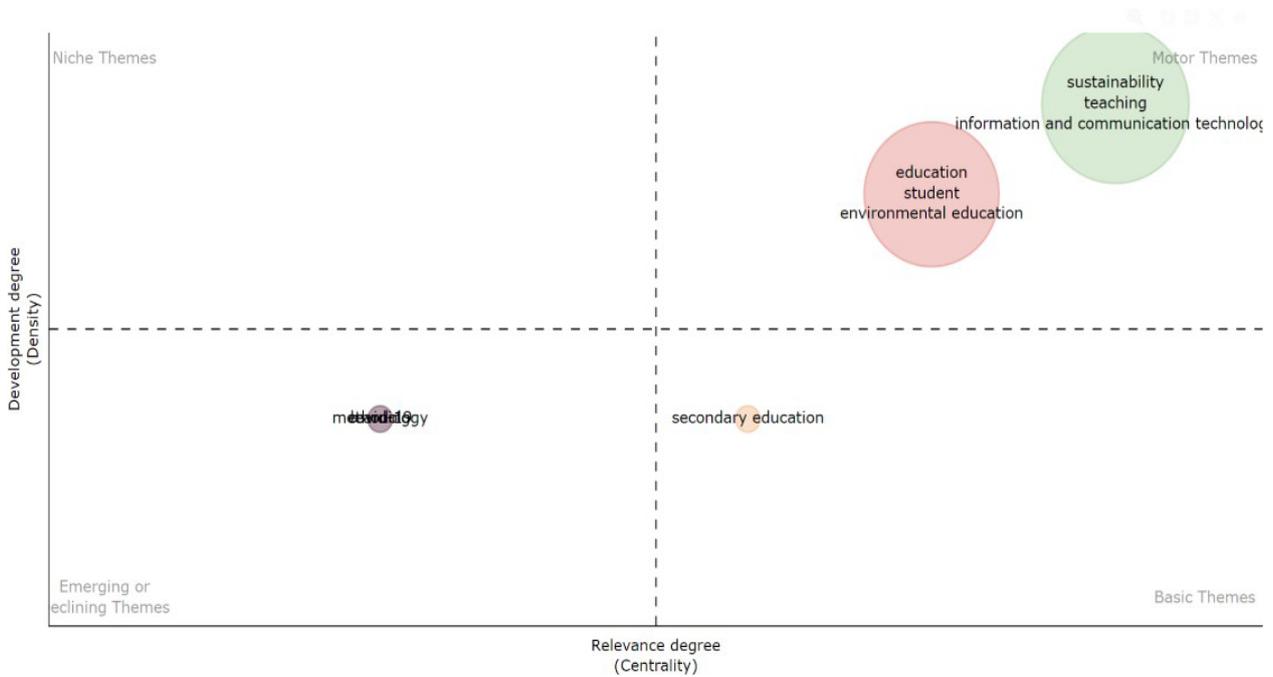


Figura 3. Ejes Temáticos en la Educación Ambiental y las TIC

La figura 4, proporciona una visión de la interrelación entre diversas variables educativas y ambientales. El gráfico muestra cómo conceptos como “e-learning” y “sustainable development” comparten una relación estrecha, lo cual podría indicar que el aprendizaje electrónico es una herramienta potencialmente poderosa para la promoción del desarrollo sostenible en la educación. Este tipo de análisis es valioso para destacar las sinergias entre la tecnología y la pedagogía ambiental, y para subrayar las direcciones prometedoras que la investigación en educación sostenible podría tomar.

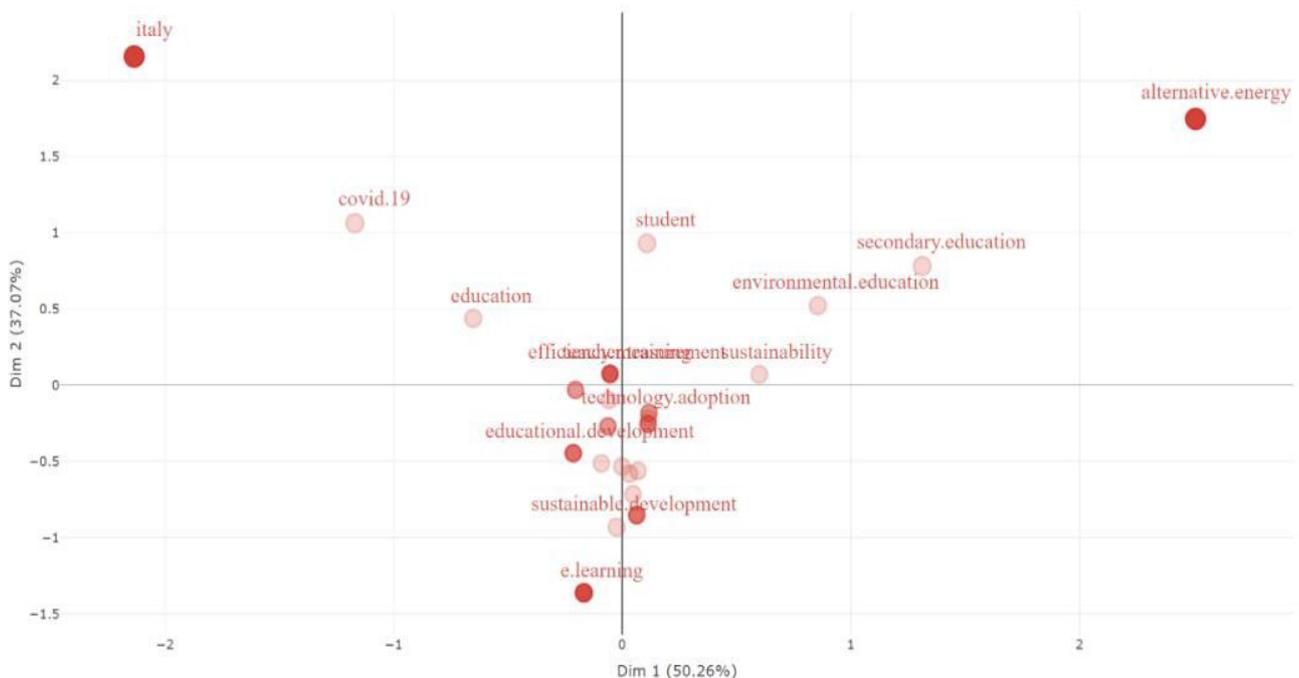


Figura 4. Análisis Factorial en la Educación Sostenible

La tabla 1 recopila una muestra de trabajos relevantes y destacados en el campo, obtenidos a través de la revisión sistemática de la literatura realizada en este estudio. Estos trabajos, vistos como referencias fundamentales, pueden brindar una base sólida para futuras investigaciones en esta área.

Tabla 1. Análisis Comparativo de Trabajos Relevantes

Estudio	Nro. Citas	Implicaciones para la Educación Ambiental	Recomendaciones para Futuras Investigaciones	Enfoque y Aporte a la Investigación
“The effectiveness of problem-based learning in technical and vocational education in Malaysia” (Jabarullah & Iqbal Hussain, 2019)	105	Los hallazgos brindan una base empírica para implementar el PBL como forma de aprendizaje experiencial en instituciones de educación superior, especialmente aquellas que utilizan el modelo HTVET, y justifican el diseño de estructuras curriculares y tiempos de aprendizaje estudiantil con énfasis en el aprendizaje activo y experiencial.	Explorar la posibilidad de que el enfoque PBL sea un moderador del rendimiento estudiantil en programas HTVET merece una investigación más detallada.	Este estudio contrasta el impacto del PBL en dos diferentes enfoques educativos dentro de la educación técnica y vocacional, ofreciendo evidencia empírica sobre la efectividad del PBL, particularmente en el modelo HTVET. Destaca la importancia de integrar métodos de aprendizaje activos y experienciales en la formación técnica y vocacional para mejorar la empleabilidad y las habilidades prácticas de los graduados.
“Sustainable Higher Education and Technology-Enhanced Learning (TEL)” (Daniela et al., 2018)	91	La incorporación de TIC en la educación ambiental podría mejorar significativamente la calidad y el alcance del aprendizaje, apoyando así el desarrollo sostenible.	Se sugiere un enfoque más detallado en cómo la competencia digital tanto de profesores como de estudiantes puede mejorar la integración efectiva de las TIC en la educación ambiental.	Este estudio destaca la importancia de superar la brecha digital y mejorar la competencia digital para una integración efectiva de las TIC en la educación, apoyando así un modelo educativo sostenible.
“Digital technology and practices for school improvement: innovative digital school model” (Ilomäki & Lakkala, 2018)	55	Aunque el estudio se centró en la mejora escolar a través de la tecnología digital en general, los hallazgos pueden inspirar enfoques similares para integrar las TIC en la educación ambiental, especialmente en términos de innovación pedagógica y prácticas de enseñanza colaborativa.	Futuras investigaciones podrían explorar la aplicabilidad del modelo en diferentes contextos geográficos y culturales, y cómo los elementos del modelo pueden adaptarse para enfocarse específicamente en la educación ambiental y la sostenibilidad.	El estudio ofrece un marco tanto para la investigación como para la práctica escolar, proporcionando un modelo basado en la investigación para que las escuelas examinen y mejoren sus propias prácticas con tecnologías digitales. Esto contribuye significativamente al campo de la mejora escolar y la integración de las TIC en la educación.
“Environmental Behavior of Secondary Education Students: A Case Study at Central Greece” (Ntanos et al., 2018)	39	Destaca la necesidad de integrar sólidamente la educación ambiental en los currículos escolares para fomentar la conciencia y responsabilidad socioambiental.	Ampliar la investigación a más regiones y evaluar la efectividad de programas educativos específicos sobre el comportamiento ambiental.	Aporta una comprensión de los perfiles ambientales de los estudiantes y subraya la importancia de la educación ambiental en la promoción de la sostenibilidad, contribuyendo al campo con un análisis detallado del papel de la educación y la familia en la formación de comportamientos ambientales responsables.
“Early childhood teachers making multiliterate learning environments: The emergence of a spatial design thinking process” (Cortés Loyola et al., 2020)	14	Aunque el estudio se centró en la mejora escolar a través de la tecnología digital en general, los hallazgos pueden inspirar enfoques similares para integrar las TIC en la educación ambiental, especialmente en términos de innovación pedagógica y prácticas de enseñanza colaborativa.	Investigaciones futuras podrían explorar la aplicabilidad del modelo en diferentes contextos geográficos y culturales, y cómo los elementos del modelo pueden adaptarse para enfocarse específicamente en la educación ambiental y la sostenibilidad.	El estudio ofrece un marco para la investigación y la práctica escolar, proporcionando un modelo basado en la investigación para que las escuelas examinen y mejoren sus propias prácticas con tecnologías digitales. Esto contribuye significativamente al campo de la mejora escolar y la integración de las TIC en la educación.
“COVID-19 and dental distance-based education: students’ perceptions in an Italian University” (Di Giacomo & Di Paolo, 2021)	12	Aunque el estudio se centró en la educación dental a distancia, los hallazgos pueden inspirar metodologías para integrar las TIC en la educación ambiental, promoviendo un aprendizaje efectivo y la conciencia ambiental a través de estrategias educativas adaptativas.	Futuras investigaciones deberían explorar más sobre cómo la educación a distancia puede adaptarse eficazmente a las necesidades de aprendizaje práctico y clínico, especialmente en campos como la odontología que dependen en gran medida de la experiencia práctica.	Este estudio aporta una perspectiva valiosa sobre la educación a distancia en tiempos de crisis, destacando la importancia del feedback de los estudiantes para adaptar y mejorar las estrategias educativas en contextos de educación superior.

<p>“Massive Open Online Courses (MOOC) within the Framework of International Developmental Cooperation as a Strategy to Achieve Sustainable Development Goals” (Sosa-Díaz & Fernández-Sánchez, 2020)</p>	9	<p>Resalta la importancia de los MOOCs en la promoción de una educación inclusiva y de calidad que contribuye a la sostenibilidad ambiental.</p>	<p>Se necesita más Investigación aplicada para abordar los desafíos educativos y de sostenibilidad que enfrentan las sociedades actuales.</p>	<p>Destaca el potencial de los MOOCs para mejorar la educación ambiental mediante la integración efectiva de las TIC.</p>
<p>“Postgraduate Trends in the Training of Human Talent for Sustainable Development” (Acevedo-Duque et al., 2022)</p>	9	<p>Este estudio subraya la importancia de integrar las TIC en la educación ambiental de manera efectiva para promover el aprendizaje significativo y la participación activa de los estudiantes en la sostenibilidad ambiental. Propone un modelo educativo adaptado a diversos contextos, especialmente en entornos rurales, promoviendo una interacción dinámica entre estudiantes, tecnología y contenido educativo ambiental.</p>	<p>Se sugiere expandir la investigación a otras regiones y contextos educativos para refinar y ampliar el conocimiento sobre la integración de las TIC en la educación ambiental. También se recomienda explorar la implementación y efectividad de modelos educativos específicos propuestos en diversos contextos educativos.</p>	<p>El estudio contribuye al campo de la educación para el desarrollo sostenible mediante el diseño de un modelo innovador que integre las TIC en la educación ambiental, destacando la necesidad de un cambio en la formación del talento humano que responda a los desafíos ambientales, económicos y sociales del desarrollo sostenible.</p>
<p>“Toward Understanding Secondary Teachers’ Decisions to Adopt Geospatial Technologies: An Examination of Everett Rogers’ Diffusion of Innovation Framework” (Curtis, 2020)</p>	5	<p>Los hallazgos subrayan la necesidad de entender mejor cómo y por qué los profesores aceptan y utilizan herramientas digitales en la enseñanza, lo cual es crucial para incorporar efectivamente las TIC en la educación ambiental.</p>	<p>Se sugiere realizar más investigaciones para explorar las razones detrás de la adopción variada de las TIC por parte de los profesores y cómo esto puede ser aprovechado para informar el desarrollo profesional y el diseño de herramientas educativas geoespaciales.</p>	<p>Este estudio ofrece una nueva perspectiva sobre la adopción de tecnologías geoespaciales en la enseñanza de la geografía, desafiando la noción de un proceso lineal de adopción y destacando la importancia de considerar el conocimiento y uso actual de las TIC por parte de los profesores en el desarrollo de estrategias de Integración tecnológica en la educación.</p>
<p>“ICT tools and citizen science: a pathway to promote science learning and Education for Sustainable Development in schools” (Rodríguez-Loinaz et al., 2022)</p>	4	<p>Estas iniciativas educativas pueden promover no solo el conocimiento sino también la acción hacia la sostenibilidad, preparando a los estudiantes con habilidades globales para los desafíos de sostenibilidad del siglo XXI.</p>	<p>Investigar más sobre cómo la participación en actividades de ciencia ciudadana puede incrementar el conocimiento científico y la alfabetización, y cómo puede contribuir al compromiso con la conservación del medio ambiente.</p>	<p>Este estudio destaca el papel de las herramientas TIC y la ciencia ciudadana como medios efectivos para promover el aprendizaje de las ciencias y la educación para el desarrollo sostenible en las escuelas. Proporciona un marco para futuras iniciativas educativas que busquen integrar activamente a los estudiantes en la investigación científica y los desafíos de sostenibilidad mediante el uso de tecnología.</p>

La tabla 1, presenta el número de citas de estos trabajos, nuestro análisis reveló una varianza en el número de citas de aproximadamente 1403,34, lo cual resalta una significativa heterogeneidad en la frecuencia con la que los estudios han sido citados. Además, la covarianza de -40,93 sugiere una tendencia decreciente en el número de citas con el aumento en el año de publicación, lo que puede reflejar el creciente interés en temas emergentes aún no establecidos en el corpus bibliográfico.

El análisis estadístico aplicado a la bibliometría, como el presentado, proporciona una perspectiva cuantitativa invaluable para evaluar la literatura. Este enfoque permite a los investigadores no solo identificar los trabajos de mayor impacto sino también comprender las dinámicas y la evolución de temas específicos dentro de un campo. Tal análisis es vital para la planificación estratégica de investigaciones futuras, facilitando a académicos y responsables de políticas la identificación de áreas que necesitan una atención renovada o que están suficientemente cubiertas.

DISCUSIÓN

La integración de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la educación se ha identificado como un catalizador potente para el mejoramiento de procesos de enseñanza y aprendizaje. La revisión de estudios presentada en la tabla 1 subraya diversos enfoques y metodologías aplicadas en distintos contextos educativos. Por ejemplo, el enfoque del aprendizaje basado en problemas (PBL) mostró un impacto significativo en el rendimiento de los estudiantes en la educación técnica y vocacional en Malasia, donde los estudiantes que participaron en el modelo de Educación Técnica y Vocacional Superior (HTVET) exhibieron un desempeño superior (Jabarullah & Iqbal Hussain, 2019). Este hallazgo sugiere la efectividad del PBL para fomentar un aprendizaje experiencial y activo, respaldando la implementación de estrategias de enseñanza que incentiven la participación estudiantil (Daniela et al., 2018).

En el ámbito internacional, la adopción del aprendizaje mejorado por tecnología (TEL) ha demostrado ser una herramienta valiosa para el avance socioeconómico sostenible, siempre que se establezcan las condiciones adecuadas para su implementación (Daniela et al., 2018). Esta perspectiva es crucial para comprender la necesidad de una competencia digital tanto en educadores como en estudiantes, en un esfuerzo por cerrar la brecha digital y promover una educación sostenible.

Por su parte, el estudio realizado en Finlandia aporta un modelo innovador para la mejora de prácticas escolares mediante la utilización de tecnologías digitales (Ilomäki & Lakkala, 2018). Dicho modelo resalta la importancia del liderazgo y la innovación pedagógica en la implementación efectiva de las TIC, un aspecto que es fundamental para la promoción de la educación ambiental y la sostenibilidad.

La relevancia de la educación ambiental se refleja también en la investigación llevada a cabo en Grecia, donde se observó que, a pesar de un afecto general hacia el medio ambiente, los estudiantes requieren una motivación y educación ambiental más sólidas fuera del entorno escolar (Ntanos et al., 2018). Este estudio resalta la importancia de integrar la educación ambiental en los currículos escolares para fomentar la conciencia y la responsabilidad socioambiental desde una etapa temprana.

Los desafíos planteados por la pandemia de COVID-19 y la subsecuente transición a la educación a distancia se evidencian en la percepción de los estudiantes de odontología en Italia, quienes experimentaron una falta de interacción y atención, señalando la importancia de estructurar adecuadamente los currículos en línea (Di Giacomo & Di Paolo, 2021). Este escenario implica una oportunidad para integrar metodologías de enseñanza adaptativas que permitan un aprendizaje efectivo y una conciencia ambiental a través de las TIC.

La posibilidad de que las TIC promuevan la inclusión educativa y la calidad se ve también en la utilidad de los Massive Open Online Courses (MOOCs) como herramienta para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a pesar de los desafíos en términos de tasas de finalización y accesibilidad (Sosa-Díaz & Fernández-Sánchez, 2020). Estos cursos representan una forma innovadora de abordar la educación ambiental, permitiendo el acceso a un aprendizaje de calidad a una audiencia más amplia y diversa.

Los estudios revisados en conjunto proporcionan un panorama integral de la importancia de las TIC en el desarrollo de una educación sostenible. Reflejan un énfasis en la necesidad de un aprendizaje significativo y la participación activa de los estudiantes en la sostenibilidad ambiental, al mismo tiempo que subrayan el potencial de las iniciativas basadas en ciencia ciudadana para mejorar el conocimiento científico y el compromiso con la conservación del medio ambiente (Rodríguez-Loínaz et al., 2022).

La discusión crítica de los estudios analizados en la tabla 1 subraya un entendimiento profundo de cómo la inclusión de las TIC puede actuar como catalizador de la educación ambiental, no obstante, también evidencia las discrepancias en la eficacia debido a la variedad en contextos, enfoques metodológicos y objetivos pedagógicos. Los trabajos comparados ilustran cómo las TIC pueden amplificar la enseñanza y el aprendizaje cuando se emparejan con estrategias pedagógicas activas, pero también resaltan la necesidad de una implementación cuidadosa para evitar la superficialidad y la desvinculación del contenido ambiental relevante.

Basado en los exhaustivos hallazgos presentados en la tabla 1, este estudio propone el Modelo de Integración Pedagógica para la Sostenibilidad y la Tecnología (MIPST). Este modelo surge como respuesta a las necesidades educativas y desafíos tecnológicos identificados, buscando optimizar la integración de las TIC en la educación ambiental a través de un enfoque estructurado y sistémico. El MIPST se centra en cuatro pilares fundamentales: pedagogía activa, competencia digital crítica, inclusión y accesibilidad, y participación comunitaria. Cada pilar ha sido diseñado para superar las barreras específicas observadas en la literatura, facilitando así un aprendizaje más efectivo y sostenible.

Profundizando en la construcción del MIPST, este se concibe como un sistema dinámico, adaptativo y centrado en el estudiante que busca capitalizar las fortalezas de las TIC mientras se mitigan sus debilidades a través de una implementación intencionada y estratégica. La discusión crítica nos lleva a enriquecer cada uno de sus pilares:

Pedagogía activa: el modelo hace hincapié en la importancia de la interactividad y el compromiso con problemas de sostenibilidad reales y tangibles, utilizando las TIC como un puente entre la teoría y la práctica. La discusión crítica reconoce la efectividad de esta metodología, como se evidencia en los estudios analizados, pero también destaca la necesidad de adaptabilidad y personalización para abordar los desafíos específicos de cada contexto educativo.

Competencia digital crítica: MIPST aboga por una comprensión profunda de las TIC que va más allá de la mera funcionalidad. La discusión crítica la forma en que la alfabetización digital a menudo se trata superficialmente y propone un enfoque más reflexivo y crítico, preparando a los estudiantes no solo para usar la tecnología sino para entender sus implicaciones y potencial para el cambio social y ambiental.

Inclusión y accesibilidad: en la evaluación de los estudios, se detecta una variabilidad en el acceso y uso efectivo de las TIC, especialmente en comunidades desfavorecidas. MIPST se centra en estrategias que garanticen la equidad en la educación ambiental a través de las TIC, promoviendo prácticas inclusivas que consideren las barreras socioeconómicas y culturales.

Participación comunitaria: la discusión destaca la importancia de conectar la educación con la comunidad más amplia. MIPST promueve una colaboración auténtica y significativa a través de proyectos de ciencia ciudadana y plataformas digitales, incentivando la aplicación práctica del aprendizaje y fomentando un sentido de responsabilidad ambiental compartida.

El Modelo de Integración Pedagógica para la Sostenibilidad y la Tecnología (MIPST) se diseñó como un enfoque integral para incorporar las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la educación ambiental, promoviendo un aprendizaje significativo y la participación en la sostenibilidad ambiental (Figura 4). Este modelo se fundamenta en la necesidad de una implementación reflexiva y adaptativa de las TIC, que no solo amplifique el proceso de enseñanza y aprendizaje, sino que también considere el contexto educativo específico y la diversidad de los estudiantes.

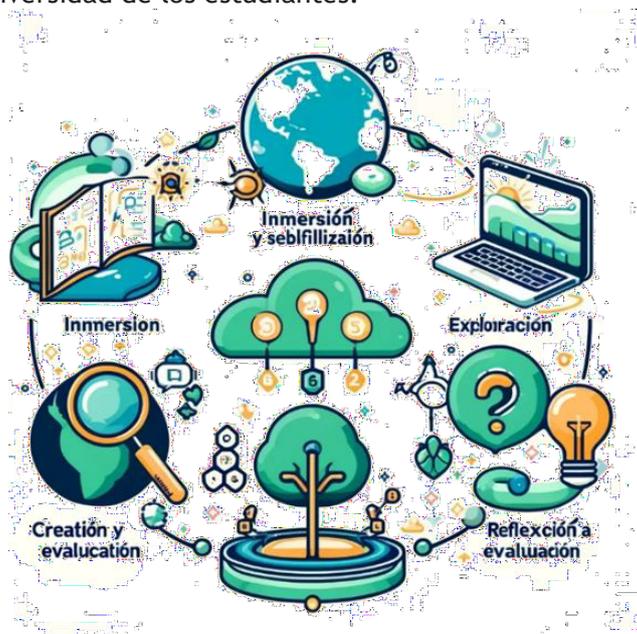


Figura 4. Modelo MIPST para la Integración de las TIC en la Educación Ambiental

Fases del MIPST y su Desarrollo por el Docente con los Estudiantes:

1. Fase de Inmersión y Sensibilización: según Knezek y Christensen (2016), la utilización de tecnologías digitales en la educación puede mejorar significativamente el compromiso y la comprensión de los estudiantes sobre temas complejos como la sostenibilidad (Knezek & Christensen, s/f).

- Objetivo: introducir a los estudiantes en la temática de sostenibilidad utilizando las TIC como herramienta para explorar conceptos clave y problemas reales.
 - Desarrollo: los docentes utilizan recursos digitales para presentar temas ambientales globales y locales, fomentando discusiones en línea y el uso de plataformas interactivas para la exploración de contenidos.
2. Fase de Investigación y Exploración: diversos estudios, como el de Falk y Dierking (2018), demuestran cómo los proyectos de ciencia ciudadana potencian el aprendizaje experiencial y la conexión emocional de los estudiantes con la ciencia y la sostenibilidad (Falk & Dierking, 2016).
- Objetivo: promover la investigación dirigida por estudiantes sobre temas de sostenibilidad, utilizando las TIC para recopilar datos, analizar información y conectar con expertos y comunidades.
 - Desarrollo: a través de proyectos de ciencia ciudadana y plataformas educativas, los estudiantes realizan investigaciones sobre problemas ambientales específicos, empleando herramientas digitales para el análisis y la presentación de sus hallazgos.
3. Fase de Creación y Acción: la creación de proyectos aplicados permite a los estudiantes integrar y aplicar conocimientos, mejorando su capacidad para actuar como agentes de cambio hacia la sostenibilidad (Bramwell-Lalor et al., 2020).
- Objetivo: aplicar el conocimiento adquirido en la creación de soluciones sostenibles a problemas ambientales, utilizando las TIC para diseñar proyectos, colaborar y comunicar resultados.
 - Desarrollo: los estudiantes trabajan en grupos para desarrollar proyectos que aborden desafíos de sostenibilidad, haciendo uso de software de diseño, plataformas de colaboración y medios digitales para la difusión de sus iniciativas.
4. Fase de Reflexión y Evaluación: la reflexión es clave en el aprendizaje basado en proyectos, permitiendo a los estudiantes evaluar su progreso y entender mejor su contribución al cambio sostenible (Bell, 2010).
- Objetivo: reflexionar críticamente sobre el proceso de aprendizaje y los proyectos desarrollados, evaluando su impacto y explorando áreas de mejora.
 - Desarrollo: mediante foros en línea y herramientas de retroalimentación digital, los estudiantes y docentes discuten el impacto de los proyectos, reflexionan sobre sus aprendizajes y consideran futuras acciones.

El MIPST representa un enfoque holístico y multifacético para integrar las TIC en la educación ambiental, promoviendo la alfabetización digital y pedagógica entre los educadores y empoderando a los estudiantes para que sean críticos, creativos y comprometidos. Este modelo no solo es una propuesta de diseño educativo; es un llamado a la acción para reimaginar cómo la tecnología puede servir como una herramienta poderosa para la sostenibilidad ambiental y la educación, preparando a los estudiantes para los desafíos del mañana y promoviendo un cambio positivo en su comportamiento y en sus comunidades.

CONCLUSIONES

Este trabajo despliega un análisis exhaustivo sobre el papel transformador de las Tecnologías de la Información y Comunicación en la educación ambiental, cristalizado a través del innovador Modelo de Integración Pedagógica para la Sostenibilidad y la Tecnología (MIPST). Al adentrarse en las complejidades y potenciales que las TIC encierran, este estudio no solo destaca su capacidad para enriquecer didácticamente los temas de sostenibilidad sino que también reconoce los retos que su implementación conlleva. Las TIC emergen como catalizadores que, bajo el uso de estrategias pedagógicas activas y centradas en el aprendizaje significativo del estudiante, pueden transformar la educación ambiental, haciendo que los temas de sostenibilidad no solo sean más accesibles sino profundamente impactantes.

A lo largo de la investigación, se evidencia la importancia crítica de la inclusión y la accesibilidad en el proceso educativo, destacando que el verdadero potencial de las TIC solo puede alcanzarse cuando todos los estudiantes tienen la oportunidad de participar de manera equitativa. Igualmente, se enfatiza la necesidad de trascender las fronteras del aula y fomentar una conexión robusta con la comunidad, argumentando que la educación ambiental potenciada por TIC debe promover una comprensión profunda de la sostenibilidad que sea a la vez local y global.

La creación del modelo MIPST marca un hito en el esfuerzo por integrar efectivamente las TIC en la educación ambiental, proponiendo un marco que abraza la complejidad de este desafío. MIPST no solo

sugiere la adopción estratégica de las tecnologías digitales sino que insta a una reevaluación de nuestras prácticas pedagógicas, para incorporar de manera integral la pedagogía activa, la competencia digital, la inclusión social y la colaboración comunitaria.

Al final, este estudio se convierte en un vehículo de movilización para educadores y formuladores de políticas, animándolos a adoptar el modelo MIPST como una guía hacia la implementación de programas educativos que verdaderamente capaciten a los estudiantes para liderar la carga hacia un futuro sostenible. Este enfoque renovado en la educación ambiental mediante las TIC promete no solo preparar a los estudiantes para enfrentar los retos ambientales inminentes sino también inspirar un cambio positivo y duradero en la sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acevedo-Duque, Á., Prado-Sabido, T., García-Salirrosas, E. E., Fernández Mantilla, M. M., Vera Calmet, V. G., Valle Palomino, N., & Aguilar Armas, H. M. (2022). Postgraduate Trends in the Training of Human Talent for Sustainable Development. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/su142114356>
2. Barros, N. H., Capponi, N. F., Schwanke, J., Grisa, K. (2019). Oficinas pedagógicas: Construindo cidadania a partir do desenvolvimento rural sustentável. *Revista de Pesquisa Interdisciplinar*, 3(2). <https://doi.org/10.24219/rpi.v3i2.1002>
3. Bedolla Solano, J. J., Bedolla Solano, R., & Miranda Esteban, A. (2023). Prácticas digitales y sostenibilidad socioambiental en la educación básica de las Smart Cities. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 23(72). <https://doi.org/10.6018/red.533831>
4. Bell, S. (2010). Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2), 39-43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
5. Bramwell-Lalor, S., Kelly, K., Ferguson, T., Hordatt Gentles, C., & Roofe, C. (2020). Project-based Learning for Environmental Sustainability Action. *Southern African Journal of Environmental Education*, 36. <https://doi.org/10.4314/sajee.v36i1.10>
6. Cortés Loyola, C., Adlerstein Grimberg, C., & Bravo Colomer, Ú. (2020). Early childhood teachers making multiliterate learning environments: The emergence of a spatial design thinking process. *Thinking Skills and Creativity*, 36(March), 100655. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100655>
7. Curtis, M. (2020). Toward Understanding Secondary Teachers' Decisions to Adopt Geospatial Technologies: An Examination of Everett Rogers' Diffusion of Innovation Framework. *Journal of Geography*, 119(5), 147-158. <https://doi.org/10.1080/00221341.2020.1784252>
8. Daniela, L., Visvizi, A., Gutiérrez-Braojos, C., & Lytras, M. D. (2018). Sustainable higher education and Technology-Enhanced Learning (TEL). *Sustainability (Switzerland)*, 10(11), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su10113883>
9. Di Giacomo, P., & Di Paolo, C. (2021). COVID-19 and dental distance-based education: students' perceptions in an Italian University. *BMC Medical Education*, 21(1), 528. <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02971-7>
10. Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2016). *The Museum Experience Revisited*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315417851>
11. Falloon, G. (2020). From digital literacy to digital competence: the teacher digital competency (TDC) framework. *Educational Technology Research and Development*, 68(5), 2449-2472. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-4>
12. Ilomäki, L., & Lakkala, M. (2018). Digital technology and practices for school improvement: innovative digital school model. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s41039-018-0094-8>
13. Jabarullah, N. H., & Iqbal Hussain, H. (2019). The effectiveness of problem-based learning in technical and vocational education in Malaysia. *Education and Training*, 61(5), 552-567. <https://doi.org/10.1108/ET-06-2018-0129>

13. Knezek, G., & Christensen, R. (s/f). The Importance of Information Technology Attitudes and Competencies in Primary and Secondary Education. En *International Handbook of Information Technology in Primary and Secondary Education* (pp. 321-331). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73315-9_19
14. Korotkova, T. S., & Zakirova, D. I. (2021). Environmental education and education for sustainable development: general and special. *Bulletin of "Turan" University*, 1, 110-115. <https://doi.org/10.46914/1562-2959-2021-1-1-110-115>
15. Kozorez, A. O., & Olevskya, A. O. (2022). Environmental education of the society within the framework of sustainable development. *SAKHAROV READINGS 2022: ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE XXI CENTURY Part 1*, 10-13. <https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-1-10-13>
16. Ntanos, S., Kyriakopoulos, G. L., Arabatzis, G., Palios, V., & Chalikias, M. (2018). Environmental behavior of secondary education students: A case study at central Greece. *Sustainability (Switzerland)*, 10(5), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su10051663>
17. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
18. Rodríguez-Loinaz, G., Ametzaga-Arregi, I., & Palacios-Agundez, I. (2022). ICT tools and citizen science: a pathway to promote science learning and Education for Sustainable Development in schools. *Journal of Biological Education*, 2014. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2092192>
19. Sarmah, N., & Deka, S. (2023). School based environmental education programmes in the scenario of Assam, India: Key to sustainable development. *EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)*, 237-243. <https://doi.org/10.36713/epra13051>
20. Sosa-Díaz, M. J., & Fernández-Sánchez, M. R. (2020). Massive open online courses (MOOC) within the framework of international developmental cooperation as a strategy to achieve sustainable development goals. *Sustainability (Switzerland)*, 12(23), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su122310187>
21. Storey, A. A., Ramírez, J. M., Quiroz, D., Burley, D. V., Addison, D. J., Walter, R., Anderson, A. J., Hunt, T. L., Athens, J. S., Huynen, L., & Matisoo-Smith, E. A. (2014). Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists. En *Proceedings of the National Academy of Sciences* (Vol. 104, Número 25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-19397-X>
22. UNESCO. (2022). UNESCO declares environmental education must be a core curriculum component by 2025. <https://www.oneplanetnetwork.org/news-and-events/news/unesco-declares-environmental-education-must-be-core-curriculum-component-2025#:~:text=UNESCOhascalledforEducationforSustainable,closeto50countriesinformedthediscussions.>
23. UNESCO. (2023a). Digital learning and transformation of education. <https://www.unesco.org/en/digital-education>
24. UNESCO. (2023b). Technology in education - 2023 GEM Report. <https://www.unesco.org/gem-report/en/technology#:~:text=The2023GEMReporton,proposedmayalsobedetrimental.>
25. Vega Serrano, H. A. (2020). Herramientas Tecnológicas y Sostenibles en la Educación Ambiental. Universidad Libre Socorro. <https://doi.org/10.18041/978-958-52520-4-2>
26. Vidal-Durango, J., Baena-Navarro, R., & Therán-Nieto, K. (2024). Implementation and feasibility of green hydrogen in Colombian kitchens: an analysis of innovation and sustainability. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 34(2), 726. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v34.i2.pp726-744>

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERÉS

Ninguno.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Rubén Baena-Navarro, Luis Serrano-Ardila, Yulieth Carriazo-Regino.

Curación de datos: Rubén Baena-Navarro, Luis Serrano-Ardila, Yulieth Carriazo-Regino.

Investigación: Rubén Baena-Navarro, Luis Serrano-Ardila, Yulieth Carriazo-Regino.

Administración del proyecto: Rubén Baena-Navarro, Luis Serrano-Ardila, Yulieth Carriazo-Regino.

Recursos: Rubén Baena-Navarro, Luis Serrano-Ardila, Yulieth Carriazo-Regino.

Supervisión: Rubén Baena-Navarro, Luis Serrano-Ardila, Yulieth Carriazo-Regino.

Redacción - borrador original: Rubén Baena-Navarro, Luis Serrano-Ardila, Yulieth Carriazo-Regino.