

Pensamiento Computacional en la resolución de problemas complejos: ODS 7 Energía asequible y no contaminante

Computational Thinking in the resolution of complex problems: SDG 7 Affordable and clean energy

Carlos Enrique George-Reyes

Instituto para el Futuro de la Educación. Tecnológico de Monterrey. Monterrey, México
cgeorge@tec.mx

Luis Magdiel Oliva-Córdova

Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala
moliva@profesor.usac.edu.gt

Raidell Avello-Martínez

Universidade da Coruña. A Coruña, España.
raidell.avello@udc.es

Edgar Omar López-Caudana

Instituto para el Futuro de la Educación. Tecnológico de Monterrey. Monterrey, México
edlopez@tec.mx

Resumen

Este estudio analiza la autovaloración de las habilidades de pensamiento computacional y los conocimientos adquiridos por estudiantes universitarios de México y Guatemala tras su participación en una experiencia formativa sobre el ODS 7: Energía asequible y no contaminante, en el contexto de una plataforma web de aprendizaje. Se diseñó un estudio pretest-posttest con la participación de 243 estudiantes universitarios: 152 del Tecnológico de Monterrey, México (Tec) y 91 de la Universidad San Carlos, Guatemala (USAC). Se llevaron a cabo dos tipos de análisis. El primero evaluó las habilidades de abstracción, descomposición, identificación de patrones y diseño de algoritmos. El segundo analizó la comprensión de conceptos relacionados con la energía sostenible para establecer una base teórica que permitiera proponer soluciones desde el enfoque del pensamiento computacional. Los resultados sugieren que la integración del pensamiento computacional y el uso de plataformas educativas en línea impactan positivamente en la autovaloración de los estudiantes, además de mejorar sus habilidades analíticas para abordar problemas vinculados al ODS 7. Estos hallazgos respaldan la efectividad del pensamiento computacional como una estrategia para la resolución de problemas complejos.

Palabras clave: Energía, objetivo de desarrollo sostenible, pensamiento computacional, pensamiento complejo, plataforma educativa.

Abstract

This study examines the self-assessment of computational thinking skills and the knowledge acquired by university students from Mexico and Guatemala after participating in a training experience on SDG 7: Affordable and Clean Energy, within the context of a web-based learning platform. A pretest-posttest study was designed, involving 243 university students: 152 from Tecnológico de Monterrey, Mexico (Tec) and 91 from Universidad San Carlos, Guatemala (USAC). Two types of analyses were conducted. The first assessed skills in abstraction, decomposition, pattern identification, and algorithm design. The second analyzed the understanding of concepts related to sustainable energy to establish a theoretical foundation for proposing solutions through the lens of computational thinking. The results suggest

that the integration of computational thinking and the use of online educational platforms have a positive impact on students' self-assessment, while also enhancing their analytical skills to address issues related to SDG 7. These findings support the effectiveness of computational thinking as a strategy for solving complex problems.

Key words: Energy, sustainable development goal, computational thinking, complex thinking, educational platform.

1. Introducción

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una serie de objetivos interconectados y adoptados por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015 (UNESCO, 2015; UNESCO, 2017; Del Cerro Velázquez & Lozano Rivas, 2020), diseñados para abordar los desafíos globales más urgentes y promover un futuro más justo, sostenible y próspero para todos (Lozano Rivas et al., 2023). El ODS 7, llamado Energía asequible y no contaminante, es fundamental para comprender y abordar los desafíos relacionados con la energía, el cambio climático y el desarrollo sostenible, ya que reconoce la importancia de garantizar el acceso universal a una energía asequible, fiable y sostenible (Mensah, 2022).

El conocimiento conceptual y la comprensión de la importancia de este ODS permite llevar a cabo acciones para erradicar la pobreza energética (Adediran et al., 2021; Pailman & de Groot, 2022), que son útiles para contextualizar el significado situacional en el que los hogares no pueden satisfacer adecuadamente sus necesidades energéticas a un costo asequible (Dobbins et al., 2019). Lo anterior está estrechamente relacionado con el desarrollo de otros ODS (Chapman et al., 2019), por ejemplo, la falta de acceso a la energía reduce las posibilidades para alcanzar estilos de vida satisfactorios (ODS 10: Reducción de las desigualdades), impide el acceso a una educación de calidad mediante el aprovechamiento de las tecnologías digitales (ODS 4: Educación de calidad), y evita la reducción de brechas de género (ODS 5: Igualdad de género).

La promoción de la energía renovable y la eficiencia energética no solo reduce la dependencia de los combustibles fósiles, sino que también fomenta la mejora de la calidad de vida y contribuye a erradicar la pobreza (ODS 1: Fin de la pobreza) (Che et al., 2021), sin embargo, a pesar de que existen numerosas fuentes de información para conocer el propósito y los alcances del ODS 7 (Firoiu et al., 2021), es necesario contribuir desde la educación no formal con experiencias formativas abiertas que resalten los nuevos desafíos relacionados con temas de energía (Chuliá-Jordán et al., 2022).

En este sentido, las plataformas educativas son herramientas que permiten el desarrollo del aprendizaje de los ODS (Dmytrów et al., 2020), ya que ofrecen acceso a una amplia gama de recursos interactivos, como materiales de lectura, videos, simulaciones, actividades prácticas y estudios de caso (Kuleshova et al., 2020). Estos permiten a los estudiantes explorar con mayor detalle los conceptos relacionados con la energía sostenible (He et al., 2022). A través de las plataformas, los estudiantes pueden comprender de mejor forma los principios de eficiencia energética, el uso de fuentes renovables y la importancia del acceso equitativo a la energía (Butko et al., 2022).

Además, las plataformas educativas fomentan la colaboración entre estudiantes y profesores (Ferrante, 2023), promoviendo un enfoque multidisciplinario para abordar los desafíos de diversas disciplinas desde diferentes perspectivas (Alibraheim et al., 2023),

el uso de estas herramientas pueden ofrecer un doble resultado, primero, mejorar el conocimiento sobre temas vigentes y de urgente atención como el ODS 7, y segundo, habilitar a los estudiantes para generar soluciones innovadoras y sostenibles que contribuyan a un futuro energético más justo y equitativo.

Para lograr este segundo resultado, es necesario elegir una estrategia de formación adecuada, el pensamiento computacional constituye un pilar fundamental para el aprendizaje (George-Reyes et al., 2023a), ya que, mediante su utilización los estudiantes pueden analizar y resolver problemas de manera sistemática mediante el desarrollo de habilidades como la abstracción, la descomposición, la identificación de patrones y el diseño de algoritmos, además, en el entorno de una plataforma en línea puede ofrecer a los estudiantes una experiencia de aprendizaje holística y dinámica (George-Reyes et al., 2023b), que les habilite para comprender, analizar y proponer soluciones sostenibles e innovadoras para los desafíos energéticos emergentes.

En este estudio se marcó como objetivo medir la autovaloración del desarrollo del pensamiento computacional en estudiantes universitarios, así como sus habilidades para resolver problemas relacionados con el ODS 7. La pregunta que oriento la investigación fue: ¿Cómo evalúan los estudiantes universitarios el desarrollo de sus habilidades de pensamiento computacional tras participar en una experiencia formativa en una plataforma web de aprendizaje, y de qué manera estas habilidades han mejorado su capacidad para resolver problemas relacionados con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7?

2. Marco teórico

Pensamiento computacional y plataformas de aprendizaje

El Pensamiento Computacional (PC) es una propuesta que permite resolver problemas complejos mediante el uso de los conceptos fundamentales de la informática (Wing, 2006), es una habilidad que deben desarrollar los estudiantes para crear soluciones a problemas complejos de diversos temas utilizando estrategias computacionales (Tripon, 2022; Zapata-Ros, 2020), tiene como componentes principales la descomposición de problemas, el reconocimiento de patrones, el diseño de algoritmos y el desarrollo de procesos de abstracción (Grover & Pea, 2017; Ángel et al., 2020; Tsai et al., 2021).

El desarrollo de cada uno de estos componentes puede constituirse como una herramienta poderosa para mejorar y ampliar el aprendizaje en la educación superior (George-Reyes, 2022). La abstracción implica la capacidad de identificar y enfocarse en los aspectos esenciales de un problema (Çakiroğlu & Çevik, 2022; Qian & Choi, 2023), puede permitir a los estudiantes analizar la complejidad de los desafíos energéticos y comprender cómo los diferentes elementos interactúan dentro de un sistema energético (Peel et al., 2022).

La descomposición involucra la división de un problema complejo en componentes más manejables y fácilmente comprensibles (Echeverría et al., 2019; Galanti & Holincheck, 2024). Al aplicar este principio al estudio del ODS 7, los estudiantes pueden desglosar los diversos aspectos de la energía asequible y no contaminante en sus elementos constituyentes, como la generación de energía renovable, la eficiencia energética y el acceso equitativo a la electricidad (Fields et al., 2021).

La identificación de patrones es una habilidad que también que puede ser aplicada al estudio del ODS 7. Al analizar datos relacionados con el consumo de energía, las fuentes de energía renovable y las tendencias en el uso de recursos energéticos, los estudiantes pueden identificar patrones significativos que ayuden a crear estrategias para promover la energía sostenible (Acosta et al., 2023). Este enfoque basado en datos permite una comprensión más completa de los desafíos y oportunidades asociados con el ODS 7 (Lee & Malyn-Smith, 2020), así como la identificación de soluciones innovadoras y efectivas (Purwasih & Dahlan, 2024).

Finalmente, el diseño de algoritmos, que implica la creación de secuencias de pasos lógicos para resolver un problema (Lafuente Martínez et al., 2022) puede ser utilizado para desarrollar estrategias y soluciones prácticas para abordar los desafíos energéticos planteados por el ODS 7 (Angeli, 2022). Los estudiantes pueden diseñar algoritmos para optimizar el uso de recursos energéticos, mejorar la eficiencia de los sistemas de energía renovable y desarrollar modelos de simulación para evaluar el impacto de diferentes políticas y tecnologías en la sostenibilidad energética (Asunda et al., 2023).

Por otra parte, las plataformas educativas han emergido como herramientas para fomentar la comprensión de diversos temas en diferentes disciplinas (Holguin-Alvarez et al., 2022; Li & Wang, 2023; Tibber et al., 2023) ya que proporcionan un espacio interactivo donde los estudiantes pueden acceder a una amplia gama de recursos educativos (Zhukova & Mordous, 2021), en este sentido, es factible diseñar cursos y módulos específicos centrados en los principios y metas del ODS 7, abordando temas como la energía renovable, la eficiencia energética y el acceso universal a la electricidad.

Además, debido a que las plataformas educativas permiten la colaboración entre estudiantes y profesores de diversas disciplinas y regiones geográficas (Rodríguez-Calderon & Belmonte-Izquierdo, 2021), se puede lograr un enfoque multidisciplinario y global hacia el estudio del ODS 7. Las actividades como los foros de discusión, el desarrollo de proyectos y los estudios de caso son algunas de las estrategias que conforman tradicionalmente el aprendizaje en las plataformas (Khwanakaw, 2023), que pueden facilitar el desarrollo de conocimientos y experiencias sobre cuestiones relacionadas con la energía sostenible.

Imbricación del pensamiento computacional y complejo

El pensamiento complejo es una forma de pensar que reconoce la naturaleza interconectada y dinámica de los sistemas y fenómenos en el mundo (Amelink et al., 2024; Carlos-Arroyo et al., 2023). Se basa en la idea de que los problemas y las situaciones no pueden entenderse completamente cuando se reducen a sus partes individuales, sino que deben considerarse en su totalidad, teniendo en cuenta las múltiples interacciones y relaciones entre los elementos (Cruz-Sandoval et al., 2024). Esto implica un enfoque holístico que busca comprender la complejidad inherente a los sistemas y fenómenos, así como las relaciones entre las partes y el todo (Alfaro-Ponce et al., 2023), en la Figura 1 se pueden observar sus subcompetencias.

Figura 1.

Pensamiento complejo y subcompetencias.



Fuente: Elaboración propia.

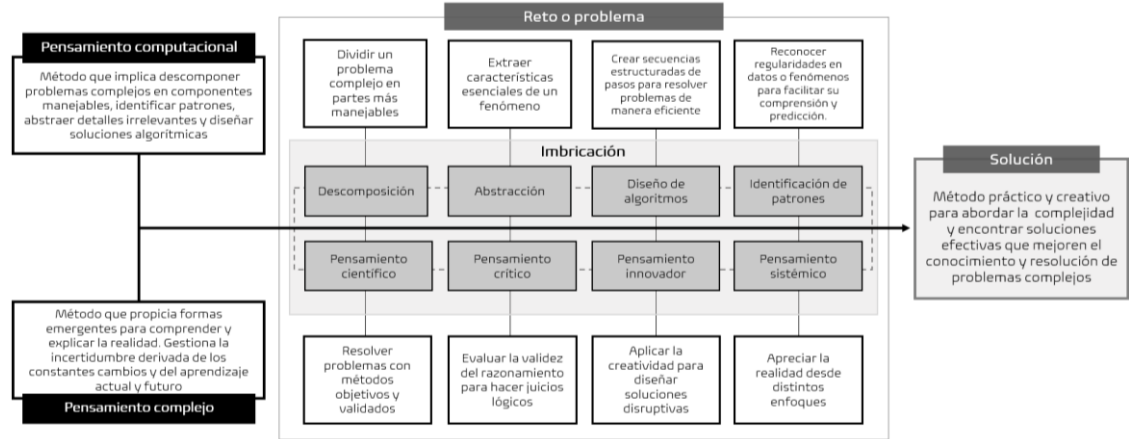
La subcompetencia de pensamiento sistémico se refiere a la capacidad de entender y analizar sistemas complejos (Raza 2021), reconociendo cómo las partes individuales interactúan entre sí y con el conjunto (Baena-Rojas et al. 2023). Esta subcompetencia implica la habilidad de identificar y comprender los procesos y dinámicas que caracterizan a un sistema (Rates et al., 2022). El pensamiento crítico involucra la capacidad de analizar, evaluar y cuestionar de manera reflexiva información, ideas y argumentos (Humán et al., 2022), permite a los estudiantes examinar supuestos, detectar sesgos y evaluar la validez de datos y evidencias (Oberauer et al., 2023), además fomenta la autonomía intelectual y la toma de decisiones informadas en la resolución de problemas complejos (Rates et al., 2022).

El pensamiento científico se centra en el uso del método científico para comprender el mundo (Romero-Rodríguez et al., 2023), implica tener la habilidad para diseñar investigaciones basadas en la evidencia teórica-empírica disponible (Vázquez-Parra et al., 2024), promueve la objetividad, la precisión y la fiabilidad en el análisis de los fenómenos complejos (Dowd et al., 2018), por otra parte, el pensamiento innovador representa la capacidad de pensar fuera de lo convencional, integrando ideas divergentes y conocimientos interdisciplinarios, fomenta la experimentación y la toma de riesgos, esencial para el desarrollo y la implementación de soluciones originales y efectivas (Ibarra-Vazquez et al., 2024).

La convergencia entre el pensamiento computacional y el pensamiento complejo proporciona un enfoque multidimensional y profundamente integrador para abordar los desafíos contemporáneos, según George-Reyes et al. (2023b). Esta interrelación resulta beneficiosa en el diseño de experiencias formativas (Ramírez-Montoya et al., 2022). Por

ejemplo, esta fusión metodológica permite explorar con amplitud y profundidad temas críticos como la energía sostenible, facilitando un mejor entendimiento y aplicaciones prácticas más efectivas. En la Figura 2, se ilustra cómo estas metodologías integradas pueden ser aplicadas para fomentar un aprendizaje innovador.

Figura 2.
Imbricación de pensamiento computacional y complejo.



Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, la abstracción, permite a los estudiantes analizar la esencia de los problemas energéticos, centrándose en conceptos clave como eficiencia energética, la descomposición, ayuda a los estudiantes a desglosar los desafíos energéticos en elementos más manejables y comprensibles. La identificación de patrones permite reconocer tendencias en el uso de la energía y el diseño de algoritmos sirve para desarrollar soluciones prácticas y eficientes para los desafíos energéticos, en la Tabla 1 puede observarse la imbricación entre ambos pensamientos y su posible contribución para el conocimiento del ODS 7.

Tabla 1.
Imbricación del pensamiento computacional y complejo con el ODS 7.

Subcompetencia de Pensamiento computacional	Imbricación con el pensamiento complejo	Contribución al conocimiento del ODS 7
Abstracción	Ayuda a analizar y simplificar problemas energéticos, identificando aspectos esenciales y patrones clave.	Permite una comprensión profunda de los principios fundamentales de la energía sostenible y su impacto en sistemas energéticos más amplios.
Descomposición	Permite desglosar problemas energéticos en componentes manejables y comprensibles, facilitando el análisis detallado de cada aspecto del ODS 7.	Facilita la identificación de áreas de intervención y soluciones prácticas para abordar los desafíos energéticos de manera eficiente y efectiva.
Identificación de patrones	Ayuda a reconocer tendencias significativas en el uso de energía y en los efectos del cambio climático, basados en datos y análisis.	Permite identificar las implicaciones de diferentes estrategias energéticas y tomar decisiones informadas sobre políticas y prácticas basadas en evidencia científica.
Diseño de algoritmos	Permite desarrollar soluciones prácticas y eficientes para los desafíos energéticos, mediante la aplicación de secuencias lógicas de pasos.	Contribuye al desarrollo de estrategias y soluciones innovadoras para promover la energía sostenible y abordar los desafíos del ODS 7 de manera efectiva y escalable.

Fuente: Elaboración propia.

3. Método

Se utilizó un diseño pretest-posttest con un enfoque cuantitativo. La finalidad fue medir los cambios en la autovaloración de los estudiantes de sus habilidades de pensamiento computacional, así como evaluar su aplicación para resolver problemas relacionados con temas de energía. Se desarrolló una experiencia formativa en el entorno de una plataforma web educativa. Se contó con dos grupos de estudiantes de dos universidades latinoamericanas, sin grupo control y con mediciones pre y post intervención (Manterola & Otzen, 2015).

Ética

Toda la información proporcionada por los participantes fue recopilada con su consentimiento (<https://comiteinstitucionaletica.tec.mx/es/formatos>). La implementación fue reglamentada y aprobada por el Comité de Ética del Tecnológico de Monterrey (IFE-2024-001) y supervisada por el grupo de investigación interdisciplinario R4C con el apoyo técnico del Laboratorio de Escritura (Writing Lab) del Instituto para el Futuro de la Educación del Tecnológico de Monterrey, México. Toda la información recuperada fue protegida de acuerdo con los criterios establecidos en la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares vigente en México.

Participantes

La muestra fue intencional (Shi & Cheung, 2024) y seleccionada por conveniencia (Althubaiti & Althubaiti, 2024; Novielli et al. 2023). Se seleccionaron a 243 estudiantes universitarios, 152 del Tecnológico de Monterrey, México (Tec) y 91 de la Universidad San Carlos, Guatemala (USAC) que se encontraban matriculados en distintos programas educativos de nivel profesional, la distribución por género fue de 138 hombres y 105 mujeres con edades comprendidas entre 18 y 28 años. Participaron en una experiencia formativa extracurricular llamada *SolarCT Pensamiento Computacional y Energía* durante el mes de abril de 2024.

Diseño de la experiencia formativa e implementación

La experiencia fue estructurada de acuerdo con un modelo de diseño instruccional basado en tópicos y elementos de aprendizaje, este ya ha sido utilizando previamente para construir diversas experiencias formativas (Valdivia Vazquez et al., 2021; Minga et al., 2023; Ramirez-Montoya et al., 2022), consta de 4 tópicos con 4 elementos formativos cada uno, se crearon recursos educativos abiertos de diversos tipos, cada tópico se interconecta con prácticas específicas diseñadas para desarrollar conocimientos sobre temas de energía. En la Tabla 2 puede observarse el mapa de diseño. La implementación se llevó a cabo en el mes de abril de 2024 de forma presencial en las universidades ya mencionadas. Se utilizó una plataforma de aprendizaje auto gestionable de acceso abierto (<https://e4cct.mx/>).

Tabla 2.

Diseño instruccional de la experiencia formativa.

Experiencia formativa: Pensamiento computacional y científico para el logro del ODS7				
Tópico	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3	Elemento 4
1 (2 horas)	Introducción y objetivos (presentación de tema + pretest)	Video 1 (presentación de tema + explicación)	Contenido (presentación de tema + infografía)	Estudio de casos (Caso + pregunta + retroalimentación)
2 (4 horas)	Video 2 (presentación de tema + explicación)	PDF / REA / Tecnología (presentación de tema + uso de IA)	Contenido / Tecnología (uso de realidad virtual, realidad aumentada, video 360)	Para saber más (Revisión de 5 REA sobre energía sostenible)
3 (4 horas)	Vídeo 3 (presentación de tema + explicación + ABP)	Vídeo 4 (presentación de tema + explicación + ABP)	Vídeo 5 (presentación de tema + explicación + ODS)	Vídeo 6 (presentación de tema + explicación + ODS)
4 (4 horas)	Contenido (presentación de tema + explicación)	Actividad de co-creación (tema + uso de IA generativa + revisión por pares)	Evidencia de aprendizaje (Producto: Propuesta ODS 7)	Evaluación (postest)

Fuente: Elaboración propia.

Instrumento

Se utilizó un cuestionario llamado *CT-Complex: Horizontes del Pensamiento Computacional para la resolución de problemas complejos*, se trazaron objetivos, el primero, medir la autovaloración de las habilidades de pensamiento computacional desde los componentes de abstracción, descomposición, identificación de patrones y diseño de algoritmos, y el segundo, medir la habilidad de los estudiantes para resolver problemas complejos relacionados con el ODS 7 desde el enfoque de las dimensiones del pensamiento computacional.

Para el primer objetivo, se utilizó un cuestionario con escala de tipo Likert con 4 opciones de respuesta: 1) totalmente en desacuerdo, 2) en desacuerdo, 3) de acuerdo, y 4) totalmente de acuerdo. Este instrumento fue validado previamente por 16 expertos en temas de ciencias de la educación y emprendimiento, obteniendo un coeficiente de confiabilidad general V de Aiken de 0.8731, que puede considerarse como alto (Merino-Soto, 2023). En la Tabla 3 se pueden observar las dimensiones e ítems del instrumento.

Tabla 3.

Dimensiones e ítems del instrumento CT-Complex

Dimensiones	Código	Ítem
Abstracción	A1	Puedo identificar los componentes esenciales de un problema complejo, ignorando los detalles irrelevantes.
	A2	Me resulta fácil simplificar problemas complejos para hacerlos más manejables.
	A3	Suelo crear modelos o representaciones simplificadas de sistemas reales para entender cómo funcionan.
	A4	Puedo explicar conceptos complejos de manera simple a personas sin conocimientos previos en el tema.
	A5	Regularmente utilizo ejemplos o metáforas para representar ideas complicadas.
	A6	Considero que la capacidad de abstraer es fundamental para solucionar problemas en diversas áreas.
	A7	Puedo determinar cuáles son los datos o aspectos más relevantes al enfrentarme a un conjunto de información amplio.

Identificación de patrones	B1	Reconozco fácilmente similitudes y diferencias al comparar objetos o situaciones.
	B2	Puedo identificar tendencias en conjuntos de datos, incluso si son complejos.
	B3	Suelo predecir comportamientos o resultados futuros basándome en patrones observados previamente.
	B4	Encuentro patrones subyacentes en problemas aparentemente desordenados o aleatorios.
	B5	Utilizo patrones identificados en una situación para resolver problemas en otro contexto. Encuentro patrones subyacentes en problemas aparentemente desordenados o aleatorios.
	B6	Puedo clasificar información basándome en características comunes.
	B7	Regularmente busco patrones o regularidades como primer paso para entender un nuevo problema.
	B8	Considero que la identificación de patrones es crucial para el aprendizaje y la solución de problemas.
Diseño de algoritmos	C1	Puedo diseñar pasos secuenciales claros y lógicos para resolver problemas.
	C2	Me siento cómodo creando soluciones paso a paso que pueden ser seguidas por otras personas o por computadoras.
	C3	Suelo pensar en términos de "si esto, entonces aquello" para planificar cómo abordar tareas o problemas.
	C4	Puedo optimizar procesos simplificando o eliminando pasos innecesarios.
	C5	Regularmente divido tareas complejas en subprocesos más pequeños y manejables.
	C6	Cuando me enfrento a un problema, automáticamente comienzo a pensar en posibles algoritmos para solucionarlo.
	C7	Considero que el diseño de algoritmos es una habilidad esencial en la resolución de problemas cotidianos.
	C8	Puedo adaptar o modificar algoritmos existentes para mejorar su eficiencia o aplicabilidad a nuevos problemas.
Descomposición	D1	Ante un proyecto grande, mi primer instinto es dividirlo en partes más pequeñas y manejables.
	D2	Puedo identificar subproblemas dentro de un problema complejo para facilitar su resolución.
	D3	Al enfrentar un desafío, suelo organizar las tareas en componentes o etapas.
	D4	Encuentro útil dividir las tareas en pasos más pequeños para evitar sentirme abrumado.
	D5	Regularmente asigno prioridades a las sub-tareas dentro de un proyecto para mejorar la eficiencia.
	D6	Puedo mantener una visión general del proyecto mientras trabajo en sus componentes individuales.
	D7	Considero que la descomposición es una estrategia clave para manejar proyectos complejos o a largo plazo.
	D8	Suelo utilizar diagramas o listas para organizar y visualizar las partes de un problema o proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar la confiabilidad se utilizó el Alfa de Cronbach, en la Tabla 4 pueden observarse los coeficientes cuando una dimensión es omitida, los valores son altos en los dos momentos, lo que indica una alta consistencia interna (Luh, 2024). En el pretest Tec obtuvo puntuaciones más bajas, existieron mejoras significativas en el postest en todas las dimensiones. Por ejemplo, en Abstracción, Tec comienza con 0.8012 y aumenta a 0.8721, mientras que USAC empieza en 0.9132 y alcanza 0.9378. En Identificación de patrones, Tec muestra una mejora de 0.7775 a 0.8622, mientras que USAC pasa de 0.8796 a 0.9194, por lo anterior, se puede confirmar que el cuestionario tuvo una consistencia de buena a excelente en las dos universidades.

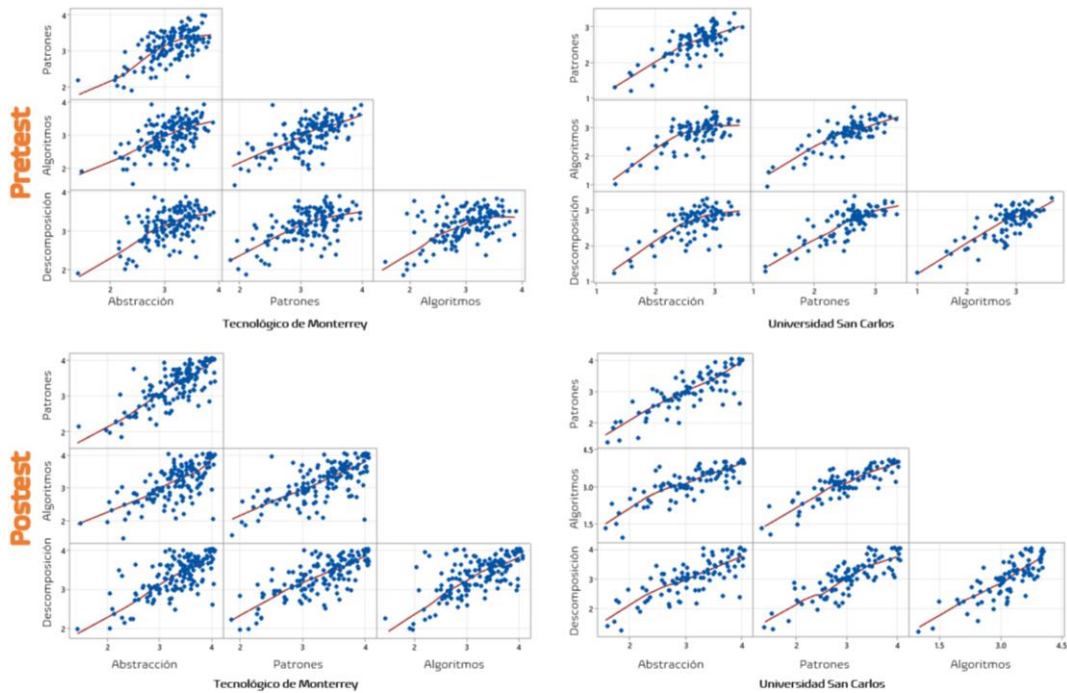
Tabla 4.
Coefficiente Alpha de Cronbach en el pretest y postest.

Dimensión omitida	Pretest			Postest		
	Tec	USAC	Diferencia	Tec	USAC	Diferencia
Abstracción	0.8012	0.9132	0.1120	0.8721	0.9378	0.0657
Identificación de patrones	0.7775	0.8796	0.1021	0.8622	0.9194	0.0572
Diseño de algoritmos	0.8230	0.8991	0.0761	0.8988	0.9267	0.0279
Descomposición	0.8266	0.9000	0.0734	0.8856	0.9382	0.0526

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3 se muestra la comparación en ambas universidades. Los puntos siguen tendencia lineal, lo cual indica una correlación positiva entre las subcompetencias, la dispersión de los puntos alrededor de la línea de regresión es uniforme y sin agrupamientos extremos. Por otra parte, tanto en el pretest como en el postest, se mantiene una relación consistente entre las subcompetencias en ambas universidades, los gráficos de postest muestran una dispersión ligeramente menor en comparación con los pretest, particularmente en la Universidad San Carlos. Esto puede indicar que participar en la experiencia formativa ayudo a los estudiantes a desarrollar de manera más uniforme sus subcompetencias de pensamiento computacional.

Figura 3.
Análisis de subcompetencias de pensamiento computacional.



Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar que los datos representan una distribución normal se realizó un análisis de la media, la asimetría y la curtosis, la Tabla 5 revela mejoras en la normalidad en los postests en comparación con los pretests. En Tec se observan incrementos en las medias del pretest al postest en todas las dimensiones. En Abstracción, la media aumenta de 3.106 a 3.33, y la asimetría en el pretest (-0.81), aumenta ligeramente en el postest (-0.90). La

curtosis disminuye de 1.26 a 0.83, sugiriendo una distribución menos leptocúrtica y más cercana a la normal.

En USAC se observan incrementos en las medias y cambios hacia una distribución más simétrica. En la misma dimensión de Abstracción, la media se eleva de 2.675 a 3.097, la asimetría mejora de -1.05 a -0.43, y la curtosis se ajusta de 1.34 a -0.40, evidenciando una transición hacia una normalidad más definida. No se observaron valores extremos ni en la asimetría ($> |2.00|$), ni en la curtosis (8.00-20.00) (Bejar, 1952; Borroni & De Capitani, 2022). Se puede confirmar que existió un ajuste positivo en las distribuciones normales en el postest.

Tabla 5.

Análisis descriptivo del pretest y el postest.

Dimensiones	Pretest						Postest					
	Tec			USAC			Tec			USAC		
	M	A	C	M	A	C	M	A	C	M	A	C
Abstracción	3.106	-0.81	1.26	2.675	-1.05	1.34	3.33	-0.90	0.83	3.097	-0.43	-0.40
I. patrones	3.13	-0.69	0.35	2.548	-1.02	1.31	3.312	-0.62	-0.26	3.039	-0.44	0.04
D. algoritmos	3.007	-0.57	-0.02	2.813	-1.31	2.44	3.199	-0.46	-0.32	3.176	-0.99	1.33
Descomposición	3.160	-0.76	0.46	2.657	-1.07	0.83	3.360	-0.66	-0.04	3.022	-0.48	0.12

Nota: M=Media, A=Asimetría, C= Curtosis

Fuente: Elaboración propia.

El segundo objetivo fue evaluar las habilidades de los estudiantes para resolver situaciones complejas utilizando los principios del pensamiento computacional. Se elaboraron dos estudios de caso con el fin de analizar como el escalamiento sus habilidades de abstracción, descomposición, diseño de algoritmos e identificación de patrones les permite resolver problemas complejos. Para resolver cada caso se formularon 4 preguntas, cada una con 3 posibilidades de respuesta, siendo solo una la correcta. Se dio un tiempo de 30 minutos para que los estudiantes leyeran el caso, lo analizaran y escogieran la respuesta que considerarán más apropiada.

Análisis estadístico

Se llevaron a cabo las siguientes pruebas estadísticas, para el primer objetivo: 1) análisis de las medias, la dispersión de los datos y la presencia de valores atípicos, 2) la prueba t de student, para comparar las medias de dos grupos independientes y determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, y 3) la prueba ANOVA para analizar las diferencias entre los puntajes con el fin de determinar si las variaciones en las puntuaciones entre el pretest y el postest son mayores de lo que se esperaría por casualidad.

Para el segundo objetivo, se comparó el porcentaje de respuestas correctas e incorrectas antes y después de la participación en la experiencia formativa, se utilizó la prueba McNemar. Se consideró un cambio positivo si la respuesta de los estudiantes fue incorrecta en el pretest y correcta en el postest. Se consideró un cambio negativo si la respuesta fue correcta en el pretest e incorrecta en el postest.

4. Resultados

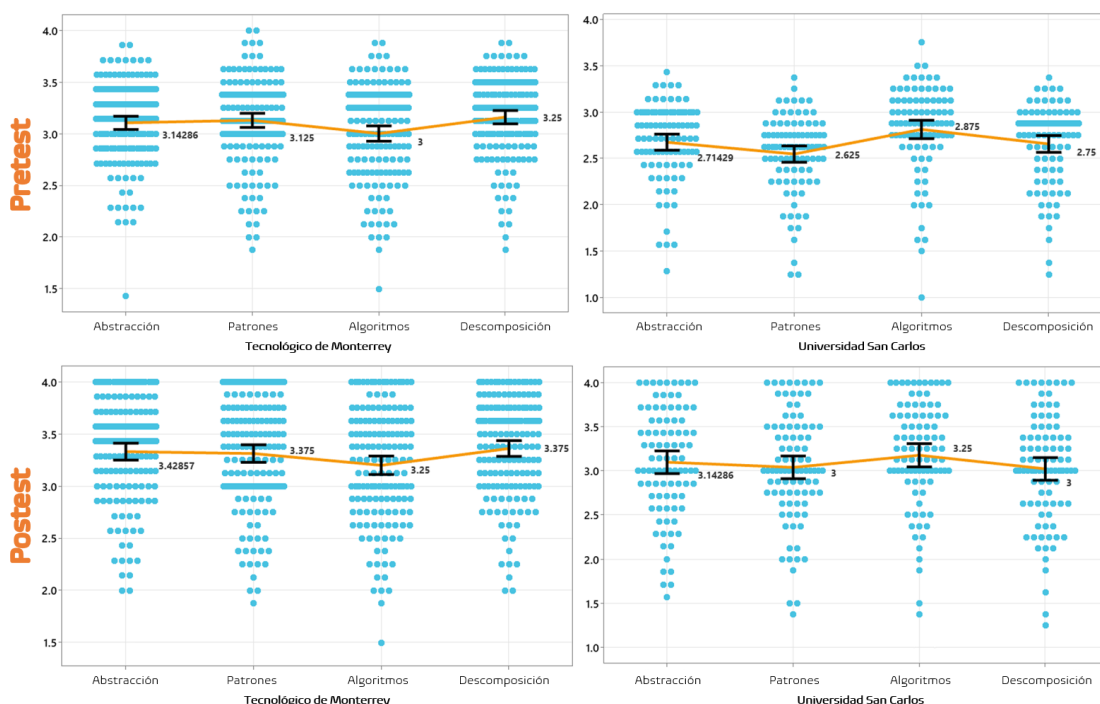
Autovaloración de subcompetencias de pensamiento computacional

La mejora en las medias y la reducción en la cantidad de valores atípicos sugieren efectividad de la experiencia formativa. En la Figura 4 se puede observar un incremento en las medias desde el pretest al postest en todas las subcompetencias en ambas universidades. En Tec, la media en Abstracción aumenta de 3.14266 a 3.48257, y en USAC de 2.71429 a 3.14846. Esto sugiere que los estudiantes perciben una mejora en sus habilidades tras participar en la experiencia formativa.

Se presentaron valores atípicos en el pretest para ambas universidades. En USAC existen en Abstracción y Diseño de algoritmos que están notablemente alejados del grupo central de datos, lo que indica que algunos estudiantes se autovaloran con menos habilidades en pensamiento computacional antes de la experiencia formativa. En el postest, los valores atípicos disminuyen, lo cual puede interpretarse como una señal de que la experiencia ayudó a homogeneizar sus habilidades percibidas.

Figura 4.

Análisis de pretest y postest en Tec y USAC.



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre el pretest y el postest, se aplicó la prueba *t de Student* para dos muestras. En la Tabla 6 se observa un aumento en la media de las puntuaciones de 3.099 a 3.299 del pretest al postest, lo que representa una mejora de 0.2 puntos. Por otro lado, en USAC, la media disminuyó de 3.299 a 3.083, una caída de 0.22 puntos. Aunque USAC comenzó con una media más alta, Tec logró superarla en el postest.

Ambas universidades mostraron una disminución en la varianza y la desviación estándar, indicando una mayor homogeneidad en las puntuaciones del posttest. Sin embargo, la diferencia en la media de USAC sugiere que, a pesar de una mayor consistencia, la autovaloración promedio se redujo. La correlación de Pearson destaca diferencias significativas en cómo las variables asociadas afectaron los resultados en ambas instituciones. En Tec existió una correlación de 0.632, sugiriendo que la mejora está positivamente asociada con la experiencia formativa (Lugo-Armenta & Pino-Fan, 2022). En contraste, USAC exhibió una correlación de -0.033, prácticamente nula, esta falta de correlación podría reflejar que la experiencia formativa no tuvo un efecto significativo en las puntuaciones o que otros factores no medidos podrían estar influyendo.

Tabla 6.

Estadísticos de la prueba t.

Estadísticos	Tec			USAC		
	Pretest	Posttest	Diferencia muestral (dm)	Pretest	Posttest	Diferencia muestral (dm)
Promedio	3.099	3.299		3.299	3.083	
Varianza	0.025	0.016		0.016	0.023	
Desviación standard	0.69021	0.7233	0.2	0.69021	0.7233	0.22
Correlación de pearson	0.632			-0.033		

Para confirmar si en las diferencias observadas son significativas, se realizó un análisis ANOVA de un factor de efectos fijos. La Tabla 7 se destaca que la suma de cuadrados (SS) que mide la variación total en los datos, es idéntica en ambas universidades (1.845), pero en USAC, la variación entre grupos es mayor (SS=0.725) en comparación con Tec (SS=0.621). Esto indica que la experiencia en USAC produjo efectos más heterogéneos entre los distintos grupos de estudiantes. La SS dentro de los grupos es ligeramente menor en USAC (1.179) que en Tec (1.224).

La media de cuadrados (MS) es más alta USAC (0.725) que en Tec (0.621). Esto, junto con el valor F más elevado (USAC=36.914; Tec=30.422), señala una influencia más pronunciada de la experiencia formativa en la variabilidad de rendimiento entre grupos. Los valores F, muy por encima del F crítico (en ambos casos 4.001), confirman la significancia estadística de estas diferencias. Los valores p-valor extremadamente bajos confirman que las diferencias observadas son estadísticamente significativas. Sin embargo, el p-valor aún más bajo en USAC (9.18E-08 comparado con 7.78E-07 en Tec) refuerza la idea de que las diferencias entre grupos son más notables en esta universidad. Estos hallazgos sugieren que la implementación de la experiencia formativa en la USAC no solo fue efectiva, sino que también generaron variaciones más marcadas en la autovaloración de los estudiantes comparado con Tec.

Tabla 7.

Prueba ANOVA.

Fuente de variación	Tec						USAC					
	SS	df	MS	F	P-valor	F crit	SS	df	MS	F	P-valor	F crit
Entre grupos	0.621	1	0.621				0.725	1	0.725			
Con grupos	1.224	60	0.020	30.422	0.000	4.001	1.179	60	0.020	36.914	0.000	4.001
Total	1.845	61					0.725	1	0.725			

Habilidades para resolver problemas complejos aplicando pensamiento computacional

En la Tabla 8 se muestran los resultados de los estudios de caso en Tec, en el Caso 1 se revela que, aunque la mayoría de los estudiantes mostró una mejora en sus respuestas en las categorías de Abstracción y Patrones (con 90 y 85 respuestas correctas respectivamente), los cambios no alcanzaron significancia estadística (p-valores de .1651 y .1081). No obstante, en Algoritmos y en Descomposición, se observó un aumento notable en las respuestas correctas, con p-valores de .1000 y .0207, indicando una mejora significativa en esta última.

Los resultados en el Caso 2 mostraron un patrón similar en términos de mejora en Abstracción y Descomposición, con p-valores de .0072 y .0207. Estos resultados subrayan la eficacia de la experiencia formativa. En Identificación de patrones también hubo mejoras (p-valor de .0118). En Algoritmos, aunque existió una mejora general en el número de respuestas correctas, no alcanzaron una significancia estadística (p=.0933), sugiriendo que la intervención pudo haber sido menos efectiva en esta área específica.

Por lo anterior, la experiencia formativa parece haber tenido un impacto positivo, en particular en las habilidades de Descomposición y Abstracción, donde la significancia estadística fue mayor en ambos casos. Patrones y Algoritmos, aunque mostraron mejoras, requieren de un análisis más profundo y posiblemente ajustes en el diseño de la experiencia para lograr una mejora uniforme.

Tabla 8.

Distribución de las respuestas pre y postest en el Tec.

	+-	-+	++	--	p valor
Caso 1					
Abstracción	10	30	90	22	.1651
Patrones	15	35	85	17	.1081
Algoritmos	5	40	95	12	.1000
Descomposición	12	45	80	15	.0201
Caso 2					
Abstracción	8	50	82	12	.0072
Patrones	7	55	75	15	.0118
Algoritmos	6	60	70	16	.0933
Descomposición	10	65	62	15	.0207

Nota:

- +- Estudiantes que contestaron correctamente en pretest e incorrectamente en el postest.
- + Estudiantes que contestaron incorrectamente en pretest y correctamente en el postest.
- ++ Estudiantes que contestaron correctamente en pretest y postest.
- Estudiantes que contestaron incorrectamente en pretest y postest.

La Tabla 9 ofrece un análisis en USAC, en el Caso 1, Descomposición muestra la mejora más significativa con un p-valor de .0001. Un total de 52 estudiantes mantuvieron o mejoraron sus respuestas correctas (++), mientras que sólo 6 retrocedieron a respuestas incorrectas (--), lo que indica una efectividad destacable en esta habilidad. La Abstracción también refleja resultados notables, con 58 estudiantes manteniendo o mejorando su desempeño y un p-valor de .0010. Estos datos sugieren que la experiencia fue particularmente efectiva para fortalecer las habilidades de abstracción.

Algoritmos y Patrones también mostraron mejoras significativas con p-valores de .0005 y .0050, respectivamente. Aunque la cantidad de estudiantes que mantuvieron respuestas correctas es ligeramente menor en Algoritmos (55) comparado con Patrones (60), ambos p-valores reflejan una mejora estadísticamente relevante. Este progreso es indicativo de una instrucción efectiva y una absorción satisfactoria de técnicas y reconocimiento de patrones.

En el Caso 2, Abstracción sobresale con 57 estudiantes que lograron mantener o mejorar su rendimiento en las respuestas correctas, con un p-valor de .0025. Esto refleja la efectividad de la experiencia para desarrollar la abstracción. Descomposición muestra una mejora, aunque con un menor número de respuestas correctas (48) con un p-valor de .0015. El menor número de respuestas correctas puede sugerir variaciones en la eficiencia de la experiencia formativa.

Patrones y Algoritmos, con p-valores de .0080 y .0030 respectivamente, aunque muestran mejoras significativas, reflejan una menor tasa de respuestas correctas en comparación con el Caso 1. Esto podría indicar diferencias en la composición del grupo, o en la receptividad hacia la experiencia por parte de los estudiantes. Al comparar los dos casos, se observa que, aunque ambos muestran mejoras en todas las categorías, el Caso 1 parece tener un rendimiento ligeramente superior en términos de número de respuestas consistentemente correctas y p-valores más bajos, lo que sugiere una mayor efectividad de la experiencia.

Tabla 9.

Distribución de las respuestas pre y postest en la USAC.

	+-	-+	++	--	p valor
Caso 1					
Abstracción	5	25	58	3	.0010
Patrones	7	20	60	4	.0050
Algoritmos	4	27	55	5	.0005
Descomposición	3	30	52	6	.0001
Caso 2					
Abstracción	6	25	57	3	.0025
Patrones	5	28	53	5	.0080
Algoritmos	8	22	56	5	.0030
Descomposición	7	29	48	7	.0015

Nota:

- +- Estudiantes que contestaron correctamente en pretest e incorrectamente en el postest.
- + Estudiantes que contestaron incorrectamente en pretest y correctamente en el postest.
- ++ Estudiantes que contestaron correctamente en pretest y postest.
- Estudiantes que contestaron incorrectamente en pretest y postest.

5. Discusión

En el presente estudio, se ha revelado que la integración de pensamiento computacional y complejo en plataformas web educativas mejora significativamente las habilidades de los estudiantes para comprender y abordar problemas energéticos relacionados con el ODS 7. Los hallazgos mostrados en la Tabla 6 sugieren un aumento en la autovaloración de sus habilidades analíticas tras la experiencia formativa. Estos resultados empíricos muestran una clara mejora en la percepción de los estudiantes sobre su capacidad para

proponer soluciones sostenibles a problemas relacionados con la energía utilizando el pensamiento computacional.

Esta evidencia es apoyada por estudios como el de Mensah (2022), que destacan la importancia de la educación en el desarrollo de una comprensión profunda sobre los desafíos energéticos y su solución. El aumento en las habilidades auto valoradas de pensamiento computacional (Figura 1), subraya la efectividad de integrar tales enfoques pedagógicos en la enseñanza de temas críticos como la energía sostenible. Por otra parte, la Tabla 9 ofrece una perspectiva adicional sobre la mejora en las habilidades de descomposición y abstracción de los estudiantes de la USAC. La categoría Descomposición muestra mejoras estadísticamente significativas, lo que indica la efectividad de la experiencia formativa en el fortalecimiento de la capacidad de los estudiantes para descomponer problemas complejos en partes manejables.

Este resultado es coherente con la literatura existente que aboga por la integración del pensamiento computacional en la educación para mejorar las habilidades analíticas y de resolución de problemas (Grover y Pea, 2017; Pea, 2022). En este sentido, el estudio aporta evidencia empírica que respalda la implementación de métodos pedagógicos que integren el pensamiento computacional y complejo, especialmente en la educación relacionada con los ODS.

Los hallazgos también se alinean con otros estudios (Adediran et al., 2021), en los que se discute la importancia de la educación para la comprensión profunda y la acción efectiva hacia el logro de los ODS. Los resultados obtenidos en esta investigación aportan una base empírica para recomendar la expansión de la educación en pensamiento computacional y complejo para abordar de manera más efectiva los ODS (Tsai et al., 2021). Los hallazgos establecen un precedente para futuras investigaciones y prácticas pedagógicas relacionadas con la comprensión de los ODS.

Este análisis también es apoyado por estudios como los de Pea (2022), quienes observaron que el aprendizaje mejorado a través del pensamiento computacional no solo se aplica a las ciencias computacionales, sino que también se extiende a otras disciplinas, ayudando a los estudiantes a desarrollar un enfoque más analítico y sistemático hacia el aprendizaje. En consonancia con estos hallazgos, nuestro estudio muestra que el pensamiento computacional puede ser un facilitador crucial para la comprensión y aplicación de conceptos en múltiples campos del saber, particularmente en aquellos que requieren un alto grado de abstracción y análisis crítico.

Sin embargo, a pesar de los avances en la integración del pensamiento computacional en entornos educativos, persisten diversas limitaciones que dificultan su enseñanza efectiva. Uno de los principales desafíos radica en la falta de formación docente en esta área, lo que impide que los educadores puedan diseñar e implementar estrategias pedagógicas adecuadas para su enseñanza. Si bien existen programas de capacitación y recursos digitales, estos no siempre están alineados con las necesidades y el contexto de cada institución educativa, lo que genera brechas en su aplicación. Además, el acceso desigual a tecnologías y plataformas educativas limita la posibilidad de que todos los estudiantes desarrollen habilidades de pensamiento computacional de manera equitativa, especialmente en regiones con infraestructura tecnológica deficiente.

Otro aspecto crítico es la falta de integración del pensamiento computacional en los planes de estudio de manera transversal, lo que ocasiona que su enseñanza se limite a cursos especializados o iniciativas extracurriculares como la aquí descrita. Este enfoque fragmentado reduce su potencial como una competencia fundamental para la resolución de problemas complejos en diversas disciplinas. Asimismo, la evaluación del desarrollo de estas habilidades sigue siendo un reto, ya que la mayoría de los instrumentos disponibles se enfocan en aspectos técnicos, dejando de lado dimensiones más holísticas, como su aplicación en contextos interdisciplinarios y en la toma de decisiones. Para superar estas limitaciones, es necesario fortalecer el diseño curricular, implementar metodologías activas de enseñanza y desarrollar herramientas de evaluación que permitan medir de manera integral el impacto del pensamiento computacional en la formación de los estudiantes.

6. Conclusiones

Las conclusiones resaltan la eficacia de incorporar el pensamiento computacional y complejo en las plataformas educativas en línea para mejorar la comprensión y aplicación de conceptos cruciales relacionados con el ODS 7, centrado en asegurar el acceso a una energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos. A través de una metodología detallada y un análisis exhaustivo de los datos, el estudio ha demostrado que las experiencias formativas pueden facilitar un aumento significativo en las habilidades analíticas y de resolución de problemas de los estudiantes, preparándolos mejor para enfrentar y resolver desafíos complejos en el ámbito de la sostenibilidad energética.

La investigación ha evidenciado que el pensamiento computacional no solo mejora la capacidad técnica de los estudiantes, sino que también enriquece su proceso cognitivo, permitiéndoles abordar problemas complejos de manera más efectiva. Los resultados obtenidos indican mejoras significativas en la autoevaluación de los estudiantes en cuanto a su comprensión y habilidades para tratar problemas energéticos, lo que refleja el impacto positivo de la experiencia formativa. Este aumento en la capacidad de los estudiantes para aplicar conceptos de manera efectiva en el contexto de la sostenibilidad energética es un hallazgo importante que subraya la importancia de integrar estrategias de pensamiento computacional en la educación superior.

A pesar de sus hallazgos positivos, este estudio no está exento de limitaciones. La principal restricción es la falta de un grupo de control que podría haber proporcionado una comparativa clara del impacto de la experiencia sin la influencia de variables externas. Además, la generalización de los resultados puede estar limitada por la especificidad del contexto educativo y cultural de las instituciones involucradas. La diversidad de los estudiantes, sus antecedentes educativos previos y otros factores externos también pueden influir en los resultados y su aplicabilidad en diferentes escenarios educativos.

Frente a estas limitaciones, surge la necesidad de investigaciones futuras que aborden estos desafíos. En estudios futuros podrían incluirse a múltiples instituciones con variadas demografías estudiantiles para examinar la efectividad del pensamiento computacional en una gama más amplia de contextos educativos. Además, sería beneficioso implementar un diseño longitudinal para evaluar la durabilidad de las competencias adquiridas y su aplicación a largo plazo.

Otro ámbito prometedor para futuras investigaciones es la exploración de la aplicación del pensamiento computacional a otros ODS. Dado que los desafíos globales son intrínsecamente complejos y multifacéticos, el pensamiento computacional podría servir como una herramienta valiosa para abordar problemas en diversas áreas como la salud, la educación y la reducción de la pobreza. Los estudios adicionales podrían centrarse en desarrollar y probar diferentes modalidades de enseñanza y plataformas tecnológicas para optimizar la entrega de contenidos educativos que fomenten el pensamiento avanzado.

Presentación del artículo: 21 de noviembre de 2024

Fecha de aprobación: 18 de marzo de 2025

Fecha de publicación: 30 de julio de 2025

George-Reyes. C.E., Oliva-Córdova, L. M., Avello-Martínez, R., y López-Caudana, E. (2025). Pensamiento Computacional para la resolución de problemas complejos: ODS 7 Energía asequible y no contaminante. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 25(82). <http://dx.doi.org/10.6018/red.638541>

Declaración del autor o de los autores sobre el uso de LLM

Este artículo no ha utilizado para su redacción textos provenientes de un LLM (ChatGPT u otros).

Financiación

Los autores agradecen al Tecnológico de Monterrey por el apoyo financiero brindado a través del 'Challenge-Based Research Funding Program 2023', Project ID #IJXT070-23EG99001, titulado 'Complex Thinking Education for All (CTE4A): A Digital Hub and School for Lifelong Learners'. Además, agradecemos a los estudiantes de las universidades involucradas en este estudio.

Referencias

- Acosta, Y., Alsina, Á., & Pincheira, N. (2023). Computational thinking and repetition patterns in early childhood education: Longitudinal analysis of representation and justification. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12051-6>
- Adediran, O. S., Benibo, I., & Akinpelumi, D. (2021). Biomass energy consumption and economic growth: An assessment of the relevance of sustainable development goal – 7 in Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(6), 43-49. <https://doi.org/10.32479/ijeep.10565>
- Alfaro-Ponce, B., Alfaro-Ponce, M., Muñoz-Ibáñez, C. A., Durán-González, R. E., Sanabria-Zepeda, J. C., & González-Gómez, Z. L. (2023). Education in Mexico and technological public policy for developing complex thinking in the digital era: A model for technology management. *Journal of Innovation and Knowledge*, 8(4). Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100439>

- Alibraheim, E. A., Hassan, H. F., & Soliman, M. W. (2023). Efficacy of educational platforms in developing the skills of employing augmented reality in teaching mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(11). Scopus. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13669>
- Althubaiti, A., & Althubaiti, S. M. (2024). Flipping the Online Classroom to Teach Statistical Data Analysis Software: A Quasi-Experimental Study. *SAGE Open*, 14(1). <https://doi.org/10.1177/21582440241235022>
- Amelink, C. T., Grote, D. M., Norris, M. B., & Grohs, J. R. (2024). Transdisciplinary Learning Opportunities: Exploring Differences in Complex Thinking Skill Development Between STEM and Non-STEM Majors. *Innovative Higher Education*, 49(1), 153-176. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10755-023-09682-5>
- Ángel, C., Segredo, E., Arnay, R. & León, C. (2020). Simulador de Robótica Educativa para la promoción del Pensamiento Computacional. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 20(63). <https://doi.org/10.6018/red.410191>
- Angeli, C. (2022). The effects of scaffolded programming scripts on pre-service teachers' computational thinking: Developing algorithmic thinking through programming robots. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100329>
- Asunda, P., Faezipour, M., Tolemy, J., & Do Engel, M. T. (2023). Embracing Computational Thinking as an Impetus for Artificial Intelligence in Integrated STEM Disciplines through Engineering and Technology Education. *Journal of Technology Education*, 34(2), 43-63. <https://doi.org/10.21061/jte.v34i2.a.3>
- Baena-Rojas, J. J., Suárez-Brito, P., & López-Caudana, E. (2023). Reflections about Complex Thought and Complex Thinking: Why These Theoretical Constructs Matters on Higher Education? *European Journal of Contemporary Education*, 12(1), 4-18. Scopus. <https://doi.org/10.13187/ejced.2023.1.4>
- Butko, L., Vasylenko, D., Fedorenko, S., Dobryden, O., & Martynyshyn, Y. (2022). *Summarizing the Experience of Using Educational Online Platforms in Ukrainian Universities*. Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022. <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005751>
- Çakiroğlu, Ü., & Çevik, İ. (2022). A framework for measuring abstraction as a sub-skill of computational thinking in block-based programming environments. *Education and Information Technologies*, 27(7), 9455-9484. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11019-2>
- Carlos-Arroyo, M., Vázquez-Parra, J. C., Cruz-Sandoval, M., & Romero-Rodríguez, J.-M. (2023). Development of complex thinking in a professional training process: An approach to business students of a Mexican University. *Journal of Education for Business*, 98(8), 483-491. <https://doi.org/10.1080/08832323.2023.2233044>
- Chapman, A., Fujii, H., and Managi, S. (2019). Multinational Life Satisfaction, Perceived Inequality and Energy Affordability. *Nature Sustainability*. 2 (6), 508–514. doi:10.1038/s41893-019-0303-5

- Che, X., Jiang, M., & Fan, C. (2021). Multidimensional Assessment and Alleviation of Global Energy Poverty Aligned With UN SDG 7. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.777244>
- Chuliá-Jordán, R., Peña, A. V., & Llinares, M. C. (2022). The Press as a Resource for Promoting Sustainability Competencies in Teacher Training: The Case of SDG 7. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020857>
- Cruz-Sandoval, M., Vázquez-Parra, J. C., Carlos-Arroyo, M., & Amézquita-Zamora, J. A. (2024). Student Perception of the Level of Development of Complex Thinking: An Approach Involving University Women in Mexico. *Journal of Latinos and Education*, 23(2), 768-780. <https://doi.org/10.1080/15348431.2023.2180370>
- Del Cerro Velázquez, F., & Lozano Rivas, F. (2020). Education for Sustainable Development in STEM (Technical Drawing): Learning Approach and Method for SDG 11 in Classrooms. *Sustainability*, 12(7), 2706. <https://doi.org/10.3390/su12072706>
- Dmytrów, K., Bieszk-Stolorz, B., & Landmesser-Rusek, J. (2022). Sustainable Energy in European Countries: Analysis of Sustainable Development Goal 7 Using the Dynamic Time Warping Method. *Energies*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/en15207756>
- Dobbins, A., Fuso Nerini, F., Deane, P., and Pye, S. (2019). Strengthening the EU Response to Energy Poverty. *Nat. Energ.* 4 (1), 2–5. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0316-8>
- Dowd, J. E., Thompson, R. J., Schiff, L. A., & Reynolds, J. A. (2018). Understanding the complex relationship between critical thinking and science reasoning among undergraduate thesis writers. *CBE Life Sciences Education*, 17(1). Scopus. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-03-0052>
- Echeverría, L., Cobos, R., & Morales, M. (2019). Improving the Students Computational Thinking Skills with Collaborative Learning Techniques. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 14(4), 196-206. <https://doi.org/10.1109/RITA.2019.2952299>
- Ferrante, P. (2023). Educational platforms: Uses and challenges in the post-digital school. A study in secondary schools of the City of Buenos Aires. *Education Policy Analysis Archives*, 31. <https://doi.org/10.14507/epaa.31.7921>
- Fields, D., Lui, D., Kafai, Y., Jayathirtha, G., Walker, J., & Shaw, M. (2021). Communicating about computational thinking: Understanding affordances of portfolios for assessing high school students' computational thinking and participation practices. *Computer Science Education*, 31(2), 224-258. <https://doi.org/10.1080/08993408.2020.1866933>
- Firoiu, D., Ionescu, G. H., Pîrvu, R., Cismaș, L. M., Tudor, S., & Patrichi, I. C. (2021). Dynamics of implementation of SDG 7 targets in eu member states 5 years after the adoption of the Paris agreement. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/su13158284>
- Galanti, T. M., & Holincheck, N. M. (2024). Integrating computational thinking in elementary STEM using the engineering design process. *School Science and Mathematics*. <https://doi.org/10.1111/ssm.12638>

- George-Reyes, C. E., Peláez Sánchez, I. C., Glasserman-Morales, L. D., & López-Caudana, E. O. (2023c). The Metaverse and complex thinking: Opportunities, experiences, and future lines of research. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1166999>
- George-Reyes, C. E., Contreras, Y., Ruiz-Ramírez, J. & López-Caudana, E. (2023a). Aprendizaje de los componentes del pensamiento computacional mediado por una aplicación virtual de la educación 4.0 en el entorno del pensamiento complejo. *Educación*, 59(2), 1-20. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1645>
- George-Reyes, C. E., López-Caudana, E.O., Ramírez-Montoya, M.S. y RuizRamírez, J. (2023b). Pensamiento computacional basado en realidad virtual y razonamiento complejo: caso de estudio secuencial. *RED Revista de Educación a Distancia*, 23(73). <http://dx.doi.org/10.6018/red.540841>
- George-Reyes, C.E. (2022). Imbricación del pensamiento computacional y la alfabetización digital en la enseñanza. Modelación a partir de una revisión sistemática de la literatura. *Revista Española de Documentación Científica*, 46(1), e345. <https://doi.org/10.3989/redc.2023.1.1922>
- Grover, S. & Pea, R. (2017). *Computational Thinking: A competency whose time has come*. In Sentence, S., Barendsen, E. Schulte, C. Computer science education: Perspectives on teaching and learning in school. Bloomsbury Academic. <https://doi.org/0.5040/9781350057142.ch-003>
- He, J., Yang, Y., Liao, Z., Xu, A., & Fang, K. (2022). Linking SDG 7 to assess the renewable energy footprint of nations by 2030. *Applied Energy*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119167>
- Holguin-Alvarez, J., Apaza-Quispe, J., Cruz-Montero, J., Ruiz-Salazar, J. M., & Acha, D. M. H. (2022). Mixed gamification with video games and educational platforms: A study on mathematical cognitive demand. *Digital Education Review*, 42, 136-153. <https://doi.org/10.1344/der.2022.42.136-153>
- Humán, E. M., Álvarez, D. J. R., & Muñoz, C. W. A. (2022). Critical and complex thinking and meaningful learning in Latin American education: A narrative review. *Sociología y Tecnociencia*, 12(2), 144-164. <https://doi.org/10.24197/st.2.2022.144-164>
- Ibarra-Vazquez, G., Ramírez-Montoya, M. S., & Terashima, H. (2024). Gender prediction based on University students' complex thinking competency: An analysis from machine learning approaches. *Education and Information Technologies*, 29(3), 2721-2739. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11831-4>
- Khwankaew, A. (2023). *The Conceptual Framework for Designing an Appropriate Learning Approach to Improve Students' Achievement for Educational Opportunity Expansion Schools Using Digital Learning Platform*. 8th International STEM Education Conference, iSTEM-Ed 2023 - Proceedings. <https://doi.org/10.1109/iSTEM-Ed59413.2023.10305751>
- Kuleshova, V. V., Kutsak, L. V., Liulchak, S. Y., Tsoi, T. V., & Ivanenko, I. V. (2020). Implementation of modern distance learning platforms in the educational process of HEI and their effectiveness. *International Journal of Higher Education*, 9(7), 217-229. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v9n7p217>

- Lafuente Martínez, M., Lévêque, O., Benítez, I., Hardebolle, C., & Zufferey, J. D. (2022). Assessing Computational Thinking: Development and Validation of the Algorithmic Thinking Test for Adults. *Journal of Educational Computing Research*. <https://doi.org/10.1177/07356331211057819>
- Lee, I., & Malyn-Smith, J. (2020). Computational Thinking Integration Patterns Along the Framework Defining Computational Thinking from a Disciplinary Perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 29(1), 9-18. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09802-x>
- Li, J., & Wang, R. (2023). Machine Learning Adoption in Educational Institutions: Role of Internet of Things and Digital Educational Platforms. *Sustainability (Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/su15054000>
- Lozano Rivas, F., Del Cerro Velázquez, F., & Morales Méndez, G. (2023). Key Competences for Sustainability: Technical Project Supported by Ecodesign of Educational Spaces to Achieve SDGs. *Sustainability*, 15(5), 3959. <https://doi.org/10.3390/su15053959>
- Lugo-Armenta, J. & Pino-Fan, L. (2022). Inferential reasoning of high school mathematics teachers about t-Student statistic. *Uniciencia*, 36(1), 1-29. <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.25>
- Luh, W. M. (2024). A General Framework for Planning the Number of Items/Subjects for Evaluating Cronbach's Alpha: Integration of Hypothesis Testing and Confidence Intervals. *Methodology*, 20(1), 1-21. <https://doi.org/10.5964/meth.10449>
- Manterola, C., & Otzen, T. (2015). Estudios Experimentales 2 Parte. Estudios Cuasi-Experimentales. *International Journal of Morphology*, 33(1), 382-387. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022015000100060>
- Mensah, J. K. (2022). Electricity and informal settlements: Towards achieving SDG 7 in developing countries. *Energy Research and Social Science*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102844>
- Merino-Soto, C. (2023). Aiken's V Coefficient: Differences in Content Validity Judgments. *MHSalud: Revista en Ciencias del Movimiento Humano y Salud*, 20(1), 1-10. <https://doi.org/10.15359/mhs.20-1.3>
- Minga-Vallejo, RE., Ramírez-Montoya, MS. (2023). *Social Construction of Learning: Analysis from the Participants of an Energy Sustainability xMOOC*. In: García-Peñalvo, F.J., García-Holgado, A. (eds) *Proceedings TEEM 2022: Tenth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*. TEEM 2022. *Lecture Notes in Educational Technology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0942-1_56
- Novielli, J., Kane, L., & Ashbaugh, A. R. (2023). Convenience Sampling Methods in Psychology: A Comparison Between Crowdsourced and Student Samples. *Canadian Journal of Behavioural Science*. <https://doi.org/10.1037/cbs0000394>
- Oberauer, K., Schickl, M., Zint, M., Liebhaber, N., Deisenrieder, V., Kubisch, S., Parth, S., Frick, M., Stötter, H., & Keller, L. (2023). The impact of teenagers' emotions on their complexity thinking competence related to climate change and its consequences on their future: Looking at complex interconnections and implications in climate

- change education. *Sustainability Science*, 18(2), 907-931. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01222-y>
- Pailman, W., & de Groot, J. (2022). Rethinking education for SDG 7: A framework for embedding gender and critical skills in energy access masters programmes in Africa. *Energy Research and Social Science*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102615>
- Peel, A., Sadler, T. D., & Friedrichsen, P. (2022). Algorithmic Explanations: An Unplugged Instructional Approach to Integrate Science and Computational Thinking. *Journal of Science Education and Technology*, 31(4), 428-441. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09965-0>
- Purwasih, R., & Dahlan, J. A. (2024). How do you solve number pattern problems through mathematical semiotics analysis and computational thinking? *Journal on Mathematics Education*, 15(2), 403-430. <https://doi.org/10.22342/jme.v15i2.pp403-430>
- Qian, Y., & Choi, I. (2023). Tracing the essence: Ways to develop abstraction in computational thinking. *Educational Technology Research and Development*, 71(3), 1055-1078. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10182-0>
- Ramírez-Montoya, M. S., Castillo-Martínez, I. M., Sanabria-Z, J., & Miranda, J. (2022). Complex Thinking in the Framework of Education 4.0 and Open Innovation—A Systematic Literature Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/joitmc8010004>
- Ramírez-Montoya, M. S., Martínez-Pérez, S., Rodríguez-Abitia, G., & Lopez-Caudana, E. (2022). Digital accreditations in MOOC-based training on sustainability: Factors that influence terminal efficiency. *Australasian Journal of Educational Technology*, 38(2), 162–180. <https://doi.org/10.14742/ajet.7082>
- Rates, C. A., Mulvey, B. K., Chiu, J. L., & Stenger, K. (2022). Examining ontological and self-monitoring scaffolding to improve complex systems thinking with a participatory simulation. *Instructional Science*, 50(2), 199-221. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09573-2>
- Raza, S. A. (2021). Managing ethical requirements elicitation of complex socio-technical systems with critical systems thinking: A case of course-timetabling project. *Technology in Society*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101626>
- Rodriguez-Calderon, R., & Belmonte-Izquierdo, R. (2021). Educational Platform for the Development of Projects Using Internet of Things. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 16(3), 276-282. <https://doi.org/10.1109/RITA.2021.3122971>
- Romero-Rodríguez, J.-M., Ramírez-Montoya, M.-S., Buenestado-Fernández, M., & Lara-Lara, F. (2023). Use of ChatGPT at University as a Tool for Complex Thinking: Students' Perceived Usefulness. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 12(2), 323-339. <https://doi.org/10.7821/naer.2023.7.1458>
- Shi, J., & Cheung, A. (2024). The Impacts of a Social Emotional Learning Program on Elementary School Students in China: A Quasi-Experimental Study. *Asia-Pacific Education Researcher*, 33(1), 59-69. <https://doi.org/10.1007/s40299-022-00707-9>
- Tibber, M. S., Wang, M., & Zhang, C. (2023). The Role of Platform Brand in the Association Between Social Media Use, Stress and Educational Attainment.

- International Journal of Human-Computer Interaction*, 39(8), 1594-1605.
<https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2064035>
- Tripon, C. (2022). Supporting Future Teachers to Promote Computational Thinking Skills in Teaching STEM—A Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19).
<https://doi.org/10.3390/su141912663>
- Tsai, M.-J., Liang, J.-C., & Hsu, C.-Y. (2021). The Computational Thinking Scale for Computer Literacy Education. *Journal of Educational Computing Research*, 59(4), 579-602. <https://doi.org/10.1177/0735633120972356>
- UNESCO (2015). Education 2030. Incheon Declaration and Framework for action for implementation of SDG 4, UNESCO.
- UNESCO (2017). Education for Sustainable Development Goals. Learning Objectives, UNESCO.
- Valdivia Vázquez, J. A., Ramirez-Montoya, M. S., & González, J. R. V. (2021). Psychometric assessment of a tool to evaluate motivation and knowledge of an energy-related topic MOOC. *Educational Media International*, 58(3), 280–295.
<https://doi.org/10.1080/09523987.2021.1976827>
- Vázquez-Parra, J. C., Alcantar-Nieblas, C., Glasserman-Morales, L. D., & Nuñez-Rodríguez, X. (2024). Development of Social Entrepreneurship Competencies and Complex Thinking in an Intensive Course of Open Educational Innovation. *International Journal of Educational Psychology*, 13(1), 1-20.
<https://doi.org/10.17583/ijep.12187>
- Wing, J. (2006). Computational thinking. it represents a universally applicable attitude and skill set everyone, not just computer scientists, would be eager to learn and use. *Commun. ACM*, 49(3). <https://doi.org/10.1109/vlhcc.2011.6070404>
- Zapata-Ros, M. (2020). El pensamiento computacional, una cuarta competencia clave planteada por la nueva alfabetización. *Educación y Tecnología*, 3(1).
<https://publicaciones.flacso.edu.uy/index.php/edutic/article/view/10>
- Zhukova, G., & Mordous, I. (2021). Virtual Platform of Educational Institutionalism in the Context of Social Transformations. *Studia Warminskie*, 58, 219-235.
<https://doi.org/10.31648/sw.7066>