

Gamificación y análisis de ciclo de vida para formación sostenible de ingenieros civiles en Panamá

Gamification and lifecycle analysis for sustainable training of civil engineers in Panama

Mgtr. Gabriel Montúfar

Afiliación Institucional: Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil

<https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>

Correo: Gabriel.montufar@up.ac.pa

País: Panamá

<https://10.59722/serc.v1i2.1030>

Resumen

La capacitación de ingenieros civiles en Panamá enfrenta la necesidad de cambios pedagógicos que impulsen la sostenibilidad. El documento expone y analiza la vinculación de la gamificación y el análisis de ciclo de vida (ACV) para reforzar la enseñanza activa y las habilidades de evaluación ambiental de proyectos tópicos con los Objetivos de Desarrollo Sostenibles ODS. Este problema va dirigido a docentes, coordinadores de planes de estudio y personas que toman decisiones sobre asignaturas de la Universidad de Panamá (UP) y otras escuelas de ingeniería en su área. El artículo tiene como fin presentar un marco curricular aplicable que integre elementos lúdicos con ACV, junto con recursos y criterios de evaluación, y presentar la experiencia de implementación piloto de la enseñanza en asignaturas propias, pensando en los problemas de infraestructura y de brecha digital. También se resumen aplicaciones recientes y se sugieren recomendaciones para la formación del profesorado, el vínculo universidad-empresa y la evaluación de resultados en motivación, retención y rendimiento en ACV. Esta propuesta planteaba determinadas posibilidades que pueden abrirse para acelerar la integración del aprendizaje de prácticas de bajo impacto en la enseñanza de ingenieros civiles en Panamá.

Palabras clave: gamificación, análisis de ciclo de vida, sostenibilidad, educación en ingeniería civil, Panamá

Abstract

The training of civil engineers in Panama faces the need for pedagogical changes that promote sustainability. This document presents and analyzes the link between

gamification and life cycle assessment (LCA) to reinforce active teaching and environmental assessment skills for topical projects with the Sustainable Development Goals (SDGs). This issue is addressed to teachers, curriculum coordinators, and decision-makers at the University of Panama (UP) and other engineering schools in their area. The article aims to present an applicable curricular framework that integrates playful elements with LCA, along with resources and assessment criteria, and to present the pilot implementation experience of teaching in specific subjects, considering infrastructure and the digital divide. Recent applications are also summarized and recommendations are made for teacher training, university-business engagement, and the evaluation of results in motivation, retention, and performance in LCA. This proposal raises certain possibilities that can be opened to accelerate the integration of low-impact learning practices in the teaching of civil engineers in Panama.

Keywords: gamification, life cycle analysis, sustainability, civil engineering education, Panama

1. Introducción

La sostenibilidad ecológica se ha convertido en una bandera internacional en el siglo XXI desde el mundo civil en sus diferentes disyuntivas, considerando que los criterios en el diseño y la construcción producen consecuencias en el medioambiente y la sociedad. Con un país como Panamá, que experimenta un crecimiento económico acelerado por el canal de Panamá, el urbanismo y las construcciones de infraestructuras de transportes, la necesidad de preparar ingenieros civiles sostenibles es urgente.

Con datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el ámbito de la construcción contribuye muy bien en una media del 39% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂) y otro dato más subraya la necesidad de considerar la ecología en la educación superior; en este caso el término ecología hace referencia a la aplicación a producción y consumo sostenible (Papamichael et al., 2024) (Clark et al., 2021; Díaz-Ramírez, 2020). Así, se piensa que el uso de herramientas innovadoras como la gamificación o el análisis de ciclo de vida, podrían conformar mecanismos de transformación de la pedagogía clásica. Gamificación es la introducción de elementos propios del juego (puntos, recompensas, retos, competiciones, etc.) en un contexto no lúdico, con el objetivo de aumentar la motivación, el compromiso y la retención del aprendizaje (Aliu & Aghimien, 2025).

El análisis de ciclo de vida, por su parte, es un método estandarizado que tiene su base en las normas ISO (14040 y 14044) (Organización Internacional para Estandarización) se trata de un método de evaluación de los impactos ambientales de un producto, proceso o servicio en todo el ciclo de vida del mismo, desde la extracción de los materiales hasta la disposición final del producto (Viere et al., 2021; Deda et al., 2023). La forma en que estas herramientas pueden integrarse en la formación de ingenieros civiles no solo permite la comprensión de la complejidad técnica de los conceptos sostenibles, sino que al mismo tiempo fomenta habilidades blandas como el pensamiento crítico, la colaboración y la resolución de problemas verídicos.

En Panamá, donde la Universidad de Panamá y otras entidades formativas deben afrontar problemáticas como la vulnerabilidad climática, la escasez en los recursos hídricos o la presión poblacional en núcleos urbanos como la Ciudad de Panamá, este método se torna de especial interés (Chen Austin et al., 2021). Investigaciones locales evidencian la necesidad de hacer un cambio en los currículos universitarios, incluyendo temáticas referentes a los edificios de energía cero (nZEB) y la gestión sostenible de infraestructuras, en sintonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en especial el ODS 4 (Educación de calidad), el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y el ODS 13 (Acción por el clima); por otro lado, la revisión de la literatura pone de manifiesto que en regiones en desarrollo como América Latina, por ejemplo, la implementación de innovaciones educativas muestra barreras como la brecha digital o la escasa inversión en infraestructura tecnológica.

No obstante, ejemplos exitosos de países semejantes, como Colombia y Brasil, han demostrado que la gamificación puede democratizar el acceso al aprendizaje interactivo a partir de plataformas móviles accesibles (Arguelles Ballen & Steffanell Piñeres, 2023), por lo cual este artículo pretende no sólo analizar aisladamente las herramientas, sino proponer su sinergia para tener un mayor impacto en el contexto panameño.

Este artículo se fundamenta en una revisión sistemática de literatura reciente en el sentido de explorar aplicaciones exitosas de ACV y gamificación en la educación ingenieril en el ámbito global y propone un marco educativo adaptado al contexto panameño. Su estructura incluye una sección de desarrollo en la que se describen las ideas clave, las aplicaciones integradas y una propuesta vinculante, para finalizar con conclusiones y recomendaciones. Su propósito es aportar al debate sobre innovación educativa promoviendo un cambio de paradigma en la formación de profesionales capaces de tomar la delantera a la hora de llevar a cabo transiciones hacia una

ingeniería civil más sostenible.

Durante el texto han sido analizadas más de 20 referencias bibliográficas publicadas entre 2019 y 2025, centradas en temáticas como la gamificación en construcción, la enseñanza de ACV en educación superior y las aplicaciones en América Latina. A partir de la revisión de dicha literatura se podrá ver, entre otras cuestiones, como tendencias en el uso de las tecnologías digitales, como el Modelado de Información para Construcción, en inglés Building Information Modeling (BIM), el Internet de las Cosas, en inglés Internet of Things (IoT) y los juegos serios para la simulación de escenarios reales, lo que podría ayudar a mitigar las barreras educativas en países en desarrollo como Panamá.

2. Desarrollo

El contenido de esta sección da cuenta de la operacionalización de la propuesta pedagógica que integra en la formación sostenible en ingeniería civil la gamificación y el análisis de ciclo de vida. Se aborda toda la base conceptual que fundamenta el diseño instruccional, la estructura de módulos y la secuencia de actividades (misiones, retos y artefactos evaluables) en coherencia con resultados de aprendizaje y evidencias de dominio; se pone en contexto tanto los recursos y las herramientas (software de ACV, por ejemplo) como los criterios de evaluación con retroalimentación formativa y métricas de participación y desempeño; se presentan los mecanismos de vinculación universidad–industria para el uso de datos reales y validación externa; y se presentan las adaptaciones al contexto panameño.

2.1. Gamificación en la educación en ingeniería civil

La gamificación ha transformado la educación superior al modificar procesos de aprendizaje pasivos en experiencias activas y motivadoras. La gamificación ha permitido, en el caso de la ingeniería civil, donde los conceptos abstractos como la mecánica de suelos, el diseño estructural y la gestión de proyectos pueden ser inertes, aumentar el rendimiento académico y la aplicación de conocimientos (Ilbeigi et al. 2023; Gomes et al. 2022).

La gamificación se define como el uso de mecánicas de juego en situaciones no recreativas que incluye componentes como sistemas de puntos (para el refuerzo de logros) o insignias (para identificar competencias), tablas de liderazgo (para promover una competencia amistosa) y desafíos narrativos (para problemáticas contextualizadas en problemas reales). Una revisión sistemática realizada por Mabalay (2025) reconoce la tendencia en aplicaciones dirigidas a la sostenibilidad, en donde la gamificación se utiliza para promover cambios de comportamiento,

como la reducción de consumo eléctrico en construcción a través de simulaciones.

En esta línea, Li et al. (2024) revisa metodologías de evaluación que valoran los cambios en el comportamiento de los ocupantes, dando lugar a mejoras del 15-30% en eficiencia energética empleando apps gamificadas. La aplicación concreta de la gamificación se ha utilizado en educación ingenieril (cursos de gestión de construcción). Según Aliu y Aghimien (2025), la gamificación puede considerarse un catalizador que aumenta la motivación intrínseca al coincidir los objetivos de aprendizaje y las recompensas inmediatas. Ilbeigi et al. (2023), en una revisión de avance de 45 estudios, concluye que la gamificación es efectiva para la educación, en temas como riesgos en el trabajo y planificación de proyectos, con tasas de retención de conocimientos que superan el 80% respecto a métodos tradicionales.

En América Latina, donde el acceso a tecnologías avanzadas es muy limitado, sobresale el modelo de gamificación para incrementar la retención estudiantil en estudiantes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) de Colombia (Arguelles Ballen & Steffanell Piñeres, 2023), el que apela a misiones para recrear escenarios de ingeniería, el que puede ser extrapolado a situaciones como las de Panamá, donde los proyectos de infraestructura rural suelen tener problemas logísticos. Jato-Espino et al. (2024) proponen la utilización de la gamificación para mejorar el desempeño educativo en la ingeniería civil, utilizando herramientas como los ejercicios teóricos y los simuladores de realidad virtual (VR), que registraron incrementos cercanos al 40% en la atención.

Los problemas de la implementación son la adecuación a las culturas de los estudiantes (p. ej., existe una preferencia de los jugadores con un perfil colaborativo en culturas colectivistas) y la autenticidad de las mediciones de impacto (Vergara et al., 2023). Para ello, existen marcos de referencia como el propuesto por Udeozor (2023) en su tesis doctoral, el que propone un marco de referencia que da cabida a las métricas de evaluación de la gamificación, basando la evaluación en alguna métrica cuantitativa (puntuaciones) y cualitativa (retroalimentación), la muy necesaria retroalimentación del estudiantado. En el caso panameño, la gamificación podría implementarse en los cursos de diseño de puentes o edificios, simulando el impacto de los eventos climáticos extremos, especialmente los huracanes y las inundaciones que producen cambios climáticos adversos en ese país.

Adicionalmente, revisiones sistemáticas reportan oportunidades en la sostenibilidad de gamificar el diseño ecológico para promover decisiones con bajo carbono (Suppitat & Hu, 2020); en la

universidad, la experiencia de "Desafío Climático" (Frei & Stucki, 2023) muestra como los duelos gamificados promueven el pensamiento del ciclo de vida, que cambia comportamientos de los participantes superiores a los del resto de la población. Berger y Koch (2024) generalizan esta tendencia a los centros de estudio, donde las competencias gamificadas pueden reducir el consumo de los recursos, una tendencia que puede ser expandidas a las comunidades urbanas panameñas. Para ilustrar los elementos clave de la gamificación en este contexto, se presenta la siguiente tabla que compara componentes comunes y sus beneficios específicos en la educación en ingeniería civil:

Tabla 1: Elementos de gamificación en la educación en ingeniería civil

Elemento de Gamificación	Descripción	Beneficios en Ingeniería Civil	Ejemplos de Aplicación
Puntos y Recompensas	Asignación de puntos por completar tareas o desafíos.	Aumenta la motivación inmediata y refuerza el aprendizaje progresivo.	Simulaciones de gestión de proyectos donde puntos se otorgan por optimizar costos y tiempos (Aliu & Aghimien, 2025).
Insignias y Logros	Reconocimientos visuales por competencias avanzadas.	Fomenta la retención de conocimientos y el sentido de logro.	Insignias por completar módulos de seguridad en construcción (Ilbeigi et al., 2023).
Tablas de Liderazgo	Rankings basados en desempeño.	Promueve competencia sana y colaboración.	Competencias grupales en diseño estructural sostenible (Jato-Espino et al., 2024).
Desafíos Narrativos	Historias o escenarios ficticios con objetivos.	Mejora la aplicación práctica y el pensamiento crítico.	Misiones virtuales para resolver problemas ambientales en infraestructuras (Mabalay, 2025).

Retroalimentación Inmediata	Retroalimentación en tiempo real sobre acciones.	Facilita la corrección de errores y el aprendizaje iterativo.	Apps que evalúan diseños energéticamente eficientes (Li et al., 2024).
-----------------------------	--	---	--

Fuente: Elaboración propia basada en Aliu & Aghimien (2025), Ilbeigi et al. (2023), Jato-Espino et al. (2024), Mabalay (2025) y Li et al. (2024).

La tabla referida explica de qué manera se puede articular la gamificación para maximizar su potencial, teniendo en cuenta las necesidades educativas concretas. En conclusión, la gamificación no solo es motivación. La gamificación también es preparación para los ingenieros y sus habilidades técnicas son acompañadas por una buena conciencia ambiental. La combinación de la gamificación con otras herramientas (como la ACV) puede maximizar los beneficios de la gamificación, lo que se aborda en secciones posteriores. Adicionalmente, las investigaciones futuras llegarán a enfocarse en el uso de métricas longitudinales que ayuden a comprobar el impacto que puede tener la gamificación en el contexto de las carreras profesionales.

2.2. Análisis de ciclo de vida (ACV) en la sostenibilidad educativa

El análisis del ciclo de vida (ACV), como herramienta analítica que permite la cuantificación de impactos ambientales, se ha convertido en un potencial facilitador para la toma de decisiones por parte de los ingenieros civiles a la hora de escoger materiales, métodos o diseños. Se entiende por tal una técnica que va desde el inventario del ciclo de vida (ICV), la evaluación de impactos (EVI) y la interpretación, abarcando desde la cuna hasta la tumba o bien, se pueden considerar diferentes enfoques propios del ciclo de vida circular como cuna a cuna (Viere et al., 2024).

En el ámbito de la educación superior, la enseñanza de los ACV ha evolucionado desde una perspectiva teórica hacia su aplicación práctica, indicando que, a nivel global, su enseñanza ha estado integrada en el 64% de los programas de ingeniería (Viere et al., 2024) o, por parte de Rüdele et al. (2025), ofrecen evidencias empíricas, entre las que destacan los estudios de caso y el uso de software para salvar barreras que suelen considerarse insalvables (como dificultad con datos). Un trabajo anterior realizado por Viere et al. (2021) encuentra las barreras que son comunes (ausencia de bases de datos nacionales, etc.) pero también ofrece las soluciones colaborativas con industria (Rumayor et al., 2024).

Dentro del ámbito de la ingeniería civil, se han desarrollado aplicaciones que abarcan la

optimización de estructuras mediante su ensamblado con el Modelado de Información de Construcción (BIM) e internet de las cosas (IoT). Vestfal y Seduikyte (2024) exploran los factores que afectan el rendimiento escolar de los edificios educativos, dedicados principalmente a la ACV para revisar la calidad del aire interior (IAQ) y la eficiencia energética. Chen et al. (2024) contrastan la evolución de la ACV en el BIM mostrando que las reducciones en la emisión de gases perjudiciales para el medio ambiente se encuentran entre el 20% y el 50%. En ciertas situaciones, Yavan & col. (2024) recurren a la combinación de la programación visual y de los algoritmos evolutivos para optimizar armaduras estructurales, pero también para conseguir un menor uso de los materiales, así como un menor impacto ambiental.

En cuanto a América Latina, Chen Austin & col. (2021) revisan conceptos de edificios de energía cero (ZEB), y sugieren marcos a medida para Panamá, donde priman las estrategias pasivas como la ventilación natural o el uso de paneles solares. Por su parte, Burnley & col. (2019) defienden la aplicación del ACV en la enseñanza ambiental, usando proyectos que mezclan datos reales de gestión de residuos y recursos.

Dentro de los desafíos educativos, el compromiso estudiantil y la tecnología son dos elementos que constituyen obstáculos, pero que pueden verse superados por propuestas activas e innovadoras como son las actividades audiovisuales (Espada et al., 2024) o los propios juegos serios (Núñez-Pacheco et al., 2023).

En Panamá, que es un país donde iniciativas como el Canal se han visto obligadas a soportar (o emplear) una evaluación ambiental larga y exigente, el ACV puede ser una temática a incluir en las asignaturas, analizando los impactos de las expansiones de infraestructura tales como la necesidad de construir nuevos edificios y estructuras que permitan la resiliencia al cambio climático.

Esta síntesis es relevante porque la enseñanza del análisis de ciclo de vida (ACV) en la educación superior ha evolucionado de un enfoque teórico a uno más práctico, y actualmente forma parte de un número considerable de planes de estudio en ingeniería (Viere et al., 2024). La evidencia pedagógica sugiere que el uso de estudios de caso y software puede ayudar a superar desafíos comunes, como la falta de disponibilidad y la calidad de los datos (Rüdele et al., 2025). Además, los diagnósticos previos han permitido identificar problemas recurrentes y proponer soluciones en colaboración con la industria (Viere et al., 2021; Rumayor et al., 2024). En el ámbito de la ingeniería civil, la combinación de ACV con el modelado de información de construcción (BIM)

y el internet de las cosas (IoT), facilitan aplicaciones prácticas en el rendimiento ambiental y energético de las edificaciones, así como en la optimización estructural y en la reducción de impactos (Vestfal & Seduikyte, 2024; Chen et al., 2024; Yavan et al., 2024). En América Latina y particularmente en Panamá, enfoques como los edificios de energía cero (ZEB) y las estrategias pasivas subrayan la importancia del ACV en el currículo, junto con experiencias formativas que se basan en proyectos reales de manejo de residuos (Chen Austin et al., 2021; Burnley et al., 2019). Por último, la utilización de recursos audiovisuales y juegos serios ha demostrado mejorar el compromiso de los estudiantes, respaldando así la implementación didáctica del ACV en entornos con limitaciones tecnológicas (Espada et al., 2024; Núñez-Pacheco et al., 2023).

Igualmente, la enseñanza del ACV permite desarrollar competencias de carácter interdisciplinario, como puede ser la integración con la economía circular y la formación de políticas públicas, algo que es esencial en todo tipo de situaciones que requieran el desarrollo sostenible (Papamichael et al., 2024).

Unos pocos estudios empíricos han sugerido que la combinación del ACV y las herramientas digitales pueden acelerar la curva de aprendizaje, permitiendo que los estudiantes hagan análisis complejos en una menor cantidad de tiempo. La siguiente tabla presenta una comparación de enfoques para enseñar ACV en educación superior, basada en literatura reciente:

Tabla 2: Enfoques para enseñar análisis de ciclo de vida en educación superior

Enfoque Educativo	Descripción	Ventajas	Desventajas	Ejemplos Referenciados
Teórico (Conferencias)	Exposiciones sobre principios y normas ISO.	Bajo costo, fácil implementación.	Bajo compromiso, falta de práctica.	Viere et al. (2021).
Práctico (Estudios de Caso)	Ánálisis de proyectos reales con software.	Aplicación directa, desarrollo de habilidades.	Requiere datos y herramientas especializadas.	Rüdele et al. (2025).
Integrado con Tecnologías (BIM/IoT)	Uso de modelado digital para	Optimización en tiempo real, relevancia	Brecha digital, curva de aprendizaje	Chen et al. (2024); Vestfal & Seduikyte

	simulaciones.	industrial.	alta.	(2024).
Colaborativo (Proyectos Grupales)	Trabajo en equipo con industria.	Fomenta colaboración, datos locales.	Dependencia de asociaciones externas.	Burnley et al. (2019).
Innovador (Audiovisual/Juegos)	Incorporación de videos y simuladores.	Aumenta motivación, aprendizaje activo.	Desarrollo de contenido costoso.	Espada et al. (2024); Núñez-Pacheco et al. (2023).

Fuente: Elaboración propia basada en Viere et al. (2021, 2024), Rüdele et al. (2025), Chen et al. (2024), Vestfal & Seduikyte (2024), Burnley et al. (2019), Espada et al. (2024) y Núñez-Pacheco et al. (2023).

Esta tabla destaca la diversidad de métodos, permitiendo seleccionar enfoques según recursos disponibles. Globalmente, la enseñanza de ACV promueve el pensamiento sistémico, esencial para transiciones sostenibles (Papamichael et al., 2024).

2.3. Integración de gamificación y ACV en la educación ingenieril

Junto a la gamificación se desarrolla una nueva innovación pedagógica que pone en diálogo lo lúdico y lo analítico para potenciar el aprendizaje en ingeniería civil. Esta unión asegura la simulación de complejos escenarios de ciclo de vida mediante juegos, en donde los estudiantes compiten o colaboran para minimizar los impactos ambientales (Frei & Stucki, 2023).

Ejemplos incluyen "Victorias Climáticas", un enfoque gamificado para el consumo sostenible en universidades que usa el ACV para calcular huellas ecológicas en retos diarios. En el ámbito de la construcción, Li et al. (2024) revisan la gamificación para cambiar comportamientos energéticos e integran el ACV en aplicaciones que recompensan diseños eficientes. Un flujo de trabajo propuesto por Yavan et al. (2024) combina BIM, algoritmos evolutivos y ACV en entornos de gamificación visual, optimizando, así, las estructuras con retroalimentación inmediata.

En su revisión sistemática, Mabalay (2025) resalta tendencias en la gamificación para la sostenibilidad, con aplicaciones en la educación que fomentan cambios a largo plazo. Núñez-Pacheco et al. analizaron videojuegos serios relacionados con la ingeniería, encontrando mejoras en la comprensión conceptual gracias al uso de narrativas inmersivas. Espada et al. proponen la integración de herramientas audiovisuales para la enseñanza de sostenibilidad, complementando la ACV mediante elementos gamificados como ejercicios interactivos.

En la educación superior, marcos de trabajo como el de Udeozor (2023) permiten evaluar dicha integración, midiendo competencias en ACV mediante métricas gamificadas. Si bien entre los desafíos se encuentra el desarrollo de contenido personalizado y la equidad digital, los beneficios son mucho más, como aumento de retención y aplicación real (Jato-Espino et al., 2024).

Asimismo, esa integración responde a principios de la educación transformadora, donde el aprendizaje se basa en la aplicación en contextos sociales y éticos (Cabero Almenara & Llorente Cejudo, 2023). A nivel mundial, se ha reportado un aumento en la adopción de plataformas híbridas que combinan la realidad aumentada con ACV gamificada porque mejora la inmersión y la transferencia de conocimientos a la práctica profesional.

Esta aproximación viene a entrar dentro de las innovaciones educativas (Cabero Almenara & Llorente Cejudo, 2023; Padilla & López Meneses, 2024), para preparar ingenieros para entornos complejos (Carrasquero Carrasquero, n.d.). En Panamá, esto podría revolucionar la formación, adaptando juegos a contextos locales.

2.4. Contexto en Panamá y propuesta educativa

Panamá enfrenta desafíos específicos en términos de sostenibilidad que son sin duda únicos (vulnerabilidad climática, crecimiento urbano acelerado y dependencia de importantes infraestructuras como el Canal). Según trabajos de investigación realizados a nivel local, se justifica la urgencia de implementar edificios con umbrales de energía cero (ZEB) que se adapten a climas tropicales (extensibilidad de excedentes energéticos por fotovoltaica) (Chen Austin et al., 2021) e incorporar en la educación en ingeniería civil la ética y el ecosistema existentes (Carrasquero Carrasquero, n.d.).

La propuesta consiste en el diseño de un marco curricular institucional para la Universidad de Panamá, el cual consistiría en un curso como el "Diseño Sostenible en Ingeniería Civil" gamificado mediante ACV e incorporando la gamificación como metodología. El alumnado examinaría aplicaciones que simulan ciclos de vida de una obra civil (ejemplo: puentes en sitios sísmicos), sumando junto con la evaluación de diseños bajos en carbono. La inclusión de BIM e IoT permitiría y facilitaría la optimización en condiciones reales (Chen et al., 2024).

Subcomponentes: diseño de juegos: misiones basadas en escenarios panameños donde los participantes deban atender la gestión del agua en comunidades rurales. Evaluación: parámetros de compromiso y conocimiento evaluativo mediante insignias y tablas de puntuación. Implementación: Capacitación docente y colaboraciones con la industria para datos locales. Lo

que implica congruencia con los ODS que promueven la innovación (Padilla & López Meneses, 2024). Las fases pilotos podrían hacerse bajo encuestas que nos permitan hacer evaluaciones sobre el impacto que estas actividades podrían tener sobre la motivación y las competencias.

La propuesta contempla fases de escalabilidad de iniciación en los módulos pilotos en los primeros semestres para después ser escaladas a programas de posgrado que incorporarán realimentación de partes interesadas locales, como es el Ministerio de Ambiente de Panamá, asegurando aspectos de relevancia cultural y adaptativamente a las políticas de país de desarrollo sostenible.

Conclusiones

La inclusión de gamificación y ACV en la formación de ingenieros civiles en Panamá representa un cambio educativo adecuado para promover la sostenibilidad ambiental, pero también un cambio hacia otras pedagogías más dinámicas e interesantes. Esta metodología, la cual se respalda con una profunda revisión de la literatura reciente, sugiere que la fusión de elementos lúdicos y de metodologías con unas complejidades analíticas exigentes mejoran sustancialmente el aprendizaje activo, la motivación y el desarrollo del pensamiento sistémico, el cual es fundamental para plantear problemas globales complejos como el cambio climático y la disponibilidad de recursos escasos (Viere et al., 2024; Mabalay, 2025).

Con esto se superan las barreras tradicionales como el bajo compromiso en lo que respecta a la abstracción y la complejidad a la hora de valorar una evaluación ambiental, con lo cual se consigue preparar a los profesionales para integrar un compromiso hacia los ODS, por ejemplo, para la infraestructura resiliente y para la educación de calidad. En un contexto panameño en el que la expansión urbana y la vulnerabilidad climática exigen capacidades y habilidades adaptadas, la oferta de la propuesta de un marco curricular gamificado en la Universidad de Panamá serviría como un modo práctico de implementar estas transformaciones, incluyendo tecnologías como BIM e IoT para simulaciones realistas (Chen et al., 2024; Chen Austin et al., 2021).

Las recomendaciones más destacadas pasan por hacer una inversión estratégica en recursos tecnológicos accesibles, programar formaciones continuadas para el profesorado que incorpore herramientas digitales, hacer evaluaciones piloto que midan el impacto en la asimilación de conocimientos y el desarrollo competencial. También destaca la creación de colaboraciones interinstitucionales, pues se ve necesaria una colaboración nacional con gobiernos a través del Ministerio de Ambiente y una colaboración internacional con universidades de referencia en sostenibilidad, lo que permitiría enriquecer el marco propuesto y garantizar su adaptabilidad en

otros contextos similares de América Latina (Cabero Almenara & Llorente Cejudo, 2023).

Las líneas de investigación futura proponen estudiar el impacto de dicha integración en el largo plazo a través de estudios a largo plazo con egresados en su práctica profesional y la incorporación de prácticas de sostenibilidad en proyectos reales. Por otro lado, también podría investigarse la escalabilidad de estos modelos a otras disciplinas de ingenierías e incluso profundizar en los niveles educativos inferiores y así favorecer una transformación del sistema educativo en Panamá. En definitiva, esta propuesta va más allá de contribuir a fortalecer la resiliencia ecológica de la ingeniería civil, sino que también serviría como un referente de Panamá en la innovación educativa para la sostenibilidad, alineándose con visiones globales de futuro equitativo y sostenibles.

Referencias bibliográficas

- Aliu, J. O., & Aghimien, D. O. (2025). Gamification as a catalyst for effective construction management education. *International Journal of Human-Computer Interaction*. <https://doi.org/10.1080/10447318.2025.2526588>
- Arguelles Ballen, Y., & Steffanell Piñeres, M. (2023). Modelo basado en el uso de la gamificación para la retención de los estudiantes de pregrado de la Universidad Nacional Abierta ya Distancia UNAD. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/bb38b38e-f5d5-4766-a08e-d1ad914ead26>
- Berger, V., & Koch, D. (2024). The climate wins!—How a gamification approach can foster sustainable consumption on university campuses and beyond. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-08-2022-0269>
- Burnley, S., Wagland, S., & Longhurst, P. (2019). Using life cycle assessment in environmental engineering education. *Higher Education Pedagogies*, 4(1), 64–79. <https://doi.org/10.1080/23752696.2019.1627672>
- Cabero Almenara, J., & Llorente Cejudo, M. C. (2023). Mejorando la enseñanza a través de la innovación educativa. <https://www.torrossa.com/it/resources/an/5500251>
- Carrasquero Carrasquero, E. E. (n.d.). Universidades ecosistémicas en un mundo transcomplejo: Desafíos y oportunidades. <https://www.idi-unicyt.org/wp-content/uploads/2023/10/Actas-CIE-2023-wDOI.pdf#page=32>
- Chen Austin, M., Chung-Camargo, K., & Mora, D. (2021). Review of zero energy building concept—Definition and developments in Latin America: A framework definition for application in Panama. *Energies*, 14(18), 5647. <https://doi.org/10.3390/en14185647>

Chen, Z., Li, H., Wu, P., & Wang, X. (2024). Recent technological advancements in BIM and ACV: A systematic review. *Sustainability*, 16(3), 1340. <https://doi.org/10.3390/su16031340>

Clark, R., Spisso, A., Ketchman, K. J., Landis, A. E., Parrish, K., Mohammadiziazi, R., & Bilec, M. M. (2021). Gamifying sustainable engineering courses: Student and instructor perspectives of community, engagement, learning, and retention. *Journal of Civil Engineering Education*, 147(4), 04021009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.2643-9115.0000047](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000047)

Deda, D., Gervásio, H., & Quina, M. J. (2023). Bibliometric Analysis and Benchmarking of Life Cycle Assessment of Higher Education Institutions. *Sustainability*, 15(5), 4319. <https://doi.org/10.3390/su15054319>

Díaz-Ramírez, J. (2020). Gamification in engineering education—An empirical assessment on learning and game performance. *Heliyon*, 6(9), e04972. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04972>

Espada, J. J., Rodríguez, R., & Vicente, G. (2024). Integration of sustainability concepts in environmental engineering teaching through activities based on audiovisual tools. *Innovations in Education: European Perspectives*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-2468-0_29

Frei, S., & Stucki, M. (2023). Climate duel—the climate wins: A gamification approach to education for sustainable development (ESD) and life cycle thinking at university level. *Proceedings on Life Cycle Management (LCM)*, Lille. <https://digitalcollection.zhaw.ch/items/326b7177-14d1-4414-8b37-8fa9a09293dc>

Gomes, V., da Silva, M. G., & Kowaltowski, D. C. C. K. (2022). Long-Term Experience of Teaching Life Cycle Assessment and Circular Design to Future Architects: A Learning by Doing Approach in a Design Studio Setting. *Sustainability*, 14(12), 7355. <https://doi.org/10.3390/su14127355>

Ilbeigi, M., Bairaktarova, D., & Morteza, A. (2023). Gamification in construction engineering education: A scoping review. *Journal of Civil Engineering Education*, 149(2), 04022012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.2643-9115.0000077](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000077)

Jato-Espino, D., Vila-Cortavittarte, M., Rodriguez-Hernandez, J., & Castro-Fresno, D. (2024). Gamification as a tool to improve educational and training outcomes in civil engineering. *Journal of Civil Engineering Education*, 150(4), 03124001. <https://doi.org/10.1061/JCEECD.EIENG-1962>

Li, W. T., Iuorio, O., Fang, H., & Mak, M. W. T. (2024). Gamification approaches and assessment methodologies for occupants' energy behavior change in buildings: A systematic review. *Buildings*, 14(6). <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/6/1497>

Mabalay, A. A. (2025). Gamification for sustainability: A systematic review of applications, trends, and opportunities. *Computers in Human Behavior*, 147, 108529. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108529>

Núñez-Pacheco, R., Espinoza-Montoya, C., Yucra-Quispe, L. M., Turpo-Gebera, O., & Aguaded, I. (2023). Serious video games in engineering education: A scoping review. *Journal of Technology and Science Education*, 13(2), 446–460. <https://doi.org/10.3926/jotse.1743>

Padilla, R., & López Meneses, E. (2024). Educación para la innovación sostenible y el aprendizaje activo. <https://www.torrossa.com/it/resources/an/5962445>

Papamichael, I., Voukkali, I., & Stylianou, M. (2024). Sustainable production and consumption. *Circular Economy and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s41207-024-00594-0>

Rüdele, K., Schnaitter, V., Viere, T., & Väisänen, S. (2025). Empirical perspectives on approaches to teach life cycle assessment in higher education. *Discover Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01529-7>

Rumayor, M., Margallo, M., Pinedo, J., & Albo, J. (2024). Learning by doing using the Life Cycle Assessment tool: ACV projects in collaboration with industries. *Education for Chemical Engineers*, 48, 44–52 (Gomes et al., 2022).

Suppapat, S., & Hu, A. H. (2020). Gamifying sustainable design. *EcoDesign and Sustainability II*. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=HUUIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA291&dq=gamification+%22life+cycle+assessment%22+sustainability+education&ots=Dn2lu5JYHN&sig=SQZ_t0-r6ziahPBGedcKArDW8hY

Udeozor, C. R. (2023). A game-based assessment framework for engineering education [Doctoral dissertation, Newcastle University]. <http://theses.ncl.ac.uk/jspui/handle/10443/6104>

Vergara, D., Extremera, J., Rubio, M. P., & Dávila, L. P. (2023). Player profiles for game-based applications in engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(3), 838–856. <https://doi.org/10.1002/cae.22576>

Vestfal, P., & Seduikyte, L. (2024). Systematic review of factors influencing students' performance in educational buildings: Focus on ACV, IoT, and BIM. *Buildings*, 14(7). <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/7/2007>

- Viere, T., Amor, B., Berger, N., Fanous, R., Arduin, R., Keller, R., ... Sonnemann, G. (2021). Teaching life cycle assessment in higher education. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(3), 511–527. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01844-3>
- Viere, T., Lehmann, J., Miao, Z., Harding, K., Strothmann, P., Weyand, S., ... Sonnemann, G. (2024). Global state of the art of teaching life cycle assessment in higher education. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29, 1290–1302. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02319-5>
- Yavan, F., Maalek, R., & Toğan, V. (2024). Structural optimization of trusses in building information modeling (BIM) projects using visual programming, evolutionary algorithms, and life cycle assessment. *Buildings*, 14(6). <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/6/1532>