

## Metodología para evaluar la resolución de problemas complejos de ingeniería en la optimización de procesos productivos

### Methodology to assess the resolution of complex engineering problems in production process optimization

Javier I. Hernández  

Departamento de Calidad y Producción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia

#### Abstract

**Introducción:** este estudio presenta la aplicación de una metodología de aprendizaje basada en juegos para apoyar la valoración y evaluación de los resultados de aprendizaje en la educación superior. A través de la alineación de elementos macrocurriculares y microcurriculares, este enfoque busca mejorar las prácticas pedagógicas mediante el uso de espacios de aprendizaje interactivos y herramientas tecnológicas, con el objetivo de reforzar los objetivos educativos del programa.

**Objetivo:** el objetivo principal de este estudio es diseñar e implementar una actividad pedagógica que utilice juegos serios para evaluar la capacidad de los estudiantes para identificar, formular y resolver problemas organizacionales complejos aplicando principios de ingeniería en el contexto de un curso de optimización.

**Metodología:** la metodología propuesta incluye la alineación de los resultados de aprendizaje del programa con el propósito del juego, la consideración de los perfiles de los jugadores, la evaluación y selección de alternativas viables, el diseño de mecánicas de juego con integración de conocimientos específicos, y el desarrollo de prototipos e instrumentos de evaluación de la percepción. En este estudio de caso se emplean juegos serios en el aula para fomentar la resolución de problemas complejos.

**Resultados:** los resultados muestran la comparación de las métricas de rendimiento de los equipos, evaluadas en términos de la utilidad neta, destacando las diferencias entre los resultados de los equipos y la solución óptima derivada de las técnicas de optimización. Además, se exploran escenarios de juego colaborativo, enfatizando los beneficios del trabajo en equipo en comparación con la competencia.

**Conclusiones:** las conclusiones validan la hipótesis de que el aprendizaje basado en juegos potencia la consecución de resultados de aprendizaje, fortaleciendo el proceso educativo de los estudiantes. Además, se evalúa la usabilidad del juego, la experiencia del jugador y la efectividad en la consecución o refuerzo de resultados de aprendizaje disciplinares y transversales mediante una encuesta de percepción.

**Palabras clave:** Educación en ingeniería, Juegos educativos, Aprendizaje basado en juegos, Resultados de aprendizaje, Juegos serios

#### Resumen

**Introduction:** this study presents the application of a game-based learning methodology to support the assessment and evaluation of learning outcomes in higher education. By aligning macrocurricular and microcurricular elements, this approach aims to improve pedagogical practices through the use of interactive learning spaces and technological tools, thus reinforcing the educational objectives of the program.

**Objective:** the main objective of this study is to design and implement a pedagogical activity that uses serious games to assess students' ability to identify, formulate, and solve complex organizational problems by applying engineering principles within the context of an optimization course.

**Methodology:** the proposed methodology includes aligning the program's learning outcomes with the purpose of the game, considering the players' profiles, evaluating and selecting viable alternatives, designing game mechanics that integrate specific knowledge, and developing prototypes and perception assessment instruments. This case study employs serious games in the classroom to foster the resolution of complex problems.

**Results:** the results show a comparison of the teams' performance metrics, evaluated in terms of net utility, highlighting the differences between the teams' results and the optimal solution derived from optimization techniques. Additionally, collaborative gameplay scenarios are explored, emphasizing the benefits of teamwork over competition.

**Conclusions:** the conclusions validate the hypothesis that game-based learning enhances the achievement of learning outcomes, strengthening the students' educational process. Furthermore, the study evaluates the usability of the game, the player's experience, and the effectiveness in achieving or reinforcing disciplinary and transversal learning outcomes through a perception survey.

**Keywords:** Engineering education; Educational games; Game-based learning; Learning outcomes; Serious games.

#### How to cite?

Hernández, J.I. Metodología para evaluar la resolución de problemas complejos de ingeniería en la optimización de procesos productivos. Ingeniería y Competitividad, 2025, 27(1) e-20414352

<https://doi.org/10.25100/iyc.v27i1.14352>

Recibido: 25-07-24

Evaluado: 2-09-24

Aceptado: 25-11-24

Online: 6-02-25

#### Correspondence

javierhernandez@itm.edu.co



## Contribución a la literatura

### ¿Por qué se realizó?

La idea del proyecto surge a partir de reflexiones sobre la necesidad de formular, evaluar y evaluar los resultados de aprendizaje en los programas de ingeniería, considerando las directrices del Ministerio de Educación Nacional de Colombia y los estándares internacionales de acreditación de ingeniería. Además, se buscó implementar una metodología de aprendizaje basado en juegos que dinamizara la práctica pedagógica en el aula, permitiéndole ser considerada como una alternativa de evaluación y motivación.

### ¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

Se presenta una propuesta metodológica con directrices del diseño curricular, así como con elementos de las metodologías de aprendizaje basadas en juegos. También se presenta un estudio de caso, en el marco de un curso de optimización, para la evaluación de la capacidad de resolver problemas complejos en contextos organizacionales mediante la aplicación de principios de ingeniería.

### ¿Qué resultados arrojan estos resultados?

Estos resultados muestran aspectos a considerar en el diseño de actividades formativas que utilizan metodologías de aprendizaje basadas en juegos para evaluar los resultados de aprendizaje, así como la consideración de criterios utilizados para la evaluación de la práctica, como la usabilidad, la experiencia del estudiante y aquellos relacionados con el logro de los resultados de aprendizaje.



## Introducción

En la educación superior, la integración de elementos tecnológicos en la enseñanza enriquece la experiencia de aprendizaje al diversificar las estrategias pedagógicas y promover la participación y la colaboración entre estudiantes, esto no solo desarrolla habilidades disciplinares fundamentales, sino que también potencia la creatividad, autonomía y pensamiento crítico, preparando a los estudiantes para enfrentar con éxito desafíos contemporáneos. La formación profesional en programas de ingeniería y en carreras administrativas requiere competencias asociadas al análisis y toma de decisiones robustas en procesos organizacionales, en este sentido, diversos marcos internacionales especifican que todo profesional de ingeniería requiere "una habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos en ingeniería aplicando principios de ingeniería, ciencias y matemáticas" (1); en esta misma línea, CDIO (2) enfatiza en el marco de las habilidades y atributos personales y profesionales, en considerar el "razonamiento en ingeniería y resolución de problemas incluyendo la identificación y formulación de problemas, el modelado, análisis y solución".

El diseño en ingeniería es un proceso iterativo, creativo y de toma de decisiones en el que se aplican las ciencias básicas, las matemáticas y las ciencias de la ingeniería para convertir los recursos en soluciones (1). La ingeniería como disciplina, tiene su base en la transformación del entorno a partir de la identificación de las necesidades de la sociedad y por ello deben proponerse modelos innovadores y pertinentes de educación que permitan que los futuros profesionales adquieran las capacidades necesarias para proponer "transformaciones adecuadas", lo que ha motivado a que la formación en ingeniería haya empezado a presentar una serie de cambios en sus estructuras de enseñanza (3). La evaluación tradicional a menudo no captura completamente habilidades multidimensionales que se requieren en el proceso de formación profesional, por lo tanto, existe una creciente necesidad de desarrollar métodos de evaluación más dinámicos y auténticos que reflejen mejor las competencias requeridas en el campo. Los juegos serios representan una innovación significativa en este sentido, ya que ofrecen entornos interactivos que permiten a los estudiantes enfrentarse a desafíos realistas y complejos, al integrar principios de diseño pedagógico y utilización de herramientas tecnológicas contemporáneas, facilitando la evaluación continua y formativa de las habilidades de resolución de problemas, así como habilidades blandas en el ejercicio de la profesión. Estos juegos pueden simular situaciones reales de la industria, donde los estudiantes deben aplicar conocimientos técnicos, colaborar en equipo y tomar decisiones estratégicas, al mismo tiempo, permiten a los educadores recopilar datos detallados sobre el rendimiento de los estudiantes, identificar áreas de mejora y personalizar la experiencia educativa según las necesidades individuales de aprendizaje. Además de su utilidad para la evaluación formativa, los juegos serios también pueden facilitar la evaluación sumativa al proporcionar métricas objetivas y observables del progreso de los estudiantes en habilidades específicas de ingeniería.

El aprendizaje basado en juegos se ha destacado como una estrategia efectiva para potenciar la participación, motivación y compromiso de los estudiantes en el proceso educativo. Una pregunta fundamental que surge es cómo el aprendizaje basado en juegos puede contribuir

positivamente a mejorar la capacidad de los estudiantes para abordar y resolver problemas complejos en ingeniería, y cómo se puede medir de manera efectiva esta mejora. En el dinámico panorama educativo, la evaluación precisa de los resultados de aprendizaje se erige como un pilar fundamental para garantizar la calidad y la efectividad de los programas académicos.

Los resultados de aprendizaje son "declaraciones expresas de lo que se espera que un estudiante conozca y demuestre en el momento de completar su programa académico. Se constituyen en el eje de un proceso de mejoramiento" (4). Se establece además diferenciación entre los conceptos de valoración (assessment) y evaluación (evaluation) de resultados de aprendizaje. Cabe anotar que, aunque ocasionalmente se entiendan como términos equivalentes relacionados con la evaluación en el aula en el marco de programas de profesionales en tecnología e Ingeniería, el primero se asocia con "procesos que identifican, recopilan y preparan datos para evaluar el logro de los resultados de aprendizaje", y el segundo con "procesos para interpretar los datos y la evidencia acumulados a través de los procesos del primero" (1). La evaluación del progreso del aprendizaje de los estudiantes se presenta como una piedra angular de cualquier intervención educativa (5), esta evaluación no solo permite medir el avance de los alumnos, sino que también proporciona una retroalimentación en tiempo real que facilita la adaptación de los entornos de aprendizaje según las necesidades individuales (6). Se destaca la eficacia de los juegos serios en la enseñanza de las ciencias (7), subrayando cómo en el aprendizaje efectivo se alcanzan al identificar acciones que generan recompensas a través de la experimentación (8), en este enfoque no solo se fomenta la participación activa de los estudiantes, sino que también se fortalece su comprensión de conceptos complejos mediante la práctica guiada. En diversos campos, la evaluación del rendimiento se ve influenciada por la incertidumbre (9), lo que resalta la importancia de estrategias flexibles y adaptativas, en este sentido los juegos tienen un potencial significativo en el diseño de estrategias e instrucción (10), mejorando la evaluación de competencias multidimensionales y facilitando la adquisición de habilidades prácticas en contextos complejos (11).

En el panorama educativo y organizacional actual, los juegos están siendo reconocidos por su capacidad para fortalecer las políticas de aprendizaje al identificar impulsores clave de gestión integrada de recursos (12) y por su habilidad para fomentar competencias fundamentales como la resolución de problemas (13). Este enfoque, está ganando terreno como una herramienta efectiva para respaldar la toma de decisiones en una variedad de contextos educativos y empresariales (14). Sin embargo, los educadores y líderes enfrentan desafíos significativos al implementar sistemas de capacitación y aprendizaje efectivos (15). La simulación mediante juegos educativos ha demostrado mejorar considerablemente la comprensión de los procesos empresariales y las habilidades de toma de decisiones (16). La educación en ciencias de la ingeniería continúa adaptándose para proporcionar aprendizaje flexible y de alta calidad (17), aprovechando los juegos educativos para promover un aprendizaje enriquecido y adaptativo (18). La enseñanza lúdica diversifica las herramientas educativas, desde el juego hasta la tecnología digital, promoviendo un aprendizaje interactivo y efectivo (19). Es particularmente relevante en el desarrollo de habilidades de resolución de problemas en ingeniería, donde el aprendizaje basado en juegos emerge como una estrategia efectiva (20).

Becker distingue claramente entre los términos juego, juegos serios, juegos para el aprendizaje, aprendizaje basado en juegos, pedagogía basada en juegos y gamificación, especialmente en aspectos como sus definiciones básicas, propósitos, motivaciones, enfoques y modelos de negocio, entre otros (21). El aprendizaje basado en juego implica que el instrumento aprovecha distractores y elementos interactivos y atractivos para facilitar el proceso formativo, pero el enfoque se enmarca en el aprendizaje y en los objetivos de éste, y no en la diversión per se.

El diseño de juegos se destaca como una herramienta estratégica para abordar la brecha educativa (22,23), fundamentada en un paradigma constructivista que integra tecnologías avanzadas, como algoritmos en los métodos de enseñanza (24). Investigaciones recientes enfatizan que el uso específico de tecnologías digitales mejora notablemente el rendimiento cognitivo de los estudiantes (25), a pesar de que los métodos actuales de aprendizaje automático pueden carecer de una perspectiva multidimensional (26). Existen enfoques innovadores en aprendizaje profundo dentro de los juegos para el monitoreo de la experiencia inmersiva que tienen seres humanos (27).

Los juegos educativos no solo buscan mejorar la eficiencia del proceso formativo, sino también adaptar las metodologías de enseñanza para responder de manera ágil a las necesidades cambiantes de los estudiantes y a los contextos educativos actuales (28), enfrentando el desafío de integrar campos académicos tradicionales con tecnología interdisciplinaria para fomentar el talento innovador (29). Los diseñadores educativos deben aprovechar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para transformar los entornos de aprendizaje, focalizándolos en las necesidades individuales de los estudiantes, y explorar nuevas estrategias educativas mediante los juegos serios (30). La integración de técnicas avanzadas de aprendizaje y transferencia de conocimientos abre nuevas oportunidades en la exploración espacial y el desarrollo tecnológico (31). La inserción efectiva de las TIC en la educación resulta crucial para proporcionar un aprendizaje actualizado y de alta calidad (32), especialmente en disciplinas como la ingeniería, donde resolver problemas complejos demanda enfoques innovadores y creativos (33). Al aprovechar estos recursos innovadores, las instituciones educativas pueden no solo mejorar la retención de conocimientos, sino también preparar a los estudiantes para los complejos entornos profesionales del futuro.

## Metodología

La metodología desarrollada en este artículo implica la armonización de tres bloques, el primero inicia desde una perspectiva macrocurricular considerando el diseño curricular y aspectos clave del proceso formativo en programas académicos tecnológicos y profesionales en el contexto de instituciones de educación superior, el segundo, propone adoptar los procesos de evaluación y valoración de los resultados de aprendizaje a través del diseño de actividades formativas utilizando el aprendizaje basado en juegos, y el tercero la aplicación en un caso particular en el marco de un curso de optimización.

## Diseño curricular e instruccional

La Figura 1 propone un esquema resumido del diseño curricular y de mejoramiento continuo en instituciones de educación superior, enfocados en los resultados de aprendizaje del estudiante. La fase del diseño curricular, implica la armonización con la dirección institucional y de programas académicos, considerando las necesidades de los grupos de interés (estudiantes, egresados, profesores, empleadores, sociedad), el proyecto educativo institucional, que da un marco normativo y de referencia como carta de navegación y establece los pilares y principios clave, los objetivos educacionales del programa, que implican la formalización del perfil de egreso del profesional, las competencias y los resultados de aprendizaje del estudiante con las particularidades específicas del programa académico en la triada conocimiento-desempeño profesional-contexto.

La fase de diseño instruccional se enfoca en garantizar la alineación con los aspectos micro-curriculares, y en detallar la relación entre los resultados de aprendizaje del programa y la estructura curricular, las prácticas pedagógicas, y los procesos de evaluación. En el caso bajo estudio, se hace hincapié en la definición de un plan de medición para cada resultado del aprendizaje, desglosándolos según sea necesario para relacionarlos a nivel de curso con los objetivos generales del programa. Esta fase también incluye el diseño de actividades que puedan aplicarse y evaluarse en el aula.

La fase de análisis requiere mecanismos para la consolidación de la información y un análisis detallado y global que permita tener insumos para la fase de mejoramiento, en donde se procede a evaluar el proceso completo y tomar acciones específicas en pro de mostrar que el proceso formativo evidencia cambios y permite afianzar y mejorar los resultados de aprendizaje del estudiante, reiniciando nuevamente como un ciclo de mejora continua.

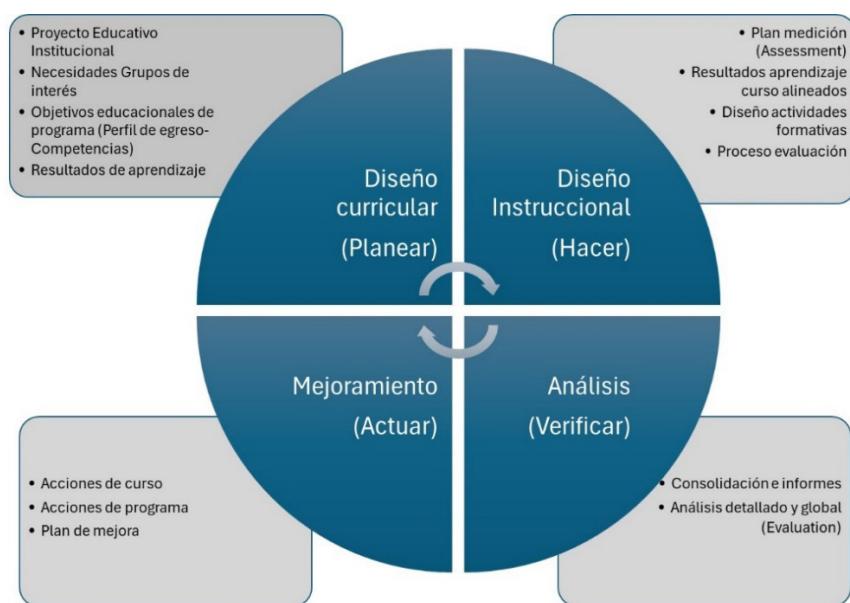


Figura 1. Diseño Curricular en Instituciones de Educación Superior

Este documento se enfoca en la fase de diseño instruccional donde se requiere realizar el proceso de valoración de resultados de aprendizaje en un curso de optimización de un programa académico de ingeniería aplicando una metodología de aprendizaje basada en juegos.

### Metodología de aprendizaje basado en juegos

La Figura 2 resume la propuesta metodológica realizada para el aprendizaje basado en juegos teniendo como eje central los resultados de aprendizaje del estudiante y aprovechando las bondades de los juegos serios. Se considera relevante que como punto de partida se tenga la responsabilidad compartida del diseño del juego en grupos focales multidisciplinares y con diversos perfiles tanto en el contexto de una institución de educación superior (profesores, estudiantes), como en la dinámica del juego (edades, personalidades). El paso a paso muestra aspectos relevantes a tener en cuenta incluyendo la alineación con los resultados de aprendizaje de programa y de curso, el propósito tanto de la actividad formativa como del juego, la caracterización del perfil de estudiante/jugador implica conocer aspectos de las personalidades de los mismos, sus hábitos y comportamientos; evaluar las alternativas para el diseño del juego, invita a los diseñadores del mismo a explorar más de una alternativa potencial, a retomar buenas prácticas de otros juegos y a enfocarse en el contexto; el diseño de la mecánica del juego considera establecer reglas, roles, escenarios, símbolos, narrativa o discurso, tecnología, formatos entre otros elementos. La fase de inclusión de conocimiento específico resalta que el objetivo del juego tiene propósitos formativos específicos, además la idea del prototipado y ajuste permite evidenciar en práctica elementos no visibles en el diseño desde la fase de planeación y da la posibilidad de ideas nuevas tanto por los diseñadores del juego como de los jugadores iniciales. En el cierre del juego la última fase requiere que los jugadores evalúen aspectos del juego como usabilidad y la experiencia del jugador, así como los elementos clave del proceso formativo y del logro de los resultados de aprendizaje.

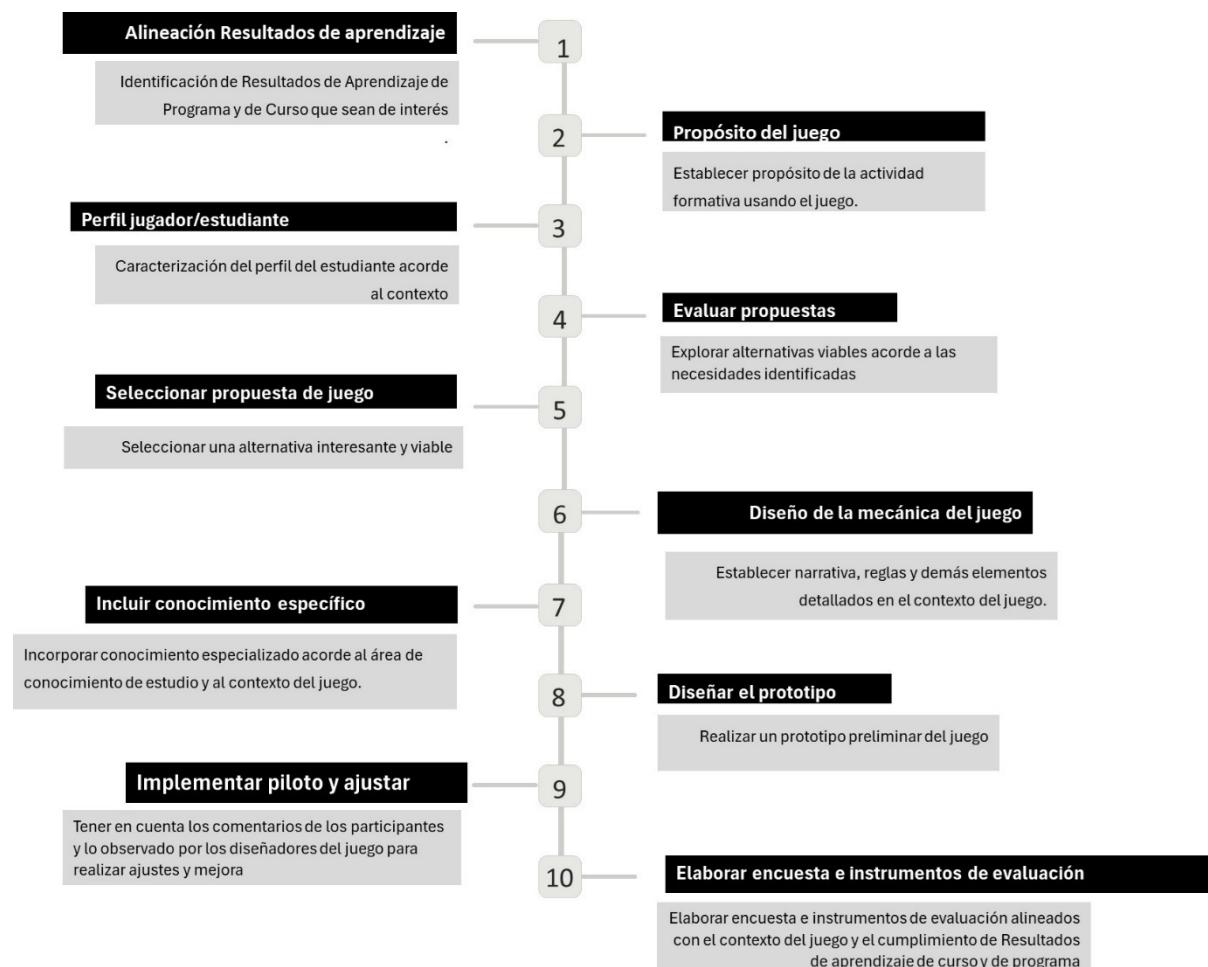


Figura 2. Metodología de aprendizaje basado en juegos

#### Caso estudio en el campo de la optimización de procesos productivos

Para el proceso de evaluación de resultados relacionados con la capacidad de resolver problemas complejos aplicando los principios de ingeniería en un curso de optimización, se diseña un juego que tiene como objetivo maximizar la utilidad neta de la organización por la producción y venta de dos productos, cumpliendo con especificaciones de calidad, logrando el mínimo requerido por el inversionista en dinero y considerando restricciones de presupuesto, disponibilidad de materia prima y demanda. Los jugadores se organizan en tres equipos de trabajo con roles definidos (3 empresas). Las partes de interés relevantes se muestran en la Figura 3, de manera similar a una cadena de abastecimiento regular, incluyendo un proveedor de materia prima, clientes para la compra del producto terminado y un inversionista que coloca a disposición un capital semilla.

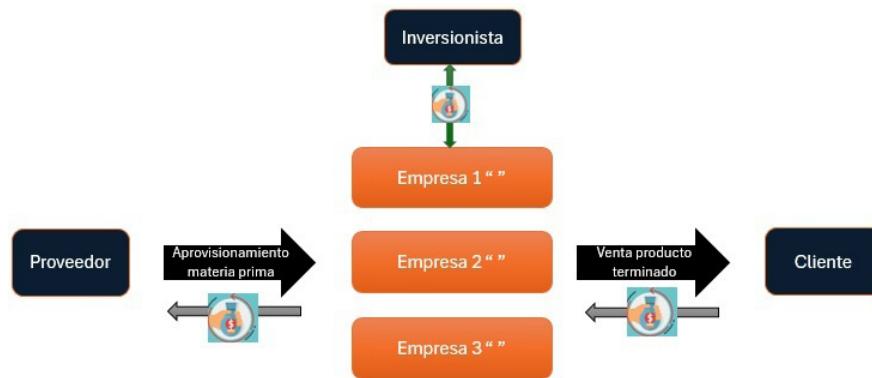


Figura 3. Esquema ilustrativo de la actividad lúdica de optimización

Las fases relevantes de la actividad y los tiempos sugeridos se relacionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Fases y tiempos del juego

Fase	Descripción	Tiempo (minutos)
1	Información y organización	15
2	Planeación y prototipado	10
3	Compra materia prima	15
4	Producción	25
5	Venta	5
6	Ganadores y premiación	5
7	Formulación del modelo, solución óptima y análisis	5
8	Encuesta y logística inversa	5

La Tabla 2 muestra la información que cada equipo tiene disponible de manera física y digital, incluyen la lista de materiales que se requiere para la producción de una unidad de cada producto, el costo unitario y disponibilidad en inventario de cada componente, los precios de venta y la demanda máxima de cada producto, el presupuesto o capital semilla, y el retorno esperado por el inversionista al finalizar la actividad.

Tabla 2. Información general para el equipo jugador

Componente	Lista	Lista	Costo	Disponibilidad/equipo
	producto1	producto2	unidad	
Pieza 5 huecos	0	2	\$ 16.000	20
Pieza 4 huecos	1	3	\$ 14.000	40
Pieza 3 huecos	5	2	\$ 12.000	90
Pieza 2 huecos	4	3	\$ 10.000	90
Tornillo grande	3	3	\$ 2.000	90
Tornillo pequeño	4	4	\$ 1.000	90
Tuercas	7	7	\$ 1.000	160
Precio/unidad	\$ 200.000	\$ 220.000		
Demanda máxima	20	20		
Presupuesto/equipo	\$ 3.000.000			
Retorno/equipo	\$ 4.000.000			

La actividad incorpora elementos para la dinamización del escenario del juego en contextos educativos como la utilización de códigos QR, formularios en línea, archivos en on-line para la supervisión de los pedidos y el cumplimiento de las restricciones, formatos impresos, billetes, música, entre otros. La Figura 4 muestra ejemplos de algunos códigos QR.



Figura 4. Incorporación de códigos QR en el juego

Posterior a la práctica experimental se llega a formalizar el trabajo mediante un modelo matemático de programación lineal entera mixta que se ha formulado y resuelto con el lenguaje de programación de gran escala AMPL y con Excel, logrando evidenciar de manera sencilla y práctica la posibilidad de modelación de situaciones reales y la solución de problemas complejos con el uso de elementos propios de la Optimización. Esta complejidad hace alusión a "involucrar cuestiones técnicas de amplio alcance o conflictivas, no tener una solución obvia" (1). La Figura 5 muestra el modelo matemático formal del caso bajo estudio.

CONJUNTOS	FUNCIÓN OBJETIVO
$MP$ = materia prima indexado por $i$	Maximizar utilidad: $\text{ingresos} - \text{egresos}$
$PT$ = producto terminado indexado por $j$	
PARÁMETROS	RESTRICCIONES
$q_{ij}$ = cantidad de materia prima $i$ requerida por producto $j$	$\text{ingresos} = \sum_{j \in PT} \text{precio}_j * x_j$
$\text{costo}_i$ = costo por unidad de materia prima $i$	
$\text{precio}_j$ = price of finished product $j$	$\text{egresos} = \sum_{i \in MP, j \in PT} \text{costo}_i * q_{ij} * x_j$
$\text{max\_}MP_i$ = maximo disponible de materia prima $i$	$\sum_{j \in PT} q_{ij} * x_j \leq \text{max\_}MP_i \quad \forall i$
$\text{max\_}PT_j$ = demanda máxima producto terminado $j$	$\sum_{i \in MP} x_j \leq \text{max\_}PT_j \quad \forall j$
$d$ = dinero disponible por equipo	
$x_j$ enteros, cantidad de producto terminado $j$	$\sum_{i \in MP, j \in PT} \text{costo}_i * q_{ij} * x_j \leq d$
$\text{ingresos}, \text{egresos} \geq 0$	
VARIABLES DE DECISIÓN	
$x_j$	

Figura 5. Modelo matemático propuesto

## Resultados y discusión

La formulación, procesamiento y análisis del modelo que representa el problema bajo estudio, tiene múltiples elementos a analizar, entre ellos la consideración de soluciones factibles, dado que se deben respetar las diferentes restricciones, la consideración del tiempo de producción, que para el modelo matemático no se tuvo en cuenta por asumir que los equipos deben ser lo suficientemente ágiles para realizar los pedidos, producción y venta en los tiempos establecidos; en la práctica experimental no necesariamente se debe encontrar la solución óptima, pero en el marco del proceso formativo se da retroalimentación y se comparan los resultados obtenidos versus lo que se esperaba obtener inicialmente; se podría pensar en análisis por cada equipo de manera individual o en estrategias de trabajo colaborativo más amplio dado que el objetivo del juego no es un objetivo por empresa sino global, y en esto se da cobertura a temas de optimización local y global; se pueden revisar detalles en la asignación de roles y la forma de distribución de las tareas en los equipos de trabajo bajo el lema de la autogestión dadas las habilidades de cada individuo; la actividad da un marco para la valoración de competencias disciplinares y competencias blandas. La solución óptima del modelo planteado muestra la producción de 14 unidades del producto 1 y 8 unidades del producto 2, logrando una utilidad neta de \$566.000, y cumpliendo todas las restricciones. El estado de resultados de la solución óptima se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Estado de resultados de la solución óptima

Rubro	Valor monetario
Capital semilla (+)	\$ 3.000.000
Ingresos por venta (+)	\$ 4.560.000
Costo materia prima (-)	\$ 2.994.000
Retorno al inversionista (-)	\$ 4.000.000
Utilidad neta	\$ 566.000

La práctica se ha diseñado y mejorado desde el primer semestre del año 2023 hasta el primer semestre del año 2024, la Figura 6 muestra algunos resultados comparables en dos de estas prácticas. Parte de la dinámica de la actividad es ver los resultados, comparar y argumentar las causas de lo sucedido.

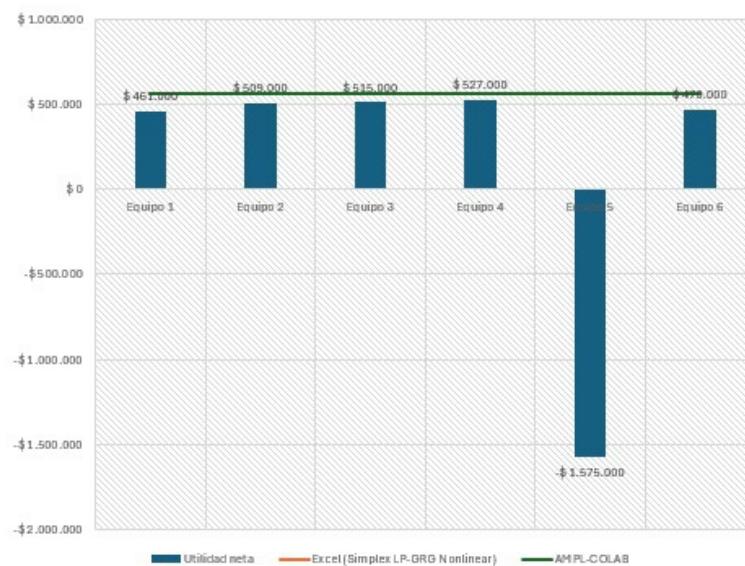


Figura 6. Comparativo utilidad neta por equipos

El objetivo del juego realmente se enmarca en un escenario colaborativo global, y esto implica la comunicación y articulación de las tres empresas, reto mayor en términos de coordinación de actividades, pero más eficiente no solo desde un punto de vista cualitativo y referido a la mayor velocidad en las curvas de aprendizaje en el desempeño de cada rol dentro del juego, sino técnicamente hablando al entender que la sinergia implica un efecto mayor a la suma de esfuerzos individuales. Para el caso bajo estudio se realizaron pruebas de lo que pasaría en un nuevo escenario donde las tres empresas se fusionaran y triplicaran sus recursos, encontrando que la solución óptima global (\$ 1.713.000) es superior al triple de las soluciones óptimas individuales (\$ 1.698.000) como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis juegos colaborativos

Producto	Óptimo individual (1 compañía)	Triple óptimo individual (3 compañías)	Óptimo global (3 compañías)
Producto1	14	42	52
Producto2	8	24	15
Utilidad neta	\$ 566.000	\$ 1.698.000	\$ 1.713.000

Para efectos de valorar la percepción de los estudiantes considerando criterios de usabilidad y experiencia del juego en el contexto educativo, se llevó a cabo una encuesta donde se evalúan los siguientes criterios: dominio de los temas por partes de los expositores, manejo de recursos, organización del tiempo y pertinencia. La encuesta se respondió por 41 estudiantes que tuvieron

el rol de jugadores en el juego, mostrando los resultados de la Figura 7. Posteriormente se incluyeron en el instrumento elementos que mostraran la percepción del logro de resultados de aprendizaje disciplinares y transversales como se muestra en la Figura 8, en donde se tabulan los resultados por parte de 17 estudiantes. En el instrumento se tienen otras preguntas abiertas en donde se encontraron comentarios que afirman que la práctica refuerza en gran medida la comprensión de modelos de optimización que ocasionalmente pudieran ser abstractos así como las posteriores fases relacionadas con los resultados de aprendizaje enfocadas al modelado, formulación, solución y análisis, además los estudiantes comentan aspectos positivos al reforzar resultados de aprendizaje transversales como comunicación, liderazgo y trabajo en equipo, así como emociones tales como diversión y/o presión al realizar la práctica lo que implica reforzar competencias requeridas para el ejercicio profesional. Lo anterior muestra de manera positiva que se logra el objetivo de la implementación de actividades formativas, en instituciones de educación superior, diseñadas bajo metodologías de aprendizaje basado en juegos, y que muestran al estudiante como el centro del proceso de aprendizaje llegando a aspectos complementarios como la diversión, pero manteniendo el objetivo de comprensión de modelos matemáticos que para el caso bajo estudio optimizan una función objetivo acorde a sus variables de decisión, respetando múltiples restricciones en un contexto organizacional y enfocados en la formulación y solución de problemas complejos aplicando principios de ingeniería.

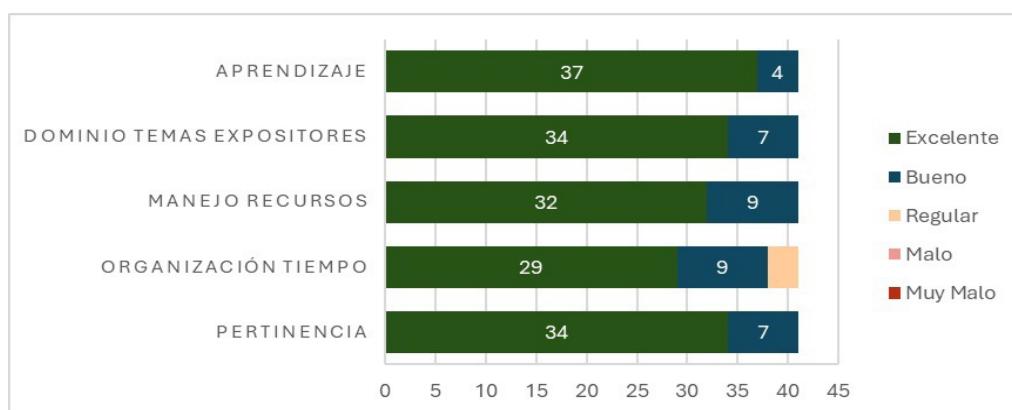


Figura 7. Resultados encuesta percepción actividad formativa



Figura 8. Resultados encuesta percepción aporte a logro de resultados de aprendizaje

Por último, y con el ánimo de mantener trazabilidad del proceso y de los ajustes realizados en cada periodo académico se muestra la Tabla 5 donde se dan detalles del análisis realizado posterior a la práctica y los ajustes que se han incorporado progresivamente para el mejoramiento de la actividad formativa.

Tabla 5. Control de cambios

Práctica Periodo	Análisis	Ajustes
1 (2023-1)	Se observa cuello de botella en almacén	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejorar el alistamiento de las piezas desde el almacén separando las piezas en lotes, con al menos dos personas en este punto y con un punto físico organizado para alistamiento y entrega de pedidos</li> </ul>
2 (2023-2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultad en la manipulación de los billetes de juguete</li> <li>- Las personas no coinciden en gustos de música de fondo que se tiene a modo de ambientación</li> <li>- Baja disponibilidad de una de las piezas de la lista de materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambiar la denominación de los billetes para que sean más grandes y similares a la moneda local, y ajustar los valores monetarios de arranque del juego</li> <li>- Eliminar música de fondo</li> </ul>
3 (2024-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificultad al momento de armar los productos con algunos tornillos cortos dado el desgaste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminar de la lista de materiales uno de los componentes que es escaso (ángulos) y remplazarlo por otro con mayor inventario (tuercas)</li> <li>- Sugerir la renovación del material de laboratorio</li> </ul>
4 (2024-1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se presentaron cambios en los tiempos de la actividad y variabilidad en el número de participantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retomar el control del temporizador para tener mayor atención al detalle en la actividad</li> <li>- Controlar los tiempos totales y detallados de la práctica</li> <li>- Imprimir a color algunas instrucciones importantes y mejorar la guía de instrucciones para evitar confusiones en el desarrollo</li> <li>- Incluir condicionales automáticos en el formulario de órdenes de compra para evitar errores por disponibilidad</li> </ul>

La población objetivo del caso bajo estudio son estudiantes de noveno semestre del programa de Ingeniería de la Calidad en una institución de educación superior en Colombia. Desde el programa se plantea como requerimiento la valoración de resultados de aprendizaje relacionados con la capacidad para identificar y formular un problema complejo relacionado con la calidad y la metrología aplicando conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería de la calidad, en una asignatura de optimización.

Para la valoración se utilizó una rúbrica con los siguientes indicadores de desempeño: identificar variables, parámetros e información relevante del problema bajo estudio; identificar objetivos del problema bajo estudio; describir restricciones relevantes a considerar en el problema bajo estudio; identificar supuestos para simplificar y representar el problema o sistema bajo estudio; formular modelos de manera descriptiva o cualitativa para representar el problema o sistema bajo estudio; y formular modelos de manera cuantitativa para representar el problema o sistema bajo estudio. La figura 8 relaciona algunos de estos indicadores de desempeño, desde la percepción de los participantes involucrados en la aplicación de la actividad durante dos períodos académicos.

Posteriormente, se realiza la valoración de los resultados de aprendizaje aplicando un instrumento diseñado en una hoja de cálculo. Esta herramienta integra los datos cualitativos y cuantitativos recogidos durante cada periodo académico, garantizando la alineación con las directrices institucionales y especificando el nivel de logro observado para cada indicador de rendimiento. Los datos se consolidaron en un cuadro de mando de Power BI, permitiendo la consulta de valoraciones de otras asignaturas y otros resultados de aprendizaje en diversos periodos académicos, y dando insumos para una fase posterior en la evaluación de resultados de aprendizaje por parte de un grupo focal de docentes y del comité curricular del programa académico. Las acciones derivadas relacionadas se incluyen en un plan de mejoramiento en el marco de los procesos de autoevaluación, acreditación y mejoramiento continuo.

Lo mostrado en este documento es una alternativa a utilizar en el aula de clase para la valoración de resultados de aprendizaje de programa en el contexto de la ingeniería, partiendo de aspectos clave como la alineación de indicadores de asignaturas a nivel microcurricular con indicadores agregados de programas académicos a nivel macrocurricular; el enfoque experimental y pragmático de los programas de ingeniería evidenciado en la utilización de laboratorios y/o escenarios lúdicos; y aspectos didácticos en procesos de aprendizaje y evaluación.

Los métodos convencionales, como las clases magistrales y los exámenes individuales, pueden no apoyar plenamente la evaluación de determinados resultados del aprendizaje y, en algunos casos, pueden obstaculizar la consecución de los objetivos educativos, especialmente, si se tienen en cuenta los perfiles de los estudiantes actuales. La consideración de otras alternativas que nutran la valoración y logro de resultados de aprendizaje, permiten la adoptación de enfoques más inclusivos y holísticos en la evaluación del aprendizaje.

Un área clave de interés es la comparación de las ventajas y desventajas de los juegos educativos digitales y no digitales. Mientras que el contexto comercial muestra una marcada preferencia por los formatos digitales, los contextos educativos requieren consideraciones adicionales. Entre ellas figuran la observación del comportamiento de los jugadores y la realización de evaluaciones formativas y sumativas para valorar los resultados del aprendizaje disciplinar y transversal, incluido el pensamiento crítico, la resolución de problemas mediante técnicas de ingeniería, el trabajo en equipo y la comunicación oral y escrita. Estas evaluaciones pretenden alinear el proceso de formación con el perfil de egreso que esperan la sociedad, el estado y el sector empresarial, garantizando la competencia profesional a largo plazo.

Para el caso bajo estudio, el juego se cataloga como un juego educativo no digital que utiliza herramientas digitales para el procesamiento de la información, como formatos digitales y físicos que parametrizan la información relevante, códigos QR para fases críticas de la metodología, formularios que capturan información en tiempo real para la formalización de pedidos, encuestas de percepción, y herramientas en línea para la formalización y solución del modelo de optimización derivado de la actividad lúdica.

Este enfoque ha permitido observar que el juego puede tener una aproximación a escenarios controlados donde se asemejen situaciones del contexto empresarial que reten a los estudiantes

a resolver problemas específicos, aprovechando elementos desarrollados a lo largo de la carrera profesional y no solo enfocándose en la memoria. Se llega además a explorar aspectos relacionados con la inteligencia kinestésica en trabajos en equipo y bajo presión, y a la activación de habilidades motoras que, según opinión de los jugadores, tienen un efecto positivo en aspectos cognitivos y finalmente aquellos relacionados con la consecución de los resultados de aprendizaje.

La validación y ajuste del juego se ha realizado a la luz de discusiones con estudiantes y pares académicos, así como el análisis de los resultados del instrumento de percepción que relaciona preguntas abiertas y cerradas. En términos de retos y trabajos futuros, se considera pertinente evaluar acciones como la incorporación en redes académicas a nivel regional, nacional e internacional, el trabajo conjunto con semilleros de estudiantes con áreas de conocimientos multidisciplinares, proyectos de investigación afines, y validación del impacto a largo plazo en los indicadores de rendimiento.

## Conclusiones

La integración de elementos no tradicionales para la evaluación de resultados de aprendizaje en la educación superior, especialmente en disciplinas como la ingeniería, es fundamental para enriquecer la experiencia de aprendizaje de los estudiantes. Este enfoque no solo diversifica estrategias pedagógicas y fomenta la participación activa, y la colaboración entre estudiantes, sino que también fortalece habilidades esenciales como la resolución de problemas complejos, el pensamiento crítico y la creatividad. Preparar a los futuros profesionales para enfrentar desafíos contemporáneos es crucial en un mundo cada vez más tecnológico y dinámico. La adopción de métodos innovadores como los juegos serios no solo mejora la motivación y el compromiso de los estudiantes, sino que también ofrece herramientas efectivas para evaluar de manera precisa las competencias necesarias en el campo de la ingeniería.

En esencia, estos enfoques pedagógicos están concebidos para formar ingenieros y profesionales de la gestión capaces de abordar problemas del mundo real y realizar aportes significativos al desarrollo y la transformación de la sociedad moderna. Además, proporcionan a las instituciones de enseñanza superior herramientas para llevar a cabo procesos integrales de evaluación y valoración de los resultados del aprendizaje.

### Declaración de contribución de autoría CRediT

Conceptualización - Ideas: Javier Iván Hernández Montoya. Curación de datos: Javier Iván Hernández Montoya. Análisis formal: Javier Iván Hernández Montoya. Adquisición de financiación: Javier Iván Hernández Montoya. Investigación: Javier Iván Hernández Montoya. Metodología: Javier Iván Hernández Montoya. Dirección de Proyecto: Javier Iván Hernández Montoya. Recursos: Javier Iván Hernández Montoya. Software: Javier Iván Hernández Montoya. Supervisión: Javier Iván Hernández Montoya. Validación: Javier Iván Hernández Montoya. Visualización - Elaboración: Javier Iván Hernández Montoya. Redacción - borrador original - Elaboración: Javier Iván Hernández Montoya. Redacción - revisión y edición - Elaboración: Javier Iván Hernández Montoya.

## Agradecimientos

Me gustaría agradecer a la Agencia de Traducción ITM (traducciones@itm.edu.co) por traducir el manuscrito al inglés.

## Financiamiento

Sí, nombre de la institución financiadora: El artículo está vinculado a un proyecto con capacidad instalada denominado: Modelo de Medición de Resultados de Aprendizaje mediante el diseño de Juegos Serios para procesos de formación profesional en programas de Ingeniería y Tecnología del Departamento de Calidad y Producción del ITM.

Al tratarse de un proyecto con capacidad instalada, no se cuenta con apoyo financiero, salvo en especie, para el trabajo de los investigadores. En dicho proyecto, soy el investigador principal a cargo.

La institución también apoyó la traducción del Centro de Idiomas, por lo que se menciona en los agradecimientos.

Conflicto de intereses: No declarado.

## Referencias

1. ABET. Criteria for Accrediting Engineering Programs 2022-2023 [Internet]. 2021 [citado 19 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2022-2023/>
2. CDIO. Standards 3.0 [Internet]. [citado 19 de junio de 2024]. Disponible en: <http://www.cdio.org>
3. Fuentes Cotes MM, Escobar Roa JM, Castillo Medina CA. Conceptualización y diseño de currículos en Ingeniería y diseño de actividades de aprendizaje integradoras mutidisciplinares. En Asociacion Colombiana de Facultades de Ingenieria (ACOFI); 2022. p. 1-12. <https://doi.org/10.26507/ponencia.1989>
4. Ministerio de Educación Nacional. Acuerdo 02 CESU [Internet]. Consejo Nacional de Educación Superior Colombia; 2020. Disponible en: <https://www.mineducacion.gov.co/portal/Educacion-superior/CESU/399567:Acuerdo-02-del-1-de-julio-de-2020>
5. Oyelere AS, Agbo FJ, Oyelere SS. Formative evaluation of immersive virtual reality expedition mini-games to facilitate computational thinking. Computers & Education: X Reality. 2023;2. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100016>
6. Hernández MS. Beliefs and attitudes of canarians towards the chilean linguistic variety. Lenguas Modernas. 2023;(62). <https://lenguasmodernas.uchile.cl/index.php/LM/article/view/73191>
7. Manuel Davila Delgado J, Oyedele L. Robotics in construction: A critical review of the reinforcement learning and imitation learning paradigms. Advanced Engineering Informatics. 2022;54. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101787>
8. Schmuck R. Education and training of manufacturing and supply chain processes using business simulation games. En: Procedia Manufacturing. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.076>

9. Liang X, Yan Z. A survey on game theoretical methods in Human-Machine Networks. Future Generation Computer Systems. 2019;92. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.10.051>
10. Jahanshahi H, Zhu ZH. Review of machine learning in robotic grasping control in space application. Acta Astronaut. 1 de julio de 2024;220:37-61. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2024.04.012>
11. Bablinski K. A Game-based Analysis of Freight Paths Allocation with a Case Study on Great Britain Brighton Main Line. En: Transportation Research Procedia. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.020>
12. Ghodsvali M, Dane G, de Vries B. An online serious game for decision-making on food-water-energy nexus policy. Sustain Cities Soc. 2022;87. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104220>
13. Fornós S, Udeozor C, Glassey J, Cermak-Sassenrath D. The CHEM Jam - how to integrate a game creation event in curriculum-based engineering education. Education for Chemical Engineers. 2022;40. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.04.001>
14. Buccharone A. Gamification and Virtual Reality for Digital Twins Learning and Training: Architecture and Challenges. Virtual Reality and Intelligent Hardware. 2022;4(6). <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.08.001>
15. Ullah M, Amin SU, Munsif M, Safaev U, Khan H, Khan S, et al. Serious Games in Science Education. A Systematic Literature Review. Virtual Reality and Intelligent Hardware. 2022;4(3). <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.02.001>
16. Maass W, Storey VC. Pairing conceptual modeling with machine learning. Data Knowl Eng. 2021;134. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2021.101909>
17. Caño de las Heras S, Gargalo CL, Weitze CL, Mansouri SS, Gernaey K V., Krühne U. A framework for the development of Pedagogical Process Simulators (P2Si) using explanatory models and gamification. Comput Chem Eng. 2021;151. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107350>
18. Serrano K. The effect of digital game-based learning on student learning: A The effect of digital game-based learning on student learning: A literature review literature review. Graduate Research Papers. 2019. <https://scholarworks.uni.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1909&context=grp>
19. Abdulrahaman MD, Faruk N, Oloyede AA, Surajudeen-Bakinde NT, Olawoyin LA, Mejabi O V., et al. Multimedia tools in the teaching and learning processes: A systematic review. Vol. 6, Heliyon. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05312>
20. Valencia F, Espinosa JJ, De Schutter B, Staňková K. Feasible-cooperation distributed model predictive control scheme based on game theory. En: IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). 2011. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.02231>
21. Becker K. What's the difference between gamification, serious games, educational games, and game-based learning? Academia Letters. 3 de febrero de 2021; <https://doi.org/10.20935/AL209>
22. Mittal N, Singh H, Mittal V, Mahajan S, Pandit AK, Masud M, et al. Optimization of cognitive radio system using self-learning salp swarm algorithm. Computers, Materials and Continua. 2022;70(2). <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.020592>
23. van Wijk D, Kong X, Knap H, Janssen ABG. A serious game approach for lake modeling and management: The EscapeBLOOM. Environmental Modelling and Software. 2024;173. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.105941>
24. Memarian B, Doleck T. A scoping review of reinforcement learning in education. Computers and Education Open. 1 de junio de 2024;6:100175. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100175>

25. Sailer M, Maier R, Berger S, Kastorff T, Stegmann K. Learning activities in technology-enhanced learning: A systematic review of meta-analyses and second-order meta-analysis in higher education. *Learn Individ Differ*. 1 de mayo de 2024;112:102446. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102446>
26. Yuan L, Zhu SC. Communicative Learning: A Unified Learning Formalism. Vol. 25, Engineering. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.10.017>
27. Irshad MT, Li F, Nisar MA, Huang X, Buss M, Kloep L, et al. Wearable-based human flow experience recognition enhanced by transfer learning methods using emotion data. *Comput Biol Med*. 2023;166. <https://doi.org/10.1016/j.compbioemed.2023.107489>
28. Toaza B, Esztergár-Kiss D. A review of metaheuristic algorithms for solving TSP-based scheduling optimization problems [Formula presented]. Vol. 148, *Applied Soft Computing*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110908>
29. Ma J, Yang D. Research on the mechanism of government-industry-university-research collaboration for cultivating innovative talent based on game theory. *Heliyon*. 2024;10(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25335>
30. Abdar M, Pourpanah F, Hussain S, Rezazadegan D, Liu L, Ghavamzadeh M, et al. A review of uncertainty quantification in deep learning: Techniques, applications and challenges. Vol. 76, *Information Fusion*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2021.05.008>
31. Boysen MSW, Sørensen MC, Jensen H, Von Seelen J, Skovbjerg HM. Playful learning designs in teacher education and early childhood teacher education: A scoping review. *Teach Teach Educ*. 2022;120. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103884>
32. Liu X, Toki EI, Pange J. The Use of ICT in Preschool Education in Greece and China: A Comparative Study. *Procedia Soc Behav Sci*. 2014;112. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1281>
33. Baratta A, Cimino A, Longo F, Nicoletti L. Digital twin for human-robot collaboration enhancement in manufacturing systems: Literature review and direction for future developments. *Comput Ind Eng*. 2024;187. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109764>