

Arquitectura de un videojuego serio de RV para obtener estrategias de educación personalizadas para el desarrollo de habilidades cognitivas específicas

Abdiel Labrado-Flores, Ulises Juárez-Martínez, Lisbeth Rodríguez-Mazahua,
Ignacio López-Martínez, Mónica Ruiz-Martínez

Tecnológico Nacional de México/I.T.Orizaba, Orizaba, 94320, México

m23011387@orizaba.tecnm.mx, ulises.jm@orizaba.tecnm.mx,
lisbeth.rm@orizaba.tecnm.mx, igancio.lm@orizaba.tecnm.mx,
monica.rm@orizaba.tecnm.mx

Abstract. *Mathematical learning is crucial, and cognitive skills are key to enhancing it. In Mexico, deficiencies in mathematics from early education pose an educational challenge. This article presents a scalable and modular architecture for a serious virtual reality game, based on MVC, designed to foster mathematical learning and personalized cognitive development. Applying a hybrid methodology (Design Thinking, ADDIE, and the Game Development Process), the proposal is an educational solution that leverages personalization algorithms, along with the user's lifestyle and cognitive performance, to tailor a strategy plan that enhances their cognitive skills and mathematical learning.*

Resumen. *El aprendizaje matemático es crucial, y las habilidades cognitivas son clave para impulsarlo. En México, las deficiencias en matemáticas desde educación básica representan un reto educativo. Este artículo presenta una arquitectura escalable y modular de un videojuego serio de realidad virtual, basada en MVC, para fomentar el aprendizaje matemático y el desarrollo cognitivo personalizado. Aplicando una metodología híbrida (Design Thinking, ADDIE y el Proceso de Desarrollo de Videojuegos), la propuesta es una solución educativa que usa algoritmos de personalización, además del estilo de vida y desempeño cognitivo del usuario, para adaptar un plan de estrategias que potencie sus habilidades cognitivas y aprendizaje matemático.*

1. Introducción

Desde temprana edad, las habilidades cognitivas son esenciales para el aprendizaje, la resolución de problemas, la toma de decisiones y la adaptación al entorno. Su desarrollo, ligado al procesamiento de información, puede fortalecerse a través del aprendizaje de las matemáticas, un lenguaje universal de la ciencia y la tecnología, debido a la intensa actividad mental que implican. Sin embargo, en México, el desempeño en matemáticas presenta serias deficiencias. Según el informe PISA 2022, el alumnado mexicano obtuvo un promedio de 395 puntos, frente a la media internacional de 500 [OCED, 2023]. Además, en PLANEA 2018, el 59% de los estudiantes mostró un dominio insuficiente en matemáticas [INEE 2018], y la Evaluación Diagnóstica 2022-2023 reportó un promedio de aciertos del 57%, con niveles bajos en secundaria y quinto de primaria [Mejoredu 2023].

Patrama et al. (2023) y Márquez Sembrano (2023) destacan la importancia de recursos tecnológicos, como los videojuegos educativos, para abordar este problema. Videojuegos como los de Pratama et al. (2023), Rebollo et al. (2022) y Merino-Campos et al. (2023) demostraron ser efectivos para aumentar el interés en el aprendizaje y fomentar el desarrollo de habilidades cognitivas. No obstante, según Quintanar Stephano (2020), la calidad del aprendizaje está influenciada por factores del estilo de vida. Sin embargo, pocas herramientas digitales consideran el Perfil de Estilo de Vida (PEV) o la Bitácora de Rutina Diaria (BRD), a pesar de su impacto directo en habilidades cognitivas específicas, como el razonamiento visoespacial y la memoria de trabajo, las cuales pueden evaluarse mediante pruebas psicométricas del cociente intelectual total (CIT). Integrar estos factores en videojuegos serios podría optimizar el aprendizaje y fortalecer las herramientas educativas.

Para abordar estas deficiencias educativas mediante un videojuego serio, se diseñó una arquitectura fundamentada en el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC), que separa presentación, lógica y manejo de datos. Este diseño surge dentro de una metodología híbrida que integra *Design Thinking*, el Proceso de Desarrollo de Videojuegos (GDP) y el modelo instruccional ADDIE, asegurando un enfoque flexible y centrado en los objetivos educativos. En el contexto de un videojuego de realidad virtual, la arquitectura permite gestionar eficientemente las interacciones del usuario, el procesamiento de datos y la transferencia de información. La Vista distingue la visualización de interfaces 2D y los escenarios 3D para capturar las señales del jugador; el Controlador separa los módulos próximos al usuario de aquellos dedicados a la gestión de datos y eventos, mejorando el control de errores; y el Modelo organiza tanto los datos ingresados por el usuario como los generados por el videojuego, facilitando su uso en el modelo de clasificación.

A continuación, la organización del artículo es la siguiente: la sección 2 presenta el estado del arte con una revisión de trabajos relacionados; la sección 3 describe la metodología utilizada; en la sección 4 se detalla la arquitectura propuesta; finalmente, la sección 5 expone las conclusiones y la sección 6 aborda los trabajos futuros.

2. Estado del Arte

Las matemáticas cubren diversas áreas que emplean habilidades cognitivas asociadas al razonamiento fluido, como el cálculo, geometría, secuencias y estadística. Estas disciplinas incluyen aspectos no verbales, abstractos y visuales, donde el razonamiento visoespacial es crucial para entender el entorno y crear ideas. En este contexto, diversos estudios exploraron videojuegos diseñados para potenciar estas habilidades.

Thomsen y Timcenko (2023) desarrollaron un videojuego serio con realidad virtual inmersiva y contenidos matemáticos contextualizados en situaciones cotidianas para reforzar conocimientos. González-Campos et al. (2021) diseñaron *GTCards*, centrado en transformaciones geométricas mediante elementos tridimensionales para reforzar el razonamiento visoespacial. Rebollo et al. (2022) crearon *GameMultiplyAR* para el aprendizaje lúdico de las tablas de multiplicar con realidad aumentada, mientras que Rossano et al. (2021) desarrollaron *Math is Magic*, destacando el impacto de una narrativa sólida en la motivación para aprender matemáticas.

Urakami et al. (2021) analizaron el interés sostenido en videojuegos cognitivos mediante *BrainTagger Suite*, identificando factores como retroalimentación, incentivos

y diversidad de mecánicas. Yu-Sheng et al. (2022) concluyeron que la realidad virtual inmersiva mejora la confianza y percepción del aprendizaje en geometría. Casaú Civit (2022) demostró la viabilidad de adaptar actividades simples a entornos de realidad virtual en aritmética, y Van der Stappen et al. (2019) evidenciaron que las recompensas colaborativas en *MathBuilder* incrementan la motivación en resolución de problemas.

Pusey et al. (2021) diseñaron una herramienta para analizar desafíos cognitivos en videojuegos de rompecabezas, evaluando claridad, soluciones múltiples y uso de pistas en títulos como *The Witness*, *Untitled Goose Game* y *Baba Is You*. Finalmente, Chatain et al. (2022) exploraron el impacto de la interacción con la realidad virtual en la motivación al aprender derivadas, aunque sin profundizar en la calidad del aprendizaje.

En síntesis, los estudios revisados reflejan buenos avances en videojuegos serios para el aprendizaje matemático y cognitivo, pero sin abordar el diseño arquitectónico de sus herramientas, clave para garantizar funcionalidad y experiencia de usuario. Aunque algunos aluden al proceso metodológico, el diseño contextual suele opacar el análisis estructural, dejando en segundo plano aspectos como la lógica y la gestión de datos.

Este trabajo cubre esa brecha con una propuesta arquitectónica basada en una metodología que equilibra objetivos educativos, experiencia de usuario y desarrollo técnico. Su diseño asegura una separación clara entre módulos y optimiza la comunicación entre el usuario y el videojuego.

3. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se adoptó una metodología híbrida que integra el Proceso de Desarrollo de Videojuegos (GDP), el modelo de diseño instruccional ADDIE y el marco de trabajo *Design Thinking*. La combinación de estas metodologías permite garantizar que el videojuego cumpla con los objetivos educativos, los requerimientos tecnológicos y la experiencia del usuario (UX) de manera equilibrada.

El *Design Thinking* [Dinngo 2024] se empleó como marco general debido a su enfoque iterativo y centrado en el usuario, lo que permite definir necesidades reales y ajustar la solución de manera progresiva. ADDIE [Ghirardini et al 2014] proporciona una estructura pedagógica para asegurar que las estrategias implementadas cumplan con los principios del aprendizaje, mientras que el GDP [Piskunov 2024] establece el flujo de producción técnica para transformar la propuesta en un videojuego funcional.

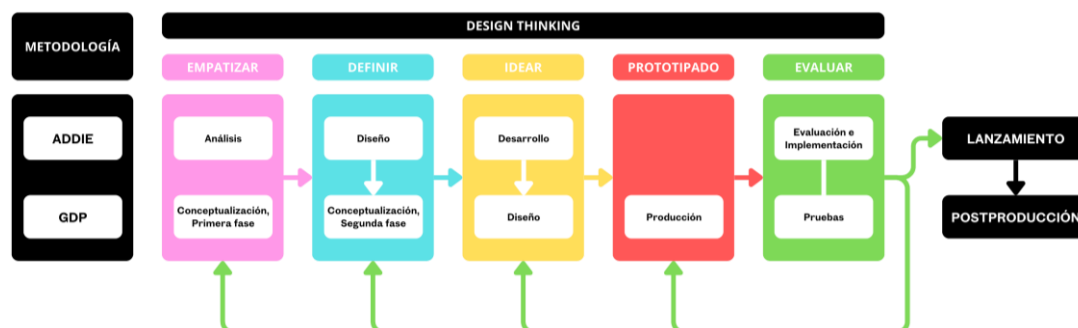


Figura 1. Metodología híbrida para el desarrollo del videojuego serio.

Como se muestra en la Figura 1, la integración de estas metodologías se distribuyó en cinco etapas, alineadas con sus principios, y hasta la fase de ideación se logró lo siguiente:

(1) Empatizar (*Design Thinking*): se realizó una investigación sobre fundamentos educativos y pruebas psicométricas (ADDIE - Análisis). Se revisaron videojuegos serios y no serios con desafíos cognitivos, identificando elementos clave para el diseño (GDP – Conceptualización I).

(2) Definir (*Design Thinking*): se establecieron objetivos educativos, métricas y variables para evaluar el impacto, así como se diseñó la BRD. (ADDIE - Diseño). Se definió el concepto del videojuego, es decir, temática, historia y otros elementos. (GDP – Conceptualización II).

(3) Idear (*Design Thinking*): se diseñaron los desafíos y mecánicas principales según los objetivos educativos (ADDIE - Desarrollo). Se desarrolló la arquitectura del sistema a partir de las funcionalidades definidas, además del diseño preliminar de la Vista, es decir, pantallas e interfaces; y de la estructura de datos para los módulos del Modelo (GDP - Diseño).

(4) Prototipar (*Design Thinking*): desarrollo del prototipo funcional implementando la arquitectura modular y las funcionalidades definidas. La arquitectura cobra relevancia al guiar la programación de la lógica y comunicación a través de la capa Controlador (GDP - Producción).

(5) Evaluar (*Design Thinking*): diseño de un plan de pruebas para aplicar y validar la solución (ADDIE – Evaluación e Implementación), así como para obtener retroalimentación y ajustar el prototipo hasta alcanzar una versión satisfactoria (GDP - Pruebas).

Aunque esto es opcional, en cada etapa la metodología permite volver entre fases si la solución no se acerca al objetivo, logrando ajustar la idea. Una vez que sea funcional según lo esperado, lo siguiente es el lanzamiento o despliegue, así como el mantenimiento periódico, si la herramienta lo requiere.

Este enfoque integra el diseño centrado en el usuario (*Design Thinking*), la planificación educativa (ADDIE) y la producción técnica (GDP) en un marco estructurado y adaptable. Así, se garantiza que el videojuego no solo sea atractivo y funcional, sino que también cumpla con objetivos pedagógicos medibles y ajustables mediante iteraciones estratégicas.

4. Arquitectura del Videojuego

En la Figura 2 se presenta la arquitectura del videojuego serio, diseñada para su uso en *Google Cardboard*, siendo así accesible a los estudiantes al requerir sólo un smartphone y un dispositivo de realidad virtual económico. La implementación se basa en el patrón arquitectónico MVC (Modelo-Vista-Controlador), el cual, según Taylor et al (2009), busca separar la gestión de datos de su representación e interacción con el usuario, permitiendo un desarrollo independiente. Esta separación permite aislar responsabilidades, facilitar la escalabilidad al integrar nuevas funciones sin afectar los módulos existentes y reutilizar componentes ya desarrollados, manteniendo la comunicación eficiente entre las capas.

La Vista constituye el punto de interacción directa entre el usuario y el sistema. Incluye la interfaz del juego, pantallas informativas y la configuración, permitiendo al usuario interactuar con escenarios virtuales, recibir mensajes contextuales sobre su desempeño, navegar entre pantallas y personalizar aspectos técnicos o estéticos del

juego. La experiencia de juego está optimizada exclusivamente para la realidad virtual, dejando fuera las pantallas informativas y parcialmente la configuración, que sirven como soporte complementario.

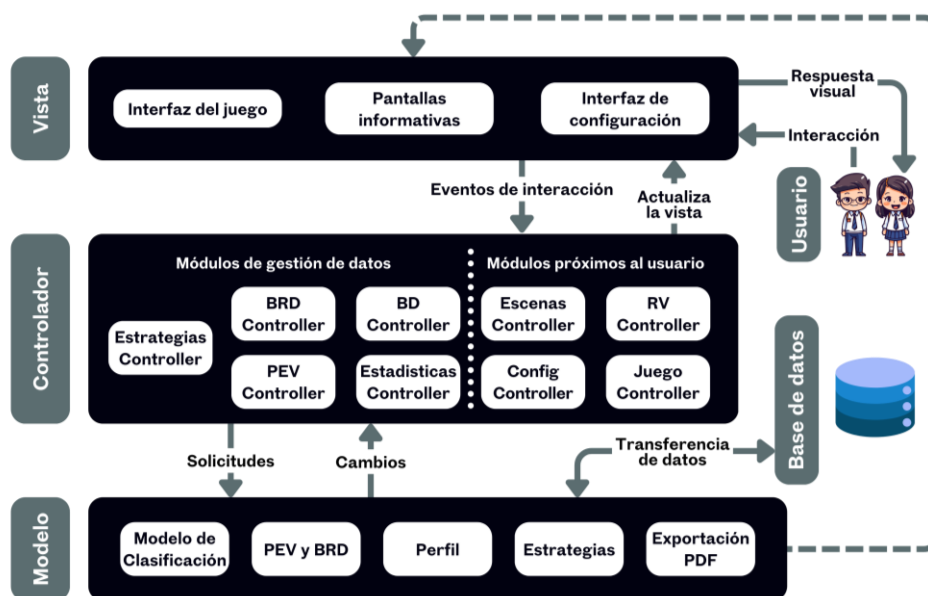


Figura 2. Arquitectura del videojuego serio.

El Controlador gestiona la comunicación entre la Vista y el Modelo, dividiendo su funcionalidad en dos grupos principales. Los controladores cercanos al usuario procesan señales generadas por sus acciones y filtran los datos para garantizar su integridad. Incluyen el controlador de escenas, que coordina las transiciones; el de RV, que gestiona las interacciones tridimensionales; el del juego, que administra desafíos, eventos y animaciones; y el de configuración, que permite ajustes personalizados. Los controladores orientados a la gestión del videojuego procesan la lógica del sistema, alejando al usuario de interacciones directas con el Modelo. Estos incluyen el controlador de estrategias, encargado de generar recomendaciones personalizadas; los controladores de la BRD y el PEV, que recopilan datos del estilo de vida del jugador; el de estadísticas, que evalúa el progreso cognitivo; y el de la base de datos, que asegura la persistencia y accesibilidad de la información.

El Modelo organiza y transfiere los datos esenciales del sistema. Contiene un modelo de clasificación que identifica estrategias personalizadas, un perfil del jugador que almacena información general y desempeño en desafíos, y los datos recopilados del PEV y la BRD que estructuran el estilo de vida del jugador. Además, gestiona un repositorio de estrategias diseñadas para diferentes contextos de usuario y permite la exportación de estas en formato PDF para consulta externa.

Esta arquitectura facilita la colaboración interdisciplinaria, permitiendo que diseño gráfico y programación trabajen sin interferencias. La separación de responsabilidades optimiza el mantenimiento y la detección de errores, mientras que su compatibilidad con distintos lenguajes y motores garantiza escalabilidad y reutilización de código.

Además de seguir el patrón MVC, incorpora principios de desarrollo como SOLID y *Clean Code* para mejorar su modularidad. Su rendimiento será evaluado

mediante pruebas de carga, estrés y métricas de eficiencia en dispositivos móviles, mientras que la calidad del software se asegurará con un enfoque *Test-Driven Development* (TDD), incluyendo pruebas unitarias en módulos clave y pruebas de usabilidad para optimizar la experiencia del usuario.

5. Conclusiones

Aunque los videojuegos serios se siguen consolidando como herramientas clave para la gamificación y la educación, muchas propuestas no logran un equilibrio efectivo entre educación, entretenimiento y estimulación cognitiva. Esto subraya la importancia de emplear metodologías híbridas como la combinación de *Design Thinking*, GDP y ADDIE, que permiten abordar estos aspectos de manera coherente, proporcionando un análisis contextual de la situación y necesidades del usuario final, métricas para la evaluación de los objetivos educativos y una arquitectura adecuada que integre las funcionalidades y requerimientos necesarios para lograr la solución.

La arquitectura del videojuego no debe considerarse un componente secundario, sino una parte central del diseño. Basada en el patrón MVC, esta arquitectura simplifica la interacción entre módulos, aislando responsabilidades de manera efectiva entre la presentación, la lógica y la gestión de datos. Esta distribución facilita la modularidad y reutilización de código, así como el mantenimiento, además de permitir el trabajo colaborativo eficiente entre disciplinas al asegurar que las capas no interfieran entre sí.

Para validar la efectividad de la arquitectura, métricas como la precisión en la personalización de estrategias, la mejora en habilidades cognitivas específicas y la adecuación de las recomendaciones al desempeño del usuario, aseguran que esta soporte los objetivos educativos propuestos. No obstante, su aplicación está sujeta a ciertas condiciones: (1) el videojuego serio es de realidad virtual e (2) incluye pantallas que no utilizan este formato; (3) se necesita una distinción clara entre módulos de interacción y de gestión de datos; (4) el objetivo es generar estrategias basadas en el estilo de vida del usuario mediante (5) un modelo de clasificación; y (6) se quiere lograr una organización estructurada del código, asegurando la correcta separación de funcionalidades.

6. Trabajo a Futuro

Siguiendo con el proceso metodológico, el siguiente paso consiste en diseñar las interfaces, definir los desafíos y construir los escenarios alineados con la arquitectura propuesta. Este proceso seguirá tres fases principales: (1) conceptualización y prototipado de interacciones entre capas, asegurando la correcta comunicación entre módulos; (2) iteración basada en pruebas preliminares de usabilidad, ajustando mecánicas y flujo de interacción según la experiencia del usuario; y (3) consolidación del diseño final para su implementación en el prototipo funcional. Una vez desarrollado, el prototipo será sometido a pruebas de validación técnica y educativa, midiendo su rendimiento, la experiencia de usuario y el impacto en el aprendizaje. Se diseñará un plan de pruebas estructurado que evaluará variables clave como la interacción con la interfaz, la respuesta a los desafíos y la efectividad del contenido en el desarrollo de habilidades cognitivas.

Para su implementación en escenarios reales, la arquitectura se integrará en entornos educativos mediante un enfoque progresivo. La planificación contempla tres etapas: (1) recolección de datos iniciales sobre las habilidades cognitivas de los

usuarios, permitiendo establecer una línea base; (2) ejecución de un caso de estudio con sesiones estructuradas de uso del videojuego, asegurando condiciones controladas para evaluar su impacto; y (3) análisis de la progresión cognitiva a través de métricas cuantitativas y cualitativas, validando la efectividad de la solución. La compatibilidad con hardware accesible como *Google Cardboard* y la optimización para smartphones facilitarán su adopción en aulas y entornos domésticos, promoviendo el aprendizaje adaptativo y midiendo el avance del usuario en matemáticas.

Agradecimientos. Los autores agradecen el patrocinio del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) y al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por apoyar este trabajo de investigación.

Referencias

- Casaú Civit, P. (2022) "Design of a virtual reality game to enhance the learning of mathematics," Ph.D. thesis, UPC, Centre de la Imatge i la Tecnologia Multimèdia. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/394004>.
- Chatain, J., Ramp, V., Gashaj, V., Fayolle, V., Kapur, M., Sumner, R. W., and Magnenat, S. (2022) "Grasping Derivatives: Teaching Mathematics through Embodied Interactions using Tablets and Virtual Reality," In: Proceedings of the 21st Annual ACM Interaction Design and Children Conference (IDC '22), ACM, New York, NY, USA, pp. 98–108. <https://doi.org/10.1145/3501712.3529748>.
- Dinngo (2024) Design Thinking en español, Disponible en: <https://designthinking.es>. Consultado: Abril 19, 2024.
- Ghirardini, B., Landriscina, F., and Shapiro, B. (2014) Metodologías de E-learning. Una guía para el diseño y desarrollo de cursos de aprendizaje empleando tecnologías de la información y las comunicaciones, FAO, Roma, Italia, pág. 140. ISBN: 978-92-5-307097-8.
- González-Campos, J. S., Arnedo-Moreno, J., and Sánchez-Navarro, J. S. (2021) "GTCards: A Video Game for Learning Geometric Transformations," In: TEEM'21, Barcelona, Spain, pp. 205–209. <https://doi.org/10.1145/3486011.3486445>.
- INEE (2018) "PLANEA. Resultados nacionales 2018," INEE, Ciudad de México. Disponible en: <https://www.inee.edu.mx/evaluaciones/planea/resultados-planea/>.
- Márquez Sambrano, J. D. (2023) "Recursos tecnológicos interactivos en el desempeño académico de la asignatura de matemáticas," Universidad de Guayaquil. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/68465>.
- Mejoredu (2023) "Evaluación diagnóstica del aprendizaje de las y los alumnos de educación básica 2022-2023. Informe de resultados," Mejoredu. Disponible en: https://www.mejoredu.gob.mx/images/Informe_diagnostica.pdf.
- Merino-Campos, C., Del-Castillo, H., and Pascual-Gómez, I. (2023) "Enhancing adolescent reasoning skills through a video game program," Education and Information Technologies, vol. 28, pp. 12737–12756. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11691-y>.

- OECD (2023) "PISA 2022 Results (Volume II): Learning During – and From – Disruption," OECD Publishing, Paris. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/a97db61c-en>.
- Piskunov, E. (2024) Stages of Game Development | Your Guide On Game Development Process, Disponible en: <https://ilogos.biz/stages-of-game-development-your-guide-on-game-development-process/>. Consultado: Abril 19, 2024.
- Pratama, M., Yanfi, Y., and Nusantara, P. D. (2023) "WizardOfMath: A top-down puzzle game with RPG elements to hone the player's arithmetic skills," *Procedia Computer Science*, vol. 216, pp. 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.144>.
- Pusey, M., Wong, K. W., and Rappa, N. A. (2021) "The Puzzle Challenge Analysis Tool: A Tool for Analysing the Cognitive Challenge Level of Puzzles in Video Games," *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, vol. 5, no. CHI PLAY, p. 276. <https://doi.org/10.1145/3474703>.
- Quintanar Stephano, J. L. (2020) "Bases biológicas de la memoria en el aprendizaje," *Investigación y Práctica en Psicología del Desarrollo*, vol. 6, pp. 93–103. <https://doi.org/10.33064/ippd62849>.
- Rebollo, C., Remolar, I., Rossano, V., and Lanzilotti, R. (2022) "Multimedia augmented reality game for learning math," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 81, no. 11, pp. 14851–14868. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10821-3>.
- Rossano, V., Mangialardo, F., and Roselli, T. (2021) "Math is magic: an adaptive serious game to reinforce math competences," In: *TEEM'21*, Barcelona, Spain, pp. 162–166. <https://doi.org/10.1145/3486011.3486439>.
- Taylor, R. N., Medvidovic, N., and Dashofy, E. (2009) *Software Architecture: Foundations, Theory, and Practice*, Wiley, Hoboken, NJ, USA.
- Thomsen, L. A. and Timcenko, O. (2023) "Real mathematics in virtual worlds," In: *IRSPBL23: TEE 23*, pp. 124-128. Disponible en: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/538997960/Transforming_Engineering_Education_2023.pdf.
- Urakami, J., Hu, Y. Z., and Chignell, M. (2021) "Monitoring Cognitive Performance with a Serious Game," In: *CHI EA '21*, Yokohama, Japan, artículo 48, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1145/3411763.3443431>.
- van der Stappen, A., Liu, Y., Xu, J., Yu, X., Li, J., and van der Spek, E. D. (2019) "MathBuilder: A Collaborative AR Math Game for Elementary School Students," In: *Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion Extended Abstracts (CHI PLAY '19 Extended Abstracts)*, ACM, New York, NY, USA, pp. 731-738. <https://doi.org/10.1145/3341215.3356295>.
- Yu-Sheng, S., Cheng, H. W., and Lai, C. F. (2022) "Study of Virtual Reality Immersive Technology Enhanced Mathematics Geometry Learning," *Frontiers in Psychology*, vol. 13, p. 760418. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.760418>.