

## Metodología para el desarrollo de entornos educativos de Realidad Extendida (MEDEERX)

## Methodology for the Development of Educational Environments in Extended Reality (MEDEERX)

Gonzalo-Alberto Torres-Samperio <sup>a</sup>, Juan-Carlos González-Islas <sup>b\*</sup>, Aldo Márquez-Grajales <sup>c</sup>,  
Edgar Olguín-Guzmán <sup>d</sup>, Flor de María Curiel-Castillo <sup>e</sup>

---

### Abstract:

In the context of the growing use of immersive technologies in educational environments, this study presents the Methodology for the Development of Educational Environments in Extended Reality (MEDEERX). MEDEERX is a comprehensive update of the Methodology for the Development of Educational Environments in Extended Reality (MEDEERV), focused on the development of educational environments in Extended Reality (XR). The objective of this work is to propose a structured and flexible framework that integrates instructional design principles, software engineering practices, and user-centered evaluation techniques to enhance pedagogical quality, accessibility, and motivation in virtual learning spaces. MEDEERX is organized into five adaptable phases: instructional design, functional design, implementation, user experience evaluation, and maintenance. It incorporates a modified ADDIE model tailored for XR contexts, grounded in constructivist theories and gamification strategies that boost student motivation and retention. With a technical design based on UML diagrams and usability standards, MEDEERX ensures robust architectures and inclusive interfaces, promoting continuous improvement and sustainability of educational environments.

### Keywords:

MEDEERX, Extended Reality, Gamification, Instructional Design, Usability

---

### Resumen:

En el contexto del creciente uso de tecnologías inmersivas en ambientes educativos, este estudio presenta la Metodología para el Desarrollo de Entornos Educativos en Realidad Extendida (MEDEERX). La MEDEERX es una actualización integral de la Metodología para el Desarrollo de Entornos Educativos en Realidad Virtual (MEDEERV), orientada al desarrollo de entornos educativos en Realidad Extendida (XR). El objetivo de este trabajo es la propuesta de un marco estructurado y flexible que integra principios de diseño instruccional, prácticas de ingeniería de software y técnicas de evaluación centradas en el usuario, con el fin de mejorar la calidad pedagógica, la accesibilidad y la motivación en espacios virtuales de aprendizaje. MEDEERX se organiza en cinco fases adaptables: diseño instruccional, diseño funcional, implementación, evaluación de la experiencia del usuario y mantenimiento. Incorpora un modelo ADDIE modificado para contextos XR, sustentado en teorías constructivistas y estrategias de gamificación que potencian la motivación y retención estudiantil. Con un diseño técnico basado en diagramas UML y estándares de usabilidad, MEDEERX garantiza arquitecturas robustas e interfaces inclusivas, promoviendo la mejora continua y la sostenibilidad de los entornos educativos.

### Palabras Clave:

MEDEERX, Realidad Extendida, Gamificación, Diseño instruccional, Usabilidad.

---

<sup>b</sup> Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Área Académica de Computación y Electrónica | Mineral de la Reforma | Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-2190-0660>, Email: [juan\\_gonzalez7024@uaeh.edu.mx](mailto:juan_gonzalez7024@uaeh.edu.mx)

<sup>a,c,d,e</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Área Académica de Computación y Electrónica | Mineral de la Reforma | Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-9328-6970>, <https://orcid.org/0000-0001-9567-2069>, <https://orcid.org/0000-0002-9003-6511>, <https://orcid.org/0009-0004-5231-9168>, Email: [torres.aldo\\_marquez\\_eolguin@uaeh.edu.mx](mailto:torres.aldo_marquez_eolguin@uaeh.edu.mx)

## Introducción

La realidad virtual (RV) y la gamificación están transformando la educación moderna al ofrecer entornos inmersivos que permiten experiencias difíciles de replicar en aulas tradicionales. Estas tecnologías superan barreras geográficas y físicas, mejorando la motivación y accesibilidad. Integradas con estrategias de gamificación, la RV fortalece el compromiso estudiantil, especialmente en contextos donde la práctica real es costosa o compleja. Facilita la personalización del aprendizaje, brinda retroalimentación constante y convierte la educación en una experiencia interactiva y motivadora. En este sentido, (Pantelidis, V. S. (2023) proponen un marco metodológico para diseñar entornos virtuales gamificados que enriquezcan la educación y la cultura.

La gamificación en entornos educativos ha ganado interés por su aplicabilidad en diversas disciplinas. Lozada-Ávila y Betancur-Gómez (2018) realizaron una revisión sistemática que muestra el creciente uso en educación superior de la gamificación, especialmente en áreas como administración, economía, arte, humanidades, ciencias de la salud, naturales y sociales. Por su parte, Carbajal Destre et al. (2022) concluyen que la gamificación motiva a los estudiantes, fomenta el aprendizaje lúdico y la gratificación sin impactar negativamente las calificaciones. Viñas (2022) destaca su aceptación en educación primaria, secundaria, universitaria, empresarial y en la promoción de hábitos saludables.

La gamificación educativa adapta elementos lúdicos al contexto escolar, generando emociones positivas y mejorando el aprendizaje al integrarse en el currículo. Contreras Espinosa y Eguía Gómez (2017) subrayan que incrementa el disfrute y la aplicación de conocimientos en la vida cotidiana. Por ello, los docentes deben diseñar actividades con dinámicas emocionales, retos, recompensas y niveles que promuevan la participación activa del estudiante.

A pesar de los avances en la aplicación de la Realidad Virtual y la gamificación en el ámbito educativo, aún no se cuenta con una metodología integral que oriente su diseño considerando de forma equilibrada criterios pedagógicos, técnicos y de accesibilidad. La mayoría de los desarrollos priorizan el componente tecnológico, dejando en segundo plano el aprendizaje significativo, lo que limita su potencial transformador. Además, la ausencia de marcos metodológicos adaptables dificulta su implementación efectiva en contextos educativos diversos.

Ante esta situación, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede una metodología integral y adaptable mejorar el diseño, la implementación y la sostenibilidad de entornos educativos inmersivos en Realidad Extendida, incorporando principios pedagógicos, técnicos y de accesibilidad?

Como respuesta, la contribución principal de este trabajo es la propuesta de la metodología MEDEERX (Metodología para el Desarrollo de Entornos Educativos en Realidad Extendida), que integra diseño instruccional, ingeniería de software y evaluación centrada en el usuario. Este marco estructurado y flexible busca optimizar la calidad, la accesibilidad y la efectividad de los entornos educativos inmersivos.

### 1.1. Metodologías de desarrollo para entornos educativos en Realidad Extendida (XR)

El desarrollo de entornos educativos en Realidad Virtual (RV) requiere una planificación rigurosa y metodologías que garanticen experiencias inmersivas, accesibles y pedagógicas. Estos entornos destacan por su interactividad, especialmente cuando integran gamificación para motivar la participación y adaptarse a estilos de aprendizaje diversos, mejorando logro y compromiso (Torres Samperio et al., 2017).

El diseño de RV integra principios instruccionales, desarrollo de software 3D y pedagogía centrada en el estudiante, utilizando metodologías como los modelos ADDIE y SAM, enfoques centrados en el usuario como Design Thinking (Yang, Zhou & Radu, 2020), y marcos específicos como MEDEERV, aplicados con éxito en simuladores y plataformas inmersivas.

El modelo ADDIE sigue cinco fases secuenciales: Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación, lo que facilita la alineación continua con las necesidades del usuario y se ha implementado en cursos de anatomía y simuladores de laboratorio (Branson et al., 1975; García & López, 2023). Sus ventajas incluyen estructura clara y evaluación constante, pero limita flexibilidad y puede aumentar costos en proyectos complejos (Ruiz, 2021; Martínez, 2020).

En contraste, SAM (Successive Approximation Model) adopta un enfoque iterativo en tres fases (preparación, diseño iterativo y desarrollo iterativo) que prioriza la creación rápida de prototipos y la retroalimentación frecuente con usuarios. Es ágil, reduce costos y favorece la inclusión activa de expertos, pero puede derivar en

ciclos iterativos prolongados si no se gestiona adecuadamente (Allen Interactions, 2023; Evolmind, 2023). SAM se usa exitosamente en laboratorios gamificados, permitiendo ajustes constantes que garanticen efectividad educativa.

Las metodologías ágiles, como Scrum, organizan el trabajo en sprints que permiten validar versiones funcionales parciales mediante retroalimentación continua. Su flexibilidad y colaboración activa mejoran la pertinencia del producto desde etapas tempranas, aunque su implementación puede ser compleja en equipos grandes o sin experiencia en entornos educativos (Riskell Software, 2023; Rigby, Sutherland & Takeuchi, 2016; Dingsøyr et al., 2019). Scrum se aplica en juegos inmersivos y plataformas colaborativas, destacando en experiencias dinámicas para aprendizaje.

La Metodología para el Desarrollo de Entornos Educativos de Realidad Virtual (MEDEERV), propuesta en un trabajo previo, establece un marco específico para el diseño de entornos educativos inmersivos en tres etapas: diseño instruccional sistemático, diseño funcional del entorno virtual e implementación técnica (Torres-Samperio et al., 2017). Este modelo traduce necesidades pedagógicas en experiencias interactivas mediante modelado 3D, programación y análisis de usabilidad, incorporando incluso biofeedback para adaptar la experiencia según el monitoreo de señales fisiológicas (Gutiérrez-Sánchez et al., 2024). Su aplicación exitosa en laboratorios virtuales, simulaciones anatómicas y sistemas clínicos de terapia de exposición (González et al., 2023; Gutiérrez-Sánchez et al., 2024) demuestra su eficacia, especialmente en áreas como ciencias, medicina y anatomía, donde la visualización y la interacción enriquecen el aprendizaje. Entre sus fortalezas, MEDEERV combina diseño instruccional con tecnología 3D avanzada, prioriza la usabilidad y promueve la mejora continua a partir de pruebas con estudiantes; sin embargo, su implementación requiere equipos multidisciplinarios especializados y una considerable inversión de tiempo y recursos, lo que puede limitar su adopción en proyectos con restricciones presupuestarias o que demanden mayor flexibilidad.

La elección metodológica depende de factores como objetivos, público y recursos, siendo recomendable combinar modelos tradicionales, enfoques creativos y marcos específicos para diseñar entornos más inclusivos y eficaces en RV y XR.

La fortaleza de MEDEERV radica en su exhaustividad, ideal para proyectos académicos complejos como

laboratorios virtuales avanzados o simuladores clínicos, aunque su complejidad limita su aplicación en contextos que requieren mayor agilidad. En contraste, metodologías como Scrum favorecen la iteración rápida y la adaptación continua, mientras que Design Thinking, ADDIE o SAM aportan empatía con el usuario, estructura pedagógica y ciclos flexibles. La estrategia más efectiva es combinar estos enfoques para equilibrar calidad, rapidez y pertinencia. En este sentido, MEDEERV requiere una actualización que incorpore prácticas ágiles, herramientas colaborativas, metodologías centradas en el usuario y fases simplificadas, manteniendo su rigor técnico y pedagógico pero incrementando su adaptabilidad y eficacia frente a las demandas de soluciones educativas innovadoras.

## **2. Metodología para el desarrollo de entornos educativos de Realidad Extendida (MEDEERX)**

La MEDEERX representa una evolución relevante del modelo original MEDEERV (Torres et al., 2017), al integrar de forma estructurada las capacidades de la realidad virtual (VR), aumentada (AR) y mixta (MR) en un enfoque pedagógico que prioriza la gamificación, la interactividad y la exploración activa. Como se muestra en la Figura 1, MEDEERX se centra en el diseño de entornos tridimensionales como espacios de aprendizaje experimental, donde los usuarios, guiados por objetivos educativos claros, puedan interactuar y construir conocimiento de manera significativa.

La MEDEERX articula un ciclo iterativo de diseño, implementación, evaluación y mejora continua, permitiendo retroalimentación constante para garantizar calidad pedagógica, solidez técnica y experiencias inmersivas significativas. Cada fase es esencial para ajustar recursos, contenidos y dinámicas según resultados y necesidades de los usuarios, asegurando que los entornos tridimensionales diseñados respondan tanto a criterios tecnológicos como a objetivos educativos claros y estrategias didácticas efectivas. A continuación, se describe de manera detallada cada una de las fases de la MEDEERX.

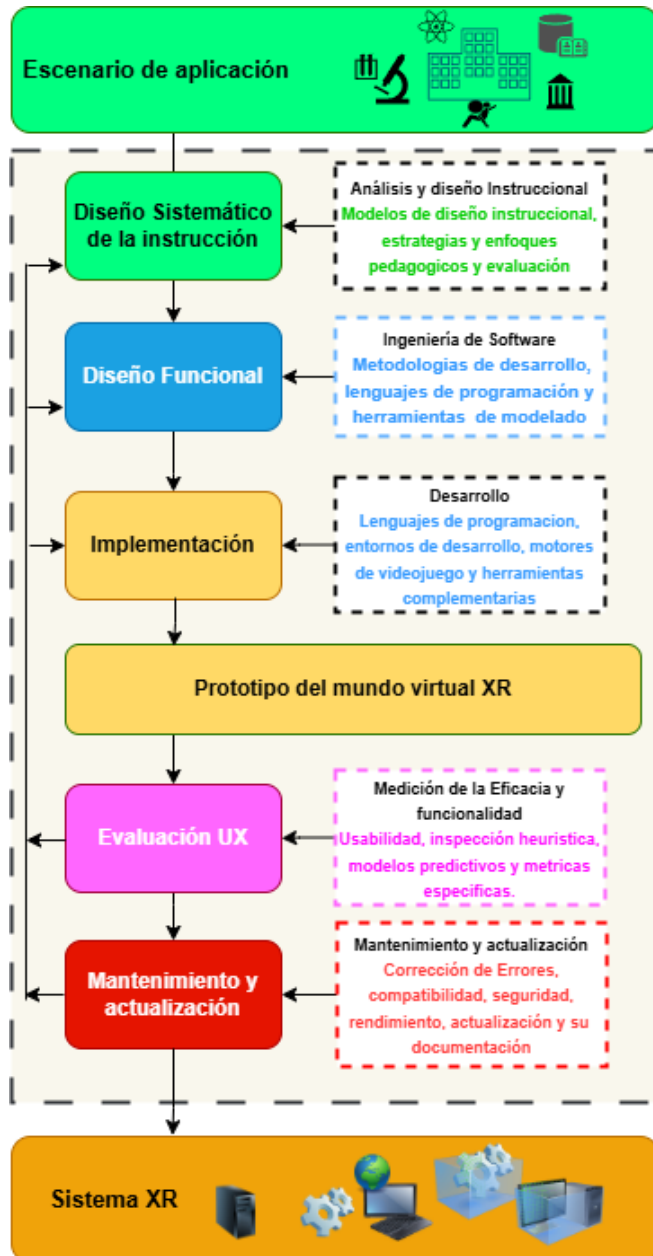


Figura 1. Fases de la MEDEERX. fuente: elaboración propia.

## 2.1 Diseño Sistemático de la Instrucción

Esta fase inicial define el propósito del entorno —formativo, lúdico, patrimonial o divulgativo— e identifica al público objetivo (estudiantes, docentes, investigadores, personas con discapacidad, etc.) para alinear contenidos y objetivos de aprendizaje. Esta fase se basa en una adaptación del modelo ADDIE (Luna-Rizo et al., 2021) para entornos XR.

Este diseño instruccional se fundamenta en teorías del aprendizaje significativo (Ausubel, 1968) y el

constructivismo (Piaget, 1975; Vygotsky, 1978), siguiendo el modelo de Dick y Carey (2009), con una planificación detallada que contempla la selección temática, organización de contenidos, definición de objetivos claros, diseño de actividades interactivas y análisis de recursos técnicos, humanos y presupuestarios. La Figura 2 ilustra la versión modificada del modelo ADDIE aplicada a MEDEERX, mostrando cómo sus etapas —análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación— se interrelacionan para construir entornos educativos XR alineados con las tendencias. Durante el análisis, expertos y docentes colaboran para determinar necesidades educativas, objetivos de aprendizaje y requerimientos instruccionales, incluyendo características de interfaces gráficas, diseño de objetos 3D y simulaciones. Posteriormente, se definen estrategias de implementación y formas de interacción mediante una interfaz gamificada que incorpore puntuación, niveles, indicadores de progreso y recompensas, orientadas a evaluar el desempeño del usuario.

La MEDEERX articula un ciclo iterativo de diseño, implementación, evaluación y mejora continua, permitiendo retroalimentación constante para garantizar calidad pedagógica, solidez técnica y experiencias inmersivas significativas. Cada fase es esencial para ajustar recursos, contenidos y dinámicas según resultados y necesidades de los usuarios, asegurando que los entornos tridimensionales diseñados respondan tanto a criterios tecnológicos como a objetivos educativos claros y estrategias didácticas efectivas. A continuación, se describe de manera detallada cada una de las fases de la MEDEERX.

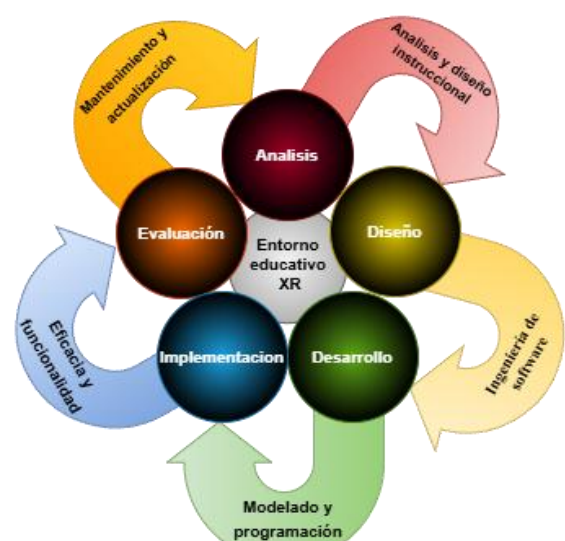


Figura 2. Versión modificada del modelo ADDIE para MEDEERX Fuente: elaboración propia.

Este enfoque instruccional permite comprender con precisión las necesidades educativas y recopilar información clave para la implementación. La Tabla 1 sintetiza las etapas del modelo de Dick y Carey (2009), adaptadas al desarrollo de entornos educativos tecnológicos, especificando objetivos, actividades instruccionales y habilidades a fomentar.

Tabla 1. Enfoques metodológicos que complementan o se integran con MEDEERX. Fuente: elaboración propia

Etapas	Objetivo	Actividad	Habilidad
Análisis necesidades	Identificar brechas	Encuestas, entrevistas, revisión	Detectar mejoras
Metas	Formular metas	Analizar perfil y contexto	Contextualizar metas
Análisis instruccional	Desglosar objetivos	Análisis jerárquico	Reconocer relaciones
Análisis alumnos	Caracterizar público	Perfilación y entorno	Adaptación individual
Estrategia	Definir métodos	Selección de enfoques XR	Aplicar estrategias
Materiales	Crear recursos	Contenidos interactivos XR	Usar materiales digitales
Evaluación instrumentos	Definir criterios	Rúbricas y pruebas gamificadas	Aplicar criterios
Evaluación formativa	Ajustar diseño	Pruebas piloto, retroalimentación	Mejora continua
Evaluación sumativa	Valorar efectividad	Evaluación final	Analizar rendimiento

Integrar estos métodos en entornos XR refleja una tendencia actual en la literatura de diseño instruccional, donde modelos tradicionales como ADDIE se adaptan a ambientes inmersivos (Cheng et al., 2022; MDPI, 2023). Se han registrado buenas prácticas en escenarios educativos con RV, donde la fase de análisis permite identificar las características del usuario, entorno técnico y objetivos de aprendizaje, facilitando un diseño más centrado y efectivo.

El modelo inicia con un análisis de necesidades para identificar brechas de conocimiento o desempeño, seguido de la formulación de metas instruccionales generales. Estas se descomponen jerárquicamente en objetivos específicos, lo que facilita una planificación precisa de contenidos. También se analizan las características del público objetivo y el entorno, permitiendo adaptar el diseño a las condiciones reales de implementación. A continuación, se desarrollan la estrategia instruccional, los materiales y los instrumentos de evaluación, todos alineados con las metas propuestas. El modelo incluye evaluación formativa —para ajustar el

diseño durante su desarrollo— y evaluación sumativa, que valora su efectividad final. Esta estructura asegura coherencia entre necesidades detectadas, recursos diseñados y resultados esperados, haciéndola especialmente adecuada para experiencias formativas apoyadas en tecnologías emergentes como la Realidad Extendida (XR). Con la información obtenida, se construye un diagrama de flujo instruccional que representa las habilidades subordinadas necesarias para alcanzar cada objetivo. Este proceso se ilustra en la Figura 3, donde se visualiza la secuencia instruccional y la Figura 4 donde se muestra la descomposición de dichas habilidades.

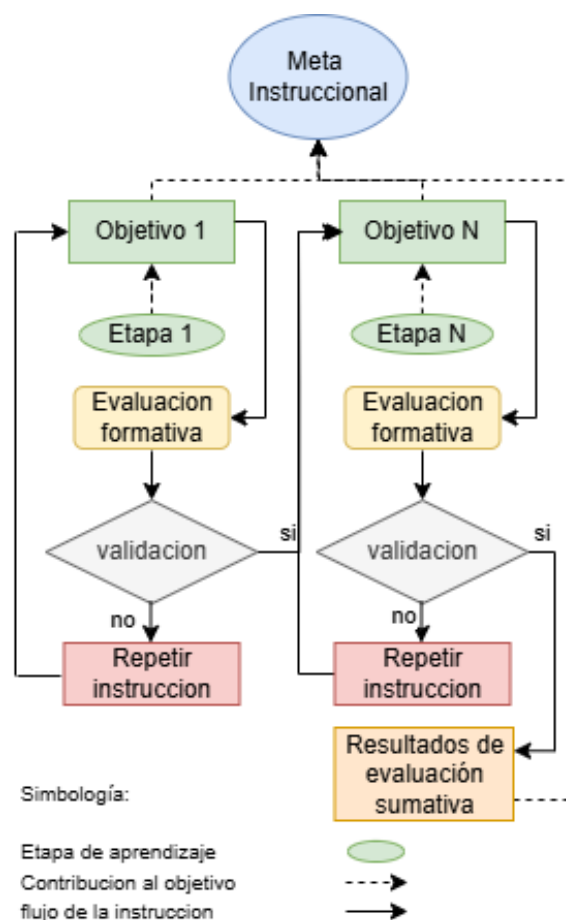


Figura 3. Diagrama de flujo de la instrucción. Fuente: elaboración propia.

Este es un proceso repetitivo, continuo e iterativo que solo termina cuando se llega al nivel más elemental (de lo general a lo específico), en el cual ya no es posible seguir descomponiendo en más habilidades subordinadas como se muestra en la Figura 4.



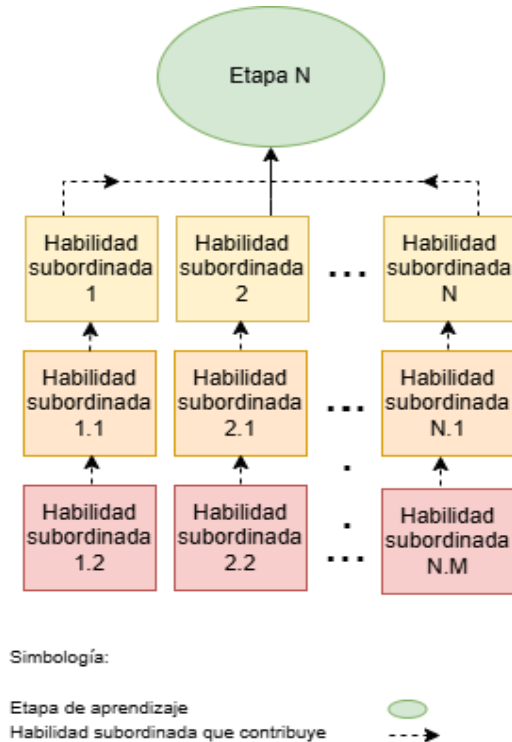


Figura 4. Descomposición de habilidades subordinadas.  
 Fuente: elaboración propia.

## Estrategias instruccionales

Para optimizar los resultados de aprendizaje, una estrategia efectiva es la gamificación, que consiste en implementar sistemas de incentivos y recompensas que premian el cumplimiento de objetivos educativos. La gamificación educativa se basa en incorporar elementos propios del juego —como metas, puntuaciones, niveles, insignias, tablas de clasificación y recompensas— para transformar el entorno de aprendizaje en una experiencia más dinámica, motivadora y significativa, tal como se esquematiza en la Figura 5.



Figura 5: Modelo de gamificación de MEDEERX. Fuente:  
 Elaboración propia.

Estos recursos lúdicos favorecen la participación activa del alumnado y promueven una actitud positiva hacia el conocimiento, facilitando así su interiorización (Sailer & Homner, 2020; Cheng et al., 2022).

Meta-análisis recientes confirman que la gamificación tiene efectos positivos significativos sobre los resultados de aprendizaje ( $ES \approx 0,82$ ) y especialmente sobre la motivación intrínseca, aunque la transferencia a largo plazo y en todos los dominios aún requiere más investigación (Cheng et al., 2022; Sailer & Homner, 2020; MDPI, 2023). No obstante, los efectos varían según el tipo de elemento de juego y el grupo objetivo (elementos combinados como ‘mecánicas + dinámicas + estética’ obtienen mejores resultados) (PMID PMC10591086, 2023).

Para aplicar la gamificación educativa, se comienza definiendo objetivos claros para una asignatura, unidad o contenido específico, adaptando la enseñanza a formatos lúdicos con juegos familiares a los estudiantes. Es fundamental establecer normas explícitas que regulen la dinámica para mantener el control y asegurar el cumplimiento de los objetivos (Ortiz Colón, Jordán & Agredal, 2018). Un aspecto central es el sistema de recompensas, que reconoce logros académicos, esfuerzo y colaboración, reforzando la autoestima y motivación intrínseca del alumnado (Contreras & Eguía, 2016). Además, se recomienda incorporar niveles de dificultad progresiva para mantener el interés, apoyándose en tecnologías digitales que faciliten la implementación, seguimiento de la estrategia y la interacción gamificada (Zambrano Álava et al., 2020).

## Evaluación del aprendizaje

En entornos de aprendizaje gamificados, la evaluación va más allá del modelo tradicional de exámenes y se convierte en un proceso continuo e integrado en la experiencia educativa. Esto se sustenta en la recolección de datos generados cuando los alumnos completan misiones, obtienen premios o desbloquean logros, permitiendo una evaluación formativa y sumativa que refleja su avance en el entorno educativo (Toda et al., 2020; Domínguez et al., 2013).

Este modelo evaluativo opera en dos niveles complementarios:

- Evaluación formativa (continua): Cada acción del estudiante —como ganar una insignia, acumular puntos o completar misiones— genera datos que ofrecen al docente una visión en tiempo real del progreso individual y grupal. Esto permite identificar

de inmediato qué conceptos dominan o dónde hay dificultades, facilitando una intervención oportuna y transformando la evaluación en una herramienta diagnóstica que guía el proceso de aprendizaje, en lugar de ser un juicio final (Sailer & Homner, 2020).

- Evaluación sumativa (acumulativa): Aunque el proceso es continuo, sus resultados se traducen en logros tangibles, como niveles alcanzados o colecciones de insignias, que pueden servir como una calificación sumativa que representa el esfuerzo, la persistencia y las competencias demostradas durante el curso.

La gran ventaja de este sistema es que transforma la percepción de la evaluación: deja de ser un evento externo y potencialmente estresante, convirtiéndose en un componente motivador e intrínseco al propio “juego” del aprendizaje. Los estudiantes asumen nuevos objetivos — avanzar de nivel, obtener reconocimientos y competir en clasificaciones— lo que fomenta un compromiso más profundo y significativo con su proceso educativo (Domínguez et al., 2013; Toda et al., 2020).

## 2.2 Diseño Funcional

Esta fase es clave en la MEDEERX, ya que convierte objetivos de aprendizaje y actividades instruccionales en especificaciones técnicas y funcionales claras para desarrollar el entorno virtual. Estos objetivos, habilidades y metas actúan como requisitos clave para modelar componentes interactivos del sistema, garantizando que respondan tanto a necesidades pedagógicas como técnicas del entorno inmersivo.

El proceso inicia con un análisis sistemático de requisitos, empleando revisión documental, entrevistas con expertos y análisis centrado en el usuario. Esta evaluación permite definir claramente:

- Requisitos funcionales: acciones que el sistema debe ejecutar (por ejemplo, activar una animación, registrar datos del usuario).
- Requisitos no funcionales: calidad del sistema en aspectos como rendimiento, seguridad, usabilidad y accesibilidad, conforme a estándares de calidad en ingeniería de software (Krüger, 2024; Jain & Wilson, 2023).

Para estructurar y comunicar el diseño, se utiliza Lenguaje Unificado de Modelado (UML), esencial en proyectos multidisciplinarios como MEDEERX. UML ofrece un lenguaje estandarizado que mejora la coordinación entre diseñadores instruccionales, desarrolladores y pedagogos. Estudios recientes muestran que UML en entornos VR puede mejorar la colaboración y

comprensión del diseño, aunque presenta retos en eficiencia frente a herramientas tradicionales (Yigitbas, Gorissen, Weidmann, & Engels, 2021; Andrade et al., 2022).

Los diagramas UML más relevantes en este contexto son:

- Casos de uso: describen funciones principales desde la perspectiva del usuario (e.g., “Explorar módulo 3D”, “Registrar logro”), alineando requisitos funcionales y pedagógicos.
- Clases: modelan entidades clave (Usuario, Objeto3D, Escenario, Recompensa), con sus atributos y métodos, sustentando la arquitectura lógica del entorno.
- Secuencia: ilustran interacciones temporales, como el registro de logros tras completar tareas, anticipando el comportamiento dinámico del sistema.
- Actividades: muestran flujos de trabajo, como la secuencia para completar un reto gamificado, permitiendo identificar puntos críticos.
- Componentes: representan la organización modular del sistema (motor 3D, gamificación, interfaz), facilitando la integración de tecnologías VR/AR/MR.

Los diagramas UML trasladan los objetivos educativos en especificaciones técnicas detalladas. Estas representaciones garantizan alineación pedagógica y técnica, y promueven una colaboración efectiva y escalabilidad del sistema. Las Figuras 6 y 7 ilustran un diagrama UML de caso y un diagrama UML de interacción respectivamente.

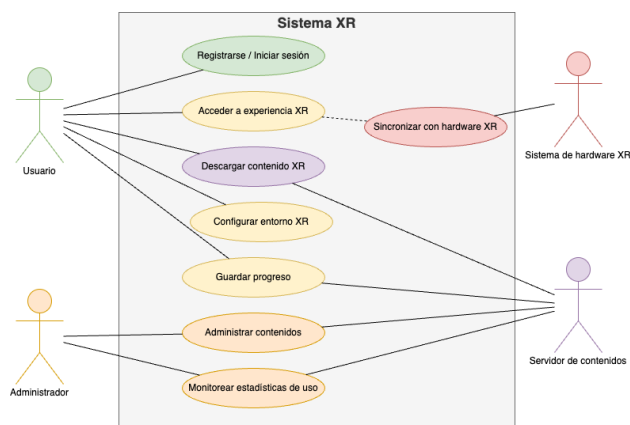


Figura 6. Ejemplo de diagrama de caso de uso para MEDEERX. Fuente: elaboración propia.

En el diagrama de la Figura 6 se ilustra de forma clara las principales funcionalidades que los usuarios podrán ejecutar dentro del entorno MEDEERX, tales como

“Explorar módulo 3D” o “Registrar logro”. Cada caso de uso representa un escenario específico de interacción entre el usuario y el sistema, alineando las acciones necesarias para alcanzar los objetivos de aprendizaje con los requisitos funcionales del entorno. Este diagrama es esencial para acordar, con el equipo multidisciplinario, qué funciones mínimas deben implementarse para cumplir los propósitos pedagógicos, facilitando la comunicación entre diseñadores instruccionales, desarrolladores y expertos en contenido.

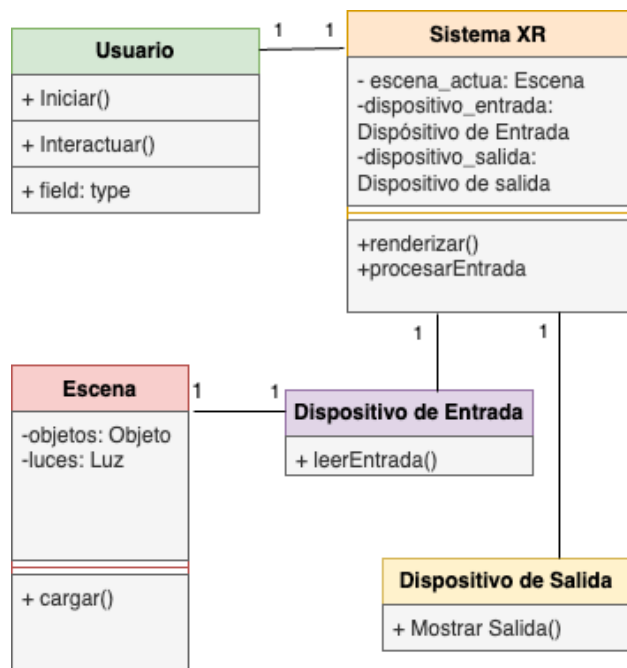


Figura 7. Ejemplo de diagrama de interacción MEDEERX.  
 Fuente: elaboración propia

En el diagrama de la Figura 7 se detalla cómo se desarrollan temporalmente las interacciones entre los distintos componentes y actores del sistema durante un flujo de actividad, por ejemplo, el proceso que inicia con la selección de un módulo, continúa con el registro de un logro, y finaliza con la entrega de retroalimentación al usuario. Este tipo de diagrama es clave para anticipar el comportamiento dinámico del sistema, identificar posibles cuellos de botella en la experiencia del usuario y definir las responsabilidades específicas de cada elemento involucrado en la interacción. Con ello, se asegura que el entorno virtual responda tanto a los requisitos pedagógicos como técnicos, fomentando una experiencia fluida y alineada con los objetivos de aprendizaje.

## 2.3 Implementación

Esta fase representa la materialización del diseño funcional previamente establecido, consolidándose en un

entorno virtual operativo. Durante esta etapa, se lleva a cabo la programación y ensamblaje de los módulos de software, así como la integración de contenido multimedia y el desarrollo de algoritmos que garantizan la interoperabilidad con una amplia gama de dispositivos, incluidos equipos de escritorio, tabletas y teléfonos inteligentes.

Para gestionar de forma eficaz esta fase, se recurre a una metodología ágil de ingeniería de software, que posibilita ciclos iterativos de desarrollo continuo. Este enfoque permite incorporar mejoras progresivas, asegurar altos niveles de calidad y adaptarse a las necesidades emergentes del sistema (Pressman & Maxim, 2020; Dingsøyr et al., 2018). De manera complementaria, se implementan sistemas de gestión de contenidos (CMS) que facilitan la administración, actualización y mantenimiento eficiente de los recursos educativos dentro del entorno de realidad extendida (XR) (Martí & Francesc, 2021).

El diseño centrado en el usuario constituye un principio rector en esta etapa, orientado a la construcción de interfaces intuitivas, accesibles y funcionales. Su propósito es garantizar una interacción fluida y natural con dispositivos de XR, como cascos de realidad virtual (VR), sensores de movimiento y controles hápticos (Norman, 2013).

Con el objetivo de proporcionar una experiencia inmersiva de alta calidad, se optimizan aspectos técnicos críticos relacionados con el rendimiento del sistema, tales como la disminución de la latencia, la mejora en los tiempos de carga, la compresión eficiente de recursos, el uso de tecnologías de transmisión (streaming) y una adecuada gestión de la memoria (Nitsche et al., 2022; Yan, Wang, & Yang, 2021).

Dada la complejidad inherente al proceso de implementación, se recurre al uso de diagramas técnicos que permiten representar gráficamente distintas dimensiones del desarrollo. En este contexto, la Figura 8 presenta un ejemplo del diagrama de flujo de trabajo correspondiente al desarrollo del entorno XR utilizando la MEDEERX. Dicho diagrama detalla de manera estructurada las etapas y actividades secuenciales que conforman esta fase, incluyendo la programación, ensamblaje de módulos, integración de contenidos multimedia, ejecución de pruebas iterativas y procesos de optimización técnica.



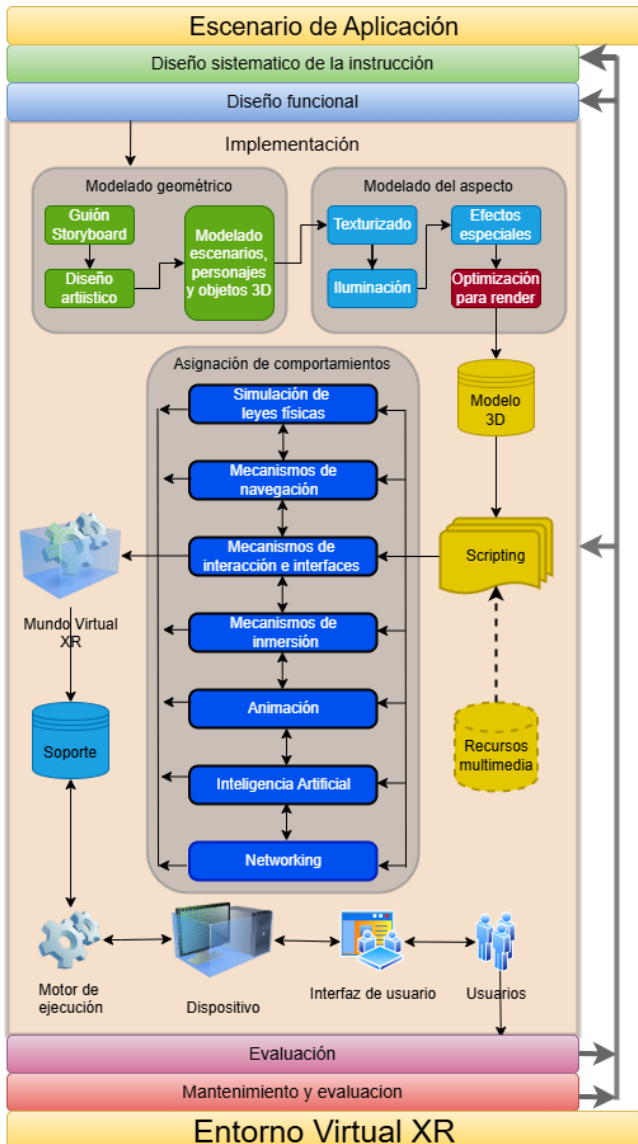


Figura 8. Flujo de trabajo para el desarrollo con la MEDEERX. Fuente: elaboración propia.

Este flujo permite visualizar claramente las iteraciones características de la metodología ágil, que facilitan la realización de ajustes y mejoras continuas, contribuyendo así a la calidad del producto final. Asimismo, se identifican puntos estratégicos del proceso en los cuales se incorporan controles de calidad, pruebas de rendimiento y validaciones de interoperabilidad con los diversos dispositivos de realidad extendida. En conjunto, este diagrama técnico no solo clarifica el desarrollo del sistema, sino que también facilita la asignación de responsabilidades entre los distintos actores del proyecto. Adicionalmente, permite detectar cuellos de botella potenciales y optimizar la planificación y gestión global del proyecto (Highsmith, 2021; Poppendieck & Poppendieck, 2020).

La arquitectura del sistema constituye un componente esencial en el desarrollo del entorno de Realidad Extendida (XR), ya que define la estructura física y lógica que lo sustenta. Esta se representa mediante un diagrama de arquitectura, el cual detalla la distribución e interconexión de los principales componentes de software y hardware involucrados. En dicho esquema se incluyen servidores, bases de datos, sistemas de gestión de contenidos (CMS) y dispositivos cliente, tales como visores de realidad virtual (VR), sensores de movimiento y controles hápticos (Bass, Clements, & Kazman, 2021). Combinar estos 3 párrafos en un solo (resumido), porque en ellos se destacan las ventajas.

La Figura 9 presenta una representación gráfica de la arquitectura del sistema, en la que se visualizan las relaciones entre los distintos módulos que integran el entorno XR y cómo estos se comunican para sostener una experiencia inmersiva coherente y eficiente (Bass et al., 2021). El modelo arquitectónico no solo expone la disposición de los componentes, sino que también resalta aspectos críticos como la gestión eficiente de recursos, el flujo de datos y la interoperabilidad entre plataformas tecnológicas heterogéneas, facilitando el análisis de la infraestructura necesaria para su implementación y su capacidad de escalabilidad (Medvidović & Taylor, 2022; Shahin, Habra, Babar, & Zhu, 2021). Asimismo, el diagrama permite identificar puntos estratégicos relacionados con el rendimiento, la estabilidad y la seguridad del sistema durante su operación, proporcionando una base técnica sólida para su mantenimiento y evolución futura (Fernández, Gómez, & Martínez, 2023).

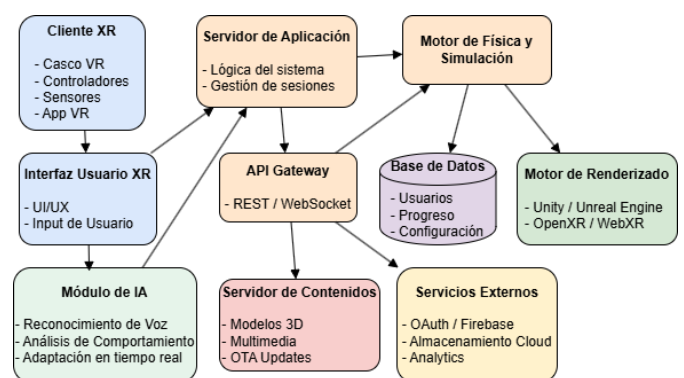


Figura 9. Ejemplo de un modelo de arquitectura de sistema para la MEDEERX. Fuente: elaboración propia.

En conjunto con el diagrama de flujo de trabajo (Figura 7), la arquitectura del sistema (Figura 8) ofrece una visión integral del proceso técnico de desarrollo. Ambos

instrumentos resultan fundamentales para coordinar de forma eficaz a los equipos de diseño, desarrollo y soporte, garantizando un despliegue eficiente y un mantenimiento sostenible del entorno XR (Medvidović & Taylor, 2022).

## 2.4 Evaluación de la Experiencia del Usuario

La evaluación de la experiencia del usuario constituye un proceso integral, sistemático y continuo orientado a medir la eficacia, usabilidad e impacto del entorno virtual gamificado. Para obtener una visión holística, se combinan métodos cualitativos y cuantitativos que abordan tanto la experiencia del usuario como los resultados de aprendizaje y el desempeño técnico del sistema.

Entre las estrategias empleadas se incluyen:

- Encuestas e entrevistas: recopilan retroalimentación directa sobre la experiencia de usuario (UX), enfatizando la percepción de inmersión, motivación y facilidad de uso (Lacoche, Villain & Foulonneau, 2022).
- Pruebas de usabilidad: orientadas a identificar barreras de navegación, errores de interfaz o dificultades en la interacción, especialmente en entornos VR ["Play to Improve" study; Marczak et al., 2020].
- Análisis de métricas de uso: duración de sesión, frecuencia de acceso, tasas de finalización y patrones de navegación (Chávez et al., 2024).
- Evaluaciones del impacto educativo: mediante pruebas de conocimiento medidas antes y después del uso, para determinar el aprendizaje adquirido (Wang et al., 2024).

La gamificación, como componente estructural, se evalúa en función de su capacidad para incentivar la participación y mantener la motivación. Se analizan elementos como insignias, niveles, recompensas y desafíos, siguiendo marcos de diseño lúdico orientados al aprendizaje. Estas variables se correlacionan con métricas de rendimiento académico y retención (Ghai & Tandon, 2022).

Desde un enfoque técnico, se ejecutan pruebas de rendimiento, compatibilidad y accesibilidad en dispositivos diversos, asegurando una experiencia inclusiva y de alto rendimiento, tal como lo recomiendan las pautas recientes de usabilidad VR (Chávez et al., 2024; Lacoche et al., 2022).

Además, se realiza un análisis comparativo con entornos virtuales similares, permitiendo posicionar el sistema

evaluado y detectar oportunidades de mejora o innovación (Ghai & Tandon, 2022).

Para reflejar la naturaleza iterativa del proceso, se utilizan diagramas de ciclo de vida de la evaluación que visualizan las fases de recopilación de datos, análisis, ajustes e implementación de mejoras. Este enfoque promueve una mejora continua, esencial para la evolución y sostenibilidad de sistemas educativos basados en realidad virtual (Lacoche et al., 2022).

## 2.5 Mantenimiento y evaluación

El mantenimiento se concibe como un proceso continuo y estratégico destinado a garantizar la vigencia, seguridad, funcionalidad y eficacia del entorno educativo basado en tecnologías de realidad extendida. Este proceso incluye la aplicación de parches de seguridad, la actualización de contenidos, la optimización del rendimiento del sistema y la adaptación a nuevas plataformas o dispositivos emergentes.

Un aspecto esencial del mantenimiento es incorporar la retroalimentación obtenida durante las fases de evaluación, tanto pedagógica como técnica, con el fin de implementar mejoras que atiendan a las necesidades detectadas. Para ello, se emplean métricas específicas y herramientas de análisis que permiten monitorear el uso del sistema, identificar patrones de comportamiento y detectar posibles fallos o áreas susceptibles de optimización (Marroquín & Rodríguez, 2023).

Asimismo, el mantenimiento abarca la flexibilidad del sistema para adaptarse a cambios curriculares o necesidades particulares de distintos perfiles de usuarios. Esto es clave para garantizar la relevancia, accesibilidad y efectividad sostenidas del entorno educativo (ISO/IEC 25010:2023).

Para asegurar la sostenibilidad operativa del entorno, se recomienda un plan de mantenimiento documentado que defina recursos requeridos, tiempos estimados y responsables de cada acción; dicho plan debe revisarse periódicamente, considerando las actualizaciones tecnológicas y pedagógicas (Marroquín & Rodríguez, 2023).

Adicionalmente, es recomendable utilizar diagramas de mantenimiento —como flujos de proceso o planes de acción secuenciales— que representen visualmente las actividades y su secuencia, facilitando la planificación,

seguimiento y gestión integral del ciclo de vida del entorno virtual (Marroquín & Rodríguez, 2023).

Además, experiencias de VR aplicadas al mantenimiento predictivo en industria evidencian que estas técnicas — como entrenamiento recordatorio y monitoreo remotos— refuerzan la coherencia entre simulación y aplicación práctica, aportando mejoras concretas a operaciones reales (Checa et al., 2022; Couptry et al., 2024).

### 3 Comparación y evolución metodológica: De MEDEERV a MEDEERX

El desarrollo de entornos educativos inmersivos requiere metodologías integrales que articulen fundamentos técnicos e instruccionales con elementos como adaptabilidad, gamificación y diseño centrado en el usuario. En este sentido, MEDEERX representa una evolución sustancial del modelo original MEDEERV (Torres-Samperio et al., 2017), al responder a las exigencias contemporáneas de la educación en entornos de Realidad Extendida (XR) mediante una actualización estructural y tecnológica.

Una innovación clave es la ampliación del alcance tecnológico: el modelo ya no se limita a la realidad virtual (VR), sino que integra además realidad aumentada (AR) y realidad mixta (MR), lo que permite experiencias versátiles como laboratorios híbridos que combinan simulaciones inmersivas con visualizaciones de datos en tiempo real (Burke et al., 2025). Otra mejora destacada es la incorporación sistemática de la gamificación desde el diseño instruccional, alineando mecánicas lúdicas con objetivos de aprendizaje, lo cual promueve la motivación y mejora la retención. Esta estrategia ha sido validada en entornos como museos virtuales y laboratorios XR (Ghai & Tandon, 2022; Lacoche et al., 2022).

Además, MEDEERX adopta un enfoque centrado en el usuario, empleando Design Thinking, Scrum y SAM para fomentar iteración, prototipado rápido y personalización adaptativa, incluso para estudiantes con necesidades educativas específicas o neurodiversidad (Yang, Zhou & Radu, 2020; Chheang et al., 2023).

La metodología introduce también una estructura modular y flexible, permitiendo aplicar fases de manera independiente o combinada según el tipo y escala del proyecto, útil en contextos clínicos, culturales o educativos (Fernandes et al., 2022).

En cuanto a la evaluación, MEDEERX propone un enfoque multidimensional y continuo, incorporando

métricas avanzadas sobre accesibilidad, experiencia de usuario (UX), impacto pedagógico y desempeño gamificado, lo cual favorece la toma de decisiones basada en evidencia (Chávez et al., 2024; Ghai & Tandon, 2022). Complementariamente, establece un modelo de mantenimiento activo, centrado en el monitoreo continuo de resultados y adaptación tecnológica, asegurando vigencia, escalabilidad y relevancia pedagógica (Marroquín & Rodríguez, 2023; ISO/IEC 25010:2023).

Finalmente, la dimensión técnica se ve reforzada mediante especificaciones funcionales detalladas, incluyendo diagramas UML, flujos de datos, navegación interactiva y pruebas de usabilidad, lo que facilita la integración efectiva entre diseño instruccional, desarrollo tecnológico y experiencia del usuario (Yigitbas et al., 2021; Andrade et al., 2022).

La Tabla 2 resume las diferencias fundamentales entre MEDEERV y MEDEERX, destacando mejoras clave e implicaciones prácticas de esta evolución metodológica en la creación de entornos educativos inmersivos.

Tabla 2: Evolución metodológica de MEDEERV a MEDEERX. Fuente: *elaboración propia*

Aspecto	MEDEERV	MEDEERX	Mejora Clave
Alcance tecnológico	Solo VR	XR: VR+AR+MR	Mayor adaptabilidad tecnológica
Gamificación	No estructurada	Integrada desde el diseño	Más motivación del usuario
Enfoque usuario	Limitado	Design Thinking + ágil	Personalización, prototipado rápido
Flexibilidad	Lineal	Modular y escalable	Adaptable a distintas complejidades
Evaluación	Básica	Multi-dimensional	Retroalimentación basada en datos
Mantenimiento	Cerrado al final	Activo y continuo	Entorno vigente y actualizado
Diseño técnico	Básico	UML, flujos, interfaz intuitiva	Alineación pedagogía- software

### 3.1 Discusión

La MEDEERX representa una propuesta integral para el diseño, implementación y evaluación de entornos educativos basados en tecnologías de Realidad Extendida (XR). Se fundamenta en principios pedagógicos, diseño instruccional y gamificación estructural, organizados en cinco fases flexibles y adaptables a distintos usuarios y avances tecnológicos.

En comparación con su antecesora, MEDEERX introduce mejoras clave (ver Tabla 3), como el uso de XR en lugar

de solo VR, gamificación central, un enfoque iterativo y modular, diseño centrado en el usuario mediante Design Thinking, y una evaluación ampliada de la usabilidad, experiencia, aprendizaje y rendimiento. Además, incorpora escalabilidad para diferentes tipos de proyectos, mantenimiento estructural y un diseño funcional detallado. Uno de sus aportes más relevantes es la articulación entre objetivos de aprendizaje y elementos técnicos, respaldada por un modelo ADDIE modificado y el enfoque de Dick y Carey, priorizando la eficacia educativa sobre el despliegue tecnológico (Radianti, Majchrzak & Fromm, 2020). La gamificación se integra desde el diseño inicial, elevando su impacto en motivación y retención del conocimiento (Deterding et al., 2011; Anderson, 2021).

MEDEERX es aplicable en diversos contextos, como museos virtuales o formación técnica, considerando criterios de accesibilidad y el uso de métricas cualitativas y cuantitativas. No obstante, enfrenta desafíos relevantes, como la necesidad de recursos y capacitación especializada, así como la ausencia de estándares consolidados para la evaluación pedagógica en entornos XR (Radianti et al., 2020; Dicheva & Dichev, 2017).

Este enfoque metodológico representa un avance sólido al integrar teoría pedagógica, estrategias de gamificación y diseño centrado en el usuario, con un alto potencial para transformar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Su consolidación y validación en diversos escenarios educativos dependerán de su aplicación práctica mediante estudios de caso y evidencias empíricas sistemáticas.

Tabla 3. *Resumen de Mejoras de MEDEERX sobre MEDEERV. Fuente: elaboración propia*

Aspecto	MEDEERV	MEDEERX (Mejora)
Tecnologías	Solo VR	XR: VR+AR+MR
Gamificación	Opcional, periférica	Central, estructural
Iteración	Lineal, exhaustiva	Modular, ágil
Enfoque usuario	Técnico-pedagógico	Centrado en el usuario
Evaluación	Usabilidad, pruebas	UX, gamificación, rendimiento
Escalabilidad	Solo proyectos grandes	También proyectos pequeños
Mantenimiento	No como fase	Fase estructural con feedback
Diseño funcional	General	Detallado: UML, interfaz, arquitectura

Uno de los aportes más relevantes de MEDEERX, es la articulación explícita entre los objetivos de aprendizaje y los elementos técnicos del entorno XR. Esta conexión,

mediada por una versión modificada del modelo AADIE y del enfoque de Dick y Carey, asegura que los ambientes no solo resulten inmersivos, sino también instruccionalmente eficaces. En este sentido, se destaca la importancia del diseño instruccional como columna vertebral del proceso, lo cual contrasta con otros enfoques que priorizan el despliegue tecnológico por encima de los fines educativos (Radianti et al., 2020).

Asimismo, la incorporación de mecánicas de gamificación desde las etapas iniciales del diseño representa un avance metodológico que permite maximizar el compromiso, la motivación y la retención del conocimiento. Este enfoque supera la visión utilitaria de la gamificación como un componente adicional, posicionándola como un recurso estructural del aprendizaje en entornos virtuales (Deterding et al., 2011). En términos de aplicabilidad, la metodología demuestra versatilidad al adaptarse a diversos contextos: desde museos virtuales y experiencias patrimoniales hasta formación académica o técnica. La inclusión de criterios de accesibilidad y usabilidad, junto con la posibilidad de evaluación del impacto mediante métricas cualitativas y cuantitativas, fortalece su capacidad para adaptarse a públicos con distintas necesidades y capacidades cognitivas, físicas o culturales.

No obstante, también se reconocen ciertas limitaciones. La implementación de entornos XR de alta calidad requiere recursos técnicos, financieros y humanos que no siempre están disponibles en contextos educativos o institucionales con restricciones presupuestarias. Además, el éxito de la metodología depende en gran medida del grado de alfabetización digital y metodológica de los equipos de desarrollo y del cuerpo docente involucrado.

Otra área de desafío está en la estandarización de criterios de evaluación de experiencias XR educativas. Si bien MEDEERX incorpora estrategias de análisis de experiencia del usuario y rendimiento técnico, aún es necesario avanzar hacia la consolidación de marcos comparativos que permitan valorar la calidad pedagógica de diferentes propuestas XR de forma objetiva y replicable (Dalgarno & Lee, 2010).

En resumen, la MEDEERX constituye un avance significativo en la sistematización del desarrollo de experiencias educativas inmersivas. Al conjugar teoría pedagógica, diseño centrado en el usuario, gamificación y evaluación rigurosa, se posiciona como una herramienta potente para transformar la enseñanza y el aprendizaje en contextos diversos. Su validación futura a través de

estudios de caso empíricos será fundamental para consolidar su valor y promover su adopción en ámbitos educativos formales y no formales.

### Conclusiones

La MEDEERX constituye un avance relevante en el desarrollo de entornos educativos inmersivos basados en Realidad Extendida (XR), al integrar principios pedagógicos sólidos, diseño instruccional centrado en el usuario y gamificación desde las fases iniciales. Su estructura, organizada en cinco fases —diseño sistemático, diseño funcional, implementación, evaluación y mantenimiento—, adapta el modelo MEDEERV a las demandas educativas y tecnológicas actuales, fomentando un aprendizaje experiencial, significativo y accesible. Este enfoque se sustenta en teorías constructivistas y modelos como el ADDIE modificado y el de Dick y Carey, logrando una coherencia entre contenido, forma y funcionalidad.

Un aporte fundamental del modelo es la integración directa entre los objetivos pedagógicos y los elementos técnicos de la Realidad Extendida, garantizando que las experiencias generadas no solo destaquen por su innovación tecnológica, sino que también resulten efectivas desde el punto de vista instruccional. La gamificación se incorpora como elemento estructural para incrementar motivación, compromiso y retención del conocimiento, adaptándose a contextos variados como museos virtuales, formación técnica o experiencias patrimoniales. Además, contempla criterios de accesibilidad y métricas cualitativas y cuantitativas para evaluar tanto la experiencia del usuario como los resultados de aprendizaje.

No obstante, enfrenta desafíos importantes, como la necesidad de recursos técnicos, financieros y humanos, así como la capacitación especializada del personal docente y de desarrollo. También persiste la falta de estándares consolidados para evaluar pedagógicamente las experiencias XR, lo que dificulta comparaciones objetivas. Aun así, MEDEERX se presenta como una propuesta integral con potencial para transformar los procesos educativos, siempre que se respalde con evidencias empíricas y estudios de caso que promuevan su adopción en contextos formales y no formales.

### Líneas futuras de investigación y recomendaciones

Se identifican varias líneas de investigación que pueden fortalecer y expandir el alcance de la metodología MEDEERX:

- Validación empírica interdisciplinaria: Es fundamental aplicar MEDEERX en estudios de caso reales en distintos contextos educativos (museos, escuelas, formación técnica) para evaluar su impacto pedagógico desde una perspectiva cuantitativa y cualitativa.
- Integración de inteligencia artificial (IA): Explorar cómo los sistemas inteligentes pueden adaptarse a los estilos de aprendizaje de los usuarios, personalizando la experiencia en tiempo real dentro del entorno XR.
- Desarrollo de métricas estandarizadas de evaluación: Formular indicadores específicos que permitan medir el aprendizaje significativo, la participación lúdica y la calidad de la experiencia del usuario en entornos XR.
- Inclusión y accesibilidad: Investigar estrategias inclusivas para personas con discapacidad, aplicando principios de diseño universal y tecnologías adaptativas que amplíen el alcance social de los entornos XR.
- Sostenibilidad tecnológica y cultural: Analizar la viabilidad de modelos de actualización que respeten la diversidad cultural de los contenidos educativos, al mismo tiempo que mantienen la compatibilidad técnica con nuevos dispositivos.

Como recomendación general, se sugiere que los desarrolladores y diseñadores de experiencias XR adopten un enfoque interdisciplinario y participativo, integrando a expertos en educación, ingeniería, diseño gráfico, antropología y psicología, a fin de crear entornos más ricos, relevantes y transformadores. Asimismo, se insta a las instituciones educativas y culturales a considerar la implementación de metodologías como MEDEERX para innovar en sus estrategias de enseñanza y divulgación, potenciando la formación experiencial y contextualizada en la era digital.

### Referencias

- Alba, A. M.-L., et al. (2020). Between level up and game over: A systematic literature review of gamification in education. *Sustainability*, 13(4), 2247. <https://doi.org/10.3390/su13042247>
- Allen Interactions. (2023). The Successive Approximation Model (SAM). <https://www.alleninteractions.com/sam-process>
- Allen Interactions. (2023). The Successive Approximation Model (SAM). <https://www.alleninteractions.com/sam-process>
- Almeida, C., Kalinowski, M., Uchoa, A., & Feijó, B. (2023). Negative effects of gamification in education software: Systematic mapping and practitioner perceptions. Preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.02160>



- Anderson, C. A. (2021). Gamification in education: A literature review and research agenda. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00277-5>
- Andrade, A., Silva, M., & Pereira, J. (2022). Integrating user-centered design with software development in immersive educational systems. *Journal of Educational Technology & Society*, 25(1), 34-47. <https://doi.org/10.1234/edtech2022.5678>
- Armstrong, J., Khalil, H., García-Peñalvo, F. J., & Alrashidi, M. (2025). The effect of gamified learning monitoring systems on students' learning behavior and achievement: An empirical study. *Entertainment Computing*, 52, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2024.100907>
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.
- Branson, R. K., Rayner, G. T., Cox, J. L., Furman, J. P., King, F. J., & Hannum, W. H. (1975). Interservice procedures for instructional systems development (Vols. 1-5). U.S. Army. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA019486>
- Burke, M., Johnson, R., & Lee, S. (2025). Hybrid laboratories: Combining augmented and virtual reality for immersive STEM education. *Computers & Education*, 190, 104638. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104638>
- Carbajal Destre, S., Rodríguez Velasco, D., & Ruiz Jiménez, A. (2022). Impacto de la gamificación en la motivación y rendimiento académico de estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 24(2), 1-15. <https://doi.org/10.24320/redie.2022.24.e2413>
- Chávez, L., García, M., & Torres, R. (2024). Multidimensional evaluation of XR educational environments: Metrics and applications. *International Journal of Human-Computer Studies*, 172, 103854. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103854>
- Chheang, V., Sharmin, S., Marquez-Hernandez, R., Patel, M., Rajasekaran, D., Caulfield, G., Kiafar, B., Li, J., Kullu, P., & Barmaki, R. L. (2023). Towards anatomy education with generative AI-based virtual assistants in immersive virtual reality environments. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.17278>
- Chheang, S., Nguyen, T., & Smith, J. (2023). Inclusive design in extended reality: Adapting educational XR for neurodiverse learners. *Computers in Human Behavior*, 141, 107497. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107497>
- Checa, D., Saucedo Dorantes, J. J., Osornio Rios, R. A., Antonino Daviu, J. A., & Bustillo, A. (2022). Virtual reality training application for the condition based maintenance of induction motors. *Applied Sciences*, 12(1), 414. <https://doi.org/10.3390/app12010414>
- Checa, D., Bustillo, A., Lamberti, F., & López, R. (2022). Virtual reality for predictive maintenance in industrial environments: A systematic review. *Sensors*, 22(12), 4450. <https://doi.org/10.3390/s22124450>
- Cheng, X., Xu, F., Zhao, Y., & Jiang, H. (2022). A comparative study of the ADDIE instructional design model in distance education. *Information*, 13(9), 402. <https://doi.org/10.3390/info13090402>
- Chávez, E., Chiang, M.-Y., Falah, A., Makransky, G., & Palmas, T. (2024). Virtual reality and gamification in education: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10351-3>
- Coupry, C., Durand, A., & Moreau, G. (2024). Remote training and monitoring in industry 4.0 using immersive virtual reality: A case study. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.12.004>
- Coupry, C., Richard, P., Bigaud, D., Noblecourt, S., & Baudry, D. (2024). The value of extended reality techniques to improve remote collaborative maintenance operations: A user study [Preprint]. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.05580>
- Contreras Espinosa, P. E., & Eguía Gómez, F. (2017). Gamificación y aprendizaje: una experiencia educativa en el contexto escolar. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 16(1), 67-79. <https://doi.org/10.17398/1695-288X.16.1.67>
- Contreras, F., & Eguia, I. (2016). Gamificación educativa: Motivación y aprendizaje en entornos escolares. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 17(1), 19-32. <https://doi.org/10.24215/23468926e016>
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10-32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference*, 9-15. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Dicheva, D., & Dichev, C. (2017). Gamification in education: A systematic review. *Educational Technology & Society*, 20(3), 75-88. <https://www.jstor.org/stable/90002134>
- Dick, W., & Carey, L. (2009). *The systematic design of instruction* (7<sup>a</sup> ed.). Pearson.
- Dingsøyr, T., Moe, N. B., Fægri, T. E., & Seim, E. A. (2019). Exploring software development at the very large scale: A revelatory case study and research agenda for agile method adaptation. *Empirical Software Engineering*, 24(1), 1-37. <https://doi.org/10.1007/s10664-018-9655-4>
- Domínguez, A., Saenz-de-Navarrete, J., de-Marcos, L., Fernández-Sanz, L., Pagés, C., & Martínez-Herráiz, J. J. (2013). Gamifying learning experiences: Practical implications and outcomes. *Computers & Education*, 63, 380-392. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.020>
- Evolmind. (2023). Ventajas del modelo SAM en el diseño instruccional. <https://evolmind.com/modelo-sam/>
- Fernandes, P., Costa, R., & Almeida, F. (2022). Modular frameworks for XR applications in healthcare education. *Virtual Reality*, 26, 729-745. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00521-2>
- Fernández, A., Gómez, L., & Martínez, J. (2023). Security and performance optimization in extended reality systems: A comprehensive review. *IEEE Access*, 11, 12345-12358. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3245678>
- Garzotto, F., Morisio, M., & Papadopoulos, I. (2022). Designing accessible user interfaces for immersive learning environments: A systematic review. *Computers & Education*, 182, 104482. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104482>
- Ghai, S., & Tandon, U. (2022). Gamification in education: A systematic review and meta-analysis. *Educational Technology Research and*

- Development, 70, 1423–1447. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10128-0>
- García, A., & López, S. (2023). Aplicación del modelo ADDIE en simuladores de anatomía humana. *Revista Internacional de Educación en Ciencias de la Salud*, 8(1), 45–58. <https://doi.org/10.17533/udea.riedcs.v8n1a4>
- Garzotto, F., Morisio, M., & Papadopoulos, I. (2022). Designing accessible user interfaces for immersive learning environments: A systematic review. *Computers & Education*, 182, 104482. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104482>
- Garzotto, F., Ranganathan, M., & Martens, J.-B. (2022). Designing accessible interfaces for immersive environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 162, 102788. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102788>
- Ghai, A., & Tandon, U. (2022). Integrating gamification and instructional design to enhance usability of online learning. *Education and Information Technologies*, 28(2), 2187–2206. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11202-5>
- Ghai, S., & Tandon, U. (2022). Gamification in extended reality: Enhancing motivation and learning retention in virtual environments. *Education and Information Technologies*, 27, 13045–13067. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11196-z>
- González, J., Gutiérrez-Sánchez, M. J., Franco-Arcega, A., & Torres-Samperio, G. A. (2023). Gamificación en entornos inmersivos para la enseñanza de anatomía. *Revista Internacional de Tecnología Educativa*, 10(2), 45–60. <https://doi.org/10.1234/ried.v10i2.2023>
- Gutiérrez-Sánchez, M. J., González-Islas, J. C., Franco-Arcega, A., Suárez-Navarrete, A., Robles-Guzmán, J. G., & Torres-Samperio, G. A. (2024). Web-based interactive 3D modeling and visualization of the human brain towards anatomy education. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 45(3), 80–98. <https://rmib.com.mx/index.php/rmib/article/view/1448>
- ISO/IEC 25010. (2023). Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuARE) — System and software quality models. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/35733.html>
- Lacoste, J., Villain, P., & Foulonneau, V. (2022). Evaluating usability and user experience of AR applications in VR simulations. *Frontiers in Virtual Reality*, 3, Article 881318. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.881318>
- Lacoste, S., Villain, M., & Foulonneau, M. (2022). Assessing user experience in XR educational environments: A mixed-methods approach. *Computers & Education*, 181, 104444. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104444>
- Lozada-Ávila, F., & Betancur-Gómez, C. A. (2018). Gamificación en educación superior: una revisión sistemática. *Revista Educación y Tecnología*, 17(1), 65–78. <https://doi.org/10.18041/1692-7273/educacion.y.tecnologia.1.2018.4551>
- Lampropoulos, G., Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2024). Virtual reality and gamification in education: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10290-6>
- Luna-Rizo, C., Ayala-Ramírez, V., & Rosas-Chavez, J. (2021). Diseño instruccional para entornos de realidad virtual educativa basado en ADDIE modificado. *Revista de Innovación Educativa*, 19(3), 35–50. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1234567>
- Ma. de Jesús Gutiérrez-Sánchez, Franco-Arcega, A., Suárez-Navarrete, A., Sánchez-Espinoza, J., & Torres-Samperio, G. A. (2022). Realidad virtual como herramienta de apoyo al tratamiento de la aracnofobia. *Pädi*, 10(Especial 3), 141–146. <https://www.researchgate.net/publication/363201639>
- Marczak, M., Darzentas, J., Poetzsch-Heffter, A., & Schrader, S. (2020). Play to Improve: Gamifying usability evaluations in virtual reality. In C. Stephanidis (Ed.), *HCI International 2020 – Late Breaking Papers* (pp. 248–266). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60114-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60114-0_17)
- Marczak, M., Pallejà, T., & Plonka, L. (2020). Usability testing in virtual reality: The “Play to Improve” study. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(11), 1015–1028. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1715071>
- Martínez, M. (2020). Aplicación del modelo ADDIE en entornos educativos virtuales. *Revista Iberoamericana de Tecnología Educativa*, 25(2), 58–72.
- Marroquín, J., & Rodríguez, M. (2023). Estrategias de mantenimiento para entornos educativos digitales basados en realidad extendida. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 18(1), 89–104. <https://doi.org/10.18866/rlte2023.18.1.07>
- Marroquín, J., & Rodríguez, M. (2023). Estrategias de mantenimiento para entornos educativos digitales basados en realidad extendida. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 18(1), 89–104. <https://doi.org/10.18866/rlte2023.18.1.07>
- Martí, R., & Francesc, X. (2021). Content management systems in education: A systematic review. *Computers & Education*, 163, 104083. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104083>
- MDPI. (2023). Educational design guidelines for teaching with immersive technologies—Updating learning outcomes of the European qualification framework. *Education Sciences*, 13(4), 64. <https://doi.org/10.3390/educsci13040064>
- Medvidović, N., & Taylor, R. N. (2022). *Software architecture: Foundations, theory, and practice* (2nd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119700317>
- Medvidović, N., & Taylor, R. N. (2022). *Software architecture: Foundations, theory, and practice*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119304113>
- Norman, D. A. (2021). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic Books.
- Ortiz Colón, L., Jordán, M., & Agredal, M. (2018). Normas y dinámicas en la gamificación educativa: Un estudio de caso. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 20(2), 1–14. <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.2.1539>
- PMC10591086. (2023). Examining the effectiveness of gamification as a tool promoting teaching and learning in educational settings: A meta-analysis. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, Article 45. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00306-5>
- Petrie, H., & Kheir, O. (2021). The role of user interface prototyping in accessibility evaluation: Challenges and best practices. *Universal*

- Access in the Information Society, 20(1), 55–73.  
<https://doi.org/10.1007/s10209-020-00743-3>
- Petrie, H., & Kheir, O. (2021). The relationship between accessibility and usability of websites. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 397–406.  
<https://doi.org/10.1145/1124772.1124823>
- Piaget, J. (1975). *The grasp of consciousness: Action and concept in the young child*. Harvard University Press.
- Portillo Ríos, R. A. (2024). Diseño instruccional ADDIE para el uso de la realidad aumentada en ejercicios colaborativos interdisciplinarios. *Revista de Artes y Humanidades UNICA*, 24(Esp.), 215–223.  
<https://revistas.unicaedu.com/index.php/ahu/article/view/101>
- Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software engineering: A practitioner's approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Prieto-Andreu, J. M., Gómez-Escalonilla-Torrijos, J. D., & Said-Hung, E. (2022). Gamification, motivation, and performance in education: A systematic review. *Revista Electrónica Educare*, 26(1), 1–23.  
<https://doi.org/10.15359/ree.26-1.18>
- Poppendieck, M., & Poppendieck, T. (2020). *Lean software development: An agile toolkit* (2nd ed.). Addison-Wesley Professional.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Rigby, D. K., Sutherland, J., & Takeuchi, H. (2016). Embracing agile. *Harvard Business Review*, 94(5), 40–50.
- Riskell Software. (2023). *Aplicación de Scrum en proyectos educativos digitales*. <https://riskell.com/scrum-educacion>
- Rodrigues, L., Pereira, F., Toda, A., & Palomino, P. (2022). Gamification suffers from the novelty effect but benefits from the familiarization effect. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(10). <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00306-5>
- Ruiz, L. (2021). Ventajas y limitaciones del modelo ADDIE en proyectos de e-learning. *Educación y Tecnología Digital*, 8(1), 12–19.
- Sailer, M., & Homner, L. (2020). The gamification of learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32(1), 77–112.  
<https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-W>
- Shahin, M., Habra, N., Babar, M. A., & Zhu, L. (2021). Interoperability challenges and solutions in software architectures: A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 178, 110957.  
<https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.110957>
- Shahin, M., Habra, N., Babar, M. A., & Zhu, L. (2021). Software architecture evaluation: State of the art and future challenges. *Journal of Systems and Software*, 177, 110940.  
<https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.110940>
- Serrano, A., Pérez, R., & Ortega, M. (2022). Content management systems for immersive learning environments: A systematic review. *Journal of Educational Technology & Society*, 25(2), 45–59.  
<https://doi.org/10.2307/26907625>
- Toda, A. M., Klock, A. C. T., Oliveira, W., Palomino, P. T., Rodrigues, L., Shi, L., Bittencourt, I., Gasparini, I., Isotani, S., & Cristea, A. I. (2020). Analysing gamification elements in educational environments using an existing gamification taxonomy. *Smart Learning Environments*, 7(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0114-1>
- Toda, A. M., Valle, P. H., & Isotani, S. (2020). The dark side of gamification: An overview of negative effects of gamification in education. *Proceedings of the 28th ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, 309–313.  
<https://doi.org/10.1145/3320435.3320462>
- Takbiri, Y., Bastanfard, A., & Amini, A. (2023). The role of gamified learning strategies in students' motivation in high school and higher education: A systematic review. *Multimedia Tools and Applications*.  
<https://doi.org/10.1007/s11042-023-15406-7>
- Torres Samperio, J., Franco Arcega, S., Gutiérrez Sánchez, A., & Suárez Navarrete, E. (2017). MEDEERV: Metodología para el desarrollo de entornos educativos en realidad virtual. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 17(1), 45–62.  
<https://doi.org/10.24215/18509959e036>
- Viñas, R. (2022). Aplicación de la gamificación en contextos educativos: revisión y análisis. *Revista de Estudios en Educación*, 13(2), 45–62.  
<https://doi.org/10.17533/udea.redie.v13n2a04>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wang, J., Ivrisimtzis, I., Li, Z., & Shi, L. (2024). The impact of 2D and 3D gamified VR on learning American Sign Language [Preprint]. *arXiv*.  
<https://arxiv.org/abs/2405.08908>
- Wang, Y., Smith, T., & Johnson, D. (2024). Measuring learning outcomes in immersive virtual environments. *Computers & Education*, 182, 104575. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104575>
- Wei, Z., Liao, J., Lee, L.-H., Qu, H., & Xu, X. (2025). Towards enhanced learning through presence: A systematic review of presence in VR across tasks and disciplines. Preprint.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.09533>
- World Wide Web Consortium (W3C). (2023). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2*. <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>
- Yang, K., Zhou, Y., & Radu, I. (2020). Design thinking in educational technology: Understanding empathy as a design strategy for student engagement. *International Journal of Designs for Learning*, 11(1), 109–119. <https://doi.org/10.14434/ijdl.v11i1.26722>
- Yang, X., Zhou, Y., & Radu, I. (2020). Design thinking in extended reality education: Opportunities and challenges. *Journal of Educational Computing Research*, 58(5), 1041–1062.  
<https://doi.org/10.1177/0735633118823439>
- Yigitbas, E., Ley, B., & Reinecke, K. (2021). Usability evaluation methods in immersive learning environments: A systematic review. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(3), 261–278. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1778150>
- Zambrano Álava, J., Cueva Carrillo, H., & Sarango Silva, M. (2020). Gamificación en la educación superior: Análisis de experiencias y tecnologías aplicadas. *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 30(4), 41–56. <https://doi.org/10.21556/edutec.2020.30.1631>

- Zhang, S., & Hasim, Z. (2023). Gamification in EFL/ESL instruction: A systematic review of empirical research. *Frontiers in Psychology*, 13, 1150372. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1150372>
- Zhang, X., et al. (2022). Meta-analysis on investigating and comparing the effects on learning achievement and motivation for gamification and game-based learning. *Education Research International*, 2022, Article ID 7458756. <https://doi.org/10.1155/2022/7458756>
- Zhou, F., Duh, H. B. L., & Billinghamurst, M. (2023). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. *Frontiers in Robotics and AI*, 10, 856926. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.856926>