

GUIA PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN BÁSICA, APLICA, DESARROLLO EXPERIMENTAL O CREACIÓN

Título del proyecto: Diseño, Desarrollo y Evaluación de un Videojuego Educativo en Realidad Virtual Inmersiva para la Enseñanza de Conceptos Fundamentales de Física I en Educación Superior: Un Enfoque Basado en Diseño Centrado en el Usuario y Validación Experimental

Tipo: Investigación básica ☐ **Investigación aplicada** ☐ **Innovación y desarrollo tecnológico** ☐ **Investigación Creación** ☒

CONTENIDO DEL PROYECTO

1. RESUMEN DEL PROYECTO:

La Realidad Virtual Inmersiva (RVI) representa una oportunidad tecnológica y pedagógica emergente para transformar la forma en que los estudiantes interactúan con los conceptos de la física. Al permitir la creación de entornos tridimensionales interactivos, la RVI ofrece experiencias de aprendizaje multisensoriales en las que los estudiantes no solo observan, sino que manipulan y experimentan directamente con los fenómenos. Esta interacción en primera persona promueve la comprensión intuitiva de principios abstractos, mejora el involucramiento afectivo y cognitivo, y facilita la construcción de modelos mentales sólidos. En respuesta a esta necesidad, el presente proyecto propone el diseño, desarrollo y evaluación de un videojuego educativo en RVI, orientado a la enseñanza de fenómenos clave de Física I mediante una experiencia inmersiva y didácticamente intencionada.

El videojuego estará estructurado en torno a tres mecánicas de juego, cada una alineada con contenidos fundamentales del curso: (1) dinámica newtoniana sin fricción, mediante manipulación libre de objetos con controladores VR; (2) conservación de la energía mecánica, a través de un sistema de deslizamiento en una rampa inclinada que permite observar la conversión entre energía potencial y cinética; y (3) movimiento armónico simple, mediante un péndulo interactivo que incorpora retroalimentación visual y auditiva, permitiendo explorar relaciones entre periodo, amplitud y aceleración.

El proceso de diseño adoptará una metodología de Diseño Centrado en el Usuario (DCU), en la que estudiantes de ingeniería participarán activamente en entrevistas contextuales, sesiones de cocreación, prototipado colaborativo y validación temprana. Esta primera fase permitirá consolidar una versión funcional del videojuego alineada con los perfiles cognitivos y motivacionales de los usuarios finales, integrando contenidos conceptuales, mecánicas lúdicas y soporte pedagógico.

Posteriormente, se llevarán a cabo cuatro ciclos iterativos de playtesting, con el propósito de refinar aspectos relacionados con la inmersión, la claridad visual, la asistencia pedagógica y la representación conceptual. Participarán 20 personas (10 estudiantes y 10 docentes del área de Física), distribuidas en dos ciclos por tipo de usuario. Estas sesiones permitirán identificar errores de diseño, ambigüedades en la interacción y barreras en la experiencia de juego. La retroalimentación recolectada será utilizada exclusivamente para optimizar la jugabilidad y la adecuación pedagógica del entorno virtual. No se aplicarán instrumentos estandarizados en esta etapa, dado que su objetivo es exclusivamente formativo y de ajuste interno.

Una vez completado el proceso de optimización, se ejecutará un estudio piloto cuasiexperimental con 25 estudiantes universitarios, para evaluar preliminarmente el impacto del videojuego en el aprendizaje conceptual y la experiencia de usuario. Este estudio incluirá tres momentos de medición: un pretest conceptual, una sesión individual de interacción con el entorno RVI, y un posttest inmediato. Además, se recopilarán métricas internas del sistema (tiempo de ejecución, errores, niveles alcanzados) y se aplicarán

instrumentos estandarizados ampliamente validados, tales como el *Immersive Experience Questionnaire (IEQ)*, el *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)*, la *System Usability Scale (SUS)* y la *NASA-TLX* para carga cognitiva. Tres meses después, se aplicará un posttest diferido para evaluar la retención del conocimiento.

En la parte final, se llevará a cabo un Ensayo Controlado Aleatorizado (*Randomized Controlled Trial*, RCT) con 60 estudiantes asignados aleatoriamente a dos condiciones: grupo control (clase magistral) y grupo experimental (clase magistral + videojuego). Ambos grupos serán evaluados mediante pruebas conceptuales estandarizadas en tres momentos (pretest, posttest inmediato y posttest de retención), junto con los mismos instrumentos de experiencia utilizados en el piloto, aplicados únicamente al grupo experimental. El análisis estadístico incluirá pruebas t, ANOVA mixto de medidas repetidas y análisis de correlación entre variables de experiencia (inmersión, motivación, carga cognitiva) y desempeño académico.

Este proyecto combina metodologías rigurosas de diseño interactivo, investigación educativa cuantitativa y evaluación empírica de tecnologías inmersivas, con el fin de generar evidencia robusta sobre la eficacia de la RVI como herramienta pedagógica complementaria para la enseñanza conceptual de la física en educación superior.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Física en el contexto universitario, especialmente en programas de ingeniería, enfrenta retos persistentes que comprometen la apropiación significativa del conocimiento. Estudios recientes han documentado las dificultades que tienen los estudiantes para construir representaciones mentales sólidas de conceptos abstractos como la fuerza, la energía y el movimiento [1], lo cual se traduce en bajos niveles de comprensión, desmotivación sostenida y escasa retención a largo plazo. A pesar de la incorporación de metodologías activas como el aprendizaje basado en problemas o el uso de laboratorios, la enseñanza de la física sigue estando dominada por modelos pedagógicos tradicionales centrados en clases magistrales y resolución de ejercicios matemáticos [2], [3], prácticas que, si bien son necesarias, resultan insuficientes para fomentar una comprensión profunda de los fenómenos.

Este escenario se ve agravado por condiciones estructurales como la limitación del espacio físico, la baja disponibilidad de recursos experimentales, y la dificultad para establecer puentes entre la teoría formal y la experiencia perceptiva [4], [5]. Como consecuencia, los estudiantes suelen enfrentar obstáculos para conectar las leyes físicas con situaciones del mundo real, lo que debilita su capacidad para transferir el conocimiento adquirido a contextos aplicados. En este sentido, resulta urgente desarrollar estrategias pedagógicas que, más allá del soporte tecnológico, estén guiadas por principios didácticos sólidos y respondan a las necesidades cognitivas, afectivas y contextuales de los estudiantes.

La RVI ha sido identificada como una tecnología educativa emergente con alto potencial para transformar la enseñanza de disciplinas STEM [6]. A diferencia de los recursos digitales convencionales, la RVI permite a los estudiantes sumergirse en entornos tridimensionales interactivos, donde pueden manipular variables físicas, observar resultados en tiempo real y experimentar los fenómenos desde una perspectiva en primera persona [7], [8]. Esta inmersión sensorial y cognitiva ha demostrado efectos positivos en la motivación, la percepción de presencia y el rendimiento académico, siempre que se integre con una intencionalidad pedagógica clara [9], [10].

Metaanálisis y revisiones sistemáticas han reportado que las experiencias educativas basadas en RVI superan en efectividad a los métodos tradicionales y a las simulaciones bidimensionales en cuanto a comprensión conceptual, retención del conocimiento y transferencia a contextos reales [11], [12]. Estos beneficios se explican por la capacidad de la RVI para activar múltiples canales sensoriales, ofrecer experiencias repetibles sin riesgos físicos, y fomentar el aprendizaje exploratorio en entornos que combinan narrativa, retroalimentación inmediata y resolución de problemas. En particular, los estudios en enseñanza de la física han mostrado resultados prometedores al aplicar esta tecnología en temas como la cinemática, la dinámica y la energía [13].

No obstante, persisten vacíos críticos en la investigación. La mayoría de los desarrollos reportados se han implementado en contextos escolares o de laboratorio, con poca evidencia en situaciones reales de enseñanza universitaria [14]. Asimismo, muchas de estas propuestas adolecen de validación iterativa con usuarios finales, lo que limita su usabilidad, adecuación pedagógica y sostenibilidad. A esto se suma la falta de modelos de intervención que articulen rigurosamente principios del DCU, metodologías de evaluación empírica y fundamentos didácticos consistentes.

En este contexto, el presente proyecto plantea el diseño, desarrollo y evaluación de un videojuego educativo en Realidad Virtual Inmersiva orientado a la enseñanza de conceptos fundamentales de Física I. El desarrollo se guiará por una metodología de DCU que integrará la participación activa de estudiantes de ingeniería en etapas como entrevistas contextuales, cocreación de ideas, validación de prototipos y pruebas de concepto. Posteriormente, se realizarán cuatro ciclos de *playtesting* con estudiantes y docentes del área de Física, con el objetivo de refinar progresivamente la experiencia de juego desde una perspectiva pedagógica, conceptual, visual y de usabilidad (Ver Figura 1).



Figura 1: Estudiante interactuando con un visor de RVI

Una vez consolidado el prototipo funcional, se llevará a cabo un estudio piloto cuasi-experimental con 25 estudiantes, que incluirá mediciones antes, durante y después de la intervención, así como una evaluación de retención tres meses después. En esta etapa se aplicarán instrumentos validados. Finalmente, se realizará un RCT con 60 estudiantes.

En conjunto, este proyecto se fundamenta en la convergencia de tres enfoques clave: las tecnologías inmersivas como medio para representar fenómenos abstractos, el DCU y *playtesting* como metodologías para desarrollar soluciones educativas significativas, y la validación empírica mediante pruebas piloto y RCT que permitan generar evidencias confiables y replicables. A través de esta iniciativa, se espera aportar tanto al desarrollo de recursos innovadores para la enseñanza de la física como a la consolidación de prácticas pedagógicas basadas en evidencia en el ámbito de la educación superior.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:

2.1 Planteamiento de la pregunta o problema de investigación y su justificación en términos de necesidades y pertinencia:

La enseñanza universitaria de la Física I, particularmente en programas de ingeniería, continúa enfrentando retos estructurales en términos de comprensión conceptual, motivación estudiantil y retención a largo plazo del conocimiento. A pesar de que esta asignatura constituye un pilar fundamental para el desarrollo de habilidades analíticas y de modelado en los futuros ingenieros, múltiples estudios reportan que los enfoques pedagógicos tradicionales basados principalmente en clases magistrales y ejercicios abstractos no logran fomentar una comprensión significativa de fenómenos como la dinámica, la conservación de la energía o el movimiento oscilatorio. Esta situación se traduce en tasas elevadas de reprobación, bajo desempeño académico y escasa transferencia del conocimiento a contextos aplicados.

La incorporación de tecnologías inmersivas, como la RVI, ha mostrado resultados promisorios en el ámbito educativo, especialmente en la enseñanza de conceptos abstractos y dinámicos. La RVI permite a los estudiantes interactuar en tiempo real con entornos tridimensionales simulados, generando experiencias de aprendizaje multisensoriales que promueven mayor involucramiento, motivación y comprensión.

Sin embargo, existe una brecha entre el potencial teórico de esta tecnología y su aplicación efectiva y validada en contextos universitarios reales, particularmente en cursos de física de nivel básico. Además, son escasos los estudios que hayan abordado la construcción iterativa de videojuegos en RVI mediante metodologías de diseño centrado en el usuario y validación mediante *playtesting*, así como la evaluación sistemática de su impacto educativo mediante diseños experimentales y seguimiento longitudinal.

En este contexto, se plantea la necesidad de diseñar, desarrollar y evaluar un videojuego educativo en RVI, estructurado en tres mecánicas de juego que representen conceptos clave de la Física I, y de implementar un estudio piloto que permita determinar su usabilidad, experiencia de usuario y potencial pedagógico, así como su efecto sobre la apropiación y retención del conocimiento. Esta propuesta responde a la urgencia de explorar enfoques innovadores y basados en evidencia para mejorar los resultados de aprendizaje en física en estudiantes universitarios.

2.1.1 Hipótesis:

Hipótesis principal (H1): Los estudiantes que interactúan con un videojuego educativo en RVI, diseñado bajo principios de DCU y *playtesting* presentan una mayor ganancia conceptual y retención del conocimiento en temas de Física I, en comparación con aquellos que reciben únicamente instrucción tradicional.

2.1.2 Hipótesis nula (H0):

No existen diferencias significativas en la apropiación ni en la retención del conocimiento entre los estudiantes que utilizan el videojuego en RVI y aquellos que reciben enseñanza tradicional mediante clase magistral.

2.2 Marco Teórico y Estado del Arte:

2.2.1 La enseñanza universitaria de la Física I: desafíos y limitaciones

La asignatura de Física I es uno de los pilares en la formación básica de los estudiantes de ingeniería. No obstante, su enseñanza presenta serias dificultades debido al carácter abstracto de sus contenidos, la dependencia de modelos matemáticos y la poca vinculación con situaciones reales [15]. En numerosos contextos, se ha documentado un bajo desempeño académico y una débil retención del conocimiento, producto de metodologías centradas en la transmisión pasiva de contenidos, como clases magistrales o ejercicios de lápiz y papel [16].

Además, la brecha entre el conocimiento conceptual y la capacidad para aplicarlo en contextos prácticos sigue siendo uno de los principales retos en la educación en ciencias [17]. Investigaciones previas han demostrado que los estudiantes suelen tener dificultades para visualizar las consecuencias físicas de una fuerza, comprender la energía como una magnitud que se transforma, o predecir el comportamiento de un sistema oscilante [18], [19].

Esta desconexión entre la teoría y la realidad limita la capacidad de análisis, reduce la motivación y afecta negativamente la percepción de relevancia de la física en su carrera profesional [20].

2.2.2 La RVI como estrategia pedagógica activa

La realidad RVI ofrece un entorno simulado tridimensional donde los estudiantes interactúan directamente con objetos, fuerzas y fenómenos físicos [21]. A diferencia de otros medios digitales, la RVI permite una experiencia sensorial de alta fidelidad, generando una fuerte sensación de presencia y facilitando la comprensión intuitiva de conceptos complejos [22].

En el ámbito educativo, esta tecnología se ha mostrado eficaz para mejorar la motivación, la atención sostenida y la comprensión conceptual [23]. Estudios recientes destacan que los entornos inmersivos aumentan la participación activa de los estudiantes, fomentan el aprendizaje exploratorio y permiten que los errores se conviertan en oportunidades de aprendizaje sin consecuencias negativas [24], [25]. En disciplinas STEM, el uso de RVI ha sido asociado con mejores resultados en pruebas de retención, mayor satisfacción con el proceso de aprendizaje y un mejor entendimiento de conceptos que tradicionalmente son difíciles de visualizar [26].

2.2.3 Diseño centrado en el usuario: *playtesting* y validación iterativa

El desarrollo de experiencias educativas en RVI requiere una aproximación centrada en el usuario [27]. A través de la metodología de *playtesting* sesiones controladas donde los participantes (estudiantes y profesores) interactúan con versiones preliminares del juego se pueden detectar errores de usabilidad, ambigüedades en las instrucciones o niveles de dificultad inapropiados [28].

Esta retroalimentación permite iterar sobre el diseño para mejorar la jugabilidad, la claridad de los objetivos y la eficacia didáctica [29]. Diversos estudios han demostrado que involucrar a los estudiantes en etapas tempranas del diseño incrementa significativamente la aceptación y la utilidad percibida del recurso educativo [7].

Esta estrategia también permite ajustar el equilibrio entre el contenido pedagógico y la experiencia lúdica, asegurando que el videojuego no solo sea atractivo, sino también efectivo en términos de aprendizaje [30].

2.2.4 Inmersión, jugabilidad y asistencia pedagógica en RVI

Una experiencia efectiva en RVI debe contemplar tres dimensiones fundamentales:

- **Inmersión:** se refiere al grado en que el entorno virtual logra capturar la atención del usuario, generando una experiencia de presencia que lo hace sentir "dentro" del escenario. Una alta inmersión está asociada con mayor motivación y mejor comprensión conceptual [6].
- **Jugabilidad:** engloba aspectos como la coherencia de las reglas, la progresión de la dificultad, la variedad de interacciones y la retroalimentación inmediata. Una buena jugabilidad facilita el aprendizaje al mantener al estudiante en un estado óptimo de concentración y desafío [6].
- **Asistencia pedagógica:** se relaciona con los apoyos que ofrece el entorno para facilitar la comprensión, como instrucciones claras, ayudas contextuales y explicaciones visuales. Esto es clave para que el estudiante logre transferir lo que experimenta en el juego a su conocimiento académico [6].

2.3 Conceptos físicos integrados en las mecánicas de juego

Este proyecto propone un videojuego educativo en RVI con tres mecánicas principales, cada una enfocada en un concepto central de la Física I. La propuesta pedagógica se basa en que los estudiantes interactúen directamente con sistemas que ejemplifican estos conceptos, permitiendo su exploración activa, repetición y análisis.

a. Dinámica en microgravedad

En esta actividad, los estudiantes interactúan con objetos en un entorno sin fricción ni gravedad terrestre, como si estuvieran en el espacio. Esta situación permite observar cómo un objeto en movimiento continúa su trayectoria si no actúa ninguna fuerza, cómo diferentes masas responden a la misma fuerza aplicada, y cómo al empujar un objeto el propio jugador se mueve en sentido contrario. Es una manera intuitiva y directa de explorar las leyes fundamentales del movimiento.

b. Conservación de la energía

En esta mecánica, los estudiantes manipulan sistemas como rampas, resortes y péndulos encadenados, observando cómo la energía pasa de una forma a otra. Pueden ver cómo un objeto gana velocidad al caer, cómo se detiene cuando sube por otra rampa, o cómo parte de la energía se disipa en forma de calor o sonido. Esta experiencia permite entender que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma y puede perderse parcialmente en procesos no ideales.

c. Movimiento armónico simple

Los estudiantes manipulan péndulos y sistemas con resortes para comprender cómo estos oscilan. Pueden modificar variables como la longitud, la masa o la rigidez, y observar cómo estos cambios afectan el ritmo del movimiento. A través de esta interacción, se entienden conceptos como periodo, frecuencia y amplitud, y se interioriza el comportamiento de sistemas oscilantes comunes en ingeniería y en la naturaleza.

2.4 Evaluación del aprendizaje y la retención

La efectividad del aprendizaje mediante RVI no debe limitarse a una evaluación inmediata. Aunque las pruebas previas y posteriores a la intervención permiten medir la ganancia de conocimiento, es igualmente importante evaluar la retención a mediano plazo. Aplicar una prueba tres meses después de la experiencia con el videojuego permitirá observar si los aprendizajes fueron realmente significativos y duraderos.

Adicionalmente, se utilizarán escalas validadas para evaluar la experiencia del usuario, como el *Immersive Experience Questionnaire (IEQ)*, el *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)*, la *System Usability Scale (SUS)* y la *NASA-TLX*. Estas medidas permitirán valorar no solo la efectividad del videojuego, sino también su aceptabilidad, facilidad de uso y potencial de aplicación educativa.

3. OBJETIVOS:

3.1 Objetivo general

Diseñar, desarrollar y evaluar un videojuego educativo en RVI para la enseñanza de contenidos fundamentales de Física I, a través de un estudio piloto inicial con estudiantes de ingeniería que permita validar su diseño pedagógico y experiencia de usuario, como fase previa a la implementación de un Ensayo Controlado Aleatorizado (RCT) orientado a medir rigurosamente su eficacia en la apropiación y retención del conocimiento.

3.2 Objetivos específicos

- a. Diseñar un videojuego educativo en RVI compuesto por tres mecánicas de juego diferenciadas, cada una centrada en un concepto clave de Física I (leyes de Newton, conservación de la energía mecánica y movimiento armónico simple), integrando principios de diseño centrado en el usuario, gamificación educativa y retroalimentación pedagógica.
- b. Desarrollar e implementar un proceso iterativo de mejora del videojuego mediante *playtesting*, con al menos 10 estudiantes de ingeniería y 10 profesores de Física, distribuidos en cuatro ciclos, para identificar oportunidades de ajuste en jugabilidad, inmersión, asistencia pedagógica y comprensión conceptual.
- c. Aplicar un estudio piloto con una cohorte de 25 estudiantes de ingeniería, con el fin de evaluar la funcionalidad técnica del videojuego, la claridad conceptual de sus contenidos y la experiencia de usuario, a través de una sesión única con pretest, posttest y seguimiento.
- d. Desarrollar un RCT con 60 estudiantes, para comparar la eficacia del videojuego educativo en RVI con respecto a la enseñanza tradicional mediante clase magistral. Se evaluará el aprendizaje conceptual, la experiencia educativa y la retención del conocimiento, a través de tres mediciones: pretest, posttest inmediato y posttest a tres meses.
- e. Divulgar los hallazgos del estudio en espacios científicos nacionales e internacionales, mediante publicaciones en revistas indexadas (Q1 y Q2) y participación en eventos académicos especializados.

4. METODOLOGÍA:

4.1 Enfoque general y diseño centrado en el usuario (DCU)

Este proyecto de investigación adopta un enfoque metodológico basado en el DCU, ampliamente validado en contextos de desarrollo tecnológico donde se busca asegurar la pertinencia, usabilidad y aceptabilidad de soluciones digitales. En este caso, el enfoque se adapta al contexto educativo universitario, donde los estudiantes de ingeniería que cursan la asignatura Física I en la Universidad Tecnológica de Pereira actúan como usuarios principales del sistema a desarrollar: un videojuego RVI con fines pedagógicos.

Durante esta fase inicial, se promoverá una participación activa de los estudiantes como co-diseñadores, no solo como receptores finales del producto. Esta participación se estructura en tres momentos: exploración de necesidades, ideación colaborativa y validación temprana de soluciones. Inicialmente, se aplicarán entrevistas contextuales individuales y encuestas estructuradas para indagar sobre las experiencias previas de los estudiantes con videojuegos, sus percepciones sobre la física como disciplina, sus estilos de aprendizaje y su familiaridad con tecnologías inmersivas. Esta caracterización permitirá construir arquetipos de usuarios (personas) que orienten el diseño del sistema.

A partir del análisis de esta información, se conceptualizarán tres mecánicas de juego alineadas con contenidos clave de la física clásica:

- Dinámica newtoniana sin fricción: mediante una interacción directa tipo empuje, que permita experimentar la primera y segunda ley de Newton en entornos controlados.
- Conservación de la energía mecánica: a través de la simulación de desplazamiento sobre una rampa inclinada con visualización de la transformación entre energía potencial y cinética.
- Movimiento armónico simple: mediante la manipulación activa de un péndulo interactivo, permitiendo observar la relación entre amplitud, periodo y aceleración.

Estas mecánicas serán desarrolladas de forma colaborativa en sesiones de ideación con estudiantes voluntarios y docentes de física. Las propuestas se materializarán primero en prototipos de baja fidelidad (mockups en papel, esquemas en 2D) y luego en prototipos de media fidelidad navegables, en entornos virtuales simplificados construidos con herramientas como Unity3D.

La validación de estos prototipos se realizará mediante sesiones de prueba con usuarios, donde se explorarán la claridad de los objetivos, la intuición de los controles, la carga cognitiva percibida y la coherencia pedagógica. Las herramientas de recolección incluirán escalas tipo Likert, retroalimentación cualitativa directa, mapas de navegación y observación de trayectorias de interacción. El proceso culminará con el desarrollo de una versión funcional del videojuego optimizada para los visores Meta Quest 3 (Ver Figura 2) que utilice controladores manuales.



Figura 2: Visores Meta Quest 3

4.2 Iteraciones de mejora: sesiones de *playtesting*

Una vez implementada la primera versión funcional del videojuego, que integra las tres mecánicas correspondientes a los conceptos físicos de dinámica newtoniana sin fricción, conservación de la energía mecánica y movimiento armónico simple, se dará inicio a un proceso de mejora continua mediante sesiones estructuradas de *playtesting*. Esta etapa tiene como finalidad optimizar el diseño del videojuego antes de su evaluación formal, asegurando su adecuación pedagógica, facilidad de uso y coherencia conceptual.

El *playtesting* será abordado como una metodología de validación empírica iterativa, propia del enfoque de diseño centrado en el usuario, en la que se recogen y analizan reacciones, sugerencias y observaciones de los participantes al interactuar con el sistema. A través de estas sesiones se busca identificar problemas de usabilidad, ambigüedades en la representación de los conceptos físicos, limitaciones técnicas y oportunidades de mejora tanto en la mecánica de juego como en la experiencia inmersiva.

Se desarrollarán cuatro ciclos de *playtesting*, distribuidos de la siguiente manera: dos ciclos con la participación de estudiantes de ingeniería ($n=10$) y dos ciclos con docentes del área de Física ($n=10$), lo que suma un total de 20 participantes. Esta estructura busca integrar tanto la perspectiva del usuario final como la del experto disciplinar, permitiendo detectar con mayor precisión debilidades en el diseño pedagógico, el rigor conceptual y la alineación curricular del videojuego. Los estudiantes serán seleccionados mediante convocatoria abierta, procurando diversidad en cuanto a programas académicos, experiencia con videojuegos y familiaridad con tecnologías inmersivas. Por su parte, los docentes serán invitados mediante convocatoria directa a profesores vinculados a cursos de Física I o áreas afines, de la Facultad de Ciencias Básicas.

Las sesiones se llevarán a cabo en la Sala de Demostraciones de la Maestría en Instrumentación Física de la Universidad Tecnológica de Pereira, bajo condiciones controladas y adecuadas para la ejecución segura de experiencias de realidad virtual. Cada ciclo de *playtesting* comprenderá una breve introducción a la mecánica en prueba, seguida por una sesión de exploración libre del entorno virtual. La interacción de los participantes será observada cuidadosamente por el equipo investigador, con el fin de identificar barreras en el flujo de la experiencia, dificultades en el manejo de los controles, desconexiones entre la acción lúdica y el contenido conceptual, y elementos que resulten confusos, poco intuitivos o poco atractivos.

Finalizada cada sesión, se recogerá retroalimentación directa mediante procedimientos cualitativos flexibles, como entrevistas semiestructuradas y discusiones grupales breves, que permitirán documentar tanto las percepciones generales como propuestas concretas de mejora. Esta información será sistematizada y analizada para retroalimentar el ciclo de rediseño.

A partir de los hallazgos obtenidos en cada ciclo, se realizarán ajustes incrementales en el videojuego, generando una nueva versión funcional para el siguiente ciclo de evaluación. Este proceso iterativo se repetirá hasta completar los cuatro ciclos, con el objetivo de obtener una versión final del videojuego que haya sido refinada progresivamente con base en la experiencia directa de usuarios y expertos.

La versión optimizada resultante de este proceso constituirá el producto que será sometido a evaluación en las fases siguientes del estudio: el estudio piloto con estudiantes y el RCT, donde se analizará su impacto sobre el aprendizaje conceptual, la retención del conocimiento y la experiencia motivacional.

4.3 Fases de evaluación: Estudio piloto y RCT

Una vez completado el proceso iterativo de diseño y refinamiento del videojuego, se procederá con su evaluación formal a través de dos estudios complementarios: un estudio piloto y un RCT. Esto permitirá validar tanto la viabilidad técnica y pedagógica del sistema como su eficacia en comparación con estrategias tradicionales de enseñanza.

4.3.1 Estudio piloto

El estudio piloto tendrá como propósito valorar la aceptabilidad del videojuego, su funcionamiento técnico en condiciones reales y su efecto inmediato sobre el aprendizaje conceptual. Además, permitirá detectar posibles aspectos a ajustar antes de su implementación a mayor escala.

Participarán 25 estudiantes matriculados en el curso de Física I, seleccionados mediante convocatoria voluntaria. Cada participante asistirá a una única sesión individual, estructurada en los siguientes momentos:

- Consentimiento informado y registro demográfico
- Pretest conceptual: evaluación escrita de conocimientos previos sobre los conceptos representados en el videojuego (duración aproximada: 10 minutos).
- Familiarización guiada con el entorno RVI: inducción breve al uso del visor Meta Quest 3 y sus controles (5 minutos).
- Interacción libre con el videojuego completo: los participantes explorarán las tres mecánicas diseñadas, sin intervención directa del investigador (30 minutos).
- Postest conceptual: aplicación del mismo instrumento del pretest, para medir posibles cambios en el desempeño inmediato (10 minutos).
- Evaluación subjetiva de la experiencia: se aplicarán cuestionarios estandarizados que permitan recoger percepciones de inmersión, motivación, usabilidad y carga cognitiva. Se utilizarán los siguientes instrumentos:
 - *Immersive Experience Questionnaire (IEQ)*
 - *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)*
 - *System Usability Scale (SUS)*
 - *NASA Task Load Index (NASA-TLX)*
- Registro automático del desempeño: mediante los datos generados por el sistema (exportados desde Unity en archivos .CSV), se documentarán variables como tiempo total de interacción, niveles alcanzados, número de aciertos y errores, y número de repeticiones.

Como parte del protocolo del estudio piloto, se agendará con cada participante una sesión de evaluación de retención conceptual, programada tres meses después de la sesión inicial.

4.3.2 Ensayo controlado aleatorizado (RCT)

Finalizado el estudio piloto y realizadas las mejoras pertinentes, se desarrollará un RCT con el objetivo de comparar la eficacia del videojuego RVI frente a un enfoque tradicional de enseñanza basado en clase magistral. Este diseño permitirá establecer diferencias significativas en la ganancia conceptual, la retención del conocimiento y la percepción de la experiencia educativa.

Participarán 60 estudiantes, también matriculados en Física I, quienes serán asignados aleatoriamente a dos grupos:

- **Grupo control:** recibirá una clase magistral tradicional sobre los contenidos involucrados.
- **Grupo experimental:** recibirá la misma clase magistral, seguida por una sesión de interacción con el videojuego RVI.

Ambos grupos completarán el mismo instrumento conceptual en tres momentos clave:

- **Pretest:** antes de la clase.
- **Postest inmediato:** al finalizar la intervención.
- **Postest de retención:** tres meses después de la intervención inicial.

Además de los resultados de aprendizaje, el grupo experimental será evaluado mediante instrumentos validados de experiencia de usuario, con los instrumentos ya mencionados el IEQ, el GEQ, el IMI, la SUS y la escala NASA-TLX para estimar la carga cognitiva percibida. Esta evaluación subjetiva permitirá analizar en qué medida factores como la inmersión, la motivación y la percepción de utilidad se relacionan con el desempeño conceptual, generando un análisis integral de la intervención educativa.

Este diseño experimental permitirá medir no solo la eficacia inmediata del videojuego como herramienta de refuerzo conceptual, sino también su capacidad para favorecer la retención del conocimiento a mediano plazo, en comparación con estrategias convencionales.

4.3.3 Variables principales

El presente estudio considera tres categorías de variables principales que serán evaluadas a lo largo del estudio piloto y el RCT: aprendizaje conceptual, experiencia de usuario y desempeño en el entorno RVI. Cada variable será medida con instrumentos específicos o registros automáticos, con el fin de obtener una caracterización integral y válida de los efectos de la intervención.

4.3.4 Aprendizaje conceptual

Esta variable se refiere a la comprensión y apropiación de los conceptos físicos abordados en el videojuego: dinámica newtoniana sin fricción, conservación de la energía mecánica y movimiento armónico simple. La medición se realizará a través de pruebas estructuradas de opción múltiple, diseñadas y validadas por expertos en docencia de Física I. Estas pruebas se aplicarán en tres momentos: pretest, postest inmediato y postest de retención. Los resultados permitirán calcular indicadores como ganancia de aprendizaje (absoluta y normalizada) y retención conceptual a mediano plazo.

5. EXPERIENCIA DE USUARIO

La evaluación de la experiencia de usuario constituye un componente esencial del presente estudio, ya que permite comprender cómo los aspectos perceptuales, motivacionales y cognitivos influyen en la efectividad pedagógica del entorno de RVI. Para tal fin, se aplicará un conjunto de instrumentos estandarizados y validados internacionalmente, diseñados para capturar la percepción subjetiva de la calidad de la experiencia en entornos interactivos.

Estos cuestionarios permitirán obtener una caracterización multidimensional de la experiencia del estudiante al interactuar con el videojuego, abordando componentes clave como la inmersión, la motivación, la usabilidad y la carga cognitiva. Los instrumentos a emplear son los siguientes:

- **IEQ (Immersive Experience Questionnaire):** Evalúa el grado de inmersión y presencia experimentado por el usuario durante su interacción con el entorno virtual, incluyendo dimensiones como atención enfocada, implicación emocional y sensación de control [31].
- **IMI (Intrinsic Motivation Inventory):** Mide la motivación intrínseca generada por la actividad, considerando factores como el interés/diversión, el valor percibido, el esfuerzo invertido, la competencia percibida y la presión/tensión [32].
- **SUS (System Usability Scale):** Proporciona una medida global de la usabilidad percibida del sistema, con base en criterios como facilidad de uso, consistencia, aprendizaje y confianza del usuario en su funcionamiento [33].

- **NASA-TLX (Task Load Index):** Cuantifica la carga cognitiva percibida durante la realización de la tarea, integrando aspectos como demanda mental, esfuerzo físico, nivel de frustración, rendimiento autoevaluado y exigencia temporal.

Estos instrumentos se aplicarán exclusivamente a los participantes del grupo experimental, es decir, aquellos que interactúen con el videojuego, tanto en el estudio piloto como en el RCT. La información obtenida permitirá complementar los datos objetivos de desempeño con una evaluación subjetiva de la experiencia educativa, facilitando así un análisis integral del impacto de la intervención basada en RVI.

5.1 Desempeño en el entorno RVI

El análisis del desempeño de los estudiantes durante su interacción con el videojuego en RVI constituye una fuente fundamental de datos objetivos para complementar las mediciones de aprendizaje y experiencia de usuario. Para ello, se implementará un sistema de recolección automática de datos utilizando las funcionalidades de instrumentación del motor de desarrollo Unity3D, el cual permitirá exportar métricas en formato estructurado (.CSV) para su posterior análisis cuantitativo.

Las variables registradas serán las siguientes:

- **Niveles alcanzados por mecánica:** permite evaluar el avance del estudiante en los distintos escenarios temáticos (dinámica, energía, movimiento armónico).
- **Número de aciertos y errores en tareas específicas:** mide la precisión conceptual y procedimental durante la resolución de los desafíos interactivos.
- **Tiempo total de interacción y tiempo por desafío:** indica la eficiencia con la que el estudiante navega y resuelve los contenidos de cada mecánica.
- **Número de intentos o repeticiones por nivel:** ofrece información sobre la dificultad percibida y los patrones de aprendizaje adaptativo.
- **Regularidad y precisión en la ejecución de los gestos requeridos:** analiza la calidad motora y el dominio del entorno virtual, relevante en tareas con controladores VR.

Estas métricas permitirán caracterizar el rendimiento de cada participante en el entorno lúdico desde una perspectiva objetiva y granular. Además, facilitarán el establecimiento de correlaciones con los resultados de aprendizaje conceptual (pretest, posttest, retención) y con las variables de experiencia subjetiva (inmersión, motivación, carga cognitiva), proporcionando así una visión integral del impacto educativo del videojuego en RVI.

6. PARTICIPANTES Y CRITERIOS DE INCLUSIÓN/EXCLUSIÓN

6.1 Población objetivo

La población objetivo del presente estudio está constituida por estudiantes de pregrado de los programas de ingeniería de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), que se encuentren formalmente matriculados en la asignatura Física I durante los periodos académicos en los que se ejecuten las actividades del proyecto. Esta población ha sido seleccionada debido a su vinculación directa con los contenidos conceptuales abordados por el videojuego (dinámica, energía mecánica y movimiento armónico), y por su familiaridad general con tecnologías digitales interactivas, lo que favorece la receptividad y viabilidad de la intervención en entornos de RVI.

6.2 Muestreo

Se empleará un diseño de muestreo no probabilístico por conveniencia, a través de convocatoria abierta. La selección se realizará mediante invitaciones directas en clase y el uso de canales institucionales como correo electrónico académico y avisos en plataformas educativas. Se garantizará la participación voluntaria, procurando una muestra heterogénea en términos de género, nivel de familiaridad con videojuegos, experiencia previa con entornos inmersivos y diversidad programática, con el fin de enriquecer la representatividad del estudio.

Para el estudio piloto, se seleccionará una muestra intencional de 25 estudiantes, quienes participarán en una única sesión de evaluación individual.

Para el RCT, se conformará una muestra de 60 estudiantes, que serán asignados de manera aleatoria a los dos grupos experimentales: grupo control (clase magistral) y grupo experimental (clase magistral + videojuego en RVI).

6.3 Criterios de inclusión

Para ser admitidos en el estudio, los participantes deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser mayores de edad (18 años o más) al momento de la intervención.
- Estar formalmente matriculados en la asignatura Física I al momento de la implementación del estudio.
- Tener disponibilidad horaria para asistir a las sesiones programadas en los laboratorios designados para la ejecución del estudio.
- Manifestar su consentimiento informado de manera voluntaria, firmando el documento correspondiente conforme a los principios éticos de investigación con seres humanos.

6.4 Criterios de exclusión

Se excluirán del estudio los estudiantes que presenten alguna de las siguientes condiciones, por considerarse factores de riesgo o interferencia con la experiencia en RVI:

- Diagnóstico previo de epilepsia fotosensible o trastornos convulsivos.
- Trastornos visuales severos que dificulten el uso de visores de realidad virtual.
- Antecedentes clínicos de vértigo, trastornos neurológicos o sensibilidad extrema al movimiento virtual (ciber-cinétosis).
- Haber participado previamente en las fases de diseño o pruebas internas del videojuego.

Estos criterios buscan garantizar la seguridad de los participantes, así como la validez de los datos recogidos en cada fase del estudio.

6.5 Instrumentos de evaluación conceptual

Para medir el aprendizaje de los conceptos físicos abordados en el videojuego dinámica sin fricción, conservación de la energía mecánica y movimiento armónico simple se utilizará un test conceptual de Física I, elaborado por docentes del área y validado por juicio de expertos. El instrumento se aplicará en

formato papel o digital antes de la intervención (pretest), inmediatamente después (postest) y a los tres meses (postest de retención), tanto en el estudio piloto como en el RCT.

6.6 Otros registros

Además de los instrumentos formales, se recogerán:

- Consentimientos informados firmados por cada participante.
- Fichas de caracterización sociodemográfica (edad, género, programa académico, experiencia con videojuegos).
- Notas de observación cualitativa realizadas durante las sesiones de interacción.
- Registros audiovisuales (previa autorización), que serán utilizados únicamente con fines de análisis interno y documentación académica.

Todos los datos serán almacenados en medios digitales seguros, garantizando el anonimato y la confidencialidad de los participantes.

6.7 Análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos cuantitativos recolectados se llevará a cabo utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics, siguiendo un enfoque metodológico riguroso que permita evaluar de forma integral la eficacia del videojuego en RVI sobre el aprendizaje de conceptos fundamentales de Física I.

Se analizarán tanto los resultados individuales de los participantes como las diferencias intergrupales, considerando las dos fases principales del estudio: el estudio piloto y el RCT. El análisis incluirá procedimientos descriptivos, inferenciales y correlacionales, con el fin de identificar efectos significativos de la intervención, establecer magnitudes de cambio, y explorar relaciones entre variables de desempeño, experiencia y aprendizaje.

6.7.1 Evaluación del aprendizaje

Para analizar el impacto de la intervención en el aprendizaje conceptual, se aplicarán técnicas estadísticas apropiadas según la naturaleza de los datos:

- En el estudio piloto, donde no se asume normalidad en la distribución de las puntuaciones, se utilizará la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, adecuada para comparar diferencias entre pretest y postest dentro de una misma muestra [19].
- En el RCT, se emplearán pruebas t para muestras independientes (comparaciones entre grupos) y pareadas (comparaciones dentro de grupo), así como un ANOVA mixto de medidas repetidas, con el fin de evaluar interacciones significativas entre el tiempo (pretest, postest inmediato, postest de retención) y la condición experimental (grupo control vs. grupo experimental). Además, se calcularán correlaciones bivariadas entre los resultados de aprendizaje y los indicadores de experiencia subjetiva (inmersión, motivación, carga cognitiva), con el propósito de explorar relaciones entre los procesos perceptuales y los logros educativos.

6.7.2 Indicadores de ganancia de aprendizaje

Con el fin de caracterizar de manera integral la mejora en el desempeño de los estudiantes, se calcularán los siguientes indicadores ampliamente utilizados en investigación educativa:

- **Ganancia normalizada (Hake's gain):** indicador que mide el progreso relativo de cada estudiante con respecto a su puntaje inicial, ajustado al puntaje máximo posible. Es especialmente útil para comparar grupos con niveles base diferentes [34].
- **Tamaño del efecto (Cohen's d):** métrica estandarizada que cuantifica la magnitud del cambio entre pretest y posttest, permitiendo interpretar la relevancia pedagógica de la intervención [35].
- **Ganancia absoluta (Gain Score):** diferencia directa entre los puntajes del posttest y del pretest, útil para observar mejoras individuales y detectar casos atípicos [36].
- **Incremento porcentual (Percentage Increase):** mide el progreso relativo con respecto al puntaje inicial de cada estudiante, facilitando el análisis de quiénes se beneficiaron más según su nivel de entrada.
- **Superación del umbral de competencia:** porcentaje de estudiantes que alcanza un nivel mínimo definido como satisfactorio en el posttest (por ejemplo, 80%), en comparación con el porcentaje que lo había logrado en el pretest.

Estos indicadores serán analizados de forma descriptiva y comparativa, y complementarán el análisis inferencial.

6.7.3 Evaluación de la retención del conocimiento

La retención del aprendizaje será analizada mediante la comparación entre el posttest inmediato y el test de seguimiento aplicado tres meses después de la intervención. Se evaluarán:

- La pérdida absoluta de conocimiento, calculada como la diferencia entre los puntajes del posttest y la evaluación de retención.
- El índice porcentual de retención, que representa qué proporción del conocimiento ganado se conserva tras el paso del tiempo.
- La retención ajustada, que considera el avance logrado desde el pretest y cuánto de ese avance se mantiene a largo plazo.

Estos análisis permitirán valorar no solo el impacto inmediato del videojuego, sino también su efectividad para fomentar aprendizajes duraderos.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES: 24 MESES

ACTIVIDAD	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24
Revisión de literatura y diseño de instrumentos	✓							
Recolección de información para diseño centrado en el usuario	✓	✓						
Desarrollo de prototipos y diseño de mecánicas de juego		✓	✓					
Sesiones de playtesting iterativo y mejoras			✓	✓				
Estudio piloto				✓	✓			
Análisis de datos del piloto y escritura de artículo					✓	✓		
Ejecución del RCT						✓	✓	
Análisis del RCT y redacción de artículo							✓	✓
Redacción de artículos adicionales (Diseño, Usabilidad, etc)							✓	✓

7.1 Productos esperados:

Al finalizar el proyecto se deberá cumplir como mínimo con los siguientes productos esperados según tipología de productos establecida por MinCiencias, es decir, un producto por tipología y adicionalmente, un producto institucional.

En caso de que la propuesta presentada no tenga como producto esperado una actividad de investigación, desarrollo e innovación, es posible reemplazarlo por un producto de otra categoría. En todos los casos, se deberá cumplir con seis productos esperados como mínimo:

7.2 Productos mínimos esperados

Tipos de Producto	
1. Productos de Generación de Nuevo Conocimiento	Cantidad y Descripción del producto esperado.
Artículo de investigación publicado en revista ubicada en cuartiles Q1, Q2, Q3 (índice de impacto) - Si requiere asesoría contacte a recursosselectronicos@utp.edu.co	Se espera la publicación de un artículo en una revista internacional de alto impacto (Q1), resultado del RCT, que evidencie la eficacia del videojuego en la mejora del aprendizaje conceptual en Física I mediante RVI. Este producto contribuirá al avance del conocimiento en el campo de los entornos virtuales aplicados a la educación en ciencias.
Libros resultados de investigación.	
Productos tecnológicos patentados o en proceso de concesión de la patente.	
Variedad vegetal y variedad animal.	
Obras o productos de investigación creación en Artes, Arquitectura y Diseño y obras musicales.	

2. Productos de Formación de Recursos Humanos	Cantidad y Descripción del producto esperado.
Trabajo de grado de Pregrado o Práctica en Investigación Conducente a Trabajo de grado.	La ejecución del proyecto será la base para un trabajo de grado de maestría en educación, tecnologías aplicadas o disciplinas afines, en el que se documentará el diseño centrado en el usuario, las fases de evaluación piloto y los resultados pedagógicos y tecnológicos del videojuego.
Trabajo de grado de Maestría.	
Tesis de Doctorado.	
3. Productos resultados de actividades de investigación, desarrollo e innovación	Cantidad y Descripción del producto esperado.
Productos tecnológicos certificados o validados.	El videojuego educativo desarrollado, con sus tres mecánicas interactivas alineadas con conceptos de Física I, será registrado como producto tecnológico. Este software será validado empíricamente mediante procesos iterativos de <i>playtesting</i> , usabilidad y evaluación pedagógica, y quedará disponible para futuros procesos educativos o de investigación ya que se registrara en la dirección nacional de derechos de autor.
Productos empresariales.	
Regulaciones, normas, reglamentos o legislaciones.	
4. Procesos de Apropiación Social del Conocimiento	Cantidad y Descripción del producto esperado.
Procesos de apropiación social del conocimiento para el fortalecimiento o solución de asuntos de interés social.	El proyecto incorpora un proceso robusto de apropiación social del conocimiento mediante la participación activa de los estudiantes en todas las etapas clave del desarrollo del videojuego educativo en RVI. Desde su fase inicial, se promoverá la cocreación a través de sesiones del DCU, donde los estudiantes contribuirán con ideas, validarán conceptos físicos representados en las mecánicas de juego y evaluarán la claridad del contenido. Posteriormente, su participación será fundamental en múltiples ciclos de <i>playtesting</i> , brindando retroalimentación sobre jugabilidad, inmersión, comprensión conceptual y usabilidad, lo que permitirá optimizar el prototipo antes de los estudios formales.
Procesos de apropiación social del conocimiento para la generación de insumos de política pública y normatividad.	
Procesos de apropiación social del conocimiento para el fortalecimiento de cadenas productivas.	
Procesos de apropiación social del conocimiento resultado del trabajo conjunto entre un centro de ciencia y un grupo de investigación.	
5. Divulgación Pública de la Ciencia	Cantidad y Descripción del producto esperado.
Eventos científicos con competente de apropiación y de índole internacional.	Se presentarán los resultados del proyecto incluyendo el diseño, los procesos de

Talleres de creación.	evaluación, el impacto pedagógico y los desarrollos tecnológicos en una conferencia internacional con enfoque científico, dirigida a comunidades académicas interesadas en el uso de tecnologías inmersivas para la enseñanza de STEM. Como parte de esta estrategia de divulgación, se producirá un video documental que compile y evidencie todo el proceso de cocreación, <i>playtesting</i> y evaluación realizado con los estudiantes, resaltando su papel activo en la construcción del videojuego educativo.
Eventos artísticos, de arquitectura o de diseño con componentes de apropiación.	
Nuevas secuencias genéticas.	
Publicaciones editoriales no especializadas (Cartilla, Manual no especializado y boletín).	
Producciones de contenido digital (audio visual, sonoro, recursos gráficos digitales).	
Producción Bibliográfica (Libros de formación, boletines divulgativos de resultados de investigación, libros de divulgación de investigación y/o compilación de divulgación, manuales y guías especializadas.	
6. Productos Institucionales	Cantidad y Descripción del producto esperado.
Participar con ponencia en uno de los eventos realizados por la Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión.	Se dictará un taller dirigido a estudiantes pertenecientes a semilleros o grupos de investigación de la UTP. El taller cubrirá temáticas como DCU, desarrollo de videojuegos con fines educativos, RVI, y métodos de evaluación de experiencias de usuario y aprendizaje en entornos digitales.
Dictar un Taller mínimo de 8 horas dirigido a estudiantes vinculados a semilleros o grupos de investigación.	
Participar con ponencias, conferencias, talleres, foros, clubes de lectura, exposiciones de obras artísticas en los eventos culturales programados por la Biblioteca o propuestos para la agenda cultural de la misma.	
Dictar un seminario en doctorado.	

Tabla 1. Descripción y tipos de Producto

- El software producto del proyecto de investigación financiado deberá dar cumplimiento a lo establecido por la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Los productos relacionados a APPs deberán dar cumplimiento a lo establecido por la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Los productos de apropiación social del conocimiento y de divulgación pública de la ciencia que hacen parte de las modalidades de extensión Universitaria reconocidas en el Acuerdo del Consejo Superior No. 12 de 2019 y las consultorías, deben encontrarse debidamente registrados en el aplicativo de extensión universitaria y dar cumplimiento a la normatividad y procedimientos institucionales vigentes.
- Los productos obtenidos deberán ser registrados en el repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de Pereira y en el CvLAC de los autores y en el GrupLAC respectivo.

Tabla 3. Tipología de los productos			
PRODUCTOS RESULTADOS DE ACTIVIDADES DE GENERACIÓN DE <u>NUEVO CONOCIMIENTO</u>	PRODUCTOS RESULTADOS DE ACTIVIDADES DE <u>DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN</u>	PRODUCTOS RESULTADOS DE ACTIVIDADES DE <u>APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO</u>	PRODUCTOS DE ACTIVIDADES <u>RELACIONADAS CON LA FORMACIÓN DE RECURSO HUMANO PARA LA CTel</u>
22.1.1 Artículos de investigación A1, A2, B y C. Artículos en revistas indexadas en los índices bibliográficos de citaciones e índices bibliográficos. Los requerimientos son mencionados en la Tabla I del ANEXO 1.	22.2.1 Productos tecnológicos certificados o validados. Diseño industrial, esquema de circuito integrado, software, planta piloto, prototipo industrial, signos distintivos, producto nutraceutico, colección científica y nuevo registro científico. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XII del ANEXO 1.	22.3.3.1 Procesos de Apropiación Social del Conocimiento. Procesos de apropiación social del conocimiento para, el fortalecimiento o solución de asuntos de interés social, la generación de insumos de política pública y normatividad, el fortalecimiento de cadenas productivas, o, resultado de un trabajo conjunto entre un centro de ciencia y un grupo de investigación. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XVII del ANEXO 1.	22.4.1 Direcciones de Tesis de doctorado Dirección/Tutoría y Codirección/Cotutoría de Tesis de Doctorado, se diferencian las tesis con reconocimiento de las aprobadas. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.
22.1.1 Artículos de investigación D. Artículos en revistas indexadas bases bibliográficas. Los requerimientos son mencionados en la Tabla II del ANEXO 1.	22.2.2 Productos empresariales. Secreto empresarial, empresas de base tecnológica (spin-off y start-up), empresas creativas y culturales, innovaciones generadas en la gestión empresarial, innovaciones en procesos, procedimientos y servicios. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XIII del ANEXO 1.	PRODUCTOS RESULTADOS DE ACTIVIDADES DE <u>DIVULGACIÓN PÚBLICA DE LA CIENCIA</u> 22.3.4.1 Circulación de conocimiento especializado. Eventos científicos con componentes de apropiación, participación en redes de conocimiento especializado, talleres de creación, eventos culturales y artísticos, documentos de trabajo (working papers), nueva secuencia genética, ediciones de revista científica o de libros resultado de investigación, informes (finales de investigación y técnicos) y consultorias (científico-tecnológicas e investigación-creación). Los requerimientos son mencionados en la Tabla XVIII del ANEXO 1.	22.4.2 Direcciones de Trabajo de grado de maestría Dirección/Tutoría y Codirección/Cotutoría de Trabajo de grado de maestría, se diferencian los trabajos con reconocimiento de los aprobados. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.
22.1.2 Notas científicas. Notas científicas publicadas en las revistas indexadas en los índices bibliográficos de citaciones e índices bibliográficos. Los requerimientos son mencionados en la Tabla III del ANEXO 1.	22.2.3 Regulaciones, normas, reglamentos o legislaciones. Regulaciones, normas, reglamentos, legislaciones, guías (práctica y manejo clínicos forense), protocolos (vigilancia epidemiológica y atención a pacientes), actos legislativos y proyectos de ley. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XIV del ANEXO 1.	22.3.4.2 Divulgación Pública de la CTel. Publicaciones editoriales no especializadas, producciones de contenido digital, producción de estrategias y contenido transmedia, y desarrollos web. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XIX del ANEXO 1.	22.4.3 Direcciones de Trabajo de pregrado Dirección/Tutoría y Codirección/Cotutoría de Trabajo de grado de pregrado, se diferencian los trabajos con reconocimiento de los aprobados. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.
22.1.3 Libros resultados de investigación. Los requerimientos son mencionados en la Tabla IV del ANEXO 1.	22.2.4 Conceptos técnicos. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XV del ANEXO 1.	22.3.4.3 Producción Bibliográfica. Libros de divulgación o compilación de divulgación, libros de formación (Q2 y Q3), manuales y guías especializados, artículos de divulgación, artículos y notas científicas publicados en, book series, trade journals y/o proceedings, boletines divulgativos y libros de creación (piloto). Los requerimientos son mencionados en la Tabla XX del ANEXO 1.	22.4.4 Proyectos de Investigación y Desarrollo Proyectos ejecutados (culminados) clasificados de acuerdo con las fuentes de financiación. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.
22.1.4 Capítulos en libro resultado de investigación. Los requerimientos son mencionados en la Tabla VI del ANEXO 1.	22.2.5 Registros de derechos de autor para explotación de obras de Investigación + Creación en Artes, Arquitectura y Diseño protegidas por derechos de autor. Acuerdos de licencia para la explotación de obras protegidas por derecho de autor. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XVI del ANEXO 1.		22.4.4 Proyectos de Investigación-Creación Proyectos ejecutados (culminados) clasificados de acuerdo con las fuentes de financiación. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.
22.3.4.3.1 Libros de Formación Q1. Los requerimientos son mencionados en la Tabla VIII del ANEXO 1.			22.4.4 Proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (ID+I) Proyectos ejecutados (culminados) por investigadores en empresas. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.
22.1.5 Productos tecnológicos patentados o en proceso de solicitud de patente. Patente obtenida o solicitada por vía PCT o tradicional y Modelo de utilidad. Los requerimientos son mencionados en la Tabla IX del ANEXO 1.			22.4.5 Proyectos de extensión y de responsabilidad social en CTel Proyectos ejecutados (culminados) de extensión en CTel, o, de responsabilidad social-extensión solidaria con componente de CTel. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.
22.1.6 Variedades vegetales, nuevas razas animales y poblaciones mejoradas de razas pecuarias. Los requerimientos son mencionados en la Tabla X del ANEXO 1.			22.4.6 Apoyos a la creación de programas y cursos de formación de investigadores Apoyo a la creación de programas o cursos de doctorado y de maestría. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.
22.1.7 Productos resultados de la creación o investigación-creación. Presentación pública en eventos o espacios (instancias de valoración) de las obras o productos de investigación-creación en artes, arquitectura y diseño. Los requerimientos son mencionados en la Tabla XI del ANEXO 1.			22.4.7 Acompañamientos y asesorías de línea temática del Programa Ondas Los requerimientos son mencionados en la Tabla XXI del ANEXO 1.

Tabla 3. Tipología de los productos. En las columnas se listan los subtipos correspondientes a cada uno de los cuatro tipos de producción, así como los productos específicos que en ésta se incluyen

8. Objetivos de Desarrollo Sostenible: Seleccione qué objetivo (s) de desarrollo sostenible impacta la propuesta: (Favor marcar con una X)

- Objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo
- Objetivo 2: Poner fin al hambre
- Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades
- Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos **X**
- Objetivo 5: Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas
- Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos
- Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna
- Objetivo 8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos
- Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación
- Objetivo 10: Reducir la desigualdad en y entre los países
- Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles
- Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles
- Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos
- Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos
- Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad
- Objetivo 16: Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas
- Objetivo 17: Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible

Favor relacione la justificación del impacto de la propuesta con respecto a los objetivos de desarrollo sostenible:

Objetivo seleccionado:

ODS 4 – Educación de calidad: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

Justificación:

La presente propuesta impacta directamente el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 4 al proponer una estrategia educativa innovadora basada en RVI, orientada a mejorar la comprensión conceptual en asignaturas fundamentales como Física I. Mediante el diseño centrado en el usuario, la implementación de un videojuego educativo y su integración en ambientes reales de aprendizaje, se busca transformar positivamente la experiencia académica de los estudiantes, promoviendo metodologías activas, inclusivas y motivadoras que contribuyen al fortalecimiento de una educación superior de calidad.

Declaración de Ética: Para proyectos que involucren seres humanos como sujetos de investigación o como sujetos para la obtención de información científica: Establezca si la propuesta presentada requiere aval del Comité de Ética de la Investigación: (Favor marcar con una X)

SI: X

NO:

Favor justifique su respuesta en el marco de la Resolución No 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia y las normas CIOMS (Ver anexos):

Justificación:

La presente propuesta involucra la participación activa de estudiantes universitarios mayores de edad,

quienes serán sometidos a procesos de recolección de datos mediante encuestas, entrevistas, cuestionarios validados (IEQ, IMI, GEQ, SUS, NASA-TLX), así como pruebas cognitivas y conceptuales aplicadas en entornos RVI. Adicionalmente, se recopilarán datos de desempeño en videojuegos y grabaciones de sesiones de uso para análisis posteriores.

De acuerdo con la **Resolución No. 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia**, este estudio se clasifica como una **investigación con riesgo mínimo**, ya que implica intervención con herramientas digitales en entornos simulados sin representar riesgo físico o psicológico para los participantes. La intervención no compromete la integridad corporal ni la salud mental de los sujetos.

Asimismo, el proyecto se acoge a los principios éticos fundamentales establecidos en la **Declaración de Helsinki** y las **Directrices Internacionales para la Investigación Biomédica en Seres Humanos** del **CIOMS**, incluyendo los principios de **autonomía, justicia, beneficencia, no maleficencia y confidencialidad**.

Si su respuesta es SI, es necesario que se establezca la siguiente declaración:

El proyecto será sometido a aprobación por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Tecnológica de Pereira en la categoría de:

- a. Investigación sin Riesgo.
- b. Investigación con riesgo mínimo. **X**
- c. Investigaciones con riesgo mayor que el mínimo.

Según la resolución No. 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, que establece las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Esta investigación se acoge a lo establecido en la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud, se respetarán los principios éticos de justicia, beneficencia, no maleficencia y confidencialidad establecidos en la Declaración de Helsinki y las normas CIOMS.

b. Investigación con riesgo mínimo.

Se garantizará que todos los participantes otorguen su consentimiento informado por escrito, conociendo los objetivos, procedimientos, posibles beneficios y riesgos del estudio, así como su derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencia alguna. Los datos serán tratados de forma confidencial y anonimizados para los fines de análisis académico y científico.

Declaraciones del investigador

El investigador principal declara que este proyecto cumple con los lineamientos éticos y metodológicos exigidos para su presentación ante el Comité de Bioética. Todos los procedimientos estarán regidos por la normatividad nacional vigente (Resolución 8430/1993) y los principios de la Declaración de Helsinki. Asimismo, se asegura la confidencialidad de los datos, el consentimiento informado de los participantes y la voluntariedad de su participación.

Impactos esperados del proyecto

Este proyecto se espera impactar positivamente tanto en el campo de la enseñanza de la física como en el desarrollo de estrategias de aprendizaje mediadas por tecnologías inmersivas. Sus principales aportes son:

- Integración de mecánicas interactivas para la apropiación conceptual en RVI.
- Validación empírica de la eficacia de videojuegos RVI en contexto universitario.
- Generación de metodologías replicables para otras asignaturas STEM.

Para proyectos que involucren animales como sujetos de investigación: Establezca si la propuesta presentada requiere aval del Comité de Ética de Animal: (Favor marcar con una X)

SI: _____

NO: X

Favor justifique su respuesta en el marco de la Resolución No 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia y Ley 84 de 1989 (Ver anexo):

Si su respuesta es SI, es necesario que se establezca la siguiente declaración:

El proyecto será sometido a aprobación por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Tecnológica de Pereira (evaluado por el GECUA) en la categoría de:

- a. Sin recuperación
- b. Leve
- c. Moderado
- d. Severo

8.1 Coherencia en la estructura general del proyecto:

NOMBRE DE LA PROPUESTA	Diseño, Desarrollo y Evaluación de un Videojuego Educativo en Realidad Virtual Inmersiva para la Enseñanza de Conceptos Fundamentales de Física I en Educación Superior: Un Enfoque Basado en Diseño Centrado en el Usuario y Validación Experimental			
OBJETIVO GENERAL:	Diseñar, desarrollar y evaluar un videojuego educativo en realidad virtual inmersiva (RVI) para la enseñanza de contenidos fundamentales de Física I, a través de un estudio piloto inicial con estudiantes de ingeniería que permita validar su diseño pedagógico y experiencia de usuario, como fase previa a la implementación de un ensayo controlado aleatorizado (RCT) orientado a medir rigurosamente su eficacia en la apropiación y retención del conocimiento.			
OBJETIVO ESPECÍFICO	ACTIVIDAD	RUBRO	VALOR (COP)	PRODUCTO ESPERADO
1. Diseñar el videojuego en RVI con tres mecánicas	Cocreación y validación con estudiantes y profesores	Contratación de Personal y/o servicios técnicos	\$3.000.000	Diseño de interfaz
	Desarrollo del videojuego funcional en Unity	Contratación de Personal y/o servicios técnicos	\$9.000.000	Versión funcional del videojuego
	Adquisición de hardware para pruebas	Compra de Equipos y Software	\$7.000.000	Equipamiento para desarrollo y evaluación
	Compra de tabletas para test y encuestas	Compra de Equipos y Software	\$4.000.000	Herramientas para aplicación de instrumentos
2. Mejorar el videojuego mediante playtesting	Ejecución de 4 ciclos de playtesting	Ya incluido	\$0	Version Optima de Videojuego
	Sistematización de resultados cualitativos	Contratación de Personal o servicios técnicos	\$6.000.000	Estadística cualitativa de los datos recogidos
	Publicación sobre el proceso de diseño DCU	Publicaciones	\$0	Artículo publicado (diseño)
3. Ejecutar estudio piloto con 25 estudiantes	Aplicación de sesiones individuales con pre/post-test	Ya incluido	Ya incluido	Base de datos piloto y análisis de resultados
	Publicación científica en revista internacional	Publicaciones	\$4.000.000	Artículo piloto publicado
4. Desarrollar el ensayo controlado aleatorizado (RCT)	Aplicación del RCT a 60 estudiantes con pretest, posttest y retención	Ya incluido	Ya incluido	Base de datos experimental (RCT) estructurada
	Publicación científica en revista Q1	Publicaciones	\$10.000.000	Artículo RCT publicado
5. Divulgar hallazgos en espacios científicos	Participación en conferencia internacional (resultados métricos y cualitativos)	Inscripciones Viáticos y/o apoyo económico	\$3.000.000	Ponencia internacional aceptada
	Realización de Video general de todo el proyecto	Contratación de Personal y/o servicios técnicos	\$4.000.000	Video final del proyecto

Bibliografia:

- [1] Martin, D. A., Bombaerts, G., Horst, M., Papageorgiou, K., & Viscusi, G. (2023). Pedagogical orientations and evolving responsibilities of technological universities: A literature review of the history of engineering education. *Science and Engineering Ethics*, 29(6), 40. <https://doi.org/10.1007/s11948-023-00460-2>
- [2] Husni, N. A., Jumaat, N., & Tasir, Z. (2022). Investigating student's cognitive engagement, motivation and cognitive retention in learning management system. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 17(9), 184-200. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i09.29727>
- [3] Sharma, S., Mittal, P., Kumar, M., & Bhardwaj, V. (2025). The role of large language models in personalized learning: a systematic review of educational impact. *Discover Sustainability*, 6(1), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01094-z>
- [4] Papaioannou, G., Volakaki, M. G., Kokolakis, S., & Vouyioukas, D. (2023). Learning spaces in higher education: a state-of-the-art review. *Trends in Higher Education*, 2(3), 526-545. <https://doi.org/10.3390/higheredu2030032>
- [5] Fokuo, M. O., Opuku-Mensah, N., Asamoah, R., Nyarko, J., Agyeman, K. D., Owusu-Mintah, C., & Asare, S. (2023). The use of visualization tools in teaching mathematics in college of education: A systematic review. *Online Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 4(1). <https://doi.org/10.53022/oarjst.2023.9.1.0057>
- [6] Tene, T., Marcatoma Tixi, J. A., Palacios Robalino, M. D. L., Mendoza Salazar, M. J., Vacacela Gomez, C., & Bellucci, S. (2024, June). Integrating immersive technologies with STEM education: a systematic review. In *Frontiers in Education* (Vol. 9, p. 1410163). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1410163>
- [7] Matovu, H., Ungu, D. A. K., Won, M., Tsai, C. C., Treagust, D. F., Mocerino, M., & Tasker, R. (2023). Immersive virtual reality for science learning: Design, implementation, and evaluation. *Studies in Science Education*, 59(2), 205-244. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2082680>
- [8] Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational psychology review*, 33(3), 937-958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- [9] Agbo, F. J., Olaleye, S. A., Bower, M., & Oyelere, S. S. (2023). Examining the relationships between students' perceptions of technology, pedagogy, and cognition: the case of immersive virtual reality mini games to foster computational thinking in higher education. *Smart Learning Environments*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00233-1>
- [10] Lehtikko, A., & Nykänen, M. (2024, August). A Mixed-Methods Study on Learner-IVR Interactivity, Agency, Cognitive Load and Learning Outcomes. In *European Association for Research on Learning and Instruction SIG 6 & 7 Conference 2024: Instructional Design, Technology-Enhanced Learning and Instruction*. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100066>
- [11] AlGerafi, M. A., Zhou, Y., Oubibi, M., & Wijaya, T. T. (2023). Unlocking the potential: A comprehensive evaluation of augmented reality and virtual reality in education. *Electronics*, 12(18), 3953. <https://doi.org/10.3390/electronics12183953>
- [12] Villada Castillo, J. F., Bohorquez Santiago, L., & Martínez García, S. (2025). Optimization of Physics Learning Through Immersive Virtual Reality: A Study on the Efficacy of Serious Games. *Applied Sciences*, 15(6), 3405. <https://doi.org/10.3390/app15063405>

- [13] Wang, Y., Zhang, L., & Pang, M. (2024). Virtual experiments in physics education: a systematic literature review. *Research in Science & Technological Education*, 1-23. <https://doi.org/10.1080/02635143.2024.2327995>
- [14] Korlat, S., Kollmayer, M., Haider, C., Hlavacs, H., Martinek, D., Pazour, P., & Spiel, C. (2024). PhyLab—a virtual reality laboratory for experiments in physics: a pilot study on intervention effectiveness and gender differences. *Frontiers in Psychology*, 15, 1284597. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1284597>
- [15] Habbal, F., Kolmos, A., Hadgraft, R. G., Holgaard, J. E., & Reda, K. (2024). *Reshaping engineering education: addressing complex human challenges* (p. 265). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-5873-3>
- [16] Hung, H. T., & Yeh, H. C. (2023). Augmented-reality-enhanced game-based learning in flipped English classrooms: Effects on students' creative thinking and vocabulary acquisition. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(6), 1786-1800. <https://doi.org/10.1111/jcal.12839>
- [17] Spangenberg, P., Matthes, N., Kapp, F., Kruse, L., & Plass, J. L. (2024). Orchestrating iVR technology in an authentic classroom setting and its effects on factual knowledge, comprehension and transfer. *Educational technology research and development*, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10409-2>
- [18] Tuysuz, A., & Özdemir, Ö. F. (2025). An experimental study exploring the effects of predict–observe–explain method supported with simulations. *Research in Science & Technological Education*, 43(2), 512-524. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2296458>
- [19] Wang, J., Stebbins, A., & Ferdig, R. E. (2022). Examining the effects of students' self-efficacy and prior knowledge on learning and visual behavior in a physics game. *Computers & Education*, 178, 104405. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104405>
- [20] Sengul, O. (2024). Understanding physics teachers' professional identity: an activity theory perspective. *International Journal of Science Education*, 46(15), 1650-1670. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2364369>
- [21] Bicalho, D. R., Piedade, J., & Matos, J. F. (2025). iVRPM: Conceptual Proposal of an Immersive Virtual Reality Pedagogical Model. *Applied Sciences*, 15(4), 2162. <https://doi.org/10.3390/app15042162>
- [22] Cooper, G., Thong, L. P., & Tang, K. S. (2024). Transforming science education with virtual reality: An immersive representations model. *Educational Media International*, 61(3), 229-251. <https://doi.org/10.1080/09523987.2024.2389348>
- [23] Elme, L., Jørgensen, M. L., Dandanell, G., Mottelson, A., & Makransky, G. (2022). Immersive virtual reality in STEM: is iVR an effective learning medium and does adding self-explanation after a lesson improve learning outcomes?. *Educational technology research and development*, 70(5), 1601-1626. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10139-3>
- [24] Baxter, G., & Hainey, T. (2024). Using immersive technologies to enhance the student learning experience. *Interactive Technology and Smart Education*, 21(3), 403-425. <https://doi.org/10.1108/ITSE-05-2023-0078>
- [25] Fitrianto, I., & Saif, A. (2024). The role of virtual reality in enhancing Experiential Learning: a comparative study of traditional and immersive learning environments. *International Journal of Post Axial: Futuristic Teaching and Learning*, 97-110. <https://doi.org/10.59944/postaxial.v2i2.300>
- [26] Astatke, M., Weng, C., & Yohannes, A. (2025). What is the role of immersive virtual reality (IVR) in the development of creativity skills and engagement among students in STREAM (Science, Technology,

Religion, Engineering, Art, and Mathematics)-based learning?. *Education and Information Technologies*, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13610-9>

[27] Gill, A., Irwin, D., Sun, L., Towey, D., Zhang, G., & Zhang, Y. (2025). Microlearning in Immersive Virtual Reality: A User-Centered Analysis of Learning Interfaces. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. <https://doi.org/10.1109/TLT.2025.3533360>

[28] Manzi, S. (2024). *How to Measure Game Testing: a Survey of Coverage Metrics and an Implementation on the iv4XR Framework* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).

[29] Bunt, L., Greeff, J., & Taylor, E. (2024). Enhancing serious game design: expert-reviewed, stakeholder-centered framework. *JMIR Serious Games*, 12, e48099. <https://doi.org/10.2196/48099>

[30] Villada, J. F., Vega, M. M., & Ladino, E. A. H. (2022). Diseño de un videojuego para la enseñanza del movimiento parabólico mediante un proceso de diseño centrado en el usuario. *Scientia et Technica*, 27(3), 155-166. <https://doi.org/10.22517/23447214.24949>

[31] Anuar, F. N. K., Sulaiman, R., Din, N. B. C., & Razak, A. S. (2023, July). The IVE-IEQ Model: A Conceptual Framework for Immersive IEQ Learning. In *International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality* (pp. 91-100). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-9018-4_7

[32] Bosch, C. (2024). Assessing the Psychometric Properties of the Intrinsic Motivation Inventory in Blended Learning Environments. *Journal of Education and e-Learning Research*, 11(2), 263-271. <https://doi.org/10.20448/jeelr.v11i2.5468>

[33] Vlachogianni, P., & Tselios, N. (2022). Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review. *Journal of Research on Technology in Education*, 54(3), 392-409. <http://doi.org/10.1080/15391523.2020.1867938>

[34] Hernández, C. A., Núñez, R. P., & Gamboa, A. A. (2021, October). Gains in active learning of physics: a measurement applying the test of understanding graphs of kinematics. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2073, No. 1, p. 012003). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2073/1/012003>

[35] López-Fernández, D., Gordillo, A., Alarcón, P. P., & Tovar, E. (2021). Comparing traditional teaching and game-based learning using teacher-authored games on computer science education. *IEEE Transactions on Education*, 64(4), 367-373. <http://doi.org/10.1109/TE.2021.3057849>

[36] Nusroh, H., Khalif, M. A., & Saputri, A. A. (2022). Developing Physics Learning Media Based on Augmented Reality to Improve Students' Critical Thinking Skills. *Physics Education Research Journal*, 4(1), 23-28. <http://doi.org/10.21580/perj.2022.4.1.10912>