

Diseño de un videojuego para la enseñanza del movimiento parabólico mediante un proceso de diseño centrado en el usuario

Design of a videogame for projectile motion teaching using a user centered design process

J. F. Villada-Castillo ; M. F. Montoya-Vega ; E. A. Hincapié-Ladino 

DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.24949>

Artículo de investigación científica y tecnológica

Abstract— The teaching of physics as a university course presents different challenges, among which the lack of interest and motivation to study physics in students is one of the most prominent. It has been identified that this demotivation is due to the disconnection that relates physical phenomena with daily life. In addition, the traditional instruction of this subject emphasizes quantitative aspects, which most students fear, and leaves aside qualitative analysis. It has been proven that in order to meaningfully learn scientific concepts and understand the physical world, students need to construct proper mental representations. That is why some authors have proposed simulators that present on the screen a model of the phenomenon studied or information and graphics that are associated. In the last decade, animations and video games in virtual reality have been proposed for the teaching of physics and other science subjects, such as chemistry and geometry. Several authors note the improvement in the assimilation of content and the rapid growth of the learning curve by applying virtual environments in education. Virtual environments are proposed since they motivate students, brings them closer to reality, allowing them to visualize the phenomenon and modify it. Therefore, this work presents the design and preliminary results of a video game for university teaching of the physical concept called Projectile Motion. This was done through a methodology of user-centered design and video game design.

Index Terms— Physics teaching, Projectile movement, Virtual reality in education, Video games, Parabolic Motion.

Resumen—La enseñanza de física como curso universitario presenta diferentes desafíos, dentro de los cuales la falta de interés y motivación por estudiar física en los estudiantes es uno de los más destacados. Se ha identificado que esta desmotivación es debido a la desconexión que relaciona los fenómenos físicos con el día a día, y adicionalmente que la instrucción tradicional de esta materia enfatiza en aspectos cuantitativos y deja de lado el análisis cualitativo. Se ha comprobado que para aprender significativamente los conceptos científicos y comprender el

mundo físico, los estudiantes necesitan construir representaciones mentales adecuadas. Para ello, algunos autores han propuesto simuladores que presentan en la pantalla un modelo del fenómeno estudiado o informaciones y gráficos que van asociados. En la última década se han propuesto animaciones y videojuegos en realidad virtual para la enseñanza de la física y otras asignaturas de ciencia, tales como química y geometría. Diversos autores constatan la mejora en la asimilación de contenidos y el rápido crecimiento de la curva de aprendizaje aplicando entornos virtuales en la educación, ya que motivan a los estudiantes, los aproxima a la realidad, permitiendo que visualicen el fenómeno y lo puedan modificar. Por lo anterior, este trabajo presenta el diseño y resultados preliminares de un videojuego para la enseñanza universitaria del concepto físico llamado Movimiento de Proyectoil. Esto se realizó a través de una metodología de diseño centrado en el usuario y diseño de videojuegos.

Palabras claves—Enseñanza de física, Movimiento de proyectil, Realidad Virtual, Videojuegos, Movimiento Parabólico.

I. INTRODUCCIÓN

UNO de los principales problemas que enfrenta la enseñanza de la física y los resultados que esta promueve, es la falta de consenso común de los profesores para preparar a los estudiantes con un grado de actualización que les permita vivir de acuerdo a la época. Por ejemplo, aplicar los ejemplos y problemas tradicionales de la física a problemas actuales permitiendo fomentar el espíritu crítico y valorativo ante la situación. Similarmente, otra de las causas identificadas es la falta de interés y motivación por estudiar física en los estudiantes debido a la desconexión que la relaciona con el día a día [1], [2].

Un aspecto que influye en la poca motivación del estudiante hacia la física es que la instrucción tradicional enfatiza en aspectos cuantitativos y deja de lado el análisis cualitativo [3].

Este manuscrito fue enviado el 19 de octubre de 2021 y aceptado el 23 de agosto de 2022.

J. F. Villada-Castillo es profesor asociado de la Universidad Tecnológica de Pereira, Departamento de Física Facultad de Ciencias Básicas, Pereira, Colombia (e-mail: jfvillada@utp.edu.co).

M. F. Montoya-Vega es investigadora asociada a Exertion Games Lab, Monash University Melbourne, Australia. (e-mail: mf.mv@utp.edu.co)

E. A. Hincapié-Ladino, es profesor catedrático en la Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia (e-mail: eahincapie@utp.edu.co)



También se señala que aun, hoy en día, prevalece la idea de una física objetiva, abstracta y difícil [4]. Estas metodologías de enseñanza han demostrado ser menos efectivas que la investigación práctica y métodos interactivos de enseñanza-aprendizaje [5]. Particularmente, los programas de ingeniería siguen confiando en esta manera de transmitir el conocimiento científico [6].

Para aprender significativamente los conceptos científicos y comprender el mundo físico, los estudiantes necesitan construir representaciones mentales adecuadas. Tal como señalan los resultados de investigaciones provenientes del campo de la enseñanza de la física, la construcción de tales representaciones está lejos de ser una tarea trivial [3]. Desde los estudios de la didáctica de las ciencias, se destaca la necesidad de apropiar los procesos investigativos en la enseñanza de la física y hacerla más contextualizada, es decir, que involucre el enfoque “Ciencia, Tecnología y Sociedad”, y que sus lecciones de ciencias se centren en los estudiantes para que sean cada vez más interactivas [7].

Para ello, algunos autores han propuesto simuladores que presentan en la pantalla un modelo del fenómeno estudiado o informaciones y gráficos que van asociados [8]. De esta forma, los simuladores interactivos contribuyen y ayudan al proceso de enseñanza y aprendizaje de la física, pues motiva a los estudiantes, los aproxima a la realidad, permitiendo que visualicen el fenómeno y lo puedan modificar. Esto provee otro carácter a la enseñanza de la física, permitiendo que los estudiantes reconozcan los procesos físicos sin tener que enfrentarse a sus dificultades en cálculos matemáticos [9]. Las simulaciones también permiten que para cada fenómeno los estudiantes realicen variaciones de los parámetros de la simulación, analicen resultados y discutan conclusiones [10], [11].

Dentro del mundo de los simuladores se ha explorado la realidad virtual (RV) como herramienta de aprendizaje, aunque existen debates en curso sobre su papel dentro de la enseñanza. En particular, hace falta investigaciones rigurosas para comprender cómo podemos integrar la tecnología de RV con los contextos de aprendizaje con el fin de obtener mejores resultados. Como se demostrará en el trabajo relacionado, no hay evidencia suficiente para establecer una guía sobre el diseño de entornos de aprendizaje virtual (VLEs) para diferentes contextos de aprendizaje [12]. Sin embargo, se sabe que algunas ventajas de los VLEs son: La novedad de la realidad virtual llama la atención de los estudiantes; los mundos informáticos se pueden utilizar para generar representaciones significativas; y la información se puede presentar simultáneamente en una variedad de formas.

La retención de conocimientos también es un factor crítico para evaluar el valor de la RV en la educación. Investigaciones anteriores indican que no hay diferencia en la retención de conocimientos entre los estudiantes que aprenden en entornos 3D y 2D o entre los estudiantes que aprenden en entornos físicos y de realidad virtual [13]. Diversos autores constatan la mejora en la asimilación de contenidos y el rápido crecimiento de la curva de aprendizaje aplicando entornos virtuales en la educación [14]. Los estudiantes tienen la oportunidad de

aprender fuera de los espacios tradicionales de enseñanza-aprendizaje, en cualquier lugar y en cualquier momento. Es decir, pueden llevar a cabo un aprendizaje ubicuo [36]. El motivo económico por el que hasta ahora esta tecnología estaba fuera del alcance de los centros educativos [15], [16], y el escaso diseño de los entornos virtuales de aprendizaje [17], pertenecen ya al pasado. Las posibilidades de la RV como instrumento útil en el ámbito educativo cobran cada vez más fuerza.

Aun cuando existe acuerdo a nivel mundial en que la física juega un rol muy importante en el currículo universitario de programas relacionados con las ciencias, puesto que ella contribuye a la formación de los estudiantes en una perspectiva muy amplia, se percibe en ellos gran desinterés por la asignatura. Por otra parte, numerosos trabajos de investigación muestran que la actitud del estudiante con relación a la física se torna, en general, menos positiva en los primeros semestres de la universidad. Ahora bien, los jóvenes que deciden estudiar un programa relacionado con las ciencias naturales obligatoriamente tendrán que enfrentarse a la física como asignatura fundamental. Según los contenidos de asignatura se deberán de realizar análisis de cuerpos en movimiento, de tal manera que, en su diario vivir académico, se enfrentara con el análisis de variables físicas como: desplazamiento, velocidad o tiempo; así como con constantes universales como la aceleración de la gravedad. Y de allí parte la importancia de analizar un objeto (partícula o cuerpo rígido) que se mueve en dos dimensiones bajo el efecto de un campo gravitacional uniforme, conocido como movimiento parabólico o de proyectil.

Debido a que el movimiento parabólico hace parte del curricular fundamental de la física universitaria, se considera adecuada la implementación de un ambiente virtual para su enseñanza. Con este trabajo, nosotros esperamos que el aprendizaje de los estudiantes sea más libre, exploratorio, inmersivo y adaptable, y encienda la llama de la curiosidad por la física en los estudiantes.

Estas consideraciones son las que nos han llevado a estudiar el problema y proponer soluciones que generen interés en los estudiantes de tal manera que estudiar los conceptos de la física, como lo es el movimiento de proyectil y sus aplicaciones, sean una experiencia trascendental y motivadora a través del uso de las tecnologías como lo es la RV.

A. Trabajo relacionado

Los VLE incluyen una amplia gama y combinación de tecnologías y proporcionan una gran cantidad de funcionalidades, características y posibilidades. Se sabe que el alcance de las modalidades en un VLE es una de las influencias más significativas y directas sobre la efectividad de un mundo virtual en términos de enseñanza y aprendizaje. Según [12] el videojuego es la mejor calidad de modalidad disponible en un sistema informático estándar. Por otro lado, un videojuego serio es un desarrollo que se ofrece en forma de juego o simulación, que se creó para satisfacer las necesidades específicas de un grupo; además de entretener brinda una segunda aplicación [18]. Dentro de los juegos serios existe una categoría llamada juegos de aprendizaje o educativos, los cuales están diseñados expresamente con fines educativos explícitos y se

distinguen con la sigla SGs. Hay dos mecanismos clave a considerar en cualquier juego serio: “mecánica de juego” y “mecánica de aprendizaje”. La mecánica del juego controla la interacción del usuario con el estado del juego. Las mecánicas de aprendizaje facilitan el aprendizaje a través de una variedad de pedagogías y teorías educativas, según lo expresa Arnab *et al* [19]. Los anteriores autores también relacionaron ambos tipos de mecánicas para que los diseñadores de SGs tengan en cuenta al momento de plantear sus sistemas interactivos. Estas técnicas están planteadas según diferentes teorías de aprendizaje, como el modelo de aprendizaje experiencial (ELM) [20]. Este modelo ha sido respaldado por diferentes investigadores [12], [21], [22], que muestran que los VLEs y los SGs son más valiosos para el aprendizaje debido a que proporcionan experiencias significativas ricas en estímulos tanto visuales como auditivos.

El uso de SGs en diferentes contextos educativos se ha popularizado en la última década ya que el costo del hardware y la disponibilidad del software son una barrera cada vez menor. Las posibilidades de las simulaciones realizadas en entornos virtuales permiten, por ejemplo, recreaciones históricas convincentes, expediciones científicas, laboratorios simulados y cualquier experiencia de aprendizaje que pueda hacer uso de simulaciones y viñetas [23]. Para la física, el uso de simulaciones, animaciones, y experimentos interactivos digitales se han utilizado desde hace muchos años como material didáctico complementario para el aula, con el fin de ayudar a los alumnos a comprender los conceptos subyacentes de ecuaciones y fenómenos teóricos en física [24]. Además, el uso de laboratorios virtuales ha demostrado ser apoyo a los estudiantes, proporcionándoles un entorno digital para realizar experimentos que en la vida real pueden ser demasiado costosos, peligrosos o complicados [25]. Los juegos serios se han utilizado con éxito en muchos contextos. Cheng *et al* [26] discuten el uso de juegos serios en la educación científica, se evidencia que la mayoría de los juegos son de aventuras o de rol. También vale la pena mencionar el proyecto desarrollado por Bahadoorsingh *et al.* [27], en el que se utilizan juegos serios en la formación de ingenieros, particularmente en el diseño y análisis de redes de distribución de energía.

Desde la implementación de *head mounted display* (HMD) de bajo costo que apoyan experiencias de RV, cada vez más investigadores han estudiado los efectos de involucrar a los estudiantes con el uso de esta tecnología en estas experiencias. Huang [28] realizó una investigación para indagar sobre efectividad del entorno HMD RV en el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería al realizar una tarea de ensamblaje. Investigadores de la Universidad George Mason, en colaboración con la Universidad de Houston, desarrollaron un banco de pruebas experimental en el que estudiaron el uso de la realidad virtual tridimensional para enseñar conceptos tridimensionales, llamado *ScienceSpace*. Como plataforma experimental, desarrollaron tres mundos para enseñar conceptos de física y química [29]. Kuhn y colegas [30] investigaron el uso de *Google Smart Glasses* al aprender conceptos de física. Los resultados han mostrado un aumento de los niveles de curiosidad al aprender experimentos de física,

pero tuvieron el mismo efecto en la adquisición de conocimientos que cuando se usa la misma plataforma en tabletas.

Estos trabajos evidencian el potencial del uso de RV y SGs para diferentes conceptos de las ciencias. Sin embargo, su potencial para la física universitaria sigue sin ser explorado. En este proyecto se plantea el diseño de un videojuego serio para la enseñanza del movimiento parabólico desde un enfoque centrado en el usuario. En las siguientes secciones se muestra el diseño basado en la metodología del Modelo de Proceso de la Ingeniería de la Usabilidad y la Accesibilidad (MPIu+a) [31]. Este modelo es una metodología de desarrollo de sistemas interactivos que tiene como meta principal poner al usuario en el centro del desarrollo.

II. METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL VIDEOJUEGO PARA LA ENSEÑANZA DEL MOVIMIENTO DE PROYECTIL

Para el diseño de este sistema interactivo primero se propuso el desarrollo de un cuestionario para conocer a los estudiantes de la asignatura de física I que se enfrentan al concepto de movimiento parabólico. Posteriormente se planteó una metodología usando el modelo MPIu+a para diseñar el concepto del videojuego.

A. Encuesta a estudiantes de la asignatura física I de la Universidad Tecnológica de Pereira

Se realizó un cuestionario en línea para establecer las limitaciones y motivaciones de los estudiantes de física I al momento de aprender el concepto de movimiento parabólico, y de esta manera, diseñar un videojuego para la enseñanza del mismo. Adicionalmente, el cuestionario indagó la experiencia de juego de los estudiantes, sus gustos de videojuegos y experiencias con realidad virtual.

Para el diseño de este cuestionario se realizó una revisión de la literatura en busca de sistema interactivos utilizados para la enseñanza, en donde se encontró que los autores proponen desde juegos de papel y mesa [32], juegos en celular y computador [33], y juegos en sistemas de realidad virtual [28]. Por ello, conocer las diferentes experiencias de juego de los usuarios cobra relevancia al momento de diseñar un sistema gamificable, de la misma manera que conocer sus preferencias de juego y sus motivaciones para jugar.

Por otro lado, para diferentes investigaciones es importante conocer la motivación de los estudiantes para jugar. Estos autores proponen que la motivación, además de ser muy relevante para el éxito de los estudiantes, es el factor más importante que permite el aprendizaje [34]. Por ello, los cuestionarios encontrados referentes a la percepción de los estudiantes acerca de estudiar física indagan la motivación de estos para estudiarla [35].

Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó un cuestionario que consta de 5 secciones. La primera se enfoca en recopilar los datos demográficos del participante: nombre, número de identificación, edad, género. La segunda sección se enfoca en la experiencia de juego, preguntando la práctica que tienen los participantes con juegos clásicos jugados en nuestro país, como el parqués, el dominó y las rondas. Esta sección también se orienta a encontrar la motivación de los participantes para jugar

y lo que les gusta hacer mientras juegan. La tercera sección pregunta por la experiencia de los encuestados con videojuegos y con realidad virtual. La última parte del cuestionario se enfoca en indagar acerca de la percepción de los estudiantes hacia la asignatura de física I, el concepto de movimiento parabólico y las estrategias que utilizan al momento de aprenderlo, esta última sección fue basada en los cuestionarios estándar planteados en [35].

Este cuestionario se reescribió en línea usando *Google Forms*, para que los estudiantes de Física I de la Universidad Tecnológica de Pereira fueran voluntarios y pudieran acceder a él vía internet para responder sus preguntas virtualmente.

B. Diseño centrado en el usuario usando la metodología MPIu+a

Se decidió diseñar el videojuego siguiendo la metodología de diseño centrado en el usuario MIPu+a. Esta metodología tiene 3 etapas principales (Fig. 1): el análisis de requisitos, el prototipado y la evaluación [31]. En las siguientes secciones se explicará cómo se llevó a cabo cada una de estas etapas:

1) Análisis de requisitos

El primer paso de esta etapa es identificar a los implicados, son esos participantes (en el proceso de desarrollo) junto a cualquier otro individuo, grupo u organización cuyas acciones pueden influenciar o ser influenciados por el desarrollo y uso del sistema, ya sea directa o indirectamente [36], [37]. En este caso los implicados directamente son los estudiantes de física I y los desarrolladores del sistema, mientras los indirectos son los profesores de física I y directivos de la Universidad.

Una vez identificados los implicados se procede a tratar de conocerlos. Esto se realiza generalmente a través de entrevistas contextuales o encuestas, se conoce cómo los usuarios enfrentan la tarea que va a cumplir el sistema interactivo [38], [39]. En nuestro caso, a través de una encuesta se preguntó cómo los estudiantes de física I resuelven problemas de física, qué percepción tiene acerca de este concepto y que tan importante consideran la física para su vida. Por otro lado, el cuestionario también indagó sobre la experiencia con videojuegos de los estudiantes, dado que el sistema interactivo a desarrollar se creará en forma de videojuego en RV.

El segundo paso de la etapa de análisis de requisitos es la clasificación de los usuarios, donde al conocer a los usuarios se trasladan sus características al sistema de tal manera que este sea usable y accesible. Un método para la creación de los perfiles de usuario es analizando cuestionarios o realizando entrevistas. Por ello, a través de los resultados de la encuesta realizada a los estudiantes de física I, se crearon los perfiles de usuario teniendo en cuenta las siguientes capacidades, necesidades y habilidades determinantes para la usabilidad del sistema interactivo:

- Experiencia de juego: si el estudiante ha tenido experiencia con realidad virtual, si ha jugado videojuegos y cuántas horas dedica a jugar videojuegos.
- La percepción del estudiante hacia la física, si le parece interesante, se preocupa por aprender y la disfruta, o por el contrario no le encuentra relevancia ni le interesa aprender.

A través de la técnica de “Personas” [40] y de las características prominentes de los usuarios se determinaron los perfiles agrupados en diferentes grupos. Cada rol de personas representa una agrupación de comportamientos, intereses y motivaciones identificadas en los resultados del cuestionario a los usuarios finales. El sistema interactivo finalmente debe cumplir con los requerimientos de todos los perfiles de usuario.

El tercer paso del análisis de requisitos es establecer el modelo mental. Ya que a través del cuestionario en línea se pudo indagar acerca de los procesos mentales que los estudiantes realizan cuando se enfrentan a problemas de física, estas estrategias deben estar plasmadas cuando el sistema interactivo ayude a cada usuario a comprender el concepto físico de movimiento parabólico.

El cuarto paso es la definición de los objetivos funcionales, de usabilidad y de accesibilidad del sistema interactivo en forma de videojuego [31]. Así se plantea lo siguiente:

- Funcionales: estos objetivos se relacionan a las tareas que se espera que el sistema cumpla. El objetivo funcional de nuestro sistema interactivo a través de un videojuego es el reforzamiento del concepto de movimiento parabólico.
- Usabilidad: aseguran que los sistemas interactivos

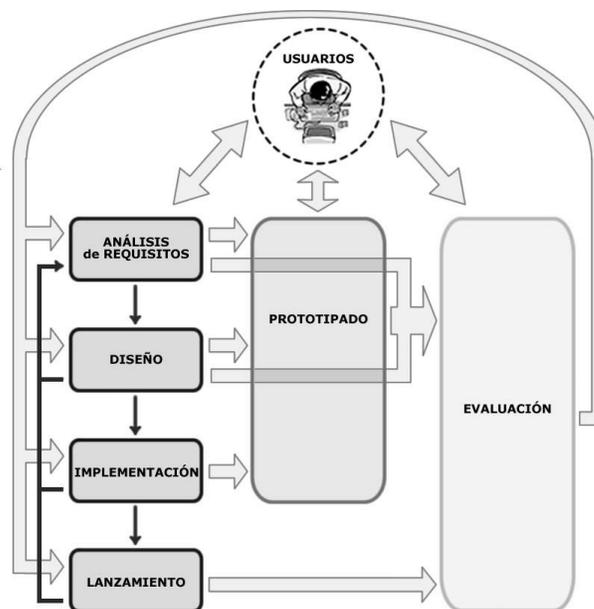


Fig 1. Modelo MIPu+a, tomada de [31].

sean fáciles de aprender, efectivos y agradables para sus usuarios.

- Accesibilidad: estos objetivos se plantean con respecto a las capacidades o discapacidades de los usuarios finales.

En la etapa de requerimientos del sistema, se plantea escoger la plataforma digital donde se desarrollará y ejecutará el sistema interactivo. Ya que este sistema está planteado como un videojuego, este se desarrolló en la plataforma mundialmente conocida Unity 3D, ya que es de acceso libre y contiene variedad de contenido gratuito. Esta plataforma permite

ejecutar el videojuego en diferentes sistemas operativos, desde Microsoft, Linux hasta Android [41].

2) Prototipado

Como se muestra en la figura 1, una vez iniciado y clarificado el diseño, la etapa de prototipado se empieza de manera paralela. Se realizan prototipos con la finalidad de explorar los aspectos interactivos del sistema incluyendo la usabilidad, la accesibilidad y/o la funcionalidad del mismo. El proceso de prototipado del sistema interactivo planteado a través de un videojuego consta de dos pasos. El primero un prototipado rápido [42] de baja fidelidad, usando la técnica de *storyboard* y las mecánicas de juegos [43]. Una vez aprobado el prototipado rápido por el equipo de diseño, se prosiguió a realizar el prototipado lento, usando la programación del videojuego y su prueba a través de play test.

- Prototipado rápido usando *storyboard* y mecánicas de juego: El *storyboard* consiste en una serie de dibujos o imágenes dispuestos en formato secuencial de viñetas, y representan cómo un determinado sistema será usado durante la consecución de una determinada tarea [44]. A través de la técnica de *Storyboard* se desarrolló el tema principal del juego, donde se plasman las escenas principales y de la interfaz de usuario. Por otro lado, las mecánicas de juego se desarrollaron según el modelo de Shell [43], donde un videojuego debe tener 4 elementos principales: la historia, las mecánicas, la estética y la tecnología. Estos elementos permiten describir todas las interacciones que tendrán los jugadores dentro del juego, por ello, se describen con detalle para establecer una claridad al momento de realizar el prototipado lento.
- Prototipado lento usando programación de videojuegos: el videojuego se programó y diseñó en conjunto con un experto en programación de videojuegos. En esta programación se tendrá en cuenta lo planteado en el *storyboard* y en las mecánicas de juego, para de esta manera recrear las interacciones que se tienen pensadas para los jugadores.

III. RESULTADOS

En esta sección se muestra el análisis y los resultados de la encuesta para estudiantes de física I planteada en la metodología. De la misma manera se exponen los resultados del diseño del videojuego siguiendo los pasos de la metodología MIPu+a.

A. Encuesta de experiencia de juego y motivación para estudiar física a estudiantes de física I de la universidad tecnológica de Pereira

El cuestionario planteado después de una revisión bibliográfica y propuesto en el anexo A, se desarrolló en un

formato en la web usando *Google Forms* para que fuera desarrollado con mayor facilidad por los voluntarios¹

Se reclutaron estudiantes voluntarios de física I con la ayuda de la dirección de la facultad de ciencias básicas de la universidad y los profesores que dictan dicha asignatura. Los profesores enviaron el enlace de acceso al cuestionario a sus estudiantes y los voluntarios lo resolvieron. El cuestionario solo se pudo desarrollar si el estudiante estuvo de acuerdo con el consentimiento informado.

Finalmente, 93 estudiantes de 14 carreras diferentes (Tecnología Mecánica, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería en procesos Agroindustriales, Ingeniería en Procesos Sostenibles de la Madera, Ingeniería en Manufactura, Tecnología Química, Química Industrial, Administración Ambiental, Ingeniería Industrial, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Sistemas, y Licenciatura en Matemáticas y Física), 33 mujeres y 60 hombres, llenaron el cuestionario en su totalidad, con un promedio de edad de 20,8 años \pm 3,35 años.

1) Experiencia de juego y motivación para jugar videojuegos

Los resultados de la sección de gustos de juegos se pueden resumir en las siguientes conclusiones:

- A la mayoría de los encuestados le atrae jugar juegos debido a que generan una distracción, les gusta estimular sus habilidades de creación de estrategias, y se refieren a los juegos como una manera de compartir con los demás.
- El 100% de los encuestados ha jugado algún juego de

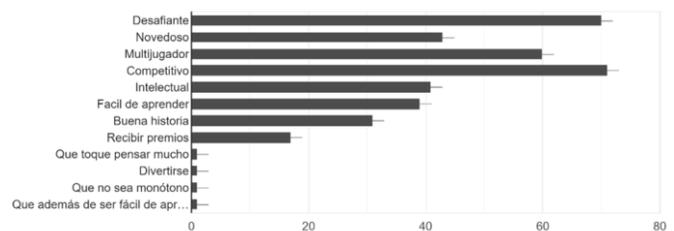


Fig. 2. Gustos de juego de los estudiantes de Física I. Respuestas a la pregunta “¿Cuáles de las siguientes características le parecen importantes de un juego?”

mesa, siendo de preferencia el parqués y el stop.

- Al 70% de los encuestados les parece importante que un juego sea desafiante y competitivo. Al 60% de los estudiantes consideran interesante los juegos multijugador (Fig. 2).
- Los tres tipos de juegos de mayor gusto fueron: Estrategia, aventuras y de guerra
- El 81% de los encuestados se sienten atraídos por crear estrategias para ganar, de la misma manera al 47% de los estudiantes les gusta colaborar con los demás e intercambiar información para ganar (Fig.3).
- El 51% de los participantes prefieren jugar con música de fondo con sonidos de ambiente de bajo volumen.
- Los participantes contestaron diferentes preguntas acerca de la importancia de diferentes características en un juego, donde los resultados destacan de mayor importancia que el juego tenga una historia elaborada

¹https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe6Q6_8jYf7Piwg3ByK_8iUXDq-XtRef9MAy0vUZrAyc8WgWA/viewform?usp=sf_link .

(70%), que se le permita al jugador practicar, ver su progreso y volverse mejor (71%), adquirir poderes, armas especiales, o grandes premios (80%), y tener desafíos constantes (76%). Por otro lado, también se cuestionaron las acciones que realizan con mayor frecuencia mientras juegan, donde sobresalen querer hacer jugadas cuidadosas y de alta planeación (74%), y trabajar en común (74%).

En cuanto a la experiencia con videojuegos, el 93% de los jugadores ha jugado algún videojuego, con el 53% computador o Tablet y el 47% en consola, siendo los más destacados *League of Legends*, *Call of Duty*, *FIFA* y *Mario cart*. De estos

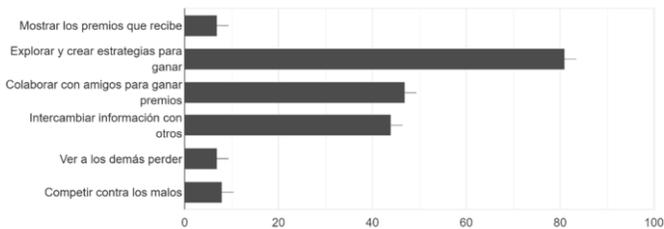


Fig. 3. Gustos de juego de los estudiantes de Física 1. Respuestas a la pregunta “¿Cuáles de estas acciones le gusta realizar con mayor frecuencia mientras juegas?”

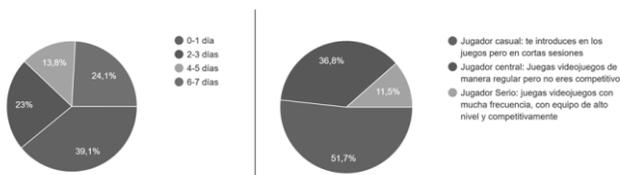


Fig. 4. Experiencia de los estudiantes de Física 1 jugando videojuegos. Izquierda: Respuestas a la pregunta “En una semana normal ¿Cuántos días se toma para jugar al menos 30 minutos?”. Derecha: Respuestas a la pregunta “Se considera a usted mismo:”

estudiantes solo el 24% juegan videojuegos todos los días, y solo el 11% se consideran jugadores serios (Fig. 4). Por otro lado, solo el 23% de los participantes de la encuesta ha jugado videojuegos en realidad virtual y todos manifestaron algún tipo de dificultad para usar la tecnología, principalmente la visión y los mareos.

2) Motivación para estudiar física y percepción de los estudiantes a la asignatura física I.

Con respecto a la percepción de los estudiantes de la asignatura física I, la mayoría de ellos se mostraron interesados en aprender los conceptos de esta materia. El 90% de los participantes creen que aprender física les traerá beneficios profesionales, por ellos se esfuerzan y se preparan para que les vaya bien. De manera similar el 82% de los estudiantes encuestados manifestaron interés y disfrute por estudiar física, y la consideran relevante para su vida. Por otro lado, el 27% de los participantes no dedican mucho tiempo a estudiar la materia ni utilizan estrategias para aprender la misma.

A los estudiantes se les preguntó por el tipo de estrategias que utilizan al enfrentarse con un problema de física, donde el 60 % suelen usar las ecuaciones con variables conocidas y acuden a los libros o notas de clase para encontrar problemas similares (Fig. 5). Por otro lado, el 50% de los encuestados

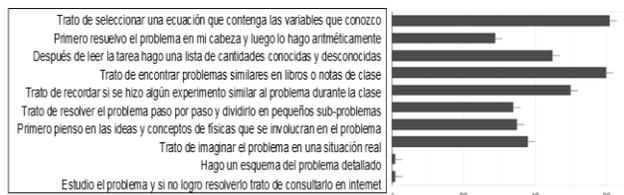


Fig. 5. Estrategias para aprender física que usan los estudiantes de física 1. Respuestas a la pregunta “¿Utiliza alguna de las siguientes estrategias para aprender o solucionar un problema de física?”.

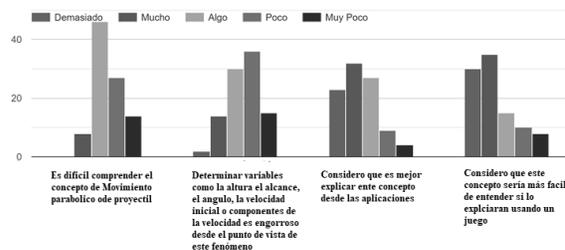


Fig. 6. Consideraciones del concepto de movimiento parabólico de los estudiantes de física 1. Respuestas a la pregunta “Marque que tan de acuerdo esta con las siguientes afirmaciones”.

tratan de recordar los laboratorios y prácticas que involucran el problema. Solo el 35% piensa primero en el concepto que utiliza el fenómeno para luego tratar de resolverlo, o trata de resolver el problema en su mente y luego aritméticamente.

Finalmente, la encuesta reveló que el 58% de los estudiantes encuestados piensan que el movimiento parabólico es un concepto físico difícil de entender y la determinación de las variables involucradas es engorroso. Así, el 84% consideran que el concepto es mejor explicado desde las aplicaciones y ejemplos de la vida real, además, consideran que sería más fácil de entender usando un juego (Fig. 6).

B. Diseño del videojuego en RV para la enseñanza del movimiento de proyectil usando la metodología MPIu+a

En esta sección se expondrá el resultado de los criterios de diseño que se tuvieron en cuenta siguiendo los pasos de la metodología MPIu+a propuestos en la sección IIB.

1) Conociendo a los implicados

En la sección anterior se expusieron los hallazgos del cuestionario que revelaron los gustos y motivaciones de los estudiantes para jugar videojuegos, así como las motivaciones, limitaciones y necesidades al momento de estudiar física, y particularmente, el concepto de movimiento parabólico. Estos hallazgos permitieron conocer a los estudiantes, quienes son los usuarios finales del videojuego.

2) Clasificación de los usuarios

Analizando los resultados de la encuesta se crearon los perfiles de usuario. A través de la técnica de “Personas” y de las características prominentes de los usuarios se determinaron los siguientes perfiles agrupados en tres grupos: principiante, aficionado, experimentado. Cada rol de personas representa una agrupación de comportamientos, intereses y motivaciones identificadas en los resultados del cuestionario a los usuarios

finales. El sistema interactivo finalmente deberá cumplir con los requerimientos de todos los perfiles de usuario.

Principiante: este tipo de usuario no ha tenido experiencia jugando videojuegos ni usando tecnología de realidad virtual, no obstante, ha tenido amplia experiencia con juegos de mesa pues disfruta de crear estrategias y trabajar sus habilidades mentales jugando (Fig. 7). Por otro lado, se siente atraído por estudiar física y considera que es importante para su futuro profesional. De los 93 participantes de la encuesta, solo 6 se clasificaron dentro de esta categoría.

Aficionado: este tipo de usuario ha tenido experiencia jugando videojuegos de forma casual, algunos han experimentado la realidad virtual, sin embargo, no siente interés en la física, no se preocupa por aprenderla ni cree que sea importante para su carrera profesional (Fig. 8). De los 93 participantes de la encuesta, 16 se clasificaron dentro de esta categoría.

Experto: este tipo de rol de Persona se considera un jugador



Fig. 7. Infografía de la categoría de Persona Principiante. Experiencia y percepción de juego, motivación y percepción para aprender física.

serio, que juega videojuegos con mucha frecuencia, con equipo



Fig. 8. Infografía de la categoría de Persona Aficionado. Experiencia y percepción de juego, motivación y percepción para aprender física.”

de alto nivel y competitivamente. Por otro lado, este tipo de estudiante considera que la física es importante para su desarrollo profesional y siente interés por estudiar y



Fig. 9. Infografía de la categoría de Persona Experto. Experiencia y percepción de juego, motivación y percepción para aprender física.

comprender los conceptos de física (Fig. 9). De los 93 participantes de la encuesta, 71 se clasificaron dentro de esta categoría.

3) Modelo Mental

Ya que a través del cuestionario *online* se pudo indagar acerca de los procesos mentales que los estudiantes realizan cuando se enfrentan a problemas de física, estas estrategias deben estar plasmadas cuando el sistema interactivo ayude a cada usuario a comprender el concepto físico de movimiento parabólico. Por otro lado, los usuarios de este sistema son estudiantes jóvenes (95%) con alta experiencia utilizando sistemas tecnológicos como *smartphones* y computadores, por lo cual se puede asumir que la interfaz que presenta el sistema a diseñar debe ser similar al uso de interfaces en estas tecnologías. Además, según las estrategias de los estudiantes para resolver problemas de física, se estableció que el videojuego muestre constantemente las variables asociadas al movimiento de proyectil para reforzar los procesos mentales que llevan a cabo al momento de aprender física.

4) Objetivos funcionales, de usabilidad y de accesibilidad

Funcionales: el objetivo funcional es el reforzamiento del concepto de movimiento parabólico, por ello el diseño del videojuego trae inmerso una explicación interactiva de este concepto, mostrando constantemente las variables que cambian en el movimiento y permitiendo al jugador/estudiante influir directamente en ellas. De la misma manera, el juego hace retroalimentación constante de un fenómeno que sea explicado a través de este concepto, para ello se eligió el lanzamiento de un balón de baloncesto para explicar la mecánica de este concepto físico.

Usabilidad: se plantea que el videojuego sea

- **Fácil de aprender:** los jugadores serán capaces de empezar el videojuego la primera vez sin ningún tipo de aprendizaje. La interfaz del videojuego ha de ser simple, fácil de aprender y utilizar, con funcionalidades accesibles y bien definidas
- **Consistente:** el videojuego mantendrá el mismo estilo durante toda la interacción, tanto en la interfaz gráfica

como en el uso de comandos y botones desde los controladores.

- Robusto: aunque el prototipo final es un demo de laboratorio, el sistema deberá correr sin ningún tipo de interrupción o errores (glitch).
- Estético: el videojuego manejará un estilo de gráficos ligeros tipo *cartoon*.
- Recuperable: se creará una pestaña de ayuda en el menú general, donde se listan algunos errores comunes y que permitan al usuario saber dónde está; además, como los conceptos del movimiento parabólico serán claves dentro del desempeño del jugador, serán accesibles en esta sección de ayuda.
- Tiempo de Respuesta: la latencia del videojuego coincidirá con las acciones que realicen los usuarios en el entorno real, por ejemplo, los movimientos de las manos del jugador deben coincidir con los movimientos de las manos del personaje virtual.

Accesibilidad: el sistema interactivo en forma de videojuego podrá ser utilizado por estudiantes que no posean problemas graves de visión ni movilidad. Dado que el videojuego será desarrollado para realidad virtual, se utilizará un sistema estándar de HMD, eg, Oculus Rift, HTC vive, y los controladores están prediseñados. Se escogerá tipo de letra y color de texto que sea visualmente amigable para una capacidad de visión estándar (uso de gafas). Inicialmente, solo los estudiantes del curso física I de la Universidad Tecnológica de Pereira tendrán acceso a este videojuego como parte del currículo de esta asignatura.

5) Tecnología

El videojuego se programó en la plataforma de creación de videojuegos Unity 3D para sistema operativo Microsoft y visualización en RV. Para ello se usó un computador tipo gamer (marca Dell, modelo G3, con procesador Intel Core i5 y tarjeta de video NVIDIA® GeForce®) con soporte el HMD. Para la visualización se escogió el sistema de realidad virtual Oculus Quest 2, debido a su portabilidad.

6) Prototipado rápido

Siguiendo las recomendaciones de diseño de videojuegos de [43] los elementos fundamentales del juego se platearon así.

Historia: el videojuego acá propuesto es un proyecto creado para explicar el movimiento parabólico a cualquier estudiante universitario, a través de un deporte como lo es el baloncesto de una forma única y atractiva. El jugador será el protagonista del juego y su éxito se basará en su aprendizaje del concepto que se realiza en el principio del juego. Para lograr una experiencia lo más auténtica posible se ha hecho hincapié en reproducir de forma realista todos los elementos del juego como lo es el balón, canasta y cancha. De esta forma, y con una programación de ecuaciones precisa se consigue un comportamiento cercano al realista.

El videojuego consta de una etapa de calibración llamada "Entrenamiento", donde se explicarán los conceptos generales del movimiento parabólico, así como también las variables a tener en cuenta, cómo cambiar sus valores y realizar cálculos con las ecuaciones explicadas. En esta etapa también se

explicará de una manera didáctica la metodología del juego, en donde los jugadores tendrán que encestar el balón desde ciertos puntos alrededor de la cancha.

Mecánicas de juego: las mecánicas constan de los siguientes ítems

- Espacio: el lugar o lugares donde se realizan las acciones en el juego. En el juego propuesto las interacciones se van a llevar a cabo en un estadio de baloncesto vacío, donde estará el personaje principal solo frente al tablero de baloncesto.
 - Tiempo: es una dimensión para determinar la duración de las acciones dentro del juego. Por ejemplo, el entrenamiento durará 2 minutos, la duración de cada nivel dependerá del tiempo que cada jugador se demore acertando todos los lanzamientos. El balón se demora 1 segundo en llegar a la canasta. El tiempo para el cambio de posición de lanzamiento es de 4 segundos.
 - Objetos: son los elementos que intervienen en la interacción de los jugadores y cada uno de ellos tiene atributos que los caracterizan, como son los personajes, los objetos que pueden usar y agarrar, los poderes, etc. En el juego planteado los objetos más importantes son: el personaje es un jugador baloncesto (se ve a sí mismo en primera persona) puede desplazarse, puede agarrar balones, puede lanzar, tiene tal capacidad. La pelota es el elemento de interacción, es redonda, de color naranja, puede ser agarrada, rebotada, van a haber 6 pelotas por escena. El tablero, compuesto de la canasta, estará en un lugar fijo, a una distancia variada dependiendo de la dificultad. Los controles de velocidad y ángulo que estarán fijos a la visión del jugador.
 - Acciones: los verbos que definen las mecánicas de juego. La acción principal es lanzar, esta acción la podrá realizar el personaje. También podrá agarrar la pelota y cambiarla de mano. El personaje podrá ganar puntos, o ganar el juego.
 - Reglas: son realmente las mecánicas más fundamentales ya que hacen posible todas las mecánicas anteriores y agregan lo crucial que hace que un juego sea un juego: las metas. David Parlett, historiador de videojuegos, planteó diferentes tipos de reglas que están involucradas en el juego.
- Reglas Fundamentales:** al comenzar los ejercicios se debe escoger un punto aleatorio en el escenario, dentro una o más áreas definidas, desde donde se hace el tiro. Posteriormente se hace una transición a esa posición. Para hacer el tiro los parámetros de velocidad y ángulo tienen que estar definidos para poder iniciar el tiro. Los datos del tiro son fijos, la distancia y la altura la definen el escenario/nivel. Cuando hace el tiro se muestra el recorrido del balón mientras se hace la simulación. Cuando termina el tiro el balón desaparece. Cada vez que hace un lanzamiento el balón desaparece después de que cae al suelo. Si acierta el tiro gana un punto y suena un sonido de

acierto y finalmente se hace una transición a la siguiente posición en la escena.

Reglas Operacionales: para activar o iniciar el tiro, debe de agarrar alguna de las pelotas disponibles. El jugador debe de llevar el balón lo suficientemente alto para que se active el lanzamiento. Por otro lado, siempre se mostrará un menú pequeño donde están los controles de velocidad y ángulo. El juego lleva automáticamente al jugador a la siguiente posición.

Reglas Escritas: en la escena de entrenamiento se muestran mensajes al jugador de la teoría de movimiento de proyectil. Otros mensajes escritos son el estado de puntos dependiendo de cuantos tiros tuvo que hacer, y del estado del nivel (ej: nivel 1, nivel 3)

Reglas comportamentales: si el jugador no hace nada durante 1 minuto, el videojuego lanzará mensajes animando al jugador a seguir, si no lo hace le dará la opción de terminar de jugar.

Reglas oficiales: el videojuego solo podrá ser jugado bajo la supervisión del profesor y mientras se encuentren en la práctica del laboratorio de física I.

Estética: se refiere a como se ve, suena, huele, sabe y se siente el juego. Cuando en el juego se plantea un cierto aspecto, o tono, que se desea que los jugadores experimenten y que en él se sumerjan, se deberá elegir una tecnología que no solo permita que la estética salga a la luz, sino que la amplifique y refuerce. Para este videojuego se decidió usar *assets* gratis que la plataforma Unity 3D ofrece. Además, se recibió apoyo de un programador de videojuegos y modelador 3D que diseñaron el personaje y algunos objetos dentro del juego. Los gráficos son 3D, ligeros y semi-realistas.

Mecánicas de enseñanza: estas mecánicas se plantearon según el paralelo propuesto por Arnab *et al* [19]. Donde se asocian las mecánicas de juego con las mecánicas de enseñanza

- **Guianza:** la instrucción de como jugar el videojuego se realizará en la etapa de entrenamiento, esto con el fin de dejar en claro como maniobrar dentro del ambiente virtual, así como los conceptos de física de

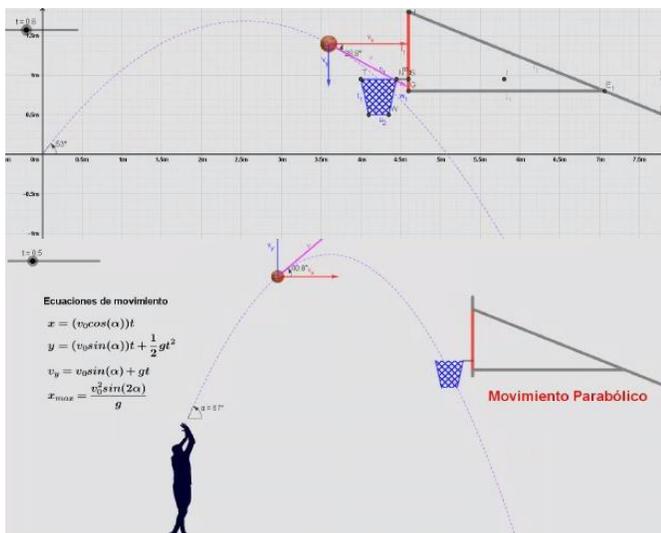


Fig. 10. Diagramas presentados en la escena de entrenamiento, con estos diagramas en movimiento se refuerza el concepto de movimiento de proyectil antes de que los estudiantes empiecen a jugar. A: Cambio de valores de posición con respecto al tiempo. B: Ecuaciones de movimiento parabólico

movimiento parabólico a tener en cuenta mientras se juega.

- **Simulación:** con el fin de mostrar cómo influye la física en el lanzamiento de un balón de baloncesto, en la etapa de entrenamiento se le presentara a los estudiantes la simulación del tiro de baloncesto, mostrando como las variables del movimiento parabólico son involucradas y cambian a medida que el balón de baloncesto llega a la cesta (Fig. 10).
- **Observación:** a través de estímulos visuales contantes y retroalimentación visual de las variables de movimiento parabólico que se involucran en el lanzamiento, los estudiantes observarán todo el tiempo como la física influye en este fenómeno de la vida real. Esto ayudará al constante reforzamiento del concepto. Además, al estudiante se le darán premios y castigos dependiendo de lo que logre con los lanzamientos, esto estimulará el sentido de desafío y a su vez su motivación.
- **Planeación:** los estudiantes deben realizar un proceso de planeación repetitivamente ya que en la escena principal del juego deberán variar el ángulo y la velocidad con que inicia el lanzamiento según lo mostrado en la etapa de entrenamiento y según el resultado del lanzamiento

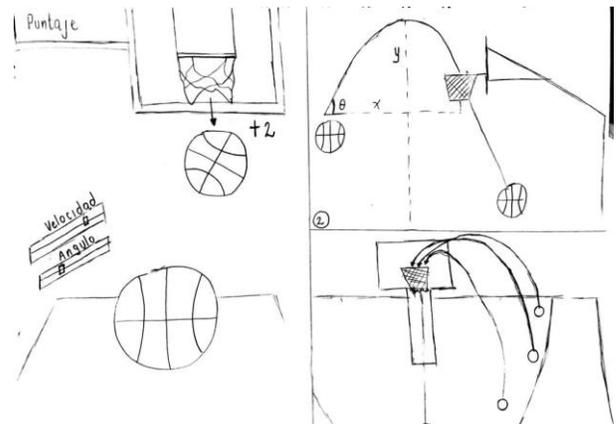


Fig. 11. Storyboard de la escena principal del juego, el balón, la cancha de baloncesto y la retroalimentación del ángulo y la velocidad que lleva el balón.

Storyboard: a través de una serie de bosquejos se consignaron los conceptos de movimiento parabólico que sería útil para la explicación en realidad virtual de este fenómeno. De la misma manera las mecánicas de juego, la funcionalidad de los botones y la historia en general del videojuego se puede observar en la Fig. 11.

7) *Prototipado lento*

Este prototipado se hizo a través de la programación del videojuego. El del videojuego se está realizando junto a un experto en programación de videojuegos, en la plataforma Unity 3D que utiliza C# como lenguaje de programación. En esta programación se está digitalizando todas las mecánicas planteadas en la sección anterior. En la figura 12 se observa la etapa de desarrollo final.

IV. DISCUSIÓN

A. Experiencia de juego y motivación para estudiar física de estudiantes de física I de la universidad tecnológica de Pereira

Como se evidenció en los resultados de la encuesta la mayoría de los estudiantes de física I tienen experiencia jugando videojuegos lo cual propone una amplia adopción del sistema propuesto. Sin embargo, solo 23% manifestó



Fig. 12. Prototipo final del videojuego para la enseñanza de movimiento de proyectil.

experiencia con realidad virtual, lo que supone un reto para la tecnología de visualización propuesta, obligando que la interfaz del videojuego sea intuitiva y fácil de usar. Por otro lado, la mayoría de los estudiantes destacaron que les sería útil aprender este concepto a través de fenómenos de la vida real, coincidiendo con lo sugerido en los modelos de aprendizaje prácticos [8], [9].

B. Uso de la metodología para el diseño del videojuego arquetipos de Personas para estudiantes de física I

Para un diseño centrado en el usuario en este trabajo se utilizó la metodología MIPu+a. Esta permitió identificar las características específicas de los usuarios finales. Particularmente fue de gran utilidad al momento de determinar las necesidades de aprendizaje de la física de los estudiantes de la UTP, que coinciden con lo encontrado en la bibliografía [3], [45], tales como la falta de estrategias para aprender la materia y poco uso de las ecuaciones.

Para una clasificación general de los usuarios y cubrir todo el rango de experiencias y necesidades de estudiantes de física I, se construyeron perfiles de Personas. Como lo sugieren diferentes autores [40], [46], estos perfiles fueron útiles al momento de diseñar el concepto del videojuego, por ejemplo,

al conocer los diferentes niveles de motivación de los estudiantes. Se propone una mecánica de recompensa por puntos, esperando motivar desde el usuario menos interesado al más interesado.

Gracias a que el modelo MIPu+a propone un diseño paralelo al prototipado, se pudieron probar y mejorar diferentes ideas de los desarrolladores mientras se conocían las necesidades de los usuarios. El prototipado se discutirá en la siguiente sección.

C. Prototipado del videojuego

El prototipado lento se desarrolló usando storyboard y la metodología de diseño de juego de mecánicas de juego. Esto permitió plantear las interacciones que los estudiantes tendrían que desarrollar para aprender el concepto de movimiento parabólico a través de un juego. De esta manera se planteó un juego de baloncesto donde hay que encestar balones desde diferentes posiciones, al cambiar el ángulo o la velocidad del lanzamiento, el estudiante podrá evidenciar como estas variables afectan la trayectoria descrita por el balón. En esta propuesta también se consideraron las mecánicas de enseñanza, puesto que según lo sugerido por [19], tenerlas en cuenta dentro del prototipado del videojuego asegura un balance entre el entretenimiento y el aprendizaje. Finalmente, estas mecánicas fueron desarrolladas usando un proceso de prototipado lento programando el videojuego en la plataforma Unity 3D. Este proceso tomó aproximadamente 4 meses, en donde se logró crear las interacciones propuestas, como se evidencia en la Fig. 12. Por último, el videojuego se puede visualizar y jugar en realidad virtual usando *el HMD Oculus Rift Quest 2*.

V. CONCLUSIÓN

Este trabajo propone el uso de una metodología centrada en el usuario para desarrollar un videojuego para la enseñanza de un concepto de física universitaria, tal y como es el movimiento parabólico. El artículo contribuye al uso de herramientas tecnológicas en el campo de la educación como complemento de la enseñanza tradicional. Además, expone un caso de estudio práctico en el uso de juegos serios para la enseñanza de la física, en el cual, haciendo uso de técnicas de diseño del campo interacción humano-computador, se puede asegurar un prototipo adecuado para los usuarios finales, en este caso, estudiantes de la asignatura de física I de la Universidad Tecnológica de Pereira. El videojuego se encuentra en fase de diseño iterativo, donde haciendo uso de *play test*, se están mejorando las mecánicas y el contenido, para finalmente proceder a implementarse en un estudio piloto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los miembros del equipo de diseño de Hadrone Games que colaboraron con el prototipado lento del videojuego, a la Facultad de Ciencias Básicas de la UTP y Maestría en Enseñanza de la Física de la UTP por su constante asesoría y apoyo.

REFERENCIAS

- [1] V. Guichot Reina, "Historia de la educación: reflexiones sobre su objeto, ubicación epistemológica, devenir histórico y tendencias actuales", *Rev. Latinoam. Estud. Educ.* 21 11-51, 2006.
- [2] P. Caspard, "On the Relationship of Theory and History in Pedagogy, An Introduction to the West German Discussion on the Significance of the History of Education (1950-1980). (Studia paedagogica; new series 6)", JSTOR, 1985.
- [3] J. L. Docktor, N. E. Strand, J. P. Mestre, y B. H. Ross, "Conceptual problem solving in high school physics", *Phys. Rev. Spec. Top.-Phys. Educ. Res.*, vol. 11, n.º 2, p. 020106, 2015.
- [4] L. Bigozzi, C. Tarchi, P. Falsini, y C. Fiorentini, "'Slow Science': Building scientific concepts in physics in high school", *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 36, n.º 13, pp. 2221-2242, 2014.
- [5] S. M. Abubakar y I. M. Danjuma, "Effects Of Explicit Problem-Solving Strategy On Students Achievement And Retention In Senior Secondary School Physics", *ATBU J. Sci. Technol. Educ.*, vol. 1, n.º 1, pp. 123-128, 2012.
- [6] A. Veloo, R. Nor, y R. Khalid, "Attitude towards physics and additional mathematics achievement towards physics achievement.", *Int. Educ. Stud.*, vol. 8, n.º 3, pp. 35-43, 2015.
- [7] C. W. Keys y L. A. Bryan, "Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform", *J. Res. Sci. Teach. Off. J. Natl. Assoc. Res. Sci. Teach.*, vol. 38, n.º 6, pp. 631-645, 2001.
- [8] E. Z. Martínez y I. L. da Vinci, "Aprendizaje con Simuladores. Aplicación a las Redes de Comunicaciones", *Quad. Digit. Rev. Nuevas Tecnol. Soc.*, n.º 42, p. 9, 2006.
- [9] A. García Barneto y M. R. Gil Martín, "Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones informáticas", 2006.
- [10] A. Sánchez, J. L. Sierra, S. Martínez, y F. J. Perales Palacios, "El aprendizaje de la Física en Bachillerato: investigación con simuladores informáticos versus aula tradicional", *Enseñ. Las Cienc.*, n.º Extra, pp. 1-4, 2005.
- [11] G. Ortega-Zarzosa, H. E. Medellín-Anaya, y J. R. Martínez, "Influencia en el aprendizaje de los alumnos usando simuladores de física", *Lat.-Am. J. Phys. Educ.*, vol. 4, n.º 1, p. 20, 2010.
- [12] R. Wang, R. Lowe, S. Newton, y T. Kocaturk, "Task complexity and learning styles in situated virtual learning environments for construction higher education", *Autom. Constr.*, vol. 113, p. 103148, 2020.
- [13] M. Tawadrous, D. Rojas, B. Kapralos, A. Hogue, y A. Dubrowski, "The effects of stereoscopic 3D on knowledge retention within a serious gaming environment.", *Multimed. Tools Appl.*, vol. 76, n.º 5, 2017.
- [14] G. V. Ocete, J. A. O. Carrillo, y M. Á. B. González, "La realidad virtual y sus posibilidades didácticas", *Etic Net Rev. Científica Electrónica Educ. Comun. En Soc. Conoc.*, n.º 2, p. 12, 2003.
- [15] N. Burbules, "El aprendizaje y el entretenimiento ya no son actividades separadas", *Recuperado El*, vol. 5, pp. 08-12, 2009.
- [16] B. There, "Concepts, Effects and Measurements of User Presence in Synthetic Environment". Ios Press, Amsterdam, The Netherlands, 2003.
- [17] C. J. Chen, S. C. Toh, y W. M. F. W. Ismail, "Are learning styles relevant to virtual reality?", *J. Res. Technol. Educ.*, vol. 38, n.º 2, pp. 123-141, 2005.
- [18] F. Almeida y J. Simoes, "The role of serious games, gamification and Industry 4.0 tools in the Education 4.0 paradigm", *Contemp. Educ. Technol.*, vol. 10, n.º 2, pp. 120-136, 2019.
- [19] S. Arnab *et al.*, "Mapping learning and game mechanics for serious games analysis", *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 46, n.º 2, pp. 391-411, 2015.
- [20] D. A. Kolb y M. B. Goldman, "Toward a typology of learning styles and learning environments: an investigation of the impact of learning styles and discipline demands on the academic performance, social adaptation and career choices of MIT seniors", 1973.
- [21] R. M. Bottino, L. Ferlino, M. Ott, y M. Tavella, "Developing strategic and reasoning abilities with computer games at primary school level", *Comput. Educ.*, vol. 49, n.º 4, pp. 1272-1286, 2007.
- [22] F. Bellotti *et al.*, "Designing serious games for education: from pedagogical principles to game mechanisms", en *Proceedings of the 5th European Conference on Games Based Learning*, 2011, pp. 26-34.
- [23] A. B. Craig, W. R. Sherman, y J. D. Will, *Developing virtual reality applications: Foundations of effective design*. Morgan Kaufmann, 2009.
- [24] Y. J. Dori, E. Hult, L. Breslow, y J. W. Belcher, "How much have they retained? Making unseen concepts seen in a freshman electromagnetism course at MIT", *J. Sci. Educ. Technol.*, vol. 16, n.º 4, pp. 299-323, 2007.
- [25] J. E. Corter, J. V. Nickerson, S. K. Esche, C. Chassapis, S. Im, y J. Ma, "Constructing reality: A study of remote, hands-on, and simulated laboratories", *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact. TOCHI*, vol. 14, n.º 2, pp. 7-es, 2007.
- [26] M.-T. Cheng, J.-H. Chen, S.-J. Chu, y S.-Y. Chen, "The use of serious games in science education: a review of selected empirical research from 2002 to 2013", *J. Comput. Educ.*, vol. 2, n.º 3, pp. 353-375, 2015.
- [27] S. Bahadoorsingh, R. Dyer, y C. Sharma, "Integrating serious games into the engineering curriculum-a game-based learning approach to power systems analysis", *Int. J. Comput. Vis. Robot.*, vol. 6, n.º 3, pp. 276-289, 2016.
- [28] W. Huang, "Evaluating the Effectiveness of Head-Mounted Display Virtual Reality (HMD VR) Environment on Students' Learning for a Virtual Collaborative Engineering Assembly Task", en *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 2018, pp. 827-829.
- [29] J. Kuhn, P. Lukowicz, M. Hirth, A. Poxrucker, J. Weppner, y J. Younas, "gPhysics—Using smart glasses for head-centered, context-aware learning in physics experiments", *IEEE Trans. Learn. Technol.*, vol. 9, n.º 4, pp. 304-317, 2016.
- [30] J. Kuhn, P. Lukowicz, M. Hirth, A. Poxrucker, J. Weppner, y J. Younas, "gPhysics—Using smart glasses for head-centered, context-aware learning in physics experiments", *IEEE Trans. Learn. Technol.*, vol. 9, n.º 4, pp. 304-317, 2016.
- [31] T. G. i Saltiveri, *MPLu+ a. Una metodología que integra la Ingeniería del Software, la Interacción Persona-Ordenador y la Accesibilidad en el contexto de equipos de desarrollo multidisciplinares*. Universitat de Lleida, 2007.
- [32] M. Baran, A. Maskan, y S. Yasar, "Learning Physics through Project-Based Learning Game Techniques.", *Int. J. Instr.*, vol. 11, n.º 2, pp. 221-234, 2018.
- [33] M. T. A. Ghani *et al.*, "A questionnaire-based approach on technology acceptance model for mobile digital game-based learning", *J. Glob. Bus. Soc. Entrep. GBSE*, vol. 5, n.º 14, pp. 11-21, 2019.
- [34] G. Aşıksoy, "The effects of the gamified flipped classroom environment (GFCE) on students' motivation, learning achievements and perception in a physics course", *Qual. Quant.*, vol. 52, n.º 1, pp. 129-145, 2018.
- [35] S. M. Glynn, P. Brickman, N. Armstrong, y G. Taasoobshirazi, "Science motivation questionnaire II: Validation with science majors and nonscience majors", *J. Res. Sci. Teach.*, vol. 48, n.º 10, pp. 1159-1176, 2011.
- [36] R. E. Freeman, *Strategic management: A stakeholder approach*. Cambridge university press, 2010.
- [37] A. Pouloudi, "Stakeholder analysis as a front-end to knowledge elicitation", *AI Soc.*, vol. 11, n.º 1-2, pp. 122-137, 1997.
- [38] K. Holtzblatt y H. Beyer, *Contextual design: defining customer-centered systems*. Elsevier, 1997.
- [39] C. Ghaoui, *Encyclopedia of human computer interaction*. IGI Global, 2005.
- [40] A. Canossa y A. Drachen, "Patterns of Play: Play-Personas in User-Centred Game Development.", 2009.
- [41] J. Linowes, *Unity Virtual Reality Projects: Learn Virtual Reality by Developing More Than 10 Engaging Projects with Unity 2018*. Packt Publishing Ltd, 2018.
- [42] Y. Rogers, H. Sharp, y J. Preece, *Interaction design: beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons, 2011.
- [43] J. Schell, *The Art of Game Design: A book of lenses*. AK Peters/CRC Press, 2014.
- [44] A. Dix, "Human-computer interaction", en *Encyclopedia of database systems*, Springer, 2009, pp. 1327-1331.
- [45] V. Sinarcas y J. Solbes, "Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato", *Enseñ. Las Cienc. Rev. Investig. Exp. Didácticas*, pp. 9-25, 2013.
- [46] L. Nielsen, M. S. Personas, y R. F. Dam, "The Encyclopedia of Human-Computer Interaction", *Interact. Des. Found. Aarhus Den. Available Httpwww Interact.-Des. Orgencyclopediaipersonas Html*, 2013.



Julian Felipe Villada Castillo nació en Pereira, Colombia en 1988. Recibió su título de pregrado en Ingeniería Física de la Universidad Tecnológica de Pereira en el año 2010, su primera maestría en Instrumentación Física en el 2015 y la segunda en el año 2021 con un título de Magister en Enseñanza de la Física, actualmente se encuentra en cuarto año de

Doctorado en Ingeniería.

Se encuentra ejerciendo como profesor transitorio de la Universidad tecnológica de Pereira y Catedrático en la Universidad Católica de Pereira. En el 2012 fue cofundador del spin off, HCI Group Colombia, como un grupo multidisciplinario encaminado a desarrollar investigaciones en el uso de tecnologías interactivas en rehabilitación y neuro rehabilitación. Sus intereses investigativos actuales incluyen campos como la fisiología computacional, las interfaces cerebro computador y los videojuegos para la salud. Junto con especialistas médicos de la Clínica de Dolor del Eje Cafetero, ha desarrollado un conjunto de videojuegos y herramientas para el análisis de múltiples señales biomédicas que han sido usadas en centros de rehabilitación para complementar las terapias convencionales de rehabilitación en pacientes con accidente cerebrovascular.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2694-1429>



María Fernanda Montoya Vega, nació en Pereira, Colombia en 1994. Recibió el título de pregrado en Ingeniería Física en la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), Colombia, donde también terminó su maestría en Ingeniería Eléctrica en 2020.

Desde 2014 es miembro activo del spin off, HCI Group Colombia de la UTP, investigando en aplicaciones de biomecánica y electromiografía de superficie en rehabilitación y deportes. Su interés de investigación se ha trasladado al desarrollo de entornos de realidad virtual como estrategia de rehabilitación motora y al uso de fisiología computacional en videojuegos serios. Actualmente es candidata a doctorado en el Exertion Games Lab en Monash University (Australia), donde trabaja en el diseño de tecnología interactiva para actividades acuáticas.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8587-2358>.



Eduard Alexis Hincapié Ladino es ingeniero físico graduado de la Universidad Tecnológica de Pereira, con maestría en Física aplicada a medicina y biología de la Universidad de Sao Paulo. Actualmente cursa sus estudios doctorales en ciencias-física en la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. Sus áreas de interés son la magnetobiología, la biofísica y la

simulación computacional específicamente la dinámica molecular. Es docente de la Universidad Tecnológica de Pereira, y hace parte del grupo de investigación en Modelado y Simulación Computacional (GIMOSI).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9928-1962>