



Construcción de un juego serio como apoyo al aprendizaje de la física cinemática*

*Carlos Fernando Aguilar Castrillón***

*Andrés Felipe Ojeda Rivera****

*Carol Julieth Aguilar Paz*****

*María Isabel Vidal Caicedo******

*Marta Cecilia Camacho Ojeda******

*Gabriel Elías Chanchí Golondrino******

Recibido: 01/07/2019 • Aceptado: 28/11/2019

<https://doi.org/10.22395/rium.v19n37a8>

Resumen

En este artículo se presenta la experiencia obtenida en la construcción de un prototipo de juego serio, cuyos objetivos son apoyar el desarrollo de los cursos de física de educación media e incluir procesos lúdicos en el proceso de aprendizaje. Del mismo modo, este juego pretende servir de referencia para la construcción de juegos serios en diferentes contextos de aplicación. Esta iniciativa académica estuvo motivada por las dificultades evidenciadas en estudiantes de educación media en cuanto a la apropiación del conocimiento de física cinemática. El juego fue construido con base en un modelo en el cual se consideran elementos pedagógicos y lúdicos propios de este tipo de herramientas interactivas, entre los cuales se tienen en cuenta la definición de los objetivos de aprendizaje; el diseño del componente lúdico del juego; y el diseño de interfaces. Para el proceso de evaluación se realizó una inspección de usabilidad, conducida a partir de los diez principios heurísticos de usabilidad de Nielsen; con ello se constató que ciertas cuestiones relacionadas con los principios de visibilidad del sistema, consistencia y estándares, ayuda y documentación deberían ser objeto de mejora en una versión futura del juego serio.

Palabras clave: física cinemática; juegos serios; educación media; metodología de aprendizaje.

* Artículo derivado del proyecto de investigación de convocatoria interna de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca titulado “Definición de un proceso pedagógico y tecnológico para apoyar ambientes de enseñanza aprendizaje de la física cinemática a través de un sistema soportado por videojuegos”. Entidad que financia: Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Fecha de inicio: 12 de febrero de 2018. Fecha de finalización: 12 de febrero de 2019.

** Ingeniero Informático, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Correo electrónico: carlosaguilar@unimayor.edu.co. Orcid: 0000-0002-3316-0209.

*** Ingeniero Informático, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Correo electrónico: felip77@unimayor.edu.co. Orcid: 0000-0003-2789-6727.

**** Magister en Ingeniería Física. Grupo de Investigación I+D en Informática, Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Correo electrónico: carola@unimayor.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5886-3640>.

***** Magister en Ingeniería. Grupo de Investigación I+D en Informática, Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Popayán, Colombia. Correo electrónico: mvidal@unimayor.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5456-3082>.

***** Ph. D. en ciencias de la electrónica. Miembro del Grupo de Investigación I+D en Informática, Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca. Correo electrónico: cecamacho@unimayor.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1973-3063>.

***** Ph. D. en Ingeniería Telemática. Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena. Correo electrónico: gchanchig@unicartagena.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0257-1988>.

Construction of a Serious Game as Support for the Learning of Kinematics

Abstract

The experience obtained in the construction of a serious game prototype is presented in this paper, aimed at supporting the development of physics courses in secondary education, and including game-oriented processes in the learning process. Similarly, the proposed serious game is intended to serve as a reference for the construction of serious games in different application contexts. This development is mainly driven by the difficulties evidenced in high school students regarding appropriation of knowledge of kinematics. The proposed serious game was built based on a model in which pedagogical and playful aspects of this type of interactive tools are considered, among which the definition of learning objectives, the design of the playful component of the game, and interface design are taken into account. A usability inspection was carried out for evaluation purposes, based on the ten Nielsen heuristic principles of usability, which yielded various recommendations: it would be necessary to improve a future version of the game in some aspects related to the principles of consistency and standards, help and documentation, and visibility of the system.

Keywords: Kinematics; middle education; learning methodology; serious games.

Construção de um jogo sério como apoio à aprendizagem da física cinemática

Resumo

Neste artigo apresenta-se a experiência obtida na construção de um protótipo de jogo sério, cujos objetivos são apoiar o desenvolvimento dos cursos de física de educação média e incluir processos lúdicos no processo de aprendizagem. Do mesmo modo, esse jogo pretende servir de referência para a construção de jogos sérios em diferentes contextos de aplicação. Essa iniciativa acadêmica esteve motivada pelas dificuldades evidenciadas em estudantes de educação média quanto à apropriação do conhecimento de física cinemática. O jogo foi construído com base num modelo no qual se consideram elementos pedagógicos e lúdicos próprios desse tipo de ferramentas interativas, entre os quais se levam em consideração a definição dos objetivos de aprendizagem; o desenho do componente lúdico do jogo; e o desenho de interfaces. Para o processo de avaliação, realizou-se uma inspeção de usabilidade, conduzida a partir dos dez princípios heurísticos de usabilidade de Nielsen; com isso se constatou que certas questões relacionadas com os princípios de visibilidade do sistema, consistência e padrões, ajuda e documentação deveriam ser objeto de melhora numa versão futura do jogo sério.

Palavras-chave: física cinemática; jogos sérios; educação média; metodologia de aprendizagem.

INTRODUCCIÓN

El esquema general del aprendizaje de la física inicia por el estudio de la cinemática de una partícula: los principios de esta unidad de aprendizaje corresponden a la base para el entendimiento de conceptos avanzados. El estudio de la cinemática requiere establecer de forma efectiva los contenidos temáticos mediante el aprendizaje significativo, teniendo en cuenta además, aquellos conocimientos previos conceptualizados a través de la observación del entorno.

En su trabajo sobre la preparación de docentes en física y otras ciencias, McDermott concluye que el estudio de la cinemática debe iniciar por el desarrollo de la comprensión cualitativa a partir de la experiencia o de la observación: ha de retenerse el formalismo matemático hasta que los estudiantes adquieran cierta práctica de razonamiento cualitativo con relación al fenómeno estudiado. El objetivo final de este tipo de comprensión es buscar estrategias que permitan a los estudiantes apropiarse de conocimientos básicos y fundamentos matemáticos, a fin de que articulen las relaciones conceptuales según sus propios términos [1]. Por lo tanto, se busca establecer nuevas metodologías en las que la representación de situaciones cercanas a la realidad pueda ser la clave en el aprendizaje de la física, de tal forma que los contenidos se presenten con material potencialmente significativo; y se implementen actividades de experimentación simuladas que permitan a los estudiantes observar en tiempo real los fenómenos estudiados. En este aspecto, el uso de las TIC y, en particular, la implementación de los juegos serios, constituyen nuevas líneas de investigación en las metodologías de aprendizaje.

En trabajos realizados en investigaciones anteriores, como el desarrollado por Mayes y De Freitas [2], se ha encontrado que los juegos y simulaciones pueden mejorar el aprendizaje diferenciado, en especial a grupos de estudiantes con habilidades y enfoques de aprendizaje muy diversos. La investigación también indicó que los juegos y simulaciones pueden apoyar de manera efectiva a los alumnos con necesidades basadas en habilidades (como la alfabetización y la aritmética). Así mismo, los juegos y las simulaciones apoyan el aprendizaje formal e informal, y pueden convertirse en una forma eficaz de vincular estos procesos y acelerar los resultados esperados de aprendizaje.

En la actualidad, las investigaciones sobre diseño de juegos se han centrado en los roles de los estudiantes en el proceso de aprendizaje; la interacción entre grupos de estudiantes y profesores; los procesos de enseñanza-aprendizaje [3]; el estudio de actividades y habilidades que se derivan de la interacción de los estudiantes con la tecnología [4]; y el proceso de organización y facilitación de las fases de diseño del juego. Las prácticas y los enfoques de esta área incluyen juegos de diseño [5], actividades de diseño [6], presentación progresiva de desafíos, esquemas en el desarrollo de

habilidades de diseño de los juegos [7] y la presentación del concepto de *aprendizaje* durante el proceso de diseño [8].

En todos los casos mostrados, el diseño y uso de juegos digitales serios tiene sus bases conceptuales en las teorías del aprendizaje constructivista, en el cual el conocimiento se crea a través de la experiencia mientras se explora el mundo y se realizan actividades [9] [10]. El constructivismo enfatiza la importancia del aprendizaje para construir su propio conocimiento. Al analizar la experiencia del usuario, el aprendizaje es una actividad compleja que requiere gradualidad y necesita varios pasos que deben ser respaldados por varias herramientas y, en general, deben ser guiados por un adulto real, con el fin de que sea significativo para el alumno y se optimicen tiempo y recursos. [11]. En esta postura se concibe al sujeto como capaz de construir su propio conocimiento al interactuar con el objeto de estudio [12].

Dos métodos de aprendizaje parecen complementarios, simples y particularmente útiles para diseñar juegos serios. El primero es el *modelo del aprendizaje experiencial de Kolb*, que sistematiza el trabajo del desarrollo cognitivo sobre el centro del proceso de aprendizaje. El segundo, a su turno, se basa en la *taxonomía de dominios del aprendizaje* [13], mejorado y actualizado posteriormente en un nuevo modelo [14] que es el enfoque cognitivo más popular para la implementación de juegos serios. Los buenos juegos serios y las simulaciones deberían permitir a los usuarios realizar experiencias significativas, por lo tanto, deben estar apoyados en el modelo pedagógico de aprendizaje experiencial.

El primer modelo, basado en la teoría del aprendizaje experiencial (ELT), constituye la base de investigaciones sobre el efecto de los juegos serios en la construcción de nuevo conocimiento. Este modelo multilíneal de desarrollo se basa en la importancia de la experiencia en el proceso de aprendizaje; desde el punto de vista pedagógico, este es un método a través del cual se construye conocimiento mediante técnicas de reflexión a través de las experiencias, teniendo en cuenta los diferentes estilos individuales de aprendizaje [10]. Además, este modelo identifica dos tipos de actividades de aprendizaje: la percepción, es decir, el modo de captar nueva información; y el procesamiento, o el modo en que se procesa y transforma dicha información en algo significativo y utilizable. A lo largo del ciclo de aprendizaje se percibe y procesa información de diferentes maneras, según la etapa.

El segundo modelo se basa en la *taxonomía de dominios del aprendizaje de Bloom* y está diseñado para clasificar los distintos ámbitos del aprendizaje humano en el aspecto cognitivo; este dominio categoriza y ordena habilidades de pensamiento y objetivos. Su taxonomía sigue un proceso del pensamiento, con lo cual se plantea que no puede entenderse un concepto si no se lo recuerda primero; además, no es posible

aplicar conocimientos y conceptos si estos no se entienden. La propuesta original parte de habilidades de pensamiento de orden inferior y va hacia habilidades de pensamiento de orden superior. Bloom describe cada categoría como un sustantivo y las organiza en orden ascendente, de inferior a superior: conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación. Sin embargo, en 2001, Anderson y Krathwohl modificaron el modelo usando verbos en lugar de sustantivos para cada categoría y cambiando su secuencia; por lo tanto, en orden ascendente las categorías del nuevo modelo se ordenan así: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear [13] [15].

El nuevo modelo se diferencia del original porque expone muy bien los componentes para que puedan ser considerados y utilizados; además, en este modelo, los procesos cognitivos pueden ser fácilmente documentados y rastreados en relación con las tareas de instrucción elegida.

El modelo general establece unos niveles de conocimiento: *de los hechos*, o conocimiento fundamental de la disciplina específica; *conceptual*, referido a los principios, teorías o estructuras del área disciplinaria particular; y *procedimental*, o métodos de investigación que ayudan al estudiante a lograr un objetivo específico. Los tres primeros niveles fueron identificados en la obra original de Bloom; mientras que en la versión revisada se añadió un cuarto nivel, denominado *metacognición*, el cual hace referencia al conocimiento estratégico o de reflexión sobre la solución de los problemas planteados.

Desde un punto de vista metodológico, para describir y analizar las características educativas de cada juego —paso fundamental para la selección del diseño—, algunos autores informan sobre su experiencia positiva mediante la taxonomía de Bloom modificada y las etapas de aprendizaje de Kolb [13]. También proponen un esquema para una integración adecuada de los juegos en la educación, con el que apoyan objetivos en diferentes pasos de una educación formal (tales como la motivación inicial, la teoría, la práctica y la verificación). Por lo tanto, los modelos anteriormente propuestos constituirán la base para la construcción del modelo de juego serio en la enseñanza de la física cinemática que se propone en este artículo.

Actualmente existen varios modelos de juegos serios propuestos para el aprendizaje de la física basados en los citados aprendizaje experiencial de Kolb y taxonomía de dominios del aprendizaje. Muñoz *et al.* [16] exploraron a este respecto la creación de un juego de física educativa con una arquitectura de juego diseñada para involucrar al estudiante mientras juega y aprende; además, proporcionaron un método de evaluación de los resultados registrados.

Otro ejemplo de juego serio, esta vez basado en el aprendizaje de la mecánica newtoniana, es propuesto por Juuti *et al.* [17]; en este trabajo se examina el impacto que tiene el uso de un ambiente de aprendizaje virtual para enseñar varios principios de la física, como la gravedad y las colisiones. Adicionalmente, Mohanty *et al.* [18] discuten el uso de varios juegos de video comerciales de la plataforma Sony PlayStation 3 para enseñar física a estudiantes de pregrado; los resultados de esta investigación indican beneficios respecto al desarrollo del pensamiento tridimensional y de habilidades de visualización y conceptualización.

Todos estos ejemplos de juegos que utilizan conceptos de física fueron la base para determinar la importancia de la representación visual de un fenómeno y sus aplicaciones cognitivas en los estudiantes. A partir de ello correspondería diseñar un modelo cuyas etapas guíen el proceso de desarrollo de juegos serios, teniendo en cuenta elementos pedagógicos y las mecánicas y dinámicas propias de ese tipo de aplicaciones, que permitan una mejor empatía en el proceso de aprendizaje de la física cinemática. Ahora bien, a pesar del aumento en el uso de este tipo de tecnologías, no existe un único modelo que permita introducir marcos fáciles para la implementación de un juego serio, orientado a un área temática específica de conocimiento [19]. En este sentido, el desafío de la aplicación de un modelo para el desarrollo de un juego serio consiste en equilibrar contenido pedagógico [20], necesidades del usuario, entretenimiento [21], implementación, evidencia y retroalimentación [22].

La construcción del juego serio propuesto como aporte en este artículo se sustenta en los modelos de aprendizaje discutidos. Se basa, entonces, en un esquema básico de construcción de juegos serios que establece cuatro dimensiones para su implementación teniendo en cuenta el esquema planteado en el modelo que se denomina *marco cuantitativo* [20]: 1) el contexto del aprendizaje; 2) las particularidades del alumno; 3) la representación del juego; y 4) las pedagogías adoptadas. Otro aspecto importante para tener en cuenta se encontró en el modelo exploratorio de aprendizaje [23], en el que la interacción social se convierte en el centro de procesos de aprendizaje más interactivos y atractivos. Por otro lado, con respecto al desarrollo de la motivación del juego, se podrían establecer algunas actividades lúdicas que faciliten el proceso de aprendizaje: al respecto, Staalduinen *et al.* [24] vinculan el diseño del juego y los resultados del aprendizaje en un marco que permite determinar la efectividad de un juego serio en el proceso de desarrollo cognitivo. Sumado a lo anterior, se tomó en cuenta el modelo de diseño centrado en la evidencia (ECD): esto es, un marco de diseño conceptual usado para recolectar datos de evaluación en muchos tipos de formatos, incluidos los juegos digitales.

El proceso metodológico para la construcción de juegos serios para el apoyo del aprendizaje de la física cinemática que se usó en este proyecto recoge cinco aspectos comunes de los modelos citados: contexto; definición y diseño conceptual; diseño de interacción e implementación; validación; y evaluación. Para el desarrollo e implementación, fue necesario contar con cinco equipos de trabajo, encargados de los aspectos pedagógicos, creativos, de diseño gráfico, desarrollo y usabilidad [25].

Definir el material educativo que los estudiantes deberán aprender mientras interactúan con un juego serio requiere establecer los resultados de aprendizaje en función de los objetivos planteados. Los resultados de aprendizaje representan metas que los alumnos deben ser capaces de alcanzar una vez completen con éxito todas las actividades, las cuales se centran en un conjunto específico de tareas que deben completarse. En este sentido, es importante que todas las actividades de aprendizaje promuevan la motivación para que los estudiantes permanezcan interesados e inmersos en el escenario del juego.

1. CONSTRUCCIÓN DEL JUEGO SERIO

Para el desarrollo del juego que se expone aquí se tuvieron en cuenta dos tipos de movimiento: en una dimensión, es decir, a lo largo de una línea recta; y en un plano, mediante la simplificación del movimiento parabólico. Se establecieron objetivos relacionados con los temas seleccionados del componente de cinemática del área de física. El esquema de diseño permitió componer actividades y tareas que posibilitaron obtener resultados de aprendizaje frente a los conceptos generales abordados como parte de la temática del juego. Cabe resaltar que el objetivo es presentar en este contexto un desarrollo conceptual cualitativo de los saberes relacionados con los temas, permitiendo al estudiante relacionarse mediante ayudas con las definiciones formales y leyes matemáticas establecidas para cada tema a tratar.

1.1 Definición de los objetivos de aprendizaje

El objetivo de aprendizaje define el contenido educativo relacionado con el conocimiento que se desea obtener por medio del cumplimiento de actividades y tareas educativas. Debido a que el conjunto de objetivos constituye una unidad de aprendizaje, cada objetivo trazado incluye la información de los elementos de competencia por alcanzar y sus actividades relacionadas. En el caso particular de esta investigación se asignaron identificadores a cada objetivo, con lo que se establecieron actividades y tareas que especificaron el contenido a desarrollar; estas guardarían relación con el diseño de las actividades lúdicas del sistema propuesto.

Se eligieron cuatro subtemas fundamentales en el estudio del movimiento de una partícula: posición, desplazamiento, movimiento rectilíneo uniforme y movimiento parabólico, y se incluyeron algunos conceptos intrínsecos como trayectoria, distancia y velocidad. De este modo se crearon los objetivos de aprendizaje, presentados en la en la tabla 1 con sus correspondientes elementos de competencia, resultados de aprendizaje, actividades y tareas.

Tabla 1. Elementos del esquema pedagógico planteado para el diseño de un juego serio enfocado a la física cinemática

Objetivo	Elemento de competencia	Resultado de aprendizaje	Actividad	Tarea
Establecer las características generales de los vectores de posición.	Construir el concepto fundamental de coordenadas de un punto y su significado vectorial relacionado con la posición de un objeto.	Usa un marco de referencia para determinar el vector posición de una partícula dada.	Ubicación de una partícula en un marco de referencia y su representación como un vector de posición.	Establecer diferentes posiciones de objetos en un marco de referencia con base en simulaciones de situaciones cotidianas.
Determinar el desplazamiento de un objeto, su trayectoria y distancia total recorrida.	Usar la magnitud fundamental longitud, en forma de camino recorrido y desplazamiento.	Identifica el vector desplazamiento resultante debido al cambio de posición de una partícula desde un punto inicial hasta uno final.	Determinar el desplazamiento experimentado por un objeto y la distancia a un punto de referencia.	Desplazar un objeto a través de un lugar, estableciendo la diferencia entre la cantidad vectorial desplazamiento y la cantidad escalar relacionada con la distancia.
Establecer las características generales del movimiento rectilíneo con velocidad constante.	Analizar el movimiento en línea recta de una partícula mediante el uso del concepto de velocidad.	Determina la velocidad a partir del desplazamiento realizado por un objeto en un tiempo determinado.	Construir el concepto: marco de referencia, sistema de coordenadas, posición, desplazamiento, distancia recorrida, trayectoria.	Mover una partícula en una trayectoria lineal. Estimar la velocidad de una partícula en un instante dado.
Identificar un movimiento parabólico en la naturaleza y las variables que intervienen en él.	Analizar el movimiento compuesto de los cuerpos en direcciones horizontal y vertical.	Identifica las componentes de un movimiento en dos dimensiones. Reconoce características de un movimiento parabólico en la naturaleza.	Se determinará el vector velocidad inicial y ángulo de lanzamiento de una esfera que describe una trayectoria parabólica producto del campo gravitatorio, la cual deberá caer en una posición determinada.	4.1 Realizar una estimación de la posición (x, y) del punto de choque de la esfera con la placa receptora. 4.2 Obtener el módulo de la velocidad inicial y el ángulo de lanzamiento

Fuente: elaboración propia.

Una vez definidos los objetivos se estableció un esquema general de aprendizaje de conceptos relacionados con la física cinemática (figura 1). Esta implementación del modelo pedagógico permitiría establecer un diseño del componente lúdico del juego, así como un esquema de evaluación que favorecería la aplicación del prototipo de juego serio diseñado en un grupo de estudiantes. En el esquema no necesariamente debe

seguirse un nivel jerárquico; en este sentido, el hecho de que algunos de ellos aparezcan en un mismo nivel no presupone ninguna secuencia organizativa.

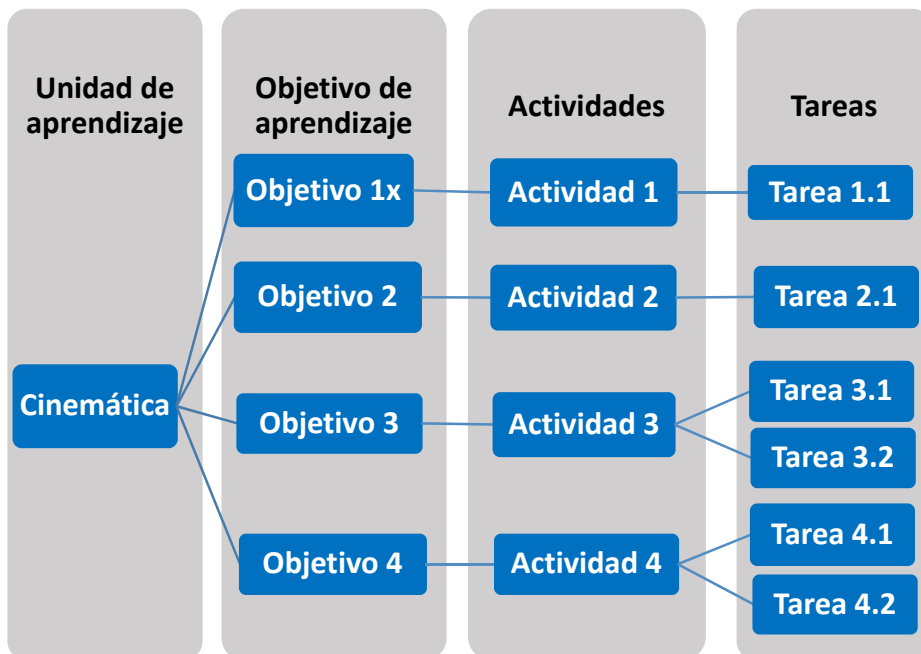


Figura 1. Planteamiento de la unidad de aprendizaje enmarcado en el modelo pedagógico propuesto para el desarrollo de un prototipo

Fuente: elaboración propia.

1.2 Diseño del componente lúdico

Como se expuso, el modelo propuesto consta de un diseño pedagógico que involucra objetivos educativos definidos para ciertos subtemas que componen el área de la cinemática; estarán ligados a actividades y tareas educativas de las diferentes temáticas, que a su vez están relacionadas con pruebas lúdicas que constituyen los retos a superar dentro del juego. Lo anterior se hizo de acuerdo con el diseño conceptual propuesto y las herramientas de *software* Unreal Engine 4 [26], y en articulación con el uso de las mecánicas y dinámicas propias del juego, a saber: un conjunto de conocimientos asociados a cada prueba o reto; una historia en la que se enmarca el contenido; el porcentaje de vida del jugador al finalizar cada prueba; el registro de tiempo empleado por el jugador al abordar la prueba, el puntaje obtenido de cada jugador al abordar cada reto de forma adecuada; y el porcentaje de avance en el cumplimiento de cada prueba.

Definidos los objetivos, actividades y tareas específicas, se diseñaron los subniveles, retos y fases que ayudarían a dar cumplimiento a los objetivos de aprendizaje.

En el modelo propuesto (figura 2), los subniveles del juego corresponden a los objetivos educativos; los retos serán las actividades propuestas para la adquisición del conocimiento; y las fases serán las tareas por realizar dentro del juego con el fin de dar cumplimiento al desarrollo del contenido educativo propuesto. La figura 2 muestra la representación gráfica de los elementos del diseño del videojuego educativo que sirvieron en su implementación; la línea que une los retos 2 y 3 indica que estos se relacionan con la contextualización de los conceptos *desplazamiento* y *velocidad* —lo cual es válido debido a que la velocidad está determinada por desplazamiento de una partícula—.

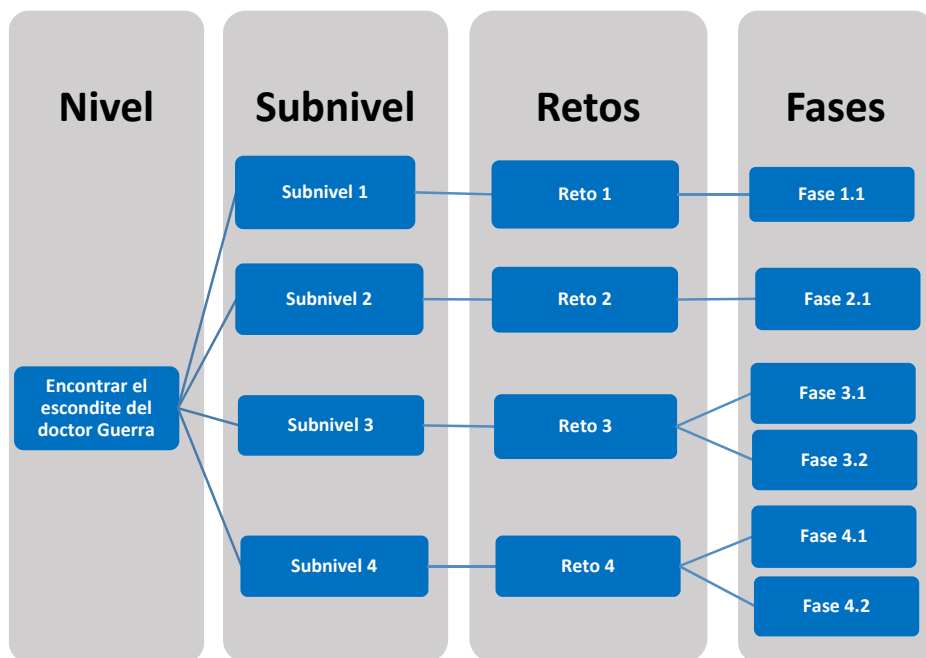


Figura 2. Diseño de la componente lúdica del videojuego educativo orientado al aprendizaje de la física cinemática

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2 se indica la relación directa entre los objetivos propuestos (tabla 1) y el diseño del juego (figura 2). Se especifican allí los elementos de diseño implementados en el desarrollo de los subniveles del juego, incluidos los elementos de competencia, los resultados de los niveles, los retos y las fases del prototipo.

Tabla 2. Implementación del diseño de retos y fases dentro de los subniveles del juego

Subnivel	Elemento de competencia	Resultado del nivel	Retos	Fase
1. Encontrar el mapa del laberinto y la brújula que se encuentran el pueblo de la Isla Kinematic.	Construir el concepto fundamental de coordenadas de un punto relacionado con la posición del personaje principal respecto a las coordenadas marcadas por la brújula dentro del mapa.	Ubicar la posición de la brújula y el mapa con referencia a la puerta de acceso del laberinto.	1. Encontrar la brújula y el mapa del laberinto que se encuentran en la Isla Kinematic.	1.1. Moverse a través del escenario para localizar dentro del pueblo los dos objetos colocados en ciertas posiciones, utilizándolos posteriormente para acceder por una puerta al laberinto.
2. Desplazarse con el personaje principal a través del laberinto ubicando, con la ayuda del mapa, tanto los objetos que recargan la vida del personaje como las criaturas que deberán ser enviadas a la zona de cuarentena.	Desplazarse a través del laberinto haciendo uso del mapa y la brújula, de tal modo que sea posible determinar el concepto desplazamiento del avatar a través de sus cambios sucesivos de posiciones.	Determinar las características del desplazamiento de una partícula en un plano mediante herramientas como una brújula y un mapa.	2. Encontrar los elementos de recarga de energía y criaturas que deberán ser transportadas a cuarentena.	2.1. Desplazar el personaje a través de un laberinto ubicando criaturas y elementos de ayuda mediante el mapa y la brújula.
3. Mover el personaje a través del laberinto, cambiando su velocidad para esquivar los golpes de las criaturas, de tal forma que se haga posible su teletransportación.	Identificar el cambio de velocidad del personaje al huir de las criaturas en una zona determinada.	Moverse a través del laberinto para encontrar la salida.	3. Esquivar los ataques de las criaturas y enviarlas a cuarentena. Moverse y salir del laberinto	3.2. Recorrer el laberinto utilizando herramientas como la brújula y el mapa de posicionamiento. 3.3. Moverse en la zona de ataque evitando el contacto con las criaturas, enviándolas a la zona de cuarentena.
4. Disparar el cañón para apagar la llama encendida de la gárgola que se encuentra en la entrada del castillo.	Variar la velocidad y el ángulo de lanzamiento de un objeto con el fin de describir una trayectoria parabólica.	Apagar la llama con un objeto que describe una trayectoria parabólica, disparándolo con un cañón.	4. Disparar y apagar la llama para abrir la puerta del castillo.	4.1. Estimar la posición de la llama. 4.2. Modificar la velocidad y ángulo de lanzamiento del proyectil que logre apagar la llama.

Fuente: elaboración propia.

1.3 Implementación del diseño

En esta sección se presenta la implementación del modelo pedagógico propuesto en las secciones anteriores para el apoyo a los conceptos de cinemática. Este prototipo sirvió de base para realizar una primera aproximación de la implementación del modelo. Los diferentes retos del juego serio fueron implementados mediante la herramienta libre Unreal Engine 4, la cual permitió el modelado, animación y creación de gráficos tridimensionales. En el prototipo de diseño de cada nivel del juego se sugirió a los desarrolladores usar elementos gráficos siguiendo el modelo mental del usuario, es decir, aquellos que permitieran al jugador la relación entre sistema y mundo real.

Para garantizar la simplicidad y la facilidad de uso, el nivel 1 tiene cuatro subniveles. Inicialmente se presentará al usuario una introducción al juego que detalla la historia y la misión que se deberá cumplir (figura 3a); luego, aparecerá el menú principal (figura 3b), donde aparecerán las opciones que permitirán al usuario ver los controles y las opciones (figura 3c), jugar o cerrar la aplicación. Al terminar la introducción, el avatar (o personaje principal) será transportado por una máquina a la isla y deberá moverse a través del escenario con el fin de encontrar una serie de ayudas que le indicarán los retos a cumplir. El avatar deberá completar las misiones convirtiendo las criaturas a su estado natural, teletransportándolas a zonas de cuarentena mediante un rayo especial, ideando una forma de inactivar el laboratorio de nitro sin comprometer la biodiversidad de la isla, y ubicando al doctor Guerra (la figura 3 muestra la implementación de la historia dentro del juego). Los retos diseñados contendrán escenarios de aventura, estrategia y táctica.

El primer nivel del juego, diseñado para la aplicación del modelo planteado, consiste en encontrar el escondite del citado Doctor Guerra. Se diseñaron a este respecto cuatro subniveles descritos en el modelo de contenido lúdico, los cuales a su vez tienen un reto asociado que permite desarrollar las fases del juego y cumplir el objetivo de llegar al castillo donde se encuentra el villano. La realización de las tareas adaptadas en las fases del juego requerirá que el estudiante maneje el personaje para recorrer los escenarios, los cuales se describen a continuación.

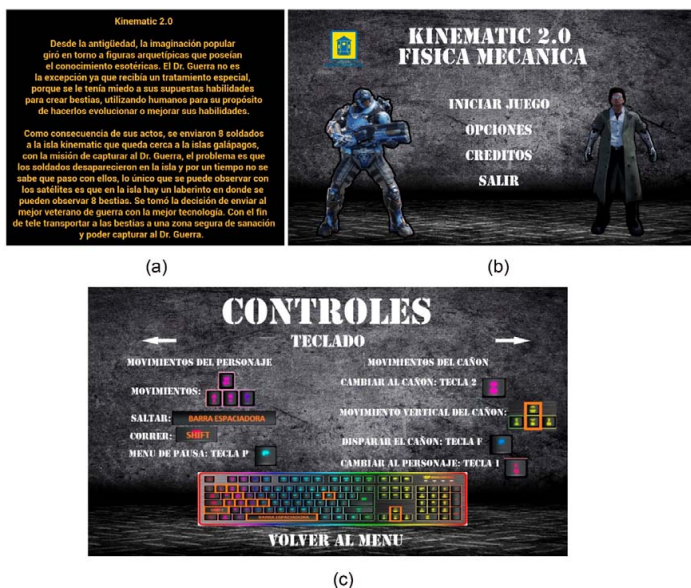


Figura 3. Esquema de inicio del juego. a); historia del juego; b) menú principal; c) controles

Fuente: elaboración propia.

1.3 Descripción de los niveles del juego

La aventura comienza cuando el personaje es transportado al primer escenario, donde el jugador deberá desplazarse en busca de pistas que le permitan continuar su misión (figura 4a). Al continuar, encontrará una puerta de acceso a un segundo escenario; un elemento de ayuda le indicará que debe dirigirse al pueblo de la Isla Kinematic y encontrar dos elementos —una brújula y un mapa— que permitirán abrirla. La segunda escena está relacionada con el desarrollo del concepto de posición, mediante el diseño del componente lúdico descrito en la tabla 2 (subnivel 1); la figura 4 (b) muestra el personaje principal desplazándose hacia el pueblo abandonado (en las actividades propuestas se deberá relacionar el cambio de posición del personaje y el concepto de ubicación de un punto en un plano). Finalmente, al encontrar la brújula y el mapa, el personaje deberá acceder a un tercer escenario: un laberinto. Durante la ejecución de la tercera escena se introduce el concepto de desplazamiento, debido a la necesidad del personaje de ubicar objetivos e ítems de ayuda mientras se desplaza por el laberinto (tabla 2, subnivel 2).

Los retos 2 y 3 de sus respectivos subniveles (tabla 2, subniveles 2 y 3) permitirán afianzar los conocimientos de desplazamiento y velocidad; el objetivo del avatar para finalizar esta parte de su misión será localizar las criaturas infectadas, teletransportarlas a cuarentena y salir del laberinto (figura 4c). Para acceder al escondite del villano, el personaje deberá disparar un cañón calculando de forma aproximada la velocidad y ángulo de lanzamiento de un proyectil.



Figura 4. a) escena inicial del juego; b) personaje moviéndose hacia el pueblo de la Isla Kinematic; c) ubicación de un infectado en el laberinto; d) cañón disparando un proyectil mediante la variación de la velocidad y ángulo de lanzamiento

Fuente: elaboración propia.

La ejecución del reto final se encamina a introducir de forma general el concepto de trayectoria parabólica relacionado con el subnivel 4 (tabla 2), en tanto se permite al estudiante variar dos parámetros físicos que le permitirán cumplir su objetivo (figura 4d). Al abrirse la puerta del castillo, el personaje ingresa para capturar al Doctor Guerra. Debido a que el desarrollo del prototipo finaliza en este nivel, aquellos estudiantes que han logrado cumplir con todos los objetivos obtendrán una imagen que los acreditará como ganadores.

1.5. Evaluación del modelo propuesto

Se realizó un proceso de valoración basado en la técnica de grupos focales. En esta línea, se llevaron a cabo entrevistas de grupo a cinco profesionales encargados de realizar la evaluación correspondiente a la implementación desarrollada. La actividad fue dirigida por un moderador, encargado de guiar la entrevista colectiva y organizar la discusión en torno a las características y dimensiones del tema propuesto. La técnica de grupo focal se dirigió, en concreto, al cumplimiento de los principios heurísticos de Nielsen y de las pautas [27] [28]. En la tabla 3 se presenta el perfil de los evaluadores, encargados de realizar la inspección sobre el prototipo desarrollado.

Tabla 3. Expertos encargados de la evaluación

Experto	Descripción
Experto 1	Docente en el área de ingeniería: estudios de física.
Experto 2	Ingeniero en el área de ingeniería y telecomunicaciones, estudio de elementos colaborativos en ambientes de aprendizaje
Experto 3	Docente en el área de ingeniería, desarrollo en herramientas de usabilidad.
Experto 4	Docente en el área de ingeniería con profundización en programación, seguridad informática y gestión de proyectos Informáticos
Experto 5	Docente en el área de ingeniería: programación orientada a objetos.

Fuente: elaboración propia.

Los principios heurísticos de Nielsen evaluados fueron visibilidad del estado del sistema; relación entre el sistema y el mundo real; control y libertad de usuario; consistencia y estándares; prevención de errores; reconocimiento, antes que recuerdo; flexibilidad y eficiencia de uso; diseño estético y minimalista; ayuda a los usuarios a reconocer; ayuda y documentación; estos tienen por objetivo garantizar el cumplimiento de las características de usabilidad dentro de aplicaciones interactivas de propósito general [27] [28]. A partir de lo anterior, la sesión de Focus Group estuvo conducida hacia la evaluación del cumplimiento de los diez principios de usabilidad de Nielsen.

Como resultado de esta sesión se obtuvo que los principios heurísticos de visibilidad del sistema, consistencia y estándares, y ayuda y documentación fueron los menos aplicados en el prototipo. Respecto al primero, los evaluadores manifestaron la necesidad de incluir títulos en cada una de las vistas para orientar al usuario sobre el reto a superar. Así mismo, se sugirió la inclusión de un mapa, brújula, velocidad y estado de vida en la parte superior derecha de la pantalla. En cuanto al segundo, se recomendó usar los mismos tipos de fuentes, colores en los títulos y vistas de las diferentes pruebas o retos del juego. Y respecto al tercero se recomendó incluir en pantalla el modo de interacción del usuario con el prototipo de *software*, así como el manejo de ayuda contextual teórica según el reto en que el usuario se encontrara. Los resultados obtenidos en este proceso de evaluación dieron pie a realizar cambios en las diferentes vistas del juego (figura 5). En términos generales, el prototipo desarrollado cumple con las características básicas de usabilidad y accesibilidad para ser usado y apropiado por la población objetivo del presente trabajo.



Figura 5. Modificaciones realizadas con base en los resultados de la etapa de evaluación

Fuente: elaboración propia.

2. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- El modelo propuesto para el diseño e implementación de juegos serios toma en consideración aspectos relevantes de la pedagogía y de la usabilidad, los cuales no suelen tomarse en cuenta en el proceso de construcción de aplicaciones. Lo anterior permite que la propuesta de juego serio esté centrada en los objetivos del aprendizaje; ello daría origen a un modelo lúdico que permitiría desarrollar con facilidad los retos dentro del juego, de tal manera que se favorezca la interacción del usuario con los conceptos por aprender.
- Se establecieron herramientas de diseño para subniveles del juego serio, correspondientes a los objetivos de aprendizaje propuestos en el modelo pedagógico. Ello dio origen a una serie de criterios que facilitaron el diseño de los componentes lúdicos adecuados respecto de las actividades y tareas planteadas, mediante su implementación en retos y fases del juego.
- Se implementó el modelo considerándose el diseño conceptual propuesto en esta investigación y la herramienta de *software* Unreal Engine 4. Los escenarios desarrollados se relacionaron con los retos y fases del juego establecidos en los componentes lúdicos.
- El prototipo desarrollado está basado en el modelo propuesto; en él se toman en cuenta elementos relevantes para el funcionamiento del juego como la definición de los objetivos de aprendizaje, el diseño del componente lúdico y el diseño de interfaces. Lo anterior contribuye a que la herramienta construida sirva de apoyo

para los docentes de física de educación secundaria, favoreciendo la lúdica en el aprendizaje de conceptos que cuya asimilación plantea desafíos para los estudiantes.

- Las pruebas de usabilidad, así como la evaluación de expertos, mostraron algunas deficiencias en el diseño gráfico. Por lo tanto, fue necesario mejorar en aspectos como los movimientos del personaje y la ejecución en tiempo real de ciertas acciones.
- Como trabajo futuro se sugiere tomar como base el juego desarrollado y planear nuevas temáticas relacionadas con la física. De igual manera, y con el propósito de realizar una evaluación con un método diferente, se sugiere para valorar la jugabilidad de versiones posteriores del producto con el método EGameFlow: ello que permitirá tener una nueva visión del producto, en la cual se incluyan la jugabilidad y la inmersión del usuario en el juego.

REFERENCIAS

- [1] L. C McDermott, “A perspective on teacher preparation in physics and other sciences: The need for special science courses for teachers”, *American Journal of Physics*, 58, 734-742, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.16395>
- [2] T. Mayes and S. de Freitas, “Review of e-learning theories, frameworks and models”, en *Joint Information Systems Committee*, pp. 1-44, 2004. Disponible en: <https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/32662/1/review-of-e-Learning-theories.pdf>.
- [3] E. Bonsignore, D. Hansen, A. Pellicone, “Traversing Transmedia Together: Co-designing an Educational Alternate Reality Game for Teens, With Teens”, in: *Proceedings of the The 15th International Conference on Interaction Design and Children*. ACM, New York, pp 11-24, 2016. DOI: 10.1145/2930674.2930712
- [4] J. C. Read y M. Bekker, “The Nature of Child Computer Interaction”, *BCS-HCI '11 Proc 25th BCS Conf.Human-Computer Interact*, pp. 163-170, 2011. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/788d/10837d0c0bd31a4910fe74eb14da167928ca.pdf>.
- [5] G. Triantafyllakos, G. Palaigeorgiou y I. Tsoukalas, “Designing educational software with students through collaborative design games: The We! Design & Play framework,” *Computers & Education*, vol. 56, n° 1, pp. 227-242, 2011. DOI: 10.1016/j.compedu.2010.08.002
- [6] Y. Kafai, K. Peppler, “Developing Gaming Fluencies with Scratch”, en *Games, Learning, and Society: Learning and Meaning in the Digital Age*; C. Steinkuehler, K. Squire y S. Barab, eds., Cambridge: Cambridge University Press, pp. 355-380, 2012. DOI: 10.1017/CBO9781139031127.026.
- [7] R. Khaled, A. Vasalou, “Bridging serious games and participatory design”, *Int J Child-Computer Interact*, n.º 2, pp. 93-100, 2014. DOI: 10.1016/j.ijcci.2014.03.001.

- [8] G. Kalmpourtzis, "Developing kindergarten students' game design skills by teaching game design through organized game design interventions," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, n.º 14, pp. 20485-20510, 2019. DOI: 10.1007/s11042-019-7393-y.
- [9] J. Dewey, *How we Think*, Nueva York: D.C. Heath & Co. Publishers, 1933.
- [10] D. Kolb, *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, Nueva Jersey: Pearson Education, 2015.
- [11] J. P. Rowe, L. R. Shores, B. W. Mott y J. C. Lester, "Individual Differences in Gameplay and Learning: A Narrative-Centered Learning Perspective", en *Proceedings of the Fifth International Conference on the Foundations of Digital Games (FDG)*, Monterrey - California, 2010. DOI: 10.1145/1822348.1822371.
- [12] A. M. Al-Huneidi y J. Schreurs, "Constructivism Based Blended Learning in Higher Education," *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, vol. 7, n.º 1, pp. 4-9, 2012. DOI: 10.3991/ijet.v7i1.1792.
- [13] J. Baalsrud, F. Bellotti, R. Berta, M. Carvalho, A. De Gloria, E. Lavagnino, R. Nadolski y M. Ott, "Field assessment of Serious Games for Entrepreneurship in Higher Education," *Journal of Convergence Information Technology*, vol. 8, n.º 13, pp. 1-12, 2013.
- [14] L. Anderson y D. Krathwohl, *A taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy*, Nueva York: Addison Wesley Longman, 2001.
- [15] B. S. Bloom (ed.), *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*, Londres: Longman, pp. 201-207, 1956. DOI: 10.1177/001316445601600310.
- [16] K. Muñoz, J. Noguez, P. McKevitt, L. Neri, V. Robledo-Rella y T. Lunney, "Adding Features of Educational Games for Teaching Physics" en *39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, University of Ulster, Magee, pp. 18-21, 2009. DOI: 10.1109/FIE.2009.5350630.
- [17] K. Juuti, L. Lavonen y V. Meisalo, "Learning Newtonian Mechanics in Virtual and Real Learning Environments in Grade 6 in a Finnish Primary School", en *Proceedings of the IASTED International Conference*, University of Helsinki, pp. 51-68, 2007.
- [18] S. Mohanty y S. Cantu, "Teaching Introductory Undergraduate Physics Using Commercial Video Games", *Physics Education*, vol. 46, n.º 5. DOI: 10.1088/0031-9120/46/5/009.
- [19] R. Amory y R. Seagram, "Educational game models: conceptualization and evaluation", *South African Journal of Higher Education*, vol. 17, n.º 2, pp. 206-217, 2003. DOI: 10.4314/sajhe.v17i2.25314.
- [20] S. de Freitas y M. Oliver, "How can exploratory learning with games and simulations within the curriculum be most effectively evaluated", *Computers and Education*, vol. 46, pp. 249-264. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.11.007>.

- [21] M. Zyda, J. Hiles, A. Mayberry, C. Wardynski, M. Capps, B. Osborn, R. Shilling, M. Robaszewski y M. Davis, “Entertainment R&D for defense”, *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 23, n.º 1, pp. 28-36, 2003. DOI: 10.1109/MCG.2003.1159611.
- [22] J. Groff, J. Clarke-Midura, E. Owen E, L. Rosenheck y M. Beall, “Better Learning in Games. A Balanced Design Lens for a New Generation of Learning Games”, en *Learning Games Network, MIT Education Arcade*, pp. 6-20, 2015.
- [23] S. de Freitas y T. Neumann, “The use of ‘exploratory learning’ for supporting immersive learning in virtual environments”, *Computers and Education*, vol. 52, n.º 2, pp. 343- 352, 2009. DOI: 10.1016/j.compedu.2008.09.010.
- [24] J. Staalduinen y S. de Freitas, “A game-based learning framework: Linking game design and learning outcomes”, en M. Khyne (ed.), *Learning to Play: Exploring the Future of Education with Video Games*, New York: Peter Lang, pp. 29-54, 2011. DOI: 20.500.11937/26899.
- [25] C. Aguilar, G. Chanchí y M. Vidal, “Definición de un proceso metodológico para la construcción de juegos serios para el apoyo de la enseñanza de la física cinemática”, *Publicaciones e Investigación*, vol. 12, n.º 1, pp. 35-48, 2018. DOI: 10.22490/25394088.2815.
- [26] “Unreal Engine 4. Epic Game” [internet]. Disponible en: <https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>, 2018.
- [27] J. Nielsen. “Enhancing the explanatory power Definición de un proceso metodológico para la construcción de juegos serios para el apoyo de la enseñanza de la física cinemática of usability heuristics in Proceedings of the SIGCHI”, en *Conference on Human factors in computing systems celebrating interdependence*, Nueva York, pp. 152-158, 1994. DOI: 10.1145/191666.191729.
- [28] J. Nielsen, “Usability inspection methods”, en *Conference companion on Human*, Nueva York, 1994. DOI: 10.1145/259963.260531.