

REFORZAMIENTO DE HABILIDADES ARITMÉTICAS DE FRACCIONES Y DIVISIONES EN NIÑOS DE PRIMARIA MEDIANTE UN JUEGO SERIO EDUCATIVO*

RENATO CORONADO ÁLVAREZ
renatocoronado99@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0309-3690>
Universidad de Lima, Perú

RESUMEN. Si bien la matemática resulta fácil para algunos estudiantes, para otros puede ser una verdadera tortura. Sin embargo, con ella uno puede desde organizarse mejor hasta tener mucho más lógica y razonamiento, además de ser el conocimiento base para muchas profesiones. No obstante, a muchos se les complica y no se sienten motivados a aprenderlas o reforzarlas, principalmente, debido a la metodología tradicional, a la dificultad misma de la matemática o la calidad educativa. Por otro lado, la tecnología y los juegos pueden fomentar el aprendizaje, volviéndose el mejor aliado para potenciar la educación. Más aún, para involucrar a los estudiantes en el pensamiento de orden superior, es importante diseñar contextos de juego y misiones que permitan lidiar con problemas prácticos. Por esta razón, el presente artículo pretende apoyar el proceso de reforzamiento del aprendizaje de fracciones y divisiones a través de un juego serio educativo disponible para plataformas web y móvil, que incorpora una mecánica continua y ejercicios de refuerzo de fracciones y divisiones. Para el diseño del juego e interfaces, se aplicaron las heurísticas propuestas por Nielsen (1994), y para la mecánica, el *framework* MDA, el cual influyó en el diseño de los niveles, junto con las recomendaciones de un *focus group*. Posteriormente, se validó si hubo cambios en el desempeño de los estudiantes mediante comparación de grupos, así como la usabilidad, con la finalidad de verificar que las heurísticas estén correctamente aplicadas; finalmente, se midió la experiencia del juego en un grupo reducido de escolares a partir de tercero de primaria.

PALABRAS CLAVE: aprendizaje matemático, educación matemática, interacción humano-computadora, juegos serios, aprendizaje basado en juegos, cuestionario de experiencia de juego

* Me gustaría expresar mi más sincero y cordial agradecimiento a los profesores Óscar Ramos y Hernán Alejandro Quintana Cruz, quienes aportaron información valiosa para el desarrollo de la presente investigación y también me acompañaron a lo largo de todas sus fases.

REINFORCEMENT OF IN FRACTIONS AND DIVISION ARITHMETIC SKILLS IN PRIMARY SCHOOL CHILDREN THROUGH A SERIOUS EDUCATIONAL GAME

ABSTRACT. While mathematics may be easy for some students, for others it can be a real torture. Through mathematics we can organize ourselves better and have much more logic and reasoning, as it is also the base knowledge for many professions. However, many people find it difficult and do not feel motivated to learn or reinforce it, mainly due to the traditional methodology, the difficulty of mathematics or the quality of education. On the other hand, technology and games can promote learning, becoming the best ally to enhance education. Moreover, in order to engage students in higher-order thinking, it is important to design game contexts and missions that allow them to deal with practical problems. For this reason, this article aims to support the process of reinforcement of learning fractions and divisions through an educational serious game available for web and mobile platforms, which incorporates continuous mechanics and the inclusion of reinforcement exercises of fractions and divisions. For the design of the game and interfaces, the heuristics proposed by Nielsen (1994), were applied and for the mechanics, the MDA framework was applied, which influenced the design of the levels together with the recommendations of a focus-group. Subsequently, we will proceed to validate whether there were changes in the students' performance by comparing groups, validate the usability in order to verify that the heuristics are correctly applied and, finally, measure the experience of the game in a small group of schoolchildren from 3rd grade onwards.

KEYWORDS: mathematical learning, mathematics education, human-computer interaction, serious games, game-based learning, Game Experience Questionnaire

1. INTRODUCCIÓN

La utilidad de la aritmética en la vida diaria es innegable, así como es fundamental en otras disciplinas, pues constituye un conocimiento básico en muchas profesiones, además de ser importante en el desarrollo del razonamiento crítico. Sin embargo, como afirma Mishra (2020), el temor excesivo a la matemática impide que muchos estudiantes tengan éxito en los cursos básicos de esta materia. A menudo, memorizan el concepto, por lo que existe una mayor probabilidad de que cometan errores debido a un conocimiento inadecuado. De esta manera, aprender matemática, ya sea en el nivel escolar o superior, tiene cierta dificultad para muchas personas. La matemática es una de las disciplinas en las que el aprendizaje de conceptos tiene un lugar esencial; sin embargo, se puede observar que muchos estudiantes poseen conceptos erróneos en esta materia. De hecho, es casi imposible en matemática definir cualquier concepto sin utilizar muchos otros, ya que los planes de estudio de esta disciplina tienen un atributo de espiral. Esos errores y conceptos erróneos son parte del proceso de aprendizaje y se pueden corregir con una explicación y práctica regular (Mishra, 2020; Ninaus et al., 2017). En particular, de acuerdo con Benbow & Faulkner (2008), el tema de fracciones suele generar cierta complejidad; es más, el procesamiento y aprendizaje de fracciones es uno de los problemas más desafiantes en la educación matemática, dado que una parte crucial de su comprensión y procesamiento es la representación exitosa de la magnitud de la fracción (que refleja la relación entre denominador y numerador) para realizar operaciones aritméticas con ellas.

Por otro lado, en Latinoamérica, el Perú ocupa los últimos lugares en evaluación en matemática y comunicación, como lo muestran las pruebas internacionales realizadas por el Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos de la OCDE (PISA, por sus siglas en inglés) y el Laboratorio Latinoamericano de Evaluación de la Calidad de la Educación (LLECE). Además, el Ministerio de Educación del Perú, mediante la Unidad de Medición de la Calidad Educativa, ha llevado a cabo la Evaluación Censal de Estudiantes (ECE), cuyos resultados muestran diferencias muy marcadas entre los logros alcanzados por las instituciones educativas urbanas y rurales. En esta evaluación, se concluyó que el 46,4 % de los alumnos obtuvieron niveles satisfactorios en comprensión lectora y el 34,1 %, en matemática. Estas cifras han mejorado, pero no alcanzan más del 50 %; la mejoría puede deberse a la educación inicial, a la contratación de docentes en forma oportuna y a los programas de acompañamiento (Ibarra et al., 2016; Ministerio de Educación del Perú, 2018).

La acelerada evolución tecnológica que se vive actualmente también ha alcanzado a la tecnología en la educación —sobre todo con la coyuntura actual, en la que se habla de una educación virtual—, lo que permite un aprendizaje más didáctico, ofreciendo la

posibilidad de integrar la tecnología, los juegos y la educación en un solo sistema. Esta situación ha llevado a los ministerios y escuelas a probar el uso de aplicaciones móviles para lograr objetivos de aprendizaje y enseñanza. Además de las computadoras y páginas web, los *smartphones* y las *tablets* son las nuevas tecnologías emergentes que pueden tener un gran efecto en este ámbito, pues se considera que están extendidos por todo el mundo (casi todo el mundo cuenta con uno) y que están siempre con los usuarios (se lo puede usar en cualquier lugar); así, por ejemplo, jugar videojuegos en dispositivos móviles se ha convertido en una tendencia porque se puede hacer en cualquier lugar y en cualquier momento. Este tipo de tecnología aporta portabilidad, conectividad e interactividad social, características que la convierten en una plataforma preferida para el aprendizaje. Como resultado, el uso de dispositivos móviles puede extenderse al aprendizaje móvil, donde el entorno de aprendizaje no está limitado al aula. Al combinar el factor lúdico de los videojuegos, la flexibilidad del aprendizaje móvil y los beneficios de los juegos, se han desarrollado los juegos móviles serios (Alkhateeb, 2019; El Azizi, 2019).

Muchos estudios han revelado el potencial de los juegos digitales para mejorar los resultados del aprendizaje de los estudiantes en los cursos de matemática (Schenke et al., 2014). Por ejemplo, Kebritchi et al. (2010) encontraron que los estudiantes que aprenden con juegos de matemática mostraron mejores logros de aprendizaje que aquellos que aprendieron con instrucción tradicional. También indican la significancia del uso de los juegos educativos móviles entre los alumnos, porque integran aprendizaje con placer y suspenso. De este modo, se puede aumentar sus logros académicos y desarrollar su pensamiento creativo a través de un método innovador. Asimismo, contribuyen a la individualización de la enseñanza, porque permiten que el alumno progrese en su aprendizaje para que se adapte a sus habilidades y lo acelere, sin timidez ni miedo (Bicen & Kocakoyun, 2018). Finalmente, Robertson y Howells (2008) demuestran que los juegos educativos sirven para ejercitar conocimientos y fomentar la creatividad en la creación de un artefacto cultural complejo e interactivo que puede ser usado y disfrutado luego por otros usuarios.

En vista de las situaciones descritas, el presente estudio de investigación propone el desarrollo de un juego serio educativo para el refuerzo del área de aritmética, específicamente del tema de fracciones y divisiones en niños de primaria, que sea capaz de hacer frente a las limitaciones previamente mencionadas. Para validar la efectividad del sistema, se propuso un método de evaluación de desempeño que fue aplicado a participantes de dos grupos: experimental y de control.

Para comenzar, se explicarán los antecedentes más relevantes para esta investigación. En la metodología, se estipulan los pasos para el desarrollo del juego y la experimentación correspondiente. Luego, se presentarán los resultados

obtenidos y su discusión, donde se hace una interpretación de estos. Finalmente, se ofrecen tanto las conclusiones como las recomendaciones para trabajos futuros sobre la base de los resultados.

2. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se hace una revisión de investigaciones previas que han servido como aporte para el desarrollo del sistema y que, a su vez, dan los lineamientos y bases de viabilidad al presente estudio. La propuesta de todos los estudios referenciados en esta sección son juegos para el apoyo del aprendizaje.

2.1 Juegos serios para el aprendizaje de matemática en niños

Existen varios trabajos de la literatura que abordan el problema de la enseñanza de matemática a los niños. Wang et al. (2017), por ejemplo, presentan *Speedy World*, un juego de computadora para mejorar la motivación y el rendimiento de los estudiantes de primaria en el aprendizaje del concepto de velocidad, además de abordar el problema de enseñar matemática con el enfoque tradicional centrado en el maestro. El estudio adoptó un diseño cuasiexperimental, en el que 107 alumnos de sexto grado de primaria se dividieron en dos grupos (experimental y de control) y sus resultados fueron significativos: los estudiantes que aprendieron con el juego superaron a los que aprendieron con el enfoque tradicional. Finalmente, se concluye que el rendimiento de aprendizaje y la participación de los estudiantes mejoraron al adoptar el enfoque de juego (Wang et al., 2017).

Para las sumas y restas, que son el paso previo al aprendizaje de divisiones y fracciones, investigadores como Aljojo (2018) buscan mejorar la capacidad matemática para estas operaciones de los alumnos de primaria de 6 a 8 años mediante un juego con tres niveles de dificultad. En el juego se incorporaron técnicas educativas para producir un juego educativo tan divertido como emocionante, y se introdujo un nuevo concepto de aprendizaje mediante la combinación de educación y entretenimiento a través de un laberinto y preguntas según el nivel (ordenar números, sumar y restar; y sumar y restar con imágenes). El juego fue probado con 50 estudiantes y los resultados rechazan la hipótesis nula, por lo que se concluye que existe una fuerte evidencia de que la intervención docente mejora los puntajes a través del uso de una aplicación de aprendizaje basada en juegos (Aljojo, 2018).

Los resultados concuerdan con los de Muñoz Sanabria y Vargas Ordoñez (2019), quienes a través de *EDUMAT*, un juego en línea, buscan mejorar el desempeño de los estudiantes de primaria enfocándose en las divisiones con restas sucesivas (elegidas porque incluyen las cuatro operaciones básicas). En el juego, se hace

uso de características como la dinámica, la mecánica y los componentes del juego (logros, trofeos, insignias, avatares, etcétera); también incluye la visualización del *ranking* de los mejores jugadores y la opción de iniciar la partida; al final, se muestra un resumen de esta: el puntaje y los intentos fallidos (Muñoz Sanabria & Vargas Ordoñez, 2019).

2.2 Juegos serios para el aprendizaje de fracciones

Kickmeier-Rust et al. (2014) plantean un juego para aprender y practicar divisiones llamado *Sonic Divider*, que incluye funciones de evaluación formativa y retroalimentación (muestra una cara sonriendo y un texto motivacional si la tarea se completa correctamente). *Sonic Divider* incluye técnicas como *goal-setting*, *levelling* y *scoring*, entre otras, y está enfocado en niños de 6 a 8 años, diseñado específicamente para practicar fracciones exactas. También existe la posibilidad de que el profesor configure la aplicación para su salón de clase, y en este caso, ofrece una función que permite evaluar e interpretar las habilidades en un sentido formativo. Por último, esta aplicación implementa una herramienta de análisis del salón de clases para el maestro, la cual le muestra los resultados generales, el tiempo total y el tiempo promedio por tarea, de manera individual o colectiva. Los resultados de la investigación fueron alentadores, pues, conforme se practica más, disminuyen los errores (Kickmeier-Rust et al., 2014).

Desde la posición de Alkhateeb (2019), el bajo desempeño en matemática es un gran problema, por lo que plantea un estudio cuasiexperimental en el que diseñó y produjo un juego educativo para ser utilizado en la enseñanza. Realizó la experimentación en una muestra formada por 66 alumnos de cuarto grado de primaria de la ciudad de Zarqa (Jordania), a los que dividió en dos grupos: experimental y de control (el primero aprenderá mediante el juego y el segundo, por el método convencional). Los resultados demuestran que hubo diferencias en el rendimiento entre ambos grupos. El estudio encontró que el uso de los juegos móviles es efectivo para ayudar a brindar soporte a los estudiantes en un salón de clase, y que el juego propuesto, en particular, fue efectivo tanto por su diseño como por su contenido (Alkhateeb, 2019). Los resultados del estudio son similares a los de Vandercruysse et al. (2015), quienes describen *Monkey Tales: The Museum of Anything*, un juego educativo para computadora utilizado para practicar matemática. Este juego pertenece a la categoría de juegos de aventuras, pero también contiene algunos elementos de los juegos de acción (por ejemplo, disparar burbujas con fracción que representan la respuesta correcta). Los jugadores tienen que derrotar al enorme dinosaurio que se ha apoderado del museo resolviendo rápidamente acertijos matemáticos, como comparaciones u operaciones con fracciones (Vandercruysse et al., 2015).

Con una problemática similar, Zhang et al. (2020) señalan que la dificultad de los niños con las fracciones está asociada a su conocimiento de números enteros y la teoría del sesgo de estos números; es un desafío porque los niños no familiarizados con fracciones pueden ver $2/5$ como dos números, y no como una parte y un todo. Por ello, a través del estudio cuasiexperimental, se combina el aprendizaje de fracciones basado en juegos con lecciones escolares (grupo experimental), y se hace una comparación con la instrucción tradicional (grupo de control). En total, se tenían 37 estudiantes en el grupo de control y 39 en el grupo experimental, cuya edad variaba entre 8 y 9 años. Sus resultados fueron positivos, dado que se corroboró el potencial de los juegos serios para apoyar el aprendizaje de conceptos de fracciones, y se concluye que los niños tienden a concentrarse más en el aprendizaje basado en juegos: normalmente solo se puede mantener su atención durante 40 minutos; sin embargo, jugar en clase puede aliviar un poco la fatiga del aprendizaje mientras se disfruta de una experiencia de aprendizaje agradable (Zhang et al., 2020).

Algunos investigadores como Shang et al. (2018) consideran que el aprendizaje de fracciones sigue siendo un desafío, y que es necesario entenderlo en relación con el concepto. Por ello, sobre la base de algunas teorías relacionadas, los autores diseñaron el juego *Run Fraction* para ayudar a los niños a aprender el conocimiento conceptual de las fracciones. En este juego, la línea numérica aparece con la forma de una pared, y la vista del avatar está bloqueada, lo que despierta la curiosidad y alienta al jugador a explorar más. Además, cuenta con un sistema de recompensa y clasificación con el objetivo de mantener la motivación (Shang et al., 2018). Igualmente, se tienen juegos que se enfocan en la práctica de las fracciones como *iFractions*, un juego serio gratuito para la enseñanza de fracciones y creado principalmente para niños de 6 a 10 años. El juego tiene características flexibles de configuración para el usuario: la selección del idioma, la imagen y el sonido pueden contextualizarse según el país. Además, cada nivel es de una dificultad progresiva (Ibarra et al., 2019).

Para finalizar, Ninaus et al. (2017) desarrollan un motor de investigación de números racionales basado en juegos: Semideus. Los estudiantes de 11 años jugaron un juego de matemática en tabletas usando el control de inclinación para navegar con un avatar a lo largo de una recta numérica durante un total de 30 minutos. Se obtuvo que el desempeño de los estudiantes en la comparación de números enteros fue muy bueno, aunque algunos enfrentaron dificultades en esta tarea (Ninaus et al., 2017). En línea con estos resultados, se encuentra la investigación de Gaggi et al. (2018), quienes hacen uso de una narrativa y representación de las fracciones mediante figuras a través de *Pizza al lancio*, un juego serio para ayudar a los niños a comprender las fracciones, en particular las equivalentes y complementarias. El juego cuenta la historia de un repartidor que tiene hambre y come una porción de

pizza durante la entrega. Como le asusta su severo jefe, que le grita si los clientes no están contentos, cuando llega al destino llama al jugador y le pide que complete la *pizza*. El jugador debe lanzar la casilla correcta, entre las cuatro disponibles, la que contiene la fracción complementaria a la *pizza* entregada para cumplir con el pedido del cliente. Sus resultados fueron alentadores debido a que se obtuvo 88 % de aprobación entre los estudiantes y estos asociaron lo reforzado en el juego de manera que, después de la experimentación, en la prueba posterior, se les pidió representar gráficamente fracciones y los niños utilizaron *pizzas* y barras para ello (Gaggi et al., 2018).

3. ANTECEDENTES

En esta sección, se presentan los fundamentos para el desarrollo de la investigación. Primero, se definen los conceptos que se van a utilizar a lo largo del presente estudio. Luego, se expone una definición y aplicación de algunos investigadores de MDA: un *framework* para diseño de juegos.

3.1 Juego serio

Según Aparício y Silva (2019), con el avance de las nuevas tecnologías, el uso de juegos digitales ha aumentado, principalmente, con fines recreativos. Sin embargo, no todos los juegos tienen solo un propósito de entretenimiento y diversión; algunos cuentan con otros propósitos como enseñar o entrenar a los jugadores para situaciones reales concretas (es decir, juegos serios). En esta categoría se encuentran los juegos para el aprendizaje, que tienen como objetivo principal enseñar algunos contenidos a los jugadores de una forma divertida.

Los juegos serios o educativos están adquiriendo un creciente interés en la investigación como herramientas para ampliar los enfoques tradicionales de instrucción sobre el aprendizaje escolar, especialmente de las matemáticas; es más, tienen el potencial de proporcionar formas nuevas, atractivas e innovadoras de entrenar tanto a niños como a adultos en esta materia (Ninaus et al., 2017). Por lo tanto, los juegos serios sugieren que la combinación de la enseñanza en el aula y los juegos podría ser la mejor pedagogía matemática.

Finalmente, como afirman Ibarra et al. (2016), los juegos serios son videojuegos creados con propósitos bien definidos en el ámbito pedagógico y para desarrollar habilidades o competencias directamente relacionadas con una profesión o carrera (con conexión académica).

3.2 Framework de diseño: mecánica, dinámica y estética

La estructura de un juego (reglas, metas) se puede definir con la ayuda de MDA (del inglés: *mechanics, dynamics, aesthetics*), pues describe la separación de los componentes del juego y proporciona un lente útil para pensar en los diversos elementos que componen el juego.

El *framework* fue desarrollado y enseñado como parte del Taller de Diseño y Ajuste de Juegos en la Conferencia de Desarrolladores de Juegos (San José, 2001-2004). Tiene un enfoque de carácter formal e iterativo para el diseño y afinación de juegos, y permite razonar explícitamente sobre los objetivos de diseño particulares y ver cómo los cambios afectan cada aspecto. Consta de tres capas de abstracción, por lo que se puede comprender el concepto dinámico de los juegos.

Hunicke et al. (2004) mencionan que MDA es un enfoque formal para entender los juegos, uno que intenta cerrar la brecha entre el diseño y el desarrollo de juegos, la crítica de juegos y la investigación técnica de juegos. También señalan que la diferencia entre los juegos y otros productos de entretenimiento reside en que su consumo es relativamente impredecible. La serie de eventos que ocurren durante el juego y su resultado se desconocen en el momento en que finaliza el producto, es por ello que MDA formaliza el consumo dividiéndolos en componentes y estableciendo sus contrapartes.

3.2.1 Capa mecánica

La mecánica se refiere a las reglas y la lógica del juego (por ejemplo, puntos, nivel, desafíos/misiones, bienes virtuales, tablas de clasificación). Esta capa es la más cercana al diseñador e incluye todos los recursos, reglas y materiales multimedia utilizados. En ella están las diversas acciones, comportamientos y mecanismos de control que se ofrecen al jugador dentro de un contexto de juego. Junto con el contenido (niveles, recursos, etcétera), la mecánica respalda la dinámica general del juego. Además, describe los componentes particulares del juego en cuanto a representación de datos y algoritmos. Asumiendo la perspectiva del diseñador, la mecánica da lugar a un comportamiento dinámico del sistema, que a su vez conduce a experiencias estéticas particulares. En cambio, desde la perspectiva del jugador, la estética marca la pauta, que nace de la dinámica observable y, finalmente, de la mecánica operable. Por consiguiente, al trabajar con juegos, es útil tener en cuenta las perspectivas tanto del diseñador como del jugador, puesto que ayuda a observar cómo incluso los pequeños cambios en una capa pueden afectar a otras (Hunicke et al., 2004).

3.2.2 Capa dinámica

Siempre que el juego está “funcionando”, su mecánica responde a la entrada del jugador y otras mecánicas del juego; esta capa intermedia se llama *dinámica*. Este componente describe el comportamiento en tiempo de ejecución de las mecánicas que actúan sobre las entradas de los jugadores y las salidas de los demás a lo largo del tiempo; se refiere también a los resultados de la mecánica durante el juego (recompensas, estado, logros, competencia, retroalimentación visual/sonora). La dinámica trabaja para crear experiencias estéticas y está centrada en identificar las actividades claves dentro del flujo de trabajo del usuario a medida que interactúan con los componentes de *hardware* y *software* (Carrol, 2013; Hunicke et al., 2004).

3.2.3 Capa estética

Finalmente, los jugadores experimentan una respuesta emocional compleja al interactuar con el juego, la cual es denominada por varios autores la *estética del juego* (Mora-Zamora & Brenes-Villalobos, 2019; Spieler & Kemeny, 2020). La estética es “el aspecto y la sensación” del juego, y puede reforzarse con el arte, el sonido y otros elementos aclaratorios (por ejemplo, narrativa, sensación, descubrimiento). Como afirman Hunicke et al. (2004), hablar de juegos y jugar se complica porque el vocabulario que usamos es relativamente limitado. Por ello, al describir la estética de un juego, es necesario alejarse de palabras como *diversión* y *juego* hacia un vocabulario más directo, que, si bien incluye, no se limita a la siguiente taxonomía:

1. Sensación: el juego como placer de los sentidos
2. Fantasía: juegos como fantasía
3. Narrativa: juego como drama
4. Desafío: juego como una carrera con obstáculos
5. Compañerismo: juego como un *framework* social
6. Descubrimiento: el juego como un territorio inexplorado
7. Expresión: juego como autodescubrimiento
8. Sumisión: juego como pasatiempo

3.3 Heurísticas de usabilidad de Nielsen

Nielsen (1994) da a conocer diez principios generales para el diseño de interacciones, también llamadas *heurísticas*, dado que son reglas generales y no pautas de usabilidad específica, con el fin de identificar posibles problemas de usabilidad. Dado que son principios de interacción humano-computadora, se pueden aplicar tanto en el diseño

de páginas web como en aplicaciones móviles e inclusive juegos. Dichas heurísticas son las siguientes:

1. *Visibilidad del estado del sistema.* Indica que el diseño debe mantener informados a los usuarios sobre lo que está sucediendo, mediante la retroalimentación adecuada o durante un periodo de tiempo razonable. En síntesis, se refiere a estar actualizando y consultando el estado, en este caso, el estado del jugador en el juego y de sus diferentes componentes.
2. *Relación entre el sistema y el mundo real.* El diseño debe ser familiar para los usuarios; por eso, se sugiere utilizar palabras, frases y conceptos familiares en vez de una terminología técnica. Debido a que los principales usuarios del sistema serán niños, este principio es crucial e influyente en cuanto a la educación.
3. *Control y libertad del usuario.* Los usuarios suelen realizar acciones por error. Por ello, es necesario una "salida de emergencia" claramente visible para abandonar la acción sin tener que pasar por un largo e incómodo proceso. De esa manera, se fomenta una sensación de libertad y confianza para mantener el control del sistema y evitar sentirse atascados o frustrados.
4. *Consistencia y estándares.* Es necesario seguir y tener una convención, usar elementos comunes y que guarden relación en las interfaces del sistema. En caso de no mantener la consistencia, puede aumentar la carga cognitiva de los usuarios al obligarlos a aprender algo nuevo.
5. *Prevención de errores.* Un buen diseño evita cuidadosamente la ocurrencia de problemas en primer lugar; sin embargo, los mensajes de error son importantes. Se deben eliminar las condiciones propensas a errores o verificarlas y presentar a los usuarios una confirmación.
6. *Reconocimiento en vez de recordar.* Se sugiere minimizar la carga de memoria del usuario haciendo visibles los elementos, acciones y opciones. No debe ser necesario que el usuario recuerde información al pasar de una interfaz a otra.
7. *Flexibilidad y eficiencia de uso.* La inclusión de accesos directos podría ser relevante para aquellos usuarios ya familiarizados con el sistema, expertos.
8. *Diseño estético y minimalista.* Este principio manifiesta que las interfaces deben dar información precisa y no irrelevante o rara vez usada.
9. *Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores.* Los mensajes de error deben mostrarse de manera sencilla, indicando con precisión el problema. En la propuesta, se presentarán con interfaces visuales que ayudarán a notarlos y reconocerlos.

10. *Ayuda y documentación.* Es recomendable que el sistema carezca de explicación adicional. Sin embargo, puede ser de mucha utilidad proporcionar documentación para ayudar a los usuarios (Nielsen, 1994).

3.4 Cuestionario de experiencia de juego

Lankoski et al. (2003) manifiestan que las entrevistas, los *focus groups* y las pruebas en juego ofrecen información relativamente profunda, pero son difíciles de implementar a mayor escala. Por el contrario, los cuestionarios se pueden aplicar fácilmente en grupos muy grandes y, si bien proporcionan menos profundidad de conocimiento que otros enfoques subjetivos, permiten centrarse en aspectos específicos de la experiencia del jugador. Es por ello que Johnson et al. (2018) explican en su trabajo que el *Game Experience Questionnaire* (GEQ) o cuestionario de experiencia de juego consta de 33 ítems y está diseñado para medir la experiencia de los jugadores en siete dimensiones: inmersión, fluidez, competencia, afecto positivo y negativo, tensión y desafío. Los elementos del cuestionario se presentan como declaraciones, que son calificadas por los encuestados para indicar su experiencia mientras juegan. Las calificaciones se realizan en una escala de Likert de 5 puntos: "0: nada", "1: levemente", "2: moderadamente", "3: bastante" y "4: extremadamente" (Johnson et al., 2018). El cuestionario se desarrolló para evaluar la experiencia del juego en múltiples intervalos durante una sesión de juego o una sesión de reproducción.

Como lo hacen notar IJsselsteijn et al. (2008), este cuestionario tiene una estructura modular y consiste en tres aspectos:

- I. *El cuestionario básico.* Es la parte central. Evalúa la experiencia del juego con puntuaciones en siete componentes: inmersión, fluidez, competencia, afecto positivo y negativo, tensión y desafío. Para una medida robusta, son necesarios cinco elementos por componente.
- II. *El módulo de presencia social.* Investiga la participación psicológica y conductual del jugador con otras entidades sociales, ya sean virtuales (es decir, personajes del juego), mediadas (por ejemplo, otros jugadores en línea) o coubicadas. Este módulo solo debe administrarse cuando al menos uno de estos tipos de cojugadores estuvo involucrado en el juego.
- III. *El módulo posterior al juego.* Evalúa cómo se sintieron los jugadores después de dejar de jugar. Este es un módulo relevante para evaluar el juego naturalista (es decir, cuando los jugadores han decidido jugar voluntariamente), pero también puede ser relevante en la investigación experimental.

Además de estos tres módulos, se desarrolló una versión concisa del GEQ dentro del juego, la cual extrae preguntas del módulo principal. Los autores afirman también

que los módulos deben administrarse inmediatamente después de que finalice la sesión de juego, en el orden indicado anteriormente. Las partes I y II sondean los sentimientos y pensamientos de los jugadores mientras juegan; la parte III, es decir, el módulo posterior al juego, evalúa cómo se sintieron los jugadores después de dejar de jugar (IJsselsteijn et al., 2008).

Finalmente, Johnson et al. (2018) sostienen que mediante el cuestionario se puede medir la experiencia del usuario en siete dimensiones, que serán utilizadas como métricas para la experiencia:

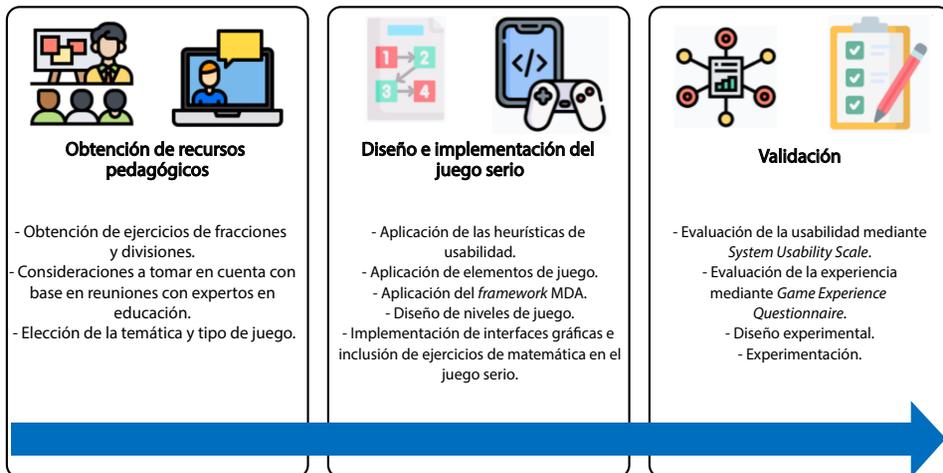
- La inmersión, también llamada *inmersión sensorial e imaginativa*, es evaluada con seis ítems que reflejan aspectos de cuán fuertemente conectados se sienten los jugadores con el juego.
- El flujo se evalúa con cinco ítems, que indican si los jugadores perdieron la noción de su propio esfuerzo o del paso del tiempo durante el juego.
- La competencia se evalúa con cinco ítems relacionados con qué tan bien los jugadores juzgaron su propio desempeño en comparación con los objetivos del juego.
- Afecto positivo (cinco ítems), relacionado con experiencias emocionales positivas.
- Afecto negativo (cuatro ítems), relacionado con experiencias emocionales negativas.
- La tensión, también conocida como *tensión/molestia*, se evalúa con tres ítems relacionados con estas emociones negativas específicas.
- El desafío se evalúa con cinco ítems, que indican el grado en que los jugadores encontraron que el juego era difícil o desafiante.

4. METODOLOGÍA

En esta sección, se presentan los pasos para el diseño, desarrollo, ejecución y validación del juego serio. La propuesta metodológica abarca la obtención de recursos pedagógicos, el diseño de interfaces gráficas aplicando elementos de juego y usabilidad, la implementación del juego serio y su validación respectiva. En la Figura 1 se observa un esquema de la metodología propuesta en el presente estudio.

Figura 1

Diagrama de la propuesta metodológica



4.1 OBTENCIÓN DE RECURSOS PEDAGÓGICOS

En esta etapa, se abordan las premisas necesarias para el desarrollo del juego, como las consideraciones que brinda la literatura revisada y las técnicas para enseñar fracciones extraídas tanto de la literatura como de profesores de matemática entrevistados. Finalmente, se hace una elección de la temática y tipo de juego correctamente sustentada.

4.1.1 Obtención de ejercicios de fracciones y divisiones

Se conversó con los profesores del área de matemática del colegio San José Obrero Marianistas, en la ciudad de Trujillo. Las reuniones se hicieron mediante videoconferencias debido al peligro de una reunión física, producto de la situación pandémica que enfrenta la sociedad actualmente. Se les preguntó cómo enseñan ellos las fracciones y divisiones, cómo las evalúan y cómo hacen didáctica su clase. De la misma manera, se les pidió apoyo con la elaboración de la evaluación que será tomada al final de la experimentación, en la comparación de grupos.

Las consideraciones de los profesores concuerdan con la investigación de Naiser et al. (2003), pues sostienen que no solo los estudiantes luchan con el aprendizaje de las fracciones, sino que también los maestros se sienten frustrados al buscar formas de enseñar este tema de manera efectiva, y es que las fracciones suelen tornarse “extremadamente difíciles de dominar para los niños”. En las reuniones se buscó identificar cuáles de las formas que los maestros implementan para enseñar

conceptos de fracciones funcionan y cuáles no. Los profesores manifestaron que, dependiendo del grado, cambian su forma de enseñar en función del desarrollo del pensamiento matemático de los niños; además, otro aspecto importante de las lecciones es el estilo de enseñanza; por ende, los maestros deben ser conscientes de que los estudiantes aprenden de diferentes maneras. Mencionaron también que construir sobre el conocimiento previo de los estudiantes es otra estrategia que ellos pueden usar para la instrucción, la cual requiere que los profesores conozcan los conceptos erróneos de los estudiantes sobre el contenido. Utilizan varias estrategias para involucrar a los estudiantes en lecciones de fracciones, como los problemas de revisión y práctica, las aplicaciones del mundo real y la construcción de conocimientos previos de los estudiantes.

4.1.2 Consideraciones importantes según expertos en educación

En primer lugar, de acuerdo con El Azizi (2019), se consideró basar el juego serio en un juego popular, como *Mario Bros*. También se tomó en cuenta el diseño de mundos, niveles y recompensas. Se adaptó también la acción de redirigir a responder una pregunta cuando colisiona con los enemigos o pierde. Del trabajo hecho por Aparício y Silva (2019), se admitió la mecánica continua utilizada en *Aritmetic Bird*, de manera que se resuelva un ejercicio de matemática mientras se juega. De Gaggi et al. (2018), se tomó la representación de fracciones en elementos familiares (en el caso de la propuesta, se incluyen elementos del mismo juego como balas y armas) y, finalmente, de Ibarra et al. (2016) se aplicó el inicio del juego con un menú gráfico. Igualmente, se tuvieron en cuenta las maneras de enseñar fracciones en cada sección del juego: la primera permite que el alumno determine gráficamente el numerador y el denominador; la segunda, que ubique una fracción en la recta numérica; la tercera, que realice operaciones básicas con fracciones; y la cuarta, que relacione fracciones con porcentajes.

La mayoría de las investigaciones revisadas considera el sesgo numérico como un problema que surge, como señalan Obersteiner et al. (2013), cuando los escolares comparan los valores numéricos de las fracciones; con frecuencia se ha encontrado que están sesgados por los números naturales involucrados (por ejemplo, creen que $1/4 > 1/3$, porque $4 > 3$); es decir, piensan en las fracciones componencialmente como dos números naturales, en lugar de holísticamente como un número. Esto se vuelve explícito en los problemas de comparación de fracciones, donde los estudiantes suelen estar sesgados por los números naturales que componen las fracciones. Así pues, un problema importante en el aprendizaje de las fracciones parece ser que el conocimiento previo de los estudiantes sobre los números naturales no siempre les ayuda a lidiar con las fracciones. Más bien, ese conocimiento puede sesgarlos y, por lo tanto, ser la fuente de un desempeño deficiente. En síntesis, como cualquier

fracción está representada por dos números naturales, depender únicamente de los valores de estos dos números naturales en lugar de los valores de las fracciones enteras puede conducir a respuestas correctas en algunos casos (como $4/5 > 3/5$, porque $4 > 3$), pero a respuestas incorrectas en otros (como $1/4 < 1/3$, aunque $4 > 3$) (Bailey et al., 2012; Obersteiner et al., 2013). Por ello, además de las características adoptadas en el diseño del juego, la propuesta de solución incluirá ejercicios que puedan evitar o minimizar el sesgo de los números naturales en los niños.

4.1.3 Elección de la temática y tipo de juego

Se hizo un *focus group* con Yanapay Educa Perú, una organización bilingüe sin fines de lucro dedicada al beneficio humanitario, que brinda clases virtuales de reforzamiento a niños de bajos recursos en todo el país, propiciando una ideología de desarrollo integral en los estudiantes. Se hizo el estudio mediante una reunión virtual en la plataforma Zoom, donde se encontraban los coordinadores del equipo y también los niños de diferentes colegios del país. Se descubrió que algunos niños no estaban al nivel de su grado académico: alumnos de quinto grado de primaria o posteriores no aprendieron bien el tema de fracciones ni otros temas esenciales en matemática, lo que indica que la educación virtual no fue muy favorable en los colegios nacionales, sobre todo por la falta de práctica.

Los alumnos mencionaron que les gustaría un juego de aventuras, similar a *Mario Bros.*, donde se pueda pelear contra enemigos y obtener puntaje. También consideraron los niveles de los juegos muy largos. De entre las temáticas tocadas se sugirieron zombis, extraterrestres, vaqueros, astronautas, etcétera.

Finalmente, luego de recopilar información, se hizo un diseño preliminar de los personajes (protagonistas y enemigos), así como de los niveles (se utilizaron recursos libres de la siguiente página web: <https://kenney.nl/assets/jumper-pack>). Se decidió que el personaje principal sería un caballero con una espada, que se encontraría en una ciudad desconocida donde aparecen extraterrestres. En la Figura 2 se visualizan los *sprites* de los personajes.

Figura 2

Personajes del juego serio



4.2 Diseño e implementación del juego serio

Esta fase corresponde a la implementación del juego serio, la cual nos permitirá evaluar el éxito, conocer la retroalimentación y validar la propuesta. El lenguaje de programación utilizado para construir el juego es C#, lenguaje de programación multiparadigma desarrollado y estandarizado por Microsoft. Adicionalmente, en el *back-end* del juego se usó el lenguaje de programación Python. También se utilizaron de manera conjunta las siguientes herramientas:

- *Unity*. Es uno de los motores de creación de juegos más utilizados en la actualidad. Es una herramienta que comprende no solo motores para el renderizado de imágenes, de físicas de 2D/3D, de audio, de animaciones y otros, sino también herramientas de *networking* para multijugador, herramientas de navegación NavMesh para inteligencia artificial o soporte de realidad virtual.
- *Tilemap*. El componente Tilemap es un sistema que almacena y maneja recursos para crear niveles 2D de manera sencilla. Transfiere la información requerida de los mosaicos colocados en él a otros componentes relacionados, como Tilemap Renderer y Tilemap Collider 2D.
- *Flask*. Es un *microframework* de Python para el desarrollo de aplicaciones web bajo el patrón MVC. Esta tecnología será utilizada para construir servicios REST, que permitan obtener y escribir datos de los jugadores. Este componente actuará como un intermediario entre el juego y la base de datos.
- *Firebase*. Es una plataforma en la nube para el desarrollo de juegos, aplicaciones web y móviles. Firebase cuenta con muchísimas funciones y

servicios, los cuales dan la facilidad de desarrollar sistemas funcionales en menor tiempo. En este caso, se utilizarán los servicios de autenticación y base de datos.

4.2.1 Aplicación de heurísticas de usabilidad

Una vez que se tienen identificados los datos, la fase posterior corresponde al diseño y elaboración de las interfaces gráficas, y al diseño de los niveles. En la Tabla 1 se describe, sobre la base de cada heurística, cómo se aplicarán las heurísticas de Nielsen en el sistema propuesto.

Tabla 1

Aplicación de las heurísticas de usabilidad de Nielsen

Heurística	Aplicación
Visibilidad del estado del sistema	Se incluyen pantallas de inicio y fin del juego. También se muestra la línea de vidas del personaje y, cuando es atacado, se tiene una retroalimentación visual, pintándolo de color rojo.
Relación entre el sistema y el mundo real	Se adoptaron propiedades físicas en el juego, de modo que se asemeje lo más posible a una persona corriendo y saltando. De la misma manera, para los mensajes en la pantalla, se usarán frases coloquiales o propias de la educación infantil.
Control y libertad del usuario	Dado que el juego cuenta con múltiples pantallas, cada una tendrá la opción de poder salir y realizar la actividad que el usuario desee, como continuar el juego, ingresar al menú o reiniciar el nivel.
Consistencia y estándares	Se tiene consistencia en los colores, niveles y elementos visuales. En cuanto a los estándares, el juego será exportado para plataformas web y móviles, por lo que se le dará enfoque a la pantalla y a que todos los elementos se puedan visualizar.
Prevención de errores	Si se tiene un error desconocido, el juego no se cerrará, sino que mostrará un modal con un mensaje, indicando que hubo un error desconocido y que es necesario volver a cargar.
Reconocimiento en vez de recordar	Se colocaron visualmente las opciones de interacción importantes en la pantalla. También los minijuegos y la mecánica contienen la misma estructura.
Flexibilidad y eficiencia de uso	El juego contará con la inclusión de ejercicios de matemática. Al momento de perder o al recoger una vida, se tendrá que resolver el ejercicio correctamente para poder obtener la vida o intentarlo una vez más.
Diseño estético y minimalista	Serán incluidos, únicamente, los elementos fundamentales y se evitará saturar las interfaces gráficas con una gran cantidad de elementos, de forma que el usuario no se pierda ni se aburra.

(continúa)

(continuación)

Heurística	Aplicación
Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores	Se utilizará al momento de realizar consultas a la base de datos o en aquellas acciones donde puedan existir errores.
Ayuda y documentación	Será implementada en la pantalla de galería de niveles, donde se tiene el tutorial y las acciones que el usuario tiene permitido hacer, de manera breve y concisa.

4.2.2 Aplicación de elementos de juego

Nah et al. (2014) realizaron una revisión de la literatura e identificaron ocho elementos de diseño de juegos que se utilizan ampliamente en contextos educativos y de aprendizaje: puntuaciones, niveles, medallas/trofeos, tablas de posiciones, premios y recompensas, barra de progreso, historia y, finalmente, retroalimentación.

Para la propuesta de solución, se escogieron cinco de estos elementos de juego, que se describen brevemente, indicando cómo y por qué se aplicaron en la propuesta de solución.

- *Puntuaciones.* Funcionan como un indicador de éxito o logro y pueden usarse como recompensas, progreso o posición del jugador. En la propuesta de solución, se utilizará la puntuación al momento de resolver correctamente un ejercicio de matemática, al atacar a un enemigo o al esquivar una bala con la espada del protagonista. La puntuación obtenida es una de las métricas más importantes porque mide el desempeño a lo largo del nivel y se va acumulando por cada jugador para luego clasificar la puntuación total.
- *Niveles/etapas.* Se utilizan en muchos juegos para dar una sensación de progreso. Se tiende a requerir menos esfuerzo en los niveles iniciales, que son más rápidos de superar en comparación con los niveles más avanzados. En la implementación, los niveles sirven para dar una sensación de progreso de la dificultad, donde el estudiante irá desde ejercicios con divisiones hasta la comparación de fracciones. Este elemento es importante, pues el desarrollo de las habilidades del estudiante debe ser incremental.
- *Tablas de clasificación.* El objetivo de este elemento es mantener motivados y entusiasmados a los alumnos por querer visualizar su nombre en la lista. Las tablas de clasificación sirven para crear un entorno competitivo y para mostrar los niveles actuales de los puntajes más altos. En el juego, las tablas de posiciones harán uso del puntaje total (acumulado entre cada intento y cada nivel) para establecer un tablero con los *nicknames* de los cinco mejores jugadores.

- Retroalimentación.* Es un elemento sumamente útil, junto con la frecuencia e intensidad, para la participación del alumno, pues cuanto más frecuente e inmediata sea la retroalimentación, mayor será la afectividad del aprendizaje y el compromiso. La retroalimentación será incluida en el sistema al momento de responder un ejercicio de matemática (la casilla de la respuesta se pinta de verde o rojo según su respuesta), y también se mostrará un texto con un mensaje al momento de finalizar el nivel o perder. La retroalimentación es clave para que el jugador pueda entender cómo se está desempeñando al resolver los ejercicios de matemática propuestos.

4.2.3 Aplicación del framework MDA

Para la aplicación del *framework* MDA, se utilizó la plantilla de evaluación de PECC (Spieler & Girvan, 2020), la cual fue inicialmente propuesta por Spieler (Spieler & Kemeny, 2020) y permite clarificar los diferentes elementos del juego y las capas del *framework* mediante un *storyboard*. En la Tabla 2, se puede apreciar la aplicación del *framework* con base en la plantilla sugerida.

Tabla 2

Storyboard de aplicación del framework MDA

Nombre del juego	<i>Mathesis</i>
Personaje principal	Caballero
Cómo se juega	Se tiene un ambiente apocalíptico, infestado de extraterrestres que salen con el objetivo de disparar al personaje principal. El caballero perdió su caballo y le queda un largo camino a casa en el que tiene que recolectar ítems para regresar a su hogar. El jugador puede moverse a lo largo del nivel e ir luchando con los enemigos y recolectando ítems para obtener más puntaje.
Género/tema	Arcade, minijuegos/ciencia ficción.
Objetivo	El objetivo principal del juego es que el jugador refuerce sus habilidades de fracciones de forma divertida mientras juega. El objetivo en el juego es que el caballero pueda regresar a su hogar y obtener el mayor puntaje posible.
Mecánica	Conforme va recogiendo corazones e ítems, el jugador va resolviendo ejercicios y, según su respuesta, se le otorga o no una recompensa. Cada 500 puntos se le aparecerá un minijuego con el objetivo de obtener más puntaje. Además, a partir del segundo nivel, al final se le aparecerá un gran enemigo con cinco vidas; cuando se lo ataca, surge un ejercicio y la vida disminuirá o se mantendrá según su respuesta. Finalmente, si el jugador pierde, ya sea porque se cayó o le dispararon, tiene la oportunidad de resolver un ejercicio y continuar aumentando su puntuación.

(continúa)

(continuación)

Dinámica	<p>Vida: el jugador comienza cada nivel con tres corazones de vida (el máximo número de corazones posible) y va disminuyendo conforme le disparan.</p> <p>Puntos: el jugador obtiene puntos mientras va atacando enemigos y va recolectando ítems.</p> <p>Recompensas: se le otorga un corazón de vida en caso de que no tenga las vidas completas; de lo contrario, gana 150 puntos.</p>
Estética	<p>Retroalimentación sonora: al disparar, los enemigos emiten un sonido de disparo láser. El jugador emite sonidos al saltar, atacar, obtener ítems y al finalizar el nivel.</p> <p>Retroalimentación visual: se puede notar cómo el jugador se anima mientras se mueve igual que los enemigos. Las trampas y plataformas cuentan también con animaciones y movimiento, al igual que al atacar, saltar y disparar.</p> <p>Desafío: juego como una carrera de obstáculos.</p> <p>Su misión: juego como pasatiempo.</p>

Nota. Elaboración propia basada en la plantilla de Spieler & Kemeny (2020).

4.2.4 Interfaces iniciales en el juego

La interfaz principal contiene la tabla de posiciones. Al momento de ingresar al juego, se ve una tabla con los mejores jugadores y abajo dos botones: uno invitando al jugador a ingresar a jugar y el otro a registrarse en caso de que no tenga un usuario.

Respecto al ingreso, el usuario podrá acceder a la aplicación con su nombre de usuario y su contraseña, previamente registrados en la pantalla de registro. La interfaz de registro cuenta con un campo adicional que permite verificar la contraseña. El registro y el logueo hacen posible que los usuarios puedan almacenar su progreso en la nube, garantizando disponibilidad, integridad y seguridad. Asimismo, el registro en la nube sirve para almacenar información sobre el tiempo de juego, si se equivocó en una pregunta o no y sus puntajes respectivos, con el objetivo de utilizar esa información para la emisión de los resultados del presente estudio.

Luego de acceder con sus credenciales, el jugador visualizará un menú que contiene los niveles disponibles. Cada nivel tiene una temática diferente y no se puede jugar el siguiente nivel si no se completa el anterior.

En la Figura 6, se puede observar las interfaces de logueo y registro. Cabe anotar que las pantallas se muestran en su primera versión; como parte del desarrollo iterativo del juego, este se encuentra sujeto a modificaciones.

Figura 3

Interfaces de inicio, ingreso y niveles disponibles



4.2.5 Diseño de los niveles del juego

En el diseño de los niveles del juego, se introdujo una nueva forma de reforzar las habilidades aritméticas a través de la combinación de educación y entretenimiento en un juego simple, haciendo un esfuerzo por permitir a los alumnos aprender e interactuar de manera efectiva con el mundo que los rodea.

Una vez que se tuvo definida la mecánica, se procedió con el diseño de los niveles y su contenido sobre la base del *framework* MDA. Los niveles del juego serio son el escenario donde ocurren las interacciones entre el usuario y los elementos de juego. Este diseño es de suma importancia, especialmente para los usuarios objetivo, que son niños de primaria, por lo que debe ser simple, fácil de entender y navegar, así como autoexplicativo. En los niveles se incluyen los ejercicios de matemática para el refuerzo en forma de minijuegos.

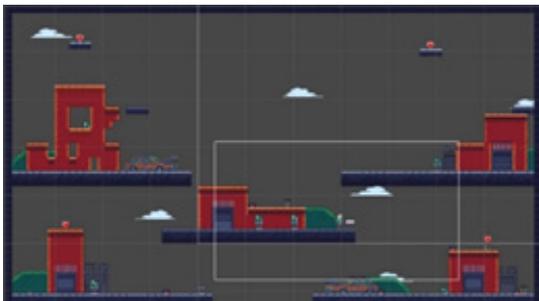
Se utilizó la herramienta Tilemap para el diseño de los niveles. Se escogen los elementos que irán en el nivel y se arrastran en la escena. Tilemap no permite la generación de niveles, por lo que el nivel y sus elementos (terreno, trampas, etcétera) permanecen de manera estática; lo que cambia a lo largo del nivel es la posición de los ítems que se deben coleccionar; además, los minijuegos y los ejercicios de matemática son distintos según el nivel y la dificultad.

El juego se encuentra compuesto de tres niveles:

- *Nivel 1 (fácil)*. Este nivel se encuentra ambientado en un escenario apocalíptico, donde se encuentran repartidos ítems de vida y dos hordas generadoras de enemigos. En la Figura 3 se observa el diseño del primer nivel del juego.

Figura 4

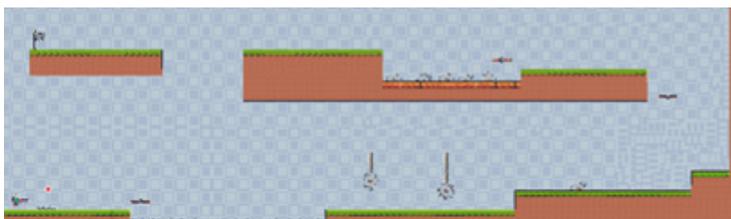
Diseño del primer nivel del juego



- *Nivel 2 (medio)*. Este nivel se encuentra ambientado en un paisaje donde se simula el camino de regreso a casa para el caballero. A lo largo del nivel, además de los enemigos, se incluyeron plataformas móviles y trampas como sierras móviles y espinas. Este nivel busca disminuir el sesgo de los números naturales, de manera que se consideren las fracciones como un número, en lugar de dos números naturales distintos. Por ello, se muestran preguntas relacionadas con las fracciones, como la identificación del numerador y el denominador. En la Figura 5 se observa el diseño del segundo nivel del juego.

Figura 5

Diseño del segundo nivel del juego



- *Nivel 3 (difícil)*. En la validación de la experiencia, realizada en la primera fase del estudio, se encontró que las niñas no estaban entusiasmadas ni interesadas en atacar a los enemigos tanto como los niños. Por ello, en este nivel se incluyeron pocos enemigos y, en su lugar, se colocaron más ítems a lo largo del nivel, así como trampas y desafíos. Este nivel busca que el estudiante refuerce la comparación de fracciones y la ubicación de los números en la recta numérica; por esta razón, se presentan todos los minijuegos, dándoles

prioridad a los que se encuentran enfocados en el orden y la comparación de las fracciones. En la Figura 6 se observa el diseño del tercer nivel del juego.

Figura 6

Diseño del tercer nivel del juego

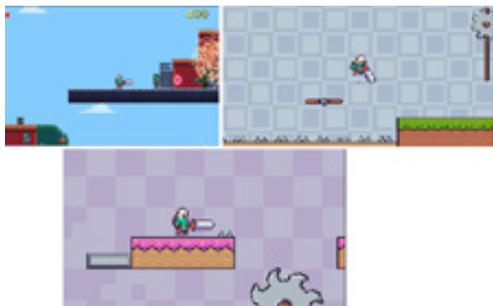


4.2.6 Juego funcional

El juego es sencillo y fácil de entender: el jugador aparece al inicio del nivel con una espada, vidas completas y una puntuación de 0; a lo largo de cada nivel, tiene que ir recolectando ítems, como monedas o corazones de vida, a cambio de puntaje. De la misma manera, el jugador puede defenderse esquivando las balas y atacando a los enemigos. Si ataca a la bala grande, esta irá de regreso a atacar al enemigo y el jugador obtendrá 50 puntos. En cambio, si este ataca a los enemigos, estos automáticamente desaparecen y se le otorga 100 puntos al jugador. El objetivo es obtener el mayor puntaje posible e ir recolectando la mayor cantidad de corazones e ítems a lo largo del nivel. Cada 500 puntos, el juego será pausado y se mostrará un menú emergente con uno de los ejercicios propuestos. A partir del segundo nivel, encontrará un gran enemigo al final: para poder superar el nivel, tiene que atacar al enemigo y dejarlo sin vidas. Su número de vidas es el número de ejercicios de matemática que el jugador tiene que resolver correctamente para pasar de nivel. En la Figura 7 se puede observar el juego en acción a lo largo de los niveles.

Figura 7

El juego en acción



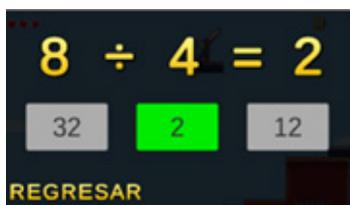
4.2.7 Incorporación de ejercicios de matemática en el juego

A lo largo del juego, mientras el jugador se encuentra peleando contra los enemigos o esquivando las trampas, puede ir recogiendo corazones que le suman una vida cada uno; sin embargo, al recoger el ítem, deberá responder un ejercicio de matemática en forma de minijuego a cambio de un corazón más en su línea de vida o de puntaje. Para todos los minijuegos, primero se obtienen las fracciones de la base de datos, según la dificultad, y se establece una lógica de respuesta. Si el jugador acierta, la casilla de la opción se pinta de color verde y, después de unos segundos, se cierra el menú emergente y se le suma la vida o el puntaje. Caso contrario, la opción se pinta de rojo y, luego de cerrarse, no se le otorga nada. A continuación, se describe cada minijuego y se muestra un ejemplo de estos en las Figuras 8, 9 y 10.

- *Minijuego de nivel fácil.* Incluye preguntas y minijuegos relacionados con las divisiones, con el objetivo de reforzar esta habilidad como paso previo a los ejercicios con fracciones. En este tipo de minijuego, se muestra una división exacta y se le pide al alumno que elija la respuesta correcta; el sistema se encarga de generar respuestas erróneas de manera aleatoria.

Figura 8

Minijuego de nivel fácil



- *Minijuego de nivel medio.* Se muestran interfaces con objetos familiares a lo largo del juego, pidiéndole al jugador que indique la fracción de los objetos que se encuentran o no pintados. También se puede presentar una serie de elementos aleatorios y solicitarle que indique la fracción de los elementos de cierto tipo.

Figura 9

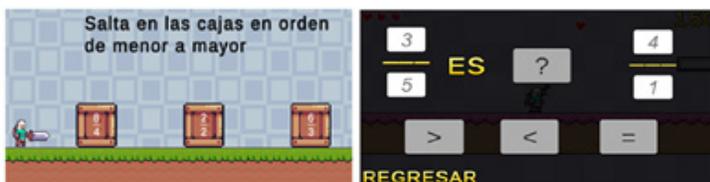
Minijuegos de nivel medio



- *Minijuegos de nivel difícil.* En este nivel, se tienen preguntas enfocadas en la comparación de fracciones y el orden. Se obtienen varias fracciones de la base de datos y se las coloca en desorden, solicitándole al jugador que salte en las cajas en el orden correcto. También se propone un minijuego que permite comparar dos fracciones e indicar si la fracción de la izquierda es mayor, menor o igual que la fracción de la derecha. En este último minijuego, se le sugirió al participante hacer la comparación de fracciones multiplicando el numerador de la primera fracción por el denominador de la segunda, y comparar el resultado con el producto del denominador de la primera fracción y el numerador de la segunda; esta técnica fue mencionada por los profesores en la primera fase de la metodología.

Figura 10

Minijuegos de nivel difícil



4.2.8 Gran enemigo al finalizar el nivel

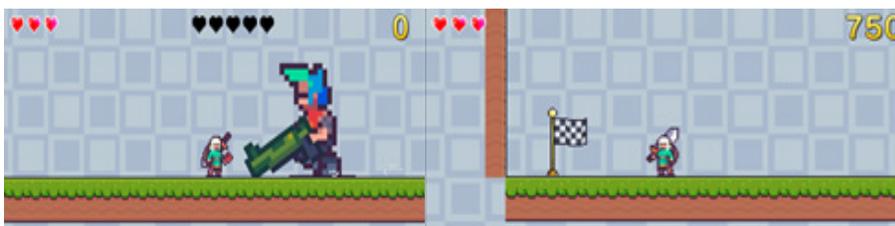
A partir de los niveles 2 y 3, se añadió una mecánica diferente: se presenta un gran enemigo al finalizar el nivel. El objetivo de este gran enemigo es hacer una breve

evaluación, en la que se aplica todo lo reforzado a lo largo del nivel. Este es el paso determinante para la finalización del nivel, pues si no se logra combatir al gran enemigo, el estudiante no podrá visualizar el trofeo y pasar al siguiente nivel.

Cada vez que el caballero ataca al gran enemigo, se le muestra al estudiante el tipo de minijuego correspondiente al nivel, el cual contiene un ejercicio de matemática. El gran enemigo cuenta con cinco vidas y pierde una si la respuesta del estudiante es correcta; caso contrario, no sucede nada. Los ejercicios propuestos en esta última parte serán almacenados en la base de datos de tipo *boss* y servirán para hacer seguimiento al progreso del estudiante a lo largo del juego. En la Figura 11 se observa al gran enemigo y el trofeo que aparece una vez que este es derrotado.

Figura 11

Gran enemigo al finalizar el nivel



4.3 Validación

La fase final de la metodología es la validación de la propuesta de solución, para lo cual previamente se definen las métricas para evaluar la investigación. Se propone evaluar tres criterios: la usabilidad del sistema, la experiencia del jugador después del juego y la efectividad del juego serio para el refuerzo de las habilidades de fracciones y divisiones.

4.3.1 Evaluación de usabilidad

Respecto a la usabilidad, es necesario validar que las heurísticas de usabilidad de Nielsen estén correctamente aplicadas, pues es un proceso crítico para el desarrollo de juegos serios efectivos. Además, como señalan Procci et al. (2012), los juegos serios presentan desafíos únicos porque deben ser utilizables, divertidos y efectivos. Por eso, el diseño del juego se debe evaluar en varias etapas durante el desarrollo para garantizar que se cumplan todos esos objetivos.

La usabilidad, que es uno de los elementos centrales en el proceso de desarrollo del juego, se encuentra profundamente relacionada con la experiencia general del jugador y puede influir en su interacción con el juego. Por este motivo, será medida mediante la *System Usability Scale* o Escala de Usabilidad del Sistema, en español, o simplemente SUS, por sus siglas en inglés, que es una herramienta metodológica muy similar a la escala de Likert, utilizada para medir la usabilidad de un objeto, dispositivo o aplicación. Consta de un cuestionario que mide la usabilidad de forma numérica en una escala del 0 al 100. Está formado por diez preguntas, de las cuales las impares tienen una tonalidad positiva y las pares una tonalidad negativa. Por lo general, se le pide al usuario que evalúe del 1 al 5 cada pregunta (siendo 1 totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo) sobre cómo percibe aspectos del sistema. Finalmente, tras un estudio realizado en más de 500 webs y aplicaciones, Sauro e Lewis (2016) llegan a la conclusión de que el puntaje promedio es 68, estableciendo un umbral de aceptación. Esto quiere decir que un resultado por debajo de esta cifra indica que hay varios aspectos por corregir.

4.3.2 Evaluación de la experiencia mediante el *Game Experience Questionnaire*

Tal como expresan IJsselsteijn et al. (2008): “Uno de los principales desafíos que enfrenta la comunidad de investigación de juegos es la falta de un conjunto coherente y detallado de métodos y herramientas que permitan medir las experiencias de entretenimiento de una manera sensible, confiable y válida”. Es por ello que el primer paso para la validación de la propuesta es la aplicación del *Game Experience Questionnaire*, cuya finalidad es medir la experiencia y los sentimientos del jugador al momento de jugarlo.

4.3.3 Diseño experimental

Para la evaluación de la efectividad de la propuesta, se hará una comparación de dos grupos de estudiantes. Debido a la situación pandémica que enfrenta la sociedad actualmente, no se pudo probar el sistema de manera presencial; además, se conformaron grupos con una cantidad reducida de participantes.

Para el grupo experimental, se procederá a calcular las estadísticas descriptivas por nivel en cuanto al puntaje. Luego, se calculará un puntaje total por alumno, un porcentaje de respuestas correctas y tiempo promedio por pregunta, así como el tiempo promedio por nivel.

Con el objetivo de determinar si la propuesta es efectiva para el refuerzo de las habilidades aritméticas de fracciones y divisiones en niños de primaria, se llevará a cabo una prueba de hipótesis con un estadístico de prueba establecido por la distribución normal o z , porque las muestras son independientes. Sin embargo,

el presente estudio, además de la limitación de la pandemia, tiene otras como la reducida cantidad de participantes en ambos grupos y el amplio rango de edades de estos, por lo que se sugiere que los resultados no son del todo confiables. Los resultados emitidos en este estudio serán tomados como punto de partida para un análisis preliminar.

Se establecieron las hipótesis nula y alternativa:

- H_0 : los niños que reforzaron sus habilidades aritméticas de fracciones y divisiones tuvieron un menor rendimiento respecto a aquellos que reforzaron sus habilidades de forma tradicional.
- H_a : los niños que reforzaron sus habilidades aritméticas de fracciones y divisiones tuvieron un mayor rendimiento respecto a aquellos que reforzaron sus habilidades de forma tradicional.

El nivel de rendimiento se mide en función de los puntajes obtenidos por los participantes en la prueba posterior. Luego, se procede a calcular el nivel de significancia, es decir, la máxima cantidad de error que se está dispuesto a aceptar para dar como válida la hipótesis. Debido a que es el valor más utilizado para este tipo de prueba, se estableció el nivel de significancia en 0,05 ($\alpha = 0,05$). Seguidamente, se determinó un valor crítico de 1,64, que se obtuvo utilizando la tabla de probabilidad de la distribución normal, donde se busca el nivel de significancia establecido y una aproximación al 95 %. Para concluir, se procede a definir la función pivotal como la fórmula que va a involucrar el análisis de los datos obtenidos de la muestra. Como la muestra es menor que 30 y se trata de una prueba de hipótesis con varianzas desconocidas y diferentes, en estos casos, lo conveniente es utilizar la prueba t de Student para dos muestras independientes. Esta prueba compara las dos medias de una variable de resultado cuantitativo y se basa en el cálculo del estadístico t , que tiene en cuenta la diferencia entre las medias comparadas y su error estándar, según la siguiente fórmula:

$$t_0 = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n_1} + \frac{\sigma_y^2}{n_2}}} \quad (1)$$

Donde \bar{x} es la media de los puntajes obtenidos por los participantes del grupo experimental, σ_x es su desviación estándar y n_1 es el tamaño de la muestra de este grupo. En cambio, \bar{y} es la media de los puntajes obtenidos por el grupo de control, σ_y es su desviación estándar y n_2 es el tamaño de su muestra. Se rechazará la

hipótesis nula si el valor del estadístico de prueba pertenece a la región crítica (el valor del estadístico de prueba es mayor que el valor crítico).

4.3.4 Experimentación

- *Participantes.* Como señalan Olsen et al. (2011), en una investigación hecha por Nielsen se estableció que emplear cinco usuarios en las pruebas de usabilidad permite encontrar casi tantos problemas de usabilidad como los que se hallarían empleando muchos más participantes. Tomando como base dicha afirmación, se tuvo un mínimo de cinco niños para validar la propuesta. Las condiciones de reclutamiento, en principio, eran estar en tercer o cuarto grado de primaria. Sin embargo, dada la coyuntura actual y el hecho de que hay niños en grados superiores que no se encuentran al nivel de su grado (como se ha mencionado anteriormente), estas condiciones se modificaron para incluir a niños a partir del tercer grado de primaria y que quisieran reforzar el tema de fracciones y divisiones. Cabe recalcar que la participación en el experimento fue totalmente voluntaria por parte de los niños y que ellos podían retirarse de este en cualquier momento. Los participantes fueron reclutados mediante el trabajo en conjunto con Yanapay Educa Perú, pero también se hizo un anuncio en redes sociales para convocar a más usuarios. En la validación, participaron nueve niños: tres de 10 años, uno de 11 años, uno de 12 años y cuatro de más de 12 años. En su mayoría, los participantes provenían de instituciones públicas y solo un pequeño porcentaje pertenecía a instituciones privadas.
- *Instrumentos.* Se hizo la experimentación mediante la comparación de dos grupos de estudiantes (como se mencionó en la sección anterior); de ahí se sacaron estadísticas, se calculó el estadístico de prueba y se buscó comprobar o rechazar la hipótesis planteada. Para la evaluación de la usabilidad, se utilizó la *System Usability Scale* como instrumento para obtener un puntaje general de la usabilidad del juego. Finalmente, para la validación de la experiencia, se usó el *Game Experience Questionnaire*.
- *Procedimiento.* Con respecto a la realización de pruebas, cuyo objetivo es medir tanto la eficacia de la propuesta de solución como la experiencia del jugador, el primer paso fue la validación mediante una sesión en videoconferencia con ambos grupos, los tutores de Yanapay y los padres de familia, con el objetivo de explicarles el procedimiento del experimento, las instrucciones y, antes de iniciar la reunión, se le pidió al tutor que firmara el Consentimiento Informado de Menores de Edad. Se programaron reuniones tanto individuales como grupales con los estudiantes, de acuerdo con su

disponibilidad, y se les recordaba a sus padres que sus hijos debían usar con frecuencia el sistema. Los niños entraban a las sesiones acompañados de sus padres o tutores. Debido al peligro de una reunión física por la pandemia que enfrenta la sociedad actualmente, toda sesión fue realizada de manera virtual mediante un programa gratuito de videoconferencia llamado Zoom. El juego estuvo disponible para web y aplicación móvil; por ello, en la reunión se dieron las indicaciones ya sea para entrar a la web o para instalar el aplicativo móvil. El grupo experimental reforzó sus habilidades jugando durante dos semanas, mientras que los alumnos del grupo de control no hicieron uso del juego en ese tiempo. Este último grupo realizó el refuerzo de sus habilidades mediante la metodología tradicional por dos semanas también, a través de los ejercicios y asesoría brindada por Yanapay. Una vez culminada esta fase, se tomó una evaluación a ambos grupos y se compararon los puntajes obtenidos. Asimismo, conforme el alumno iba jugando, el juego guardaba data como la pregunta planteada, si el jugador se equivocó o no y el tiempo empleado para resolver el ejercicio y pasar el nivel, la cual servirá para el posterior análisis.

Luego, se procedió a validar la usabilidad mediante la *System Usability Scale* y la experiencia mediante el *Game Experience Questionnaire*. Debido a que los niños que no utilizaron el sistema también deseaban probarlo, se les pidió a ambos grupos interactuar con el sistema sin imponer un límite de tiempo y revisar todas las funciones. El investigador estuvo presente todo el tiempo para aclarar dudas. Una vez concluida la experimentación, se les entregó ambos cuestionarios y se les pidió responder con la mayor sinceridad posible.

5. RESULTADOS

En esta sección, se presentan los resultados más relevantes de la experimentación. Primero, se exponen los resultados de usabilidad de acuerdo con la *System Usability Scale*, y luego, los de la aplicación del *Game Experience Questionnaire*; finalmente, se describe la efectividad del juego serio para el reforzamiento de matemática.

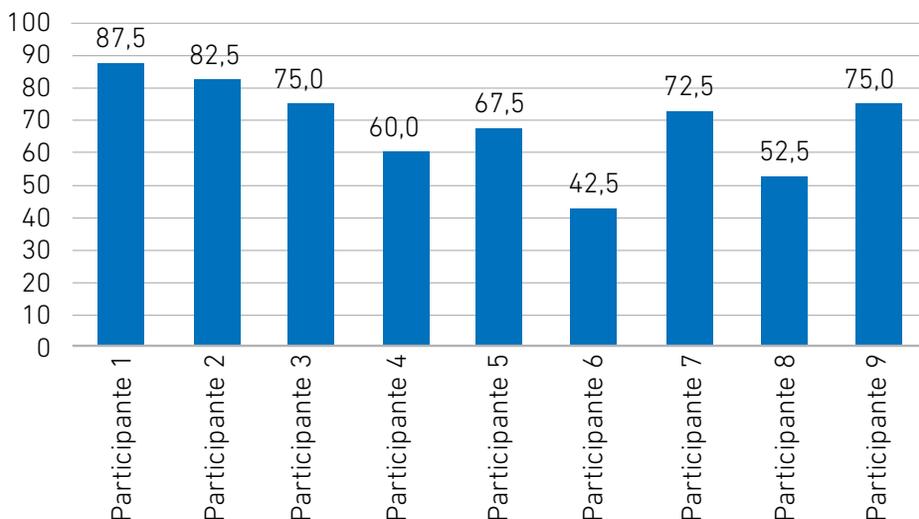
5.1 Usabilidad del juego

Este criterio fue evaluado a través de una adaptación al español de la *System Usability Scale* (SUS), entregada a todos los participantes de la experimentación tras haber interactuado con el juego, con la finalidad de validar que el juego sea usable y tenga correctamente aplicadas las heurísticas. En la Figura 12 se muestran los resultados por participante, donde se puede observar que el menor puntaje obtenido fue de 42,5, mientras que el más alto fue de 87,5, con una desviación estándar de 14,42. El

puntaje de usabilidad promedio fue de 68,33. Si bien este resultado se sitúa sobre el umbral de aceptación, lo pasa con las justas, lo que indica que la usabilidad es aceptable.

Figura 12

Resultados del puntaje SUS por participante



5.2 Experiencia de juego

La Tabla 3 presenta las estadísticas descriptivas correspondientes al *Game Experience Questionnaire* de siete factores. Para la elaboración de las estadísticas, se clasificó con números la escala de Likert (1 = para nada, 2 = levemente, 3 = moderadamente, 4 = bastante, 5 = extremadamente). Luego, se agrupó cada pregunta según la dimensión a la que pertenecía y se extrajo para cada pregunta el mínimo y máximo valor, su media y su desviación estándar. Finalmente, las puntuaciones de los componentes se calculan como el valor medio de sus elementos.

5.2.1 Módulo principal

Como señalan IJsselsteijn et al. (2008), el cuestionario en el juego está desarrollado para evaluar la experiencia del juego en múltiples intervalos durante una sesión de juego o una sesión de reproducción. Esto debería facilitar la validación de indicadores continuos y en tiempo real.

Como se mencionó antes, se intenta medir la experiencia de juego en siete componentes. Para obtener las estadísticas descriptivas de cada componente,

IJsselsteijn et al. (2008) proponen que se debe agrupar cada dimensión según el número de pregunta asignada en el cuestionario y calcular las puntuaciones de los componentes como el valor medio de sus elementos.

Tabla 3

Estadísticas descriptivas para el cuestionario de experiencia de juego

Dimensión	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Preguntas
Competencia	3,20	5,00	4,28	0,81	2, 10, 15, 17 y 21
Inmersión sensorial e imaginativa	1,33	5,00	3,93	1,09	3, 12, 18, 19, 27 y 30
Flujo	1,60	5,00	3,49	1,11	5, 13, 25, 28 y 31
Tensión	1,00	5,00	1,48	0,96	22, 24 y 29
Desafío	1,00	4,80	2,42	1,14	11, 23, 26, 32 y 33
Afecto negativo	1,00	4,50	1,67	1,00	7, 8, 9 y 16
Afecto positivo	1,60	5,00	4,11	0,97	1, 4, 6, 14 y 20

5.2.2 Módulo in-game

Por otro lado, la versión en el juego del GEQ es una versión concisa del cuestionario principal. Tiene una estructura de componentes idéntica y consta de elementos seleccionados de este módulo, los cuales permiten medir la experiencia de juego durante el mismo.

Para este módulo, se aplicó la técnica mencionada en la parte 3.2.1. En la Tabla 4 se muestra la agrupación de preguntas para este módulo.

Tabla 4

Estadísticas descriptivas para el cuestionario de experiencia de juego, módulo in-game

Dimensión	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Preguntas
Competencia	1,00	5,00	3,69	1,17	2 y 9
Inmersión sensorial e imaginativa	1,00	5,00	3,86	1,23	1 y 4
Flujo	2,00	5,00	3,81	1,05	5 y 10
Tensión	1,00	5,00	1,45	0,95	6 y 8
Desafío	1,00	5,00	2,86	1,21	12 y 13
Afecto negativo	1,00	4,50	1,62	0,96	3 y 7
Afecto positivo	2,00	5,00	4,10	0,92	11 y 14

5.3 Efectividad del juego serio educativo para el reforzamiento de matemática

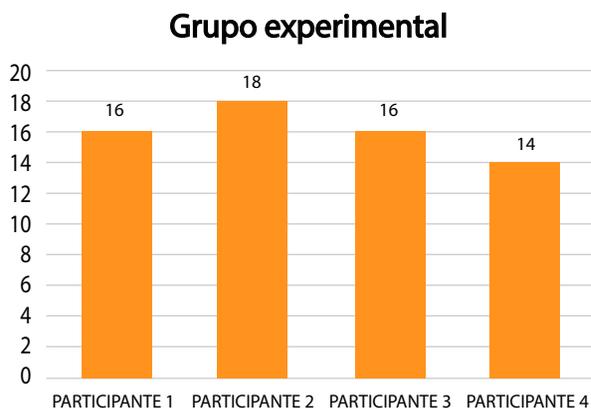
A continuación, en la Figura 13 se presentan los resultados de la prueba posterior, la cual evalúa lo reforzado por los estudiantes durante el experimento. Para ello, cada pregunta tenía un puntaje de 2, y la máxima nota era 20 y la mínima 0. En la figura, se puede apreciar dos gráficos de barras con los puntajes obtenidos por cada participante en ambos grupos. Las barras de color naranja corresponden al grupo experimental, que reforzó sus habilidades aritméticas de fracciones y divisiones mediante el uso del juego serio, mientras que el grupo de control reforzó sus habilidades a través de metodologías tradicionales.

Con estos resultados, se puede hacer una descripción preliminar. En el grupo experimental, se observa que la nota más alta fue 18, mientras que en el grupo de control fue 14. Esto representa una diferencia de 4 puntos a favor del grupo experimental y una variación porcentual de 28,57 % del grupo experimental respecto al de control y de 22,22 % del grupo de control respecto al experimental. Por otro lado, la nota más baja del grupo experimental es 14 y la del grupo de control es 10. Esto representa una diferencia de 4 puntos a favor del grupo experimental y una variación porcentual de 40 % del grupo experimental respecto al grupo de control y de 28,57 % del grupo de control respecto al experimental.

El puntaje promedio de los participantes del grupo experimental es 16, mientras que el de los participantes del grupo de control es de 11,6. En este caso, se encuentra una diferencia de 4,4 puntos a favor del grupo experimental y una variación porcentual de 37,93 % del grupo experimental respecto al grupo de control y de 27,5 % del grupo de control respecto al grupo experimental. Asimismo, considerando todos los puntajes del grupo experimental, se consigue una desviación estándar de 1,63 puntos, mientras que en el grupo de control se obtiene 1,67 puntos, lo que significa una menor dispersión de los puntajes para el grupo experimental.

Figura 13

Resultados de la prueba posterior a la experimentación por participante



Finalmente, se tiene que el promedio de los puntajes del grupo experimental fue de 16, con una desviación estándar de 1,63, mientras que el grupo de control obtuvo 11,6 de promedio, con una desviación estándar de 1,67. Con estos valores, se calculó el estadístico t (ecuación 1) y se obtuvo un valor de 3,98. Este, al superar el valor crítico de 1,6, hace que se rechace la hipótesis nula y se dé validez a la hipótesis alternativa: los niños que reforzaron sus habilidades aritméticas de fracciones y divisiones tuvieron un mayor rendimiento con respecto a aquellos que reforzaron sus habilidades de forma tradicional.

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El propósito general de esta investigación es el apoyo del proceso de reforzamiento del aprendizaje de fracciones y divisiones a través de un juego serio educativo, mediante la mejora de la rapidez y habilidad al momento de resolver problemas. Este propósito se lograría luego de la implementación del juego serio con distintos elementos de usabilidad y de juego. Por ello, la sección de discusión establece un análisis y una comparación con la literatura de los resultados obtenidos en la sección anterior para poder interpretarlos y determinar si el sistema cumplió con los objetivos planteados.

En cuanto a la usabilidad del juego serio, de acuerdo con UX Research (2017), la puntuación SUS indica su rendimiento de usabilidad en los aspectos de eficacia, eficiencia y facilidad de uso general. Aunque cada respuesta arroja una puntuación en una escala de 0 a 100, no se debe confundir con un porcentaje o percentil. El puntaje promedio del SUS es 68, lo que significa que un puntaje de 68 lo colocará en el percentil 50. La Tabla 5 muestra la pauta general sobre la interpretación del puntaje SUS, según UX Research.

Tabla 5

Interpretación de la System Usability Scale

Puntaje SUS	Interpretación
> 80,3	Excelente
68-80,3	Bien
68	Aceptable
51-68	Pobre
< 51	Deficiente

Nota. Adaptado de *Measuring and Interpreting System Usability Scale (SUS) - UIUX Trend*, por UX Research, 2017, UIUXTrend (<https://uiuxtrend.com/measuring-system-usability-scale-sus/>).

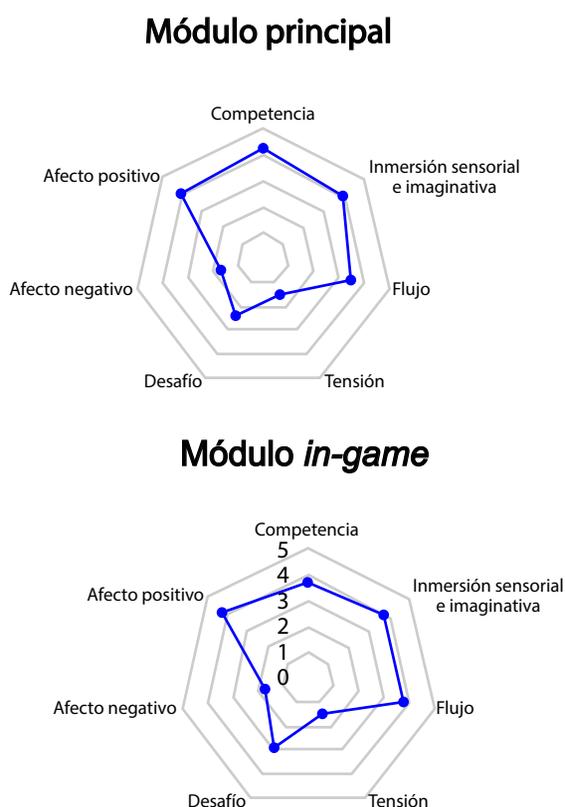
De acuerdo con esta interpretación, el puntaje SUS correspondiente al presente estudio se encuentra situado al medio, lo que indica que se aplicó bien este aspecto. De la misma manera, comparando este puntaje con el estudio de Murthy et al. (2020), el juego serio se encuentra casi 2 puntos por debajo de su propuesta, quienes consiguieron un puntaje de 70,119. En consecuencia, el puntaje obtenido podría señalar un correcto uso tanto de las heurísticas de usabilidad como de los elementos de juego seleccionados. Sin embargo, debido a la reducida cantidad de la muestra, se obtuvo una desviación estándar de 14,42, lo cual podría significar

una mayor dispersión de los datos. Por otra parte, se considera que la usabilidad podría mejorarse mediante la realización de un estudio que incluya otra herramienta para medir la usabilidad y establecer una comparación con la actual, así como con la incorporación de un especialista en diseño de juegos serios educativos y de interfaces en la fase de diseño e implementación.

Respecto a la experiencia de juego, en la Figura 14 se puede visualizar cómo es la experiencia de juego en las siete dimensiones para ambos módulos: principal e *in-game*.

Figura 14

Experiencia de juego por cada dimensión del GEQ, módulos principal e in-game



En la gráfica correspondiente al módulo principal (la primera en la Figura 14), se puede observar que los participantes juzgaron su propio desempeño en comparación con los objetivos del juego. El aspecto más llamativo fue este, correspondiente

a la dimensión de competencia (4,28), cuya media es mayor. Le sigue el afecto positivo, que obtuvo una media de 4,11, la cual sugiere que los jugadores tuvieron una percepción positiva del juego serio. Se esperaba que la competencia fuera la dimensión con menor puntaje, debido a que no se probó el juego físicamente, de manera que los niños pudieran competir entre sí al jugar. Sin embargo, no se tuvo en cuenta que había niños que ya se conocían y llevaban clases juntos, y ellos fueron quienes comenzaron a competir entre sí, respecto a "quién obtiene más puntos". Si bien este comportamiento fue notorio en algunos niños, se podría suponer que la competencia se ve afectada si los niños se conocen. No obstante, se puede decir que los jugadores se sintieron fuertemente conectados con el juego, ya que la media en la dimensión de inmersión sensorial e imaginativa supera la mitad del puntaje (3,93). La media correspondiente a la dimensión de flujo (3,49) indicaría, en parte, que los jugadores perdieron la noción de su propio esfuerzo o del paso del tiempo durante el juego. Por otro lado, no se encontró que el juego sea muy desafiante, pues la media en esta dimensión se encuentra en 2,42, lo cual sugiere que se aumente la dificultad o se la regule. Finalmente, se puede considerar que los participantes sintieron muy poca tensión al momento de probar el prototipo, debido a que su media se encuentra en 1,48; y su percepción no fue negativa (media de 1,67).

En lo que respecta al módulo *in-game*, las dimensiones con mayor puntaje fueron el afecto positivo (media de 4,1), seguido de la inmersión con un puntaje de 3,86, el flujo con 3,81, la competencia con 3,69 y el desafío con 2,86. Estos resultados, al pasar la media (2,5), indican que, mientras el participante jugaba, se sentía conectado con el juego, perdía la noción del tiempo al jugar y que juzgó bien su desempeño; y, finalmente, que los participantes encontraron el juego medianamente desafiante. Por otro lado, las dimensiones que no pasaron la media fueron el afecto negativo con 1,62 y la tensión con 1,45, lo cual es aceptable, debido a que estas dimensiones están relacionadas con una mala experiencia durante el juego y se buscaba el menor puntaje en ambas.

Finalmente, respecto a la efectividad del juego serio para el reforzamiento de matemática, si se analizan únicamente los promedios de los puntajes de los participantes de cada grupo, claramente se evidencia que el grupo experimental tuvo mejor rendimiento que el grupo de control, pues el primero obtuvo 16 puntos y el segundo, 11,6 (4,4 puntos de diferencia). Además, el mayor puntaje del primer grupo es superior al mayor puntaje del segundo (18 y 14, respectivamente); y el menor puntaje del primer grupo sigue siendo superior al menor obtenido en el segundo (14 y 10, respectivamente).

Analizando únicamente estos valores, podría determinarse que el juego serio educativo para el refuerzo de las habilidades aritméticas de fracciones y divisiones

es efectivo y, por lo tanto, solventaría las deficiencias del modelo de refuerzo tradicional. No obstante, la desviación estándar del grupo experimental es levemente menor a la obtenida en el grupo de control, pues estos alcanzaron puntajes de 1,63 y 1,67 respectivamente (una diferencia de 0,04 puntos).

Esto explica por qué la prueba de hipótesis rechaza la hipótesis nula y toma como válida la hipótesis alternativa, dando a entender que los niños que reforzaron sus habilidades aritméticas de fracciones y divisiones tuvieron un mayor rendimiento respecto a aquellos que reforzaron sus habilidades de forma tradicional. Sin embargo, los resultados de esta prueba no son significativos y no determinan la efectividad o no del sistema, ya que se tiene un número bastante reducido de participantes y las muestras no son homogéneas (rango amplio de edades); por tanto, los resultados de esta prueba no son confiables.

7. CONCLUSIONES

Se presentó un juego serio educativo que apoye el proceso de reforzamiento de habilidades aritméticas de fracciones en niños de primaria. Se buscó que la metodología contemple la obtención de los recursos pedagógicos, el diseño, la implementación del juego serio y una etapa experimental, en la cual se contó con dos grupos (de control y experimental) para corroborar la efectividad del sistema. Los participantes fueron sometidos a una evaluación posterior con la finalidad de obtener un puntaje (de 0 a 20) referente a su desempeño en el tema de fracciones y divisiones. Se recolectó el puntaje de 9 niños entre los 8 y 12 años.

Durante el desarrollo se implementó, en su totalidad, el juego serio y el diseño de una mecánica (gracias al *framework* MDA) para el refuerzo de las habilidades aritméticas de fracciones y divisiones. Asimismo, se pudo validar la experiencia de juego en dos momentos (general y durante el juego) a través del cuestionario de experiencia de juego, el cual indica que los participantes tuvieron una experiencia de juego buena y que la competencia y el afecto positivo son las dimensiones que gobiernan, seguidas de la poca tensión y el afecto negativo.

Adicionalmente, se corroboró la usabilidad del sistema, dado que obtuvo una puntuación promedio de 68,33/100 puntos, según el cuestionario SUS, lo cual indica el correcto uso de las heurísticas de usabilidad, así como la adecuada implementación de los elementos de juego. No obstante, debido al limitado grupo de participantes en la experimentación, no se puede afirmar del todo que el uso del juego serio haya reforzado las habilidades aritméticas de fracciones y divisiones en niños respecto a la metodología tradicional. Sin embargo, los resultados preliminares muestran la posible predisposición a que el juego serio educativo desarrollado mejora el proceso

de refuerzo. Finalmente, para poder garantizar que el juego serio desarrollado mejora el proceso de refuerzo de las habilidades aritméticas de fracciones y divisiones, en trabajos futuros se llevará a cabo una experimentación similar, pero con un grupo homogéneo y con un número mayor de participantes, divididos por igual en dos grupos.

REFERENCIAS

- Aljojo, N. (2018). The design and implementation of a mathematics game-base learning application for primary students. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 12(3), 142-152. <https://doi.org/10.3991/ijim.v12i3.8739>
- Alkhateeb, M. A. (2019). Effect of mobile gaming on mathematical achievement among 4th graders. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(7), 4-7. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i07.10315>
- Aparício, A., & Silva, F. (2019). Arithmetic Bird: a game for training mathematical operations. *EAI Endorsed Transactions on Game-Based Learning*, 5(17), 1-9. <https://doi.org/10.4108/eai.11-7-2019.159526>
- Bailey, D. H., Hoard, M. K., Nugent, L., & Geary, D. C. (2012). Competence with fractions predicts gains in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(3), 447-455. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.06.004>
- Benbow, C. P., & Faulkner, L. R. (2008). Rejoinder to the critiques of the national mathematics advisory panel final report. *Educational Researcher*, 37(9), 645-648. <https://doi.org/10.3102/0013189x08329195>
- Bicen, H., & Kocakoyun, S. (2018). Perceptions of students for gamification approach: Kahoot as a case study. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 13(2), 72-93. <https://doi.org/10.3991/ijet.v13i02.7467>
- Carrol, J. (2013, 3 de septiembre). Applying the MDA game design framework to software. *Atomic Spin*. <https://spin.atomicobject.com/2013/09/03/mda-game-design-framework/>
- El Azizi, L. (2019). Design and development of a serious mobile game "MathAdventure". *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 8(9), 16-21. <https://doi.org/10.17148/ijarccce.2019.8903>
- Gaggi, O., Ciraulo, F., & Casagrande, M. (2018). Eating pizza to learn fractions. En *ACM International Conference Proceeding Series* (pp. 220-225). <https://doi.org/10.1145/3284869.3284921>

- Hunicke, R., Leblanc, M., & Zubek, R. (2004). *MDA: A formal approach to game design and game research*.
- Ibarra, M. J., Jiménez, W., Soto, C., Chavez, E., Chiclla, E., Sprock, A. S., & Brandao, L. O. (2019). Game based learning for math learning: iFractions case study. En *Proceedings - 2019 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV)* (pp. 208-211). <https://doi.org/10.1109/ICVRV47840.2019.00050>
- Ibarra, M. J., Soto, W., Ataucusi, P., & Ataucusi, E. (2016). MathFraction: Educational serious game for students motivation for math learning. En *Proceedings - 2016 11th Latin American Conference on Learning Objects and Technology (LACLO)* (pp. 1-9). <https://doi.org/10.1109/LACLO.2016.7751777>
- IJsselsteijn, W. A., De Kort, Y. A. W., & Poels, K. (2008). *The Game Experience Questionnaire*. Technische Universiteit Eindhoven.
- Johnson, D., Gardner, M. J., & Perry, R. (2018). Validation of two game experience scales: The Player Experience of Need Satisfaction (PENS) and Game Experience Questionnaire (GEQ). *International Journal of Human Computer Studies*, 118, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.05.003>
- Kebritchi, M., Hirumi, A., & Bai, H. (2010). The effects of modern mathematics computer games on mathematics achievement and class motivation. *Computers & Education*, 55(2), 427-443. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.02.007>
- Kickmeier-Rust, M. D., Hillemann, E. C., & Albert, D. (2014). Gamification and smart feedback: Experiences with a primary school level math app. *International Journal of Game-Based Learning*, 4(3), 35-46. <https://doi.org/10.4018/ijgbl.2014070104>
- Lankoski, P., Björk, S., & Stirling, W. C. (2003). Game research methods. En *Satisficing games and decision making: With applications to engineering and computer science* (p. 9). ETC Press.
- Ministerio de Educación del Perú. (2018). *Perú: ¿cómo vamos en educación? Estadística de la Calidad Educativa*. <http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/MINEDU/6104>
- Mishra, L. (2020). Conception and misconception in teaching arithmetic at primary level. *Journal of Critical Reviews*, 7(5), 936-939. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.05.192>
- Mora-Zamora, R., & Brenes-Villalobos, E. (2019). Integrated framework for game design. En *Proceedings of the IX Latin American Conference on Human Computer Interaction (CLHC '19)* (Article 23, pp. 1-6). <https://doi.org/10.1145/3358961.3358984>

- Muñoz Sanabria, L. F., & Vargas Ordoñez, L. M. (2019). EDUMAT: herramienta web gamificada para la enseñanza de operaciones elementales. *Campus Virtuales*, 8(2), 9-17.
- Murtiyasa, B., Jannah, I. M., & Rejeki, S. (2020). Designing mathematics learning media based on mobile learning for ten graders of vocational high school. *Universal Journal of Educational Research*, 8(11), 5637-5647. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081168>
- Nah, F. F.-H., Zeng, Q., Telaprolu, V. R., Ayyappa, A. P., & Eschenbrenner, B. (2014). Gamification of education: A review of literature. En F. F.-H. Nah (Ed.), *HCI in Business. HCIB 2014. Lecture notes in computer science* (vol. 8527, pp. 401-409). Springer.
- Naiser, E. A., Wright, W. E., & Capraro, R. M. (2003). Teaching fractions: Strategies used for teaching fractions to middle grades students. *Journal of Research in Childhood Education*, 18(3), 193-198. <https://doi.org/10.1080/02568540409595034>
- Nielsen, J. (1994, 24 de abril). *10 usability heuristics for user interface design*. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
- Ninaus, M., Kiili, K., McMullen, J., & Moeller, K. (2017). Assessing fraction knowledge by a digital game. *Computers in Human Behavior*, 70, 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.004>
- Obersteiner, A., Van Dooren, W., Van Hoof, J., & Verschaffel, L. (2013). The natural number bias and magnitude representation in fraction comparison by expert mathematicians. *Learning and Instruction*, 28, 64-72. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.05.003>
- Olsen, T., Procci, K., & Bowers, C. (2011). Serious games usability testing: How to ensure proper usability, playability, and effectiveness. En A. Marcus (Ed.), *Design, user experience, and usability. Theory, methods, tools and practice. DUXU 2011. Lecture notes in computer science* (vol. 6770, pp. 625-634). https://doi.org/10.1007/978-3-642-21708-1_70
- Procci, K., Chao, A., Bohnsack, J., Olsen, T., & Bowers, C. (2012). Usability in serious games: A model for small development teams. *Computer Technology and Application*, 3(2012), 315-329.
- Robertson, J., & Howells, C. (2008). Computer game design: Opportunities for successful learning. *Computers & Education*, 50(2), 559-578. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2007.09.020>

- Sauro, J., & Lewis, J. R. (2016). Standardized usability questionnaires. En *Quantifying the user experience* (2.^a ed., pp. 185-248). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802308-2.00008-4>
- Schenke, K., Rutherford, T., & Farkas, G. (2014). Alignment of game design features and state mathematics standards: Do results reflect intentions? *Computers & Education*, 76, 215-224. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.03.019>
- Shang, J., Zhang, L., Hu, R. N., Ma, S. J., Zen, J. L., Yuan, M. Z., & Sun, J. G. (2018). How to support fraction learning with math game "Run Fraction": Theory, design and application. En *Proceedings of International Conference on Computers in Education (Extended Summary Proceedings)* (pp. 20-22). The Ateneo de Manila University.
- Spieler, B., & Girvan, C. (2020). *Das PECC-Framework: Gender-Sensibilität und spielerische Programmierung in der informatischen Grundbildung*. En R. Zender, D. Ifenthaler, T. Leonhardt & C. Schumacher (Eds.), *DELFI 2020 – Die 18. Fachtagung Bildungstechnologien der Gesellschaft für Informatik e. V.* (pp. 247-258). Gesellschaft für Informatik e. V.
- Spieler, B., & Kemeny, F. (2020). Design, complexity, and coding: A framework to evaluate games. En *Proceedings of the 14th International Conference on Game Based Learning (ECGBL)* (pp. 558-566). <https://doi.org/10.34190/GBL.20.156>
- UX Research. (2017). *Measuring and interpreting System Usability Scale (SUS) - UIUX Trend*. UIUXTrend. <https://uiuxtrend.com/measuring-system-usability-scale-sus/>
- Vandercruysse, S., Maertens, M., & Elen, J. (2015). Description of the educational math game "Monkey Tales: The Museum of Anything". En J. Torbeyns, E. Lehtinen & J. Elen (Eds.), *Describing and studying domain-specific serious games* (pp. 24-43). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-20276-1>
- Wang, S. Y., Chang, S. C., Hwang, G. J., & Chen, P. Y. (2017). A microworld-based role-playing game development approach to engaging students in interactive, enjoyable, and effective mathematics learning. *Interactive Learning Environments*, 26(3), 411-423. <https://doi.org/10.1080/10494820.2017.1337038>
- Zhang, L., Shang, J., Pelton, T., & Pelton, L. F. (2020). Supporting primary students' learning of fraction conceptual knowledge through digital games. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(4), 540-548. <https://doi.org/10.1111/jcal.12422>