

Bopp, M.J., Mora, F.J., Valero, M. & Cervera, M. (2024). IX ELAGEC2024 RGB como Propuesta de Diseño para Serious Games en Ingeniería Civil: Caso de Uso Mohr&Play. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción (IX ELAGEC2024)*.

RGB COMO PROPUESTA DE DISEÑO PARA SERIOUS GAMES EN INGENIERÍA CIVIL: CASO DE USO MOHR&PLAY

Maria Jesus Bopp¹ – maria.jesus.bopp@upc.edu

Francisco Javier Mora² - mora@cimne.upc.edu

Miguel Valero³ - miguel.valero@upc.edu

Miguel Cervera⁴ - miguel.cervera@upc.edu

¹*Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.*

²*International Centre for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), Barcelona, España.*

³*Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Aeroespacial, Universidad Politécnica de Cataluña, Castelldefels, España.*

⁴*Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España*

RESUMEN

Este artículo propone un flujo de trabajo denominado RGB (Roadmap, Gamification y Beta Testing) para el diseño de un serious game digital enfocado en la ingeniería civil, utilizando como caso de estudio el juego Mohr&Play, diseñado para enseñar gradualmente los conceptos fundamentales para comprender el círculo de Mohr. Como parte de la metodología de diseño, se revisan las contribuciones de varios autores en la enseñanza del círculo de Mohr y se describen los elementos característicos de Mohr&Play, incluyendo su meta, las reglas y el sistema de retroalimentación. Se llevó a cabo una primera recogida de impresiones con un grupo de estudiantes en un entorno universitario, centrada en evaluar la usabilidad, el aprendizaje, la jugabilidad y la narrativa de la aplicación. El objetivo a corto plazo es obtener validaciones con un mayor número de estudiantes, mientras que a largo plazo se busca desarrollar herramientas digitales que automaticen la creación de serious games en el ámbito de la ingeniería civil.

PALABRAS CLAVE

Ingeniería Civil, Formación, Serious Games, Game Design, Circulo de Mohr

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la educación superior, los estudiantes desempeñan un papel más activo en su aprendizaje, y los métodos de enseñanza están experimentando una transformación significativa (Philpot et al., 2003; Carbonell et al., 2013; Drakatos et al., 2023). Se ha observado un aumento significativo en la innovación educativa en el ámbito de la ingeniería, como se detalla más adelante. No obstante, tanto los esfuerzos institucionales como los individuales suelen enfrentar numerosas dificultades y obstáculos. Entre estos desafíos se incluyen la resistencia al cambio en las concepciones sobre el papel de los docentes, así como las limitaciones (ya sea de agenda o aprendizaje) de los profesores para adoptar nuevas estrategias y herramientas educativas (Valero, 2022). Como parte de esta transformación, se han propuesto diversos métodos en distintas ramas de la ingeniería (Cook-Chennault et al., 2022). Yu et al. (2022) recopilan y analizan algunos de estos métodos en su estudio, mientras que Proboste et al. (2022) se centran en aquellos específicos de la ingeniería civil.

En este trabajo, uno de los pilares fundamentales se basa en los estudios que han demostrado que los videojuegos pueden ser una herramienta efectiva para abordar problemáticas educativas como la desmotivación y la frustración (Nadolski et al., 2006; Muratet et al., 2012; Taillandier & Adam, 2018; Núñez et al., 2022).

Los videojuegos representan una herramienta útil para enfrentar estas dificultades educativas, fundamentados en su capacidad intrínseca para inducir el estado de flujo en los jugadores. Según Csíkszentmihályi, el flujo se alcanza cuando una persona está inmersa en una actividad desafiante pero alcanzable, proporcionando una experiencia de profundo compromiso y concentración que lleva a los individuos a operar en los límites óptimos de sus capacidades (Csíkszentmihályi, 2000; McGonigal, 2011).

Además, otros estudios sugieren que al enfrentarse ante retos difíciles, como completar una tarea en un tiempo reducido, las personas experimentan una liberación de adrenalina que aumenta la confianza en sí mismas y las motiva fuertemente (Nelson et al., 2003; McGonigal, 2011). Esta reacción física refuerza la sensación de logro y contribuye al disfrute personal que los juegos ofrecen.

Los videojuegos proporcionan retroalimentación inmediata, permitiendo a los estudiantes evaluar y ajustar sus acciones o estrategias en tiempo real (Oblinger, 2004; Muratet et al., 2012).

Muchos métodos docentes para la formación de ingenieros, como las clases magistrales, los experimentos en laboratorios y las visitas de campo, pueden ser complementados y potenciados mediante la implementación de serious games o experiencias digitales.

Para los propósitos de esta línea de investigación, definimos “serious game” como cualquier videojuego construido para diferenciarse del mero entretenimiento. Los serious game utilizan las mecánicas de juego para perseguir diferentes objetivos de aprendizaje (Abt, 1987; Muratet et al., 2011; Djaouti et al., 2011). La integración de estas tecnologías en los procesos educativos enfrenta varios desafíos. Entre estos, destaca la necesidad de agentes educativos capacitados para diseñar y crear de forma efectiva estos recursos formativos, lo cual puede verse obstaculizado por la falta de tiempo y conocimientos de programación. En particular, la creación de serious games requiere habilidades técnicas

especializadas y un tiempo considerable para su desarrollo, lo que puede limitar su implementación, especialmente entre aquellos usuarios sin experiencia en programación.

Este artículo propone una metodología de diseño para un serious game digital enfocado en el campo de la ingeniería civil, utilizando como caso de uso el juego Mohr&Play. Este juego tiene como objetivo complementar y facilitar el aprendizaje del círculo de Mohr.

Como parte de la investigación a corto plazo, se pretende validar la metodología de diseño mediante la evaluación de los aprendizajes adquiridos con Mohr&Play. A largo plazo, se planea utilizar esta metodología como base para desarrollar herramientas que automaticen la creación de serious games en el campo de la ingeniería civil.

En este artículo, primero justificamos la elección del Círculo de Mohr como caso de estudio, revisando los antecedentes y trabajos relacionados. A continuación, presentamos la metodología de diseño propuesta y su implementación en el caso de uso Mohr&Play. Posteriormente, describimos con mayor profundidad el serious game mencionado y el proceso de pre-validación. Finalmente, analizamos los resultados obtenidos para ajustar el diseño del juego y, por ende, el flujo de trabajo asociado. El objetivo es establecer este flujo de trabajo como una base para el desarrollo de herramientas que automaticen la creación de serious games en el ámbito de la ingeniería civil en futuras investigaciones.

EL CÍRCULO DE MOHR COMO CASO DE USO

El círculo de Mohr se introduce comúnmente en el curso de mecánica de sólidos (mecánica de materiales, resistencia de materiales) de segundo año en ingeniería civil, como una herramienta para facilitar la comprensión y aplicación de la transformación de esfuerzos. Posteriormente, se utiliza en cursos de geotécnica y/o mecánica de suelos para estimar los valores máximos de esfuerzo en diferentes puntos del subsuelo (Kaklamanos et al., 2022).

El círculo de Mohr presenta desafíos pedagógicos debido a su complejidad, como se evidencia en el punto A de esta sección. Este desafío ha impulsado el desarrollo de diversas herramientas educativas, descritas en el punto B, que van desde programas computacionales hasta simulaciones físicas para facilitar su enseñanza. Esta dificultad se convierte en una oportunidad para integrar elementos de videojuegos en el proceso de aprendizaje, como se demuestra en el punto C.

EL CÍRCULO DE MOHR COMO CONCEPTO UMBRAL

Para los profesores, enseñar este concepto es crucial y también desafiante, dado que aprender a construir e interpretar el círculo de Mohr supone un salto cognitivo significativo para los estudiantes (Lee et al., 2014; Karunamoorthy, 2019). Este concepto ha sido reconocido como un "concepto umbral" en ingeniería, un concepto crítico esencial para integrar diversos modos de pensamiento dentro de la disciplina, pero que resultan problemáticas para los estudiantes (Meyer & Land, 2006). No obstante, también se ha discutido que el círculo de Mohr no representa el umbral en sí mismo, sino más bien una técnica, y que otras ideas subyacentes, como el concepto de esfuerzo, son las verdaderas barreras para el aprendizaje. Si un estudiante no logra entender el concepto de esfuerzo, la técnica del círculo de Mohr pierde relevancia (Quinlan et al., 2012). Debido a que estos

conceptos umbral son complejos y difíciles de aprender, es necesario utilizar enfoques de enseñanza cuidadosamente diseñados para asegurar que los estudiantes puedan combinar ideas y manejar la complejidad de manera progresiva (Quinlan et al., 2012; Fennell et al., 2017).

Un estudio fenomenográfico, motivado por la dificultad que los estudiantes suelen tener para dominar el círculo de Mohr, ofrece conocimientos pedagógicamente útiles. Este estudio ayuda a entender las dificultades de los estudiantes y a ajustar la enseñanza del tema de manera efectiva. Enumera las percepciones de los estudiantes en cuatro categorías, mostrando la progresión desde las ideas menos sofisticadas hasta las más avanzadas. Además, explora las fuentes de sus confusiones y las razones detrás de sus dificultades, proporcionando una guía sobre el camino de aprendizaje que los estudiantes pueden seguir para dominar el círculo de Mohr (Van der Merwe & Woollacott, 2012).

HERRAMIENTAS DE ENSEÑANZA DEL CÍRCULO DE MOHR

A lo largo de los años, se han desarrollado diversos programas y herramientas educativas para facilitar la comprensión del círculo de Mohr y el análisis de esfuerzos. Smith (1986) desarrolló un programa que calcula el estado de esfuerzos, así como los esfuerzos principales y el esfuerzo cortante máximo. Ressler (1996) desarrolló el programa Visual Stress para comprender el círculo de Mohr. Este programa utiliza animaciones para visualizar la rotación del cubo infinitesimal y representar simultáneamente los puntos en el círculo que indican el estado de esfuerzos. Rossow (1996) desarrolló un programa que utiliza un enfoque basado en el diálogo socrático para ofrecer ejercicios que facilitan la construcción del círculo de Mohr.

Posteriormente, Moller y Mokaddem (2001) introdujeron una herramienta de aprendizaje que combina un sistema computacional con un objeto físico tangible para enseñar el concepto del círculo de Mohr. Philpot et al., (2003) proponen varios juegos en los cursos de Estática y Mecánica de Materiales en la Universidad de Missouri – Rolla, centrados en temas como centroides, momentos de inercia, diagramas de fuerza cortante y momento flector, el primer momento de área Q , y el Círculo de Mohr para tensiones planas. Hennessey & Hacker (2006) desarrollaron una herramienta de simulación dinámica en 3D que permite visualizar un estado de esfuerzos en un punto desde la perspectiva de orientaciones arbitrarias continuamente variables. Lee et al. (2009) desarrollaron un programa de computadora que puede simular la transformación de esfuerzos y dibujar un círculo de Mohr correspondiente. Martínez et al. (2010) y Carbonell et al. (2013) proponen métodos interactivos que utilizan múltiples simulaciones para dibujar el círculo de Mohr y obtener los ejes principales y momentos de inercia de formas estructurales. Lee et al., (2014) a través de VisualFEA, un programa de elementos finitos con características educativas, enseñan el círculo de Mohr y su asociación con el análisis elasto-plástico. Campos et al. (2023) desarrollaron una aplicación móvil integral con múltiples funciones interactivas diseñadas para la enseñanza del esfuerzo plano, la deformación plana y el momento de inercia en cursos de ingeniería, utilizando el círculo de Mohr.

ELEMENTOS DE VIDEOJUEGOS EN LA ENSEÑANZA DEL CÍRCULO DE MOHR

De las herramientas antes mencionadas, se destacan dos aplicaciones que muestran características especialmente interesantes relacionadas con los videojuegos.

Philpot et al. (2003) propone un juego digital del círculo de Mohr donde los estudiantes experimentan tres rondas distintas. En la primera, deben elegir el círculo de Mohr correcto para un elemento de tensión entre tres opciones, obteniendo 30 puntos por respuestas correctas. Si se equivocan, reciben explicaciones y tienen la oportunidad de intentarlo nuevamente por 10 puntos. La segunda ronda invierte el proceso: se muestra un círculo de Mohr y los estudiantes deben seleccionar los elementos de tensión correspondientes. La tercera ronda es similar a la primera, pero con errores menos evidentes. Aunque el juego es simple, incluye los cuatro elementos que, según McGonigal (2011), definen un juego: una meta, las reglas, un sistema de retroalimentación y la participación voluntaria de los jugadores. La meta proporciona a los jugadores un objetivo, mientras que las reglas establecen los límites sobre cómo pueden alcanzarlo. El sistema de retroalimentación informa a los jugadores cuán cerca están de alcanzar la meta, y la participación voluntaria implica que todos los jugadores deben aceptar explícita y voluntariamente la meta, las reglas y el sistema de retroalimentación.

Moller y Mokaddem (2001) introdujeron una herramienta de aprendizaje que combina un sistema computacional con un objeto físico tangible para enseñar el concepto del círculo de Mohr. Esta herramienta permite la visualización en tiempo real del estado de esfuerzos y del círculo de Mohr correspondiente en un punto específico de una estructura. Se destaca la capacidad de la herramienta para ofrecer retroalimentación visual, táctil y muscular en tiempo real sobre los cambios en los esfuerzos durante los intentos de carga manual de los estudiantes. La retroalimentación visual que se desprende del artículo incluye el uso de colores para facilitar la relación entre el diagrama del cubo y el círculo de Mohr. Además, se emplea una animación simultánea del cubo y el círculo de Mohr para mejorar la comprensión de las relaciones entre el ángulo de transformación, el estado de esfuerzo y los ángulos en el círculo. La retroalimentación visual y táctil de este experimento juega un papel crucial, similar a cómo se maneja en los videojuegos. En ambos casos, la retroalimentación se entrega de manera inmediata y precisa, permitiendo a los usuarios entender y ajustar su desempeño en tiempo real.

Una percepción común entre los estudiantes es que los conceptos académicos a menudo parecen desconectados de la realidad tangible, especialmente en el caso del círculo de Mohr, donde frecuentemente se limitan a lo conceptual sin vínculos con situaciones reales. Un estudio llevado a cabo por investigadores de Purdue University propuso un ejercicio que alentaba a los estudiantes a aplicar sus conocimientos del círculo de Mohr en un contexto real. Este estudio se centró en evaluar el riesgo de daño en estructuras de concreto en un estadio de fútbol. Se les proporcionaron a los estudiantes datos obtenidos mediante galgas extensométricas colocadas en 16 columnas que soportaban una sección de asientos. Su tarea consistía en utilizar el círculo de Mohr para determinar la seguridad estructural del estadio (Fennell et al., 2017). Este enfoque refleja las ideas de Perkins (2009), quien sostuvo que, para lograr un aprendizaje más significativo, los educadores deben permitir a los estudiantes trabajar en problemas prácticos vinculados a situaciones profesionales. Por otro lado, a pesar de que esta experiencia no incorporó elementos de gamificación, se relaciona con dos aspectos conocidos en psicología positiva como "recompensas intrínsecas", que los diseñadores de videojuegos procuran integrar en sus

diseños: el deseo de los jugadores de realizar un trabajo significativo al involucrarse en actividades con resultados directos, y la aspiración de pertenecer y contribuir a algo cuya importancia trasciende la vida individual de los participantes (Ben-Shahar et al., 2006; Weiner et al. 2009; McGonigal, 2011; Seligman et al. 2011).

METODOLOGÍA DE DISEÑO

La metodología utilizada en el desarrollo de Mohr&Play se centra en dos objetivos principales: (1) proponer un flujo de trabajo estructurado que guíe el diseño de futuros serious games en ingeniería civil y (2) emplear este flujo de trabajo y la programación subyacente para desarrollar herramientas que automaticen la creación de serious games en el ámbito de la ingeniería civil.

Mohr&Play ha sido desarrollado siguiendo un flujo de trabajo diseñado y propuesto por la primera autora en el marco de su tesis doctoral y que se estructura en siete etapas, representadas en la Figura 1 por los colores rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue), con el propósito de relacionarlas con la sigla RGB: Roadmap, Gamification y Beta Testing. Esta estructura codificada por colores facilita la comprensión y organización del diseño de Mohr&Play.

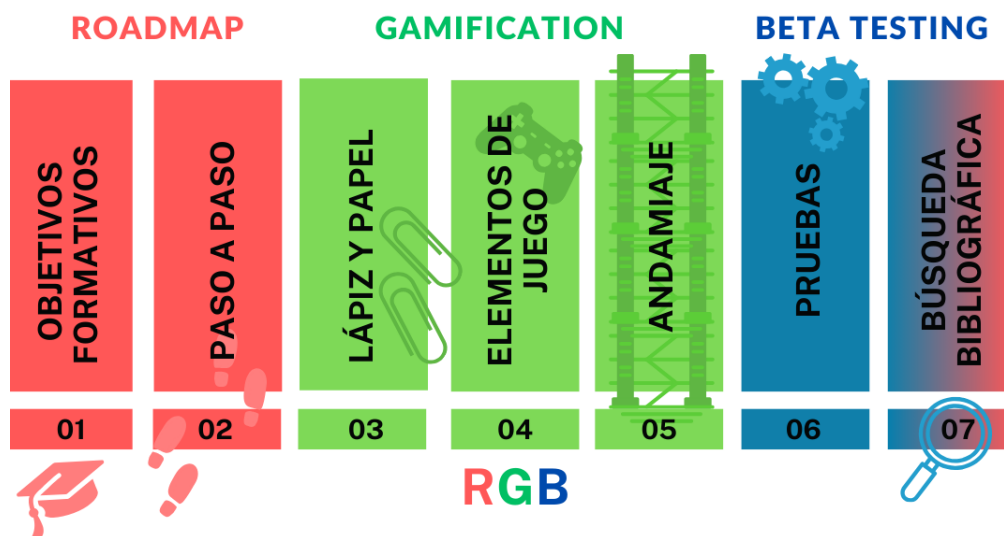


Figura 1. Flujo de trabajo RGB

ROADMAP (R)

Generar una hoja de ruta para alinear el diseño del juego con los aspectos formativos deseados.

1. Definición de Objetivos Formativos que se pretenden alcanzar con el serious game. La Tabla 1 presenta los objetivos formativos relacionados al aprendizaje del círculo de Mohr.

Tabla 1. Objetivos Formativos Serious Game Mohr&Play

Objetivo formativo	
1	Comprender el estado de esfuerzos en un punto determinado dentro de un material o estructura bajo carga.
2	Identificar cómo cambian las componentes de esfuerzo conforme se rota el plano de análisis en un material sometido a cargas.
3	Determinar la dirección y magnitud de la máxima y mínima componente de esfuerzo normal en un material.
4	Construir el círculo de Mohr.
5	Reconocer las características distintivas entre círculos de Mohr para tracción uniaxial, corte puro y compresión uniaxial.
6	Identificar cómo varían las tensiones principales a medida que varía la magnitud de la carga aplicada.

2. Enfoque "paso a paso": División de los objetivos formativos en pasos progresivos que introduzcan gradualmente los conceptos teóricos que se buscan alcanzar. Cada paso se ha construido sobre el conocimiento adquirido en los pasos previos, como se observa en la Figura 2.

Se debe considerar la integración de problemas prácticos para conectar la teoría con situaciones reales. Aunque esto pueda parecer un aspecto trivial, la revisión bibliográfica realizada en este artículo solo identificó un estudio que aborda casos prácticos de aplicación del círculo de Mohr.

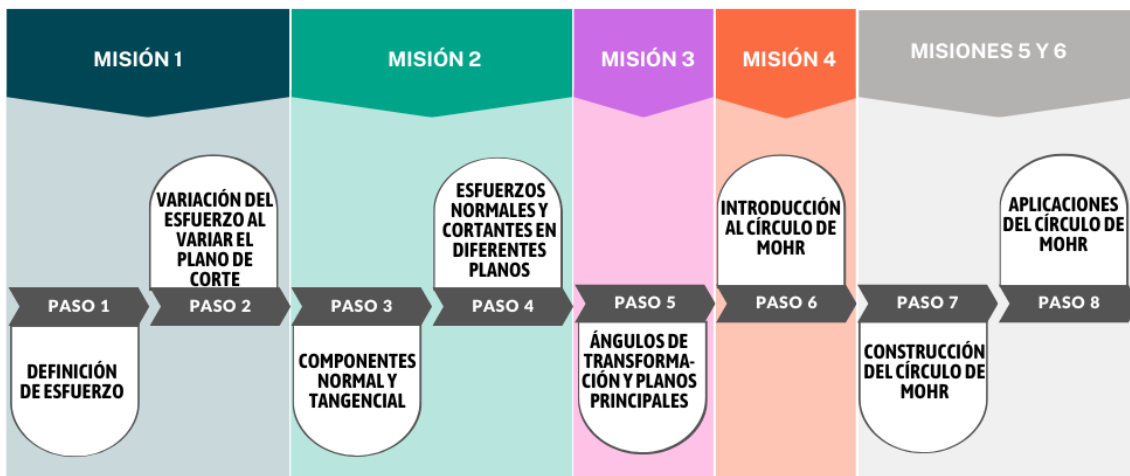


Figura 2. Enfoque paso a paso para llevar a cabo el juego del Círculo de Mohr

GAMIFICATION (G)

Crear la jugabilidad integrando elementos de juegos para mejorar la motivación.

1. Práctica con papel y lápiz: Realización de ejercicios prácticos sobre los conceptos que se quieren enseñar utilizando papel y lápiz, y analizar cómo transformar esta práctica en un juego. ¿Es posible agregar elementos como tiempo, puntuación, sistema de vidas o desafíos adicionales para que la repetición de estos ejercicios sea entretenida? Además, es importante abordar la ejecución automática o mecanizada de los problemas, evitando que los estudiantes se enfoquen únicamente en repetir acciones sin comprender los

conceptos subyacentes, así como prevenir que se pueda ganar mediante selección aleatoria.

2. Integración de elementos de Juego: Dondlinger (2007) sugiere que una variedad de componentes de diseño es fundamental para promover los resultados de aprendizaje deseados, tales como la trama narrativa, las reglas de juego, los objetivos establecidos, las recompensas ofrecidas, el nivel de interacción, etc. El simple uso de videojuegos no asegura una motivación en los jugadores. Existen diversos estudios que pueden servir como guías para orientar el diseño de un serious game, como:

Siang y Rao (2003), proponen que, comprendiendo las necesidades de los jugadores, los diseñadores pueden canalizar la motivación hacia el aprendizaje dentro de los videojuegos. Adaptando la jerarquía de necesidades de Maslow, los autores identifican las siguientes etapas que los jugadores deben satisfacer secuencialmente: la necesidad de reglas, la necesidad de seguridad, la necesidad de pertenencia, la necesidad de estima, la necesidad de conocer y entender (el mundo de juego), la necesidad estética y la necesidad de autorrealización.

Chou (2012) desarrolló el sistema Octalysis para identificar ocho motores de motivación presentes en los juegos, que impulsan la participación y la satisfacción del jugador. Estos motores incluyen la épica, el logro, la creatividad, la posesión, la afinidad, la impaciencia, la curiosidad y la pérdida. Utilizando estos motores en el diseño de experiencias, se maximiza la motivación del jugador al fomentar el progreso, la interacción social, la exploración y la resolución de desafíos (Valero, 2018).

Richard Bartle (1996) propuso cuatro tipos de jugadores (Triunfadores, Exploradores, Socializadores y Asesinos), que surgieron de un debate provocado por la pregunta: ¿Qué quieren las personas de un MUD (Multi-User Dungeon)? Aunque estos tipos de jugadores se han propuesto principalmente para entender y equilibrar las poblaciones de jugadores en los MUDs y otros juegos en línea, las características de estos cuatro tipos pueden orientar la implementación de elementos de juego para atraer y mantener a los jugadores involucrados.

McGonigal (2011) identifica cuatro elementos para mantener comprometido al jugador:

Primero, el deseo de realizar un trabajo satisfactorio, lo que implica actividades claramente definidas; por lo tanto, los juegos deben ofrecer objetivos claros y resultados tangibles, estableciendo metas y tareas específicas que el jugador debe cumplir en cada misión para avanzar.

Segundo, el anhelo de éxito, donde los jugadores buscan aspirar a algo y sentir que mejoran con el tiempo. Una retroalimentación inmediata, ya sea positiva o negativa, brinda a los jugadores la promesa de que la meta es alcanzable, generalmente a través de puntuaciones o un sistema de vida.

Tercero, el deseo de contacto social, donde las personas quieren compartir experiencias y construir vínculos. Los juegos pueden facilitar la interacción social a través de un sistema multijugador o, alternativamente, mediante elementos como tablas de posiciones que informan al jugador sobre la presencia de otros participantes.

Finalmente, el anhelo de sentido, o tener la oportunidad de formar parte de algo mayor que ellos mismos. A través de una narrativa, los juegos pueden ofrecer la posibilidad de participar en una misión épica y trascendental, proporcionando un profundo sentido de propósito y satisfacción colectiva.

La Tabla 2 presenta un ejemplo de estos cuatro elementos en el juego Mohr&Play.

Tabla 2. Descripción de elementos de juego en Mohr&Play

Elemento	Mohr&Play
Objetivos Claros	La Tabla 4 resume las metas de cada misión del juego
Retroalimentación	Efectos sonoros, visuales y puntuación por cada acierto y error, a lo largo del juego
Contexto Social	Se implementó una tabla de Líderes
Misión Épica	El jugador debe restablecer el sistema estructural

3. Diseño con Andamiaje: A medida que el estudiante progresa, el “scaffolding” se adapta para ofrecer desafíos apropiados. Proporcionar soportes o "ayudas" temporales que se retiran gradualmente a medida que el estudiante se vuelve más competente. La Figura 3 muestra un ejemplo de Andamiaje en el diseño de Mohr&Play. Se utiliza una combinación de colores azul y violeta para guiar al jugador en la correcta colocación de los valores en la matriz. Después, estos colores se eliminan, dejando ambos en negro.

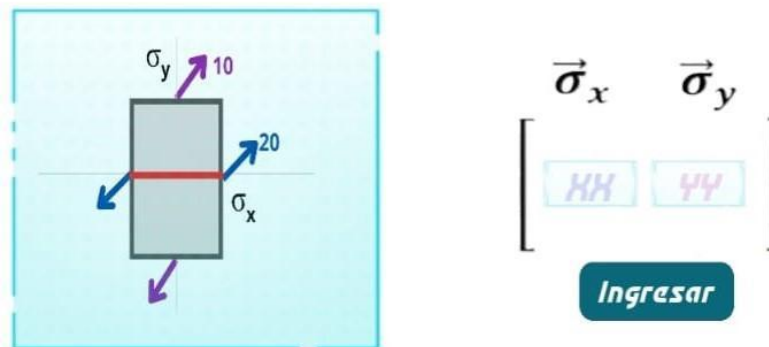


Figura 3. Ejemplo de Andamiaje en la misión 2 del juego Mohr&Play

BETA TESTING (B)

Evaluar la efectividad y jugabilidad del juego para identificar y corregir errores.

1. Validación del Diseño a través de Pruebas: Realizar pruebas del juego con grupos piloto de jugadores para validar y ajustar el diseño. Es importante observar la experiencia del jugador para verificar si logra entrar en el estado de 'flow', según la teoría de Mihály Csíkszentmihályi. Este estado se caracteriza por una inmersión total y un disfrute óptimo, resultado de un equilibrio entre desafíos y habilidades.

2. Búsqueda Bibliográfica: Investigar otros serious games que aborden conceptos educativos similares o relacionados con el tema que se desea enseñar. Esto garantiza que el equipo esté informado sobre avances recientes y lecciones aprendidas por otros investigadores en el campo. Esta etapa se realizó al final de la primera iteración del proceso de diseño para evitar influencias que puedan comprometer la creatividad del equipo, permitiendo que las aportaciones de otros autores se integren en las siguientes iteraciones.

RESULTADOS

JUEGO MOHR&PLAY

Mohr&Play es una aplicación educativa desarrollada sobre el entorno de desarrollo Unreal Engine 5.3 para dispositivos Android, diseñada para complementar el aprendizaje en la asignatura de mecánica de sólidos. Ésta consta de seis misiones e incluye un tutorial que guía a los jugadores en la Misión 1 y la Misión 4. Ofrece explicaciones animadas sobre los conceptos de esfuerzo y tensión plana, y está equipado con un sistema de guardado y una tabla de líderes.

El serious game se ambienta en un mundo de ciencia ficción debido a la facilidad que este contexto puede otorgar a las representaciones simbólicas, como el esfuerzo. La trama gira en torno a un sistema informático dedicado a la inspección estructural, el cual ha sido alterado por una amenaza externa que ha provocado la pérdida total de la información. La Figura 4 muestra el sistema de inspección estructural en su estado original, antes de la invasión de la amenaza externa, al que el jugador debe acceder.

Debido al daño ocasionado, solo queda operativo un sistema de emergencia, controlado por un personaje virtual que actúa como una inteligencia artificial dentro de la historia del juego. Este avatar guiará a los jugadores a través de diversos desafíos relacionados con los conceptos del círculo de Mohr, con el objetivo de restaurar el sistema de inspección. La Figura 5 muestra la primera misión del juego, en la que los jugadores deben cargar las probetas de manera adecuada para obtener los valores de esfuerzo necesarios para avanzar a la siguiente misión.



Figura 4. Acceso Sistema de Inspección, juego Mohr&Play



Figura 5. Misión 1, juego Mohr&Play

El tiempo total invertido en el desarrollo del juego ha sido aproximadamente de 600 horas, incluyendo tanto el diseño como la programación. El juego está diseñado para sesiones de juego que duran entre 20 y 30 minutos.

MODO DE JUEGO

Mohr&Play sigue un enfoque progresivo que introduce gradualmente conceptos de esfuerzo a través de cuatro diferentes misiones. La Tabla 3 presenta la descripción general del juego y la Tabla 4 presenta la descripción de las misiones.

Tabla 3. Descripción General juego Mohr&Play.

Meta	Reglas generales
El jugador debe restaurar la base de datos para reestablecer el sistema de inspección estructural	Cada vez que el jugador comete un error, pierde una vida. El jugador dispone de 3 vidas en total. Por cada acierto, se obtienen 15 puntos.

Tabla 4. Descripción de las misiones del juego Mohr&Play.

Misión	Descripción	Elementos
1 “Introducción al esfuerzo”	Trama Narrativa: Tras el colapso del sistema computacional de inspección estructural, es imperativo descubrir los valores de esfuerzo que forman la contraseña necesaria para ingresar a las ruinas de lo que alguna vez fue el prestigioso sistema de inspección. Objetivo formativo: Esta misión introduce la magnitud y dirección del esfuerzo, mostrando cómo cambian al variar el área, la carga y el plano de corte.	Meta: Encontrar la contraseña para ingresar al sistema Reglas específicas: El jugador debe ajustar el área y la carga en tres probetas sometidas a carga uniaxial para alcanzar un valor específico de esfuerzo, indicado por Lolo, un asistente virtual.
2 “Descomposición de Esfuerzos”	Trama Narrativa: Después de acceder exitosamente al sistema, es necesario comenzar la restauración de la información del sistema. HAL, una "entidad" recién recuperada, es la herramienta encargada de procesar la información que proporcione el jugador, con la cual intentará graficar la variación del vector de tensiones al rotar el plano de corte. Objetivo formativo: Se centra en arraigar dos conceptos clave; la descomposición de esfuerzos en tensión normal y tangencial, y el análisis de tensiones en un único punto del elemento. Aquí, se introduce el concepto de tensor de tensiones.	Meta: Ingresar los valores correctos de tensión en un software recuperado recientemente. Reglas específicas: El jugador debe introducir correctamente las componentes de esfuerzo en la matriz de tensiones para restaurar la información del sistema.
3 “Tensiones Principales”	Trama Narrativa: Gracias a la colaboración previa de HAL, en esta nueva fase el jugador visualiza una representación de todos los esfuerzos que actúan en un punto del cuerpo	Meta: Registrar en el sistema tres estados de esfuerzos principales, con el propósito de que estos sean

<p>4 “Introducción al Círculo de Mohr”</p>	<p>analizado. Sin embargo, la programación nativa del sistema de emergencia, bajo el mando de Lolo, requiere las tensiones principales, de las cuales no se tiene conocimiento alguno.</p> <p>Objetivo formativo: Se introduce el concepto de tensiones principales y se enseña que las tensiones tangenciales son cero en las direcciones principales.</p> <p>Trama Narrativa: Hasta el momento se ha avanzado exitosamente en la restauración del sistema, sin embargo, reaparece la amenaza que causó el quiebre del sistema, generando un nuevo atentado que obstaculiza esta misión.</p> <p>Objetivo formativo: Se enfoca en el entendimiento de que al graficar los pares τ (esfuerzo cortante) y σ (esfuerzo normal) en función de la orientación de los planos de análisis en un cuerpo sometido a esfuerzo uniaxial, se representa un círculo en el diagrama σ-τ.</p> <p>Al completar con éxito la misión, se revela el círculo de Mohr que representa el esfuerzo uniaxial de tracción.</p>	<p>almacenados en la base de datos correspondiente.</p> <p>Reglas específicas: El jugador debe rotar el plano de corte y observar los detalles para identificar y registrar las tensiones principales, activando una alarma en el proceso.</p> <p>Meta: Registrar en el sistema cómo se trazan los pares sigma y tau antes de que la amenaza termine de colapsar todo el sistema.</p> <p>Reglas específicas: Los jugadores deben trazar los pares de datos de esfuerzo normal y tangencial en un gráfico utilizando los ejes de abscisas y ordenadas, mientras enfrentan un temporizador</p>
<p>5 “Construcción del Círculo de Mohr”</p>	<p>Trama Narrativa: La amenaza ha percibido la vulnerabilidad del sistema de inspección y ha decidido desafiar al usuario a superar una última prueba, la construcción del Círculo de Mohr. Aunque no se sabe con certeza si la amenaza recurrirá a tácticas desleales, este desafío representa el último obstáculo para asegurar la integridad del sistema de inspección.</p> <p>Objetivo formativo: Se construye el círculo de Mohr desde cero a partir del tensor de tensiones.</p>	<p>Meta: Representar gráficamente tres estados de tensión en el Círculo de Mohr.</p> <p>Reglas específicas: El jugador debe construir el círculo de Mohr antes de que la amenaza logre construir los suyos.</p>
<p>6 “Aplicaciones prácticas del Círculo de Mohr”</p>	<p>Trama Narrativa: Con el sistema de inspección restaurado, el jugador recibe la misión de evaluar y reforzar varias estructuras identificadas en riesgo de agrietamiento o colapso. Aunque la amenaza que una vez puso en peligro el sistema ha sido neutralizada, la fiabilidad del sistema de inspección ahora depende de la habilidad del jugador para aplicar sus conocimientos.</p> <p>Objetivo formativo: El jugador debe aplicar el Círculo de Mohr para analizar los esfuerzos en las estructuras identificadas y reforzarlas adecuadamente con fibras de carbono.</p>	<p>Meta: Reforzar 5 estructuras en riesgo de agrietamiento.</p> <p>Reglas específicas: Utilizando el Círculo de Mohr, el jugador debe reforzar las estructuras antes que se acabe el tiempo reglamentario.</p>

PRE-VALIDACIÓN

Desde el inicio del desarrollo del juego, se han llevado a cabo pruebas semanales en colaboración con profesores del grupo de investigación. Estas pruebas han estado orientadas a evaluar el uso de la aplicación por terceros, que incluyen aspectos tales como el diseño, la jugabilidad, la usabilidad de la interfaz y la adecuación de los objetivos formativos.

Además, en la semana 16 del desarrollo, Mohr&Play fue evaluado preliminarmente por un grupo de seis estudiantes de último año de Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). En esta instancia solo estaban desarrolladas las 4 primeras etapas mostradas en la Tabla 4. Aunque los estudiantes habían estudiado previamente este tema en los primeros años de su formación, ninguno recordaba claramente el contenido.

El propósito de esta pre-validación fue obtener una primera evaluación del funcionamiento de la aplicación, que permitiera un rediseño y ajuste de la misma, sobre todo en términos de usabilidad, jugabilidad, adquisición de conocimientos, narrativa y opiniones generales sobre la experiencia de juego, con el fin de optimizar las futuras validaciones que se llevarán a cabo con un mayor número de estudiantes.

Durante la sesión, los participantes interactuaron con la aplicación y completaron una encuesta integrada al final del juego para evaluar su experiencia. Posteriormente, se llevó a cabo una entrevista guiada por preguntas específicas para cada etapa del juego adoptando un enfoque semi-estructurado (Cohen et al., 2007). Este tipo de entrevista permite al entrevistador flexibilizarse y explorar temas relevantes que puedan surgir durante la conversación, y no limitarse estrictamente a las preguntas previamente establecidas. La entrevista fue grabada y transcrita.

La encuesta integrada en el juego se basó en 5 conjuntos de preguntas, cada uno enfocado en diferentes aspectos. El primer conjunto aborda aspectos teóricos sobre los factores que influyen en la variación de los esfuerzos dentro de una estructura. El segundo conjunto recoge la apreciación sobre atributos del juego, como la jugabilidad, la narrativa, el sonido y los efectos visuales. El tercer conjunto se centra en aspectos formativos, indagando si la aplicación les resultó útil para reforzar conceptos de ingeniería estructural. El cuarto conjunto solicita sugerencias para posibles mejoras del serious game. Finalmente, el quinto conjunto recopila información demográfica, incluyendo edad, género y nivel educativo.

La Tabla 5 resume las condiciones del experimento.

Tabla 5. Condiciones del experimento de pre-validación.

Parámetro	Valor
Número de Estudiantes	6
Tiempo de juego	30 minutos
Tiempo entrevista guiada	30 minutos
Tipo de participación	Voluntaria
Instrucciones Previas	Sin instrucciones previas del juego
Tipo de Evaluación	Encuesta individual y entrevista grupal

REPORTES

A continuación, se presentan en las Tablas 6 - 10 los resultados más relevantes de la entrevista grupal.


La narrativa de ciencia ficción recibió críticas mixtas: algunos la valoraron por su alejamiento del enfoque convencional, mientras que otros la consideraron excesivamente distante del contexto ingenieril, como puede observarse en la Tabla 6.

Tabla 6. Principales respuestas sobre la introducción de la narrativa.

Introducción Narrativa	Respuestas
 <p data-bbox="228 891 794 925">Nota: Ambientación en un mundo de ciencia ficción</p>	<p data-bbox="815 667 1348 741">“Yo lo encontré muy dissociada de lo que trataba el juego”</p> <p data-bbox="815 775 1348 848">“A mi me encantó que no tuviera nada que ver con el entorno real de ingeniería civil”</p>

La Misión 1, representada en la Tabla 7, presentó varios problemas de diseño. El más significativo fue que los usuarios podían avanzar al siguiente nivel sin comprender realmente lo que estaban haciendo, limitándose a seguir patrones de forma automática. El juego no incentivaba la reflexión sobre las acciones del usuario, lo que llevó a un desarrollo repetitivo y poco consciente de la tarea. Lo anterior es un ejemplo de una mala implementación de la etapa 3 del método RGB “Práctica con papel y lápiz”.

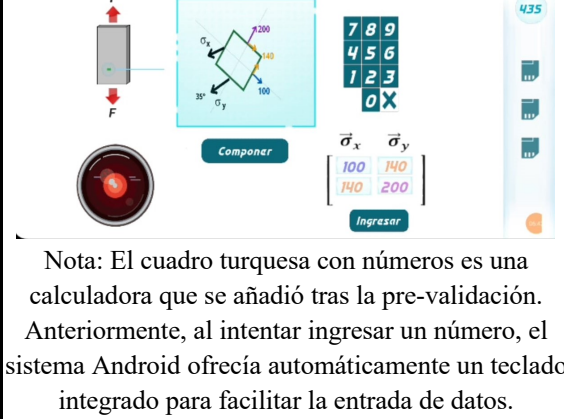
Tabla 7. Principales respuestas sobre la Misión 1.

Misión 1. Introducción al esfuerzo	Respuestas
 <p data-bbox="228 1653 794 1718">Nota: El objetivo de esta etapa era cargar las probetas de acuerdo a las imágenes de la izquierda.</p>	<p data-bbox="815 1350 1348 1451">“Fue mirar la imagen y reproducir, mirar la imagen y reproducir, entonces se perdió el objetivo formativo”</p> <p data-bbox="815 1485 1348 1697">“Lo primero que me chocó (desconcertó) es que yo no entendí dónde estaban las probetas, es un puente, es un muro, como que no va de paso a paso, no sentí ese paso a paso, el paso a paso quizás es cuando ya estas jugando, pero no desde el principio del contexto del juego”</p>

En la Misión 2, surgió un problema de usabilidad, cada vez que el usuario necesitaba ingresar datos en la matriz, el teclado del teléfono se desplegaba, ocultando parte de la interfaz, creando una experiencia incómoda al ingresar los números. Para solucionar esto, se implementó un teclado específico para el juego, como se muestra en la imagen de la Tabla 8. Esta misión también presentó problemas con la implementación de la etapa 5 del método RGB, “Diseño con andamiaje” y la etapa 3, anteriormente mencionada. Aunque los colores de la matriz estaban para ayudar en la entrada de valores, los usuarios tendían

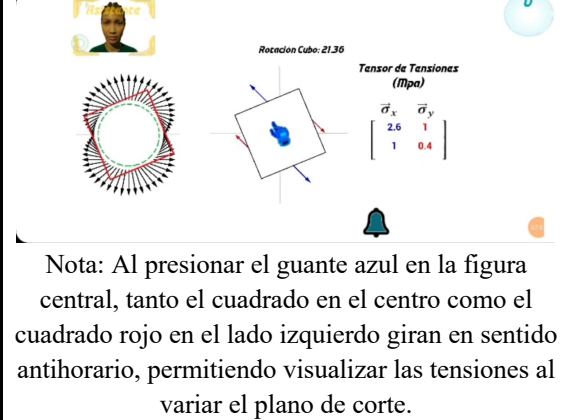
a realizar las tareas de manera automática, fijándose solo en los colores y sin comprender los conceptos subyacentes.

Tabla 8. Principales respuestas sobre la Misión 2.

Misión 2. Descomposición de Esfuerzos	Respuestas
 <p data-bbox="228 645 794 813">Nota: El cuadro turquesa con números es una calculadora que se añadió tras la pre-validación. Anteriormente, al intentar ingresar un número, el sistema Android ofrecía automáticamente un teclado integrado para facilitar la entrada de datos.</p>	<p data-bbox="801 409 1361 584">“Si tuvieran al lado (el teclado) ya directamente para poner los números, porque por ejemplo en mi caso se me abría la pantalla y tenía que volver a poner la parte de números y poner los números y así todo el rato”</p> <p data-bbox="801 622 1361 797">“Yo creo que los colores no ayudan mucho porque de partida guían a la persona a que solo se guíe por los colores. Yo lo hice sacándome todo lo ingenieril, lo hice como una persona que no sabe nada”</p>

La Misión 3 tuvo problemas en la progresión de complejidad, es decir, en la etapa 2 “Enfoque paso a paso” del método RGB. Las dos misiones anteriores no fueron suficientes para que los estudiantes comprendieran el gráfico de tensiones presentado a la izquierda de la imagen en la Tabla 9. La respuesta esperada era que “el gráfico representa el estado tensional real de un punto” o, alternativamente, que “representa un punto infinitesimalmente pequeño que está experimentando todas esas tensiones simultáneamente”. Ninguno de los estudiantes pudo explicar adecuadamente qué significaba el gráfico.

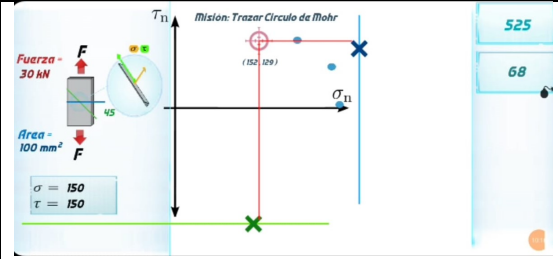
Tabla 9. Principales respuestas sobre la Misión 3.

Misión 3. Tensiones Principales	Respuestas
 <p data-bbox="228 1552 794 1720">Nota: Al presionar el guante azul en la figura central, tanto el cuadrado en el centro como el cuadrado rojo en el lado izquierdo giran en sentido antihorario, permitiendo visualizar las tensiones al variar el plano de corte.</p>	<p data-bbox="801 1352 1361 1458">“Yo extrañe una tuerquita para rotar eso (los cuadrados) tanto a la izquierda como a la derecha, en vez de solo hacer clic”</p> <p data-bbox="801 1496 1361 1671">“(El avatar) Eso le dio más realismo a lo que estábamos haciendo, porque se suponía que había el problema de un virus y eso te daba el porqué estás haciendo algo, con esa parte sentí que era un juego”</p>

La Misión 4, representada en la Tabla 10, enfrentó problemas relacionados con el tiempo. Al establecer un temporizador desde el inicio, se limitó la capacidad de los usuarios para explorar la información de la interfaz, lo que podría disminuir el potencial de la herramienta en facilitar la comprensión del Círculo de Mohr.

Tabla 10. Principales respuestas sobre la Misión 4.

Misión 4. Introducción al Círculo de Mohr	Respuestas
---	------------



“Yo sentí que tenía que tener un lapso un poquito más largo antes de que apareciera el virus porque empecé a querer poner los números rápidos porque se estaba acabando el tiempo y ya me había pasado que había explotado, entonces yo entendía que se iba modificando la imagen de al lado pero no le prestaba atención. Entonces, hubiese sido mejor haber dejado un tiempo para ver cómo va afectando (a la probeta) para luego después lanzar el cronómetro”

Nota: Se grafican las coordenadas mostradas en la parte izquierda. A medida que se introducen, el plano de corte de la probeta rota. De repente, aparece un avatar maligno que arrastra un temporizador (68 segundos) con una cuenta regresiva.

La Tabla 11 presenta los resultados más relevantes de la encuesta realizada al finalizar el juego, los cuales respaldan las observaciones obtenidas durante la entrevista grupal. En la sección teórica, ningún estudiante respondió con precisión, lo que indica una dificultad en la comprensión del esfuerzo.

En cuanto a la jugabilidad, la puntuación fue mayoritariamente positiva, aunque el tiempo limitado en la Misión 4 resultó ser un inconveniente para los usuarios, generando una opinión negativa al respecto.

Como se mencionó anteriormente, la narrativa recibió críticas mixtas. Por otro lado, la mayoría de los participantes consideró útil el juego para reforzar conceptos de ingeniería estructural, aunque algunos experimentaron frustración inicial y dificultades para comprender las mecánicas del juego.

Entre las opiniones generales, una observación se destacó sobre las demás debido a su relevancia en cuanto a un error de diseño: *"En general fue divertido, siento que a veces al ser un juego uno olvidaba que estaba viendo algo que realmente es materia de una asignatura por lo que era interesante. Aun así esto podría generar que uno no logrará recordar la materia que presentaban por cada nivel."* Esta última parte del comentario sugiere que los conceptos se introdujeron de manera demasiado apresurada, sin proporcionar la debida ejercitación para su correcta retención. Este aspecto debe ser corregido en futuras versiones de la aplicación para asegurar una mejor integración y retención de los conceptos presentados.

Tabla 11. Resumen de resultados de Encuesta.

Pregunta	Respuesta
Preguntas teóricas ¿Qué factores influyen en la variación de los esfuerzos dentro de una estructura?	Esfuerzo y corte.
	La fuerza y el área.
	El área, la inclinación y la magnitud de fuerza aplicada.
	No recuerdo bien, me concentré más en pasar los niveles que en enfocarme en la materia.
	Angulo, área, fuerza.
	El área y carga.

Atributos del juego. Jugabilidad	¿La inclusión de una puntuación y de un límite de tiempo te estimuló a jugar más o te frustró? ¿O te resultó indiferente?	<p>Me frustró demasiado, incluso avanzar hasta la (animación de la fórmula para volver al inicio cuando fallo fue frustrante.</p> <p>La puntuación si me estimuló, el tiempo no me percate de su existencia.</p> <p>Me ayudó a entender la meta y que me quitaba puntos, pero faltó agregar una animación en el puntaje para entender que estabas perdiendo puntos.</p> <p>Me considero una persona competitiva en lo que se refiere a juegos por lo que sí me motivó a seguir jugando y lograr un puntaje más alto.</p> <p>La puntuación ayudaba. El tiempo no.</p> <p>(El tiempo límite) Me generó una frustración más que generar una motivación.</p>
Atributos del juego. Narrativa	¿La narrativa de ciencia ficción contribuyeron a tu disfrute del juego y a tu engancho con él?	<p>No.</p> <p>Se sintió bien.</p> <p>Definitivamente sí, el avatar entrega un dramatismo futurista donde solo sobreviviré si entiendo los esfuerzos internos de un objeto.</p> <p>Sí, la consideré muy cómoda y de acuerdo a la ambientación del juegos, la voz y el sonido que había para pasar de nivel iban acorde entre sí. Al principio la narrativa me resultó algo inesperada, pero conforme avanza el juego se siente cómoda.</p> <p>No.</p> <p>Sí.</p>
Aspectos Formativos	¿El juego te resultó útil para reforzar conceptos de ingeniería estructural?	<p>1 (0%)</p> <p>2 (0%)</p> <p>3 (33.3 %)</p> <p>4 (33.3 %)</p> <p>5 (33.3 %)</p> <p>Escala lineal donde 1: No resultó útil en absoluto 5: Resultó muy útil</p>
Opinión General	¿Hay algún comentario adicional que te gustaría compartir sobre tu experiencia con el juego?	<p>Guardar el avance independiente si terminaste el nivel o no.</p> <p>Ojalá logren terminarlo y agregar más diseño a la última parte, choca un poco tanto color y luego una imagen en blanco aunque entiendo que es para relacionarlo con el estudio en libro, papel o presentación de un profesor, no deja de ser igual a la clase.</p> <p>En general fue divertido, siento que a veces al ser un juego uno olvidaba que estaba viendo algo que realmente es materia de una asignatura por lo que era interesante. Aún así esto podría generar que uno no logrará recordar la materia que presentaban por cada nivel.</p>

CONCLUSIONES

Este artículo propone un flujo de trabajo (RGB) para guiar el diseño de serious games en ingeniería civil, con potencial para extenderse a otras ramas de la formación y de la ingeniería. El flujo de trabajo consta de siete etapas: Definición de objetivos formativos, Enfoque "paso a paso", Práctica con papel y lápiz, Integración de elementos de juego, Diseño con andamiaje, Validación del diseño a través de pruebas, y Búsqueda bibliográfica.

El desarrollo de Mohr&Play y la creación del flujo de trabajo RGB están interrelacionados: el flujo de trabajo se desarrolló a partir del proceso de creación de

Mohr&Play, y a su vez, el diseño y desarrollo de Mohr&Play se basaron en este flujo de trabajo. Este enfoque recíproco ilustra una relación en la que ambos elementos se influyen mutuamente.

La pre-validación proporcionó una primera evaluación del funcionamiento de Mohr&Play, revelando errores en el diseño que se integraron en el método RGB. Estos errores subrayan la necesidad de incorporar y retirar andamiaje, evitar mecánicas de juego donde el jugador automatice su comportamiento y dar sentido al juego en relación con la aplicabilidad de los conceptos teóricos.

La aplicación Mohr&Play ha requerido aproximadamente 600 horas de desarrollo. Según los resultados de la pre-validación, se encontraron varios errores en cuanto a la usabilidad de la aplicación, la manera en que se dosificó la información teórica, que fue insuficiente para lo requerido, lo que condujo a que los objetivos formativos no se lograron cumplir completamente. Se ha constatado y recogido por etapas la complejidad tanto en programación como en el diseño del flujo de la actividad que requiere desarrollar un serious game bien diseñado, con el fin último de garantizar el cumplimiento de los objetivos formativos. Por la observación de los pasos en el desarrollo del serious game, se concluye por tanto que esta complejidad supone una barrera infranqueable para un educador sin conocimientos en diseño y programación de videojuegos.

El trabajo futuro a corto plazo se enfocará principalmente en rehacer los mecanismos de evaluación para ampliar el número de estudiantes sobre los que se evaluará, en el marco de una actividad reglada, con una comparativa de resultados entre los estudiantes que utilizaron el serious game y aquellos que siguieron un enfoque educativo más convencional. Además, se planifica diseñar preguntas específicas para analizar la retención de conceptos a largo plazo, implementando un seguimiento con preguntas teóricas enviadas por la aplicación después de un periodo de 4 a 6 meses, para evaluar la retención de los conceptos a lo largo del tiempo.

El objetivo final de Mohr&Play es que los estudiantes visualicen y comprendan el círculo de Mohr como una representación gráfica de los patrones de esfuerzo en un cuerpo (categoría 4), basándonos en el estudio fenomenográfico de Van der Merwe y Woollacott (2012). También se espera que puedan deducir que la deformación o el fallo ocurrirán si el máximo estrés experimentado en cualquier parte del cuerpo excede la resistencia a la fluencia del material (categoría 3).

El trabajo futuro a largo plazo busca emplear este flujo de trabajo y la programación subyacente del serious game Mohr&Play para desarrollar herramientas que automaticen la creación de serious games en el ámbito de la ingeniería civil.

REFERENCIAS

- Abt, C. C. (1987). *Serious games*. University Press of America.
- Bartle, R. (1996). Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs. *Journal of MUD research*, 1(1), 19.
- Campos M dos S, Rodrigues MAC, Camargo RS, Kiepper LS. A unified educational mobile application to aid in teaching solid mechanics using interactive Mohr's circle.

International Journal of Mechanical Engineering Education. 2023;0(0).
doi:10.1177/03064190231214173

Carbonell, V., Martinez, E., Florez, M. (2013). Interactive simulations as teaching tools for engineering mechanics courses. *European Journal of Physics*, 34(4), 991-1004. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/34/4/991>

Chou, Y. (n.d.). Octalysis: Complete gamification framework. *Yu-kai Chou: Gamification & Behavioral Design*. Visitado 15 julio, 2024. <https://yukaichou.com/gamification-examples/octalysis-complete-gamification-framework/>

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6th ed.). RoutledgeFalmer.

Cook-Chennault, K., Villanueva Alarcón, I., & Jacob, G. (2022). Usefulness of digital serious games in engineering for diverse undergraduate students. *Education Sciences*, 12(1), 27. <https://doi.org/10.3390/educsci12010027>

Csikszentmihalyi, M. (2000). *Beyond boredom and anxiety*. Jossey-bass.

Drakatos, N., Tsompou, E., Karabatzaki, Z., & Driga, A. M. (2023). Virtual reality environments as a tool for teaching engineering. *Educational and Psychological Issues*, 4, 59–76. <https://www.techhubresearch.com/index.php/journal/article/view/87>

Djaouti, D., Alvarez, J., Jessel, J.-P., & Rampnoux, O. (2011). Origins of Serious Games. En M. Ma, A. Oikonomou, & L. C. Jain (Eds.), *Serious Games and Edutainment Applications*. London, UK: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2161-9_3

Dondlinger, M. (2007). Educational video game design: A review of the literature. *Journal of Applied Educational Technology*, 4, 21–31.

Fennell, H. W., Coutinho, G. S., Magana, A. J., Restrepo, D., et al. (2017). Enhancing student meaning-making of threshold concepts via computation: The case of Mohr's circle. En *ASEE Annual Conference & Exposition*, 2017.

Hennessey, M., & Hacker, L. A. (2006). Dynamic 3D visualization of stress tensors. En *Proceedings of the 113th American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*. American Society for Engineering Education.

Kaklamanos, J., Ghanat, S. T., Shillaber, C. M., Kunberger, T., Barry, B., Griffiths, S., Walton-Macaulay, C., Immanuel, S., Saftner, D. A., & Swan, C. (2022). Instruction and assessment of Mohr's circle concepts in undergraduate geotechnical engineering courses. En *129th ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*.

Karunamoorthy, S. (2019). A rule based method to construct the Mohr's circle for plane stress. *Global Journal of Engineering Sciences*, 4(2). GJES. MS.ID.000581.

Lee, J. Y., Ryu, H. R., & Park, Y. T. (2014). Finite element implementation for computer-aided education of structural mechanics: Mohr's circle and its practical use. *Comput Appl Eng Educ*, 22: 494-508. <https://doi.org/10.1002/cae.20575>

- Lee, W. P., Chiu, C. H., Hwan, C. L., & Ma, J. (2009). Digital simulation of the transformation of plane stress. *Computers & Applied Engineering Education*, 17(1), 25–33. <https://doi.org/10.1002/cae.20180>
- Martínez, E., Flórez, M., & Carbonell, M. V. (2010). Using interactive methods for teaching Mohr's circle, principal axes and moments of inertia. En *The Annual International Conference on Education and New Learning Technologies, EDULEARN2010* (pp. 1212–1217). ISBN 978-84-613-9386-2.
- McGonigal, J. (2011). *Reality is broken: Why games make us better and how they can change the world*. Penguin Press.
- Meyer, J., & Land, R. (2006). Threshold concepts and troublesome knowledge: An introduction. En J. Meyer & R. Land (Eds.), *Overcoming barriers to student understanding: Threshold concepts and troublesome knowledge* (pp. 3-18).
- Moller, J., & Mokaddem, A. (2001). A tool for learning Mohr's circle. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 29(1), 53-72. <https://doi.org/10.7227/IJMEE.29.1.6>
- Muratet, M., Delozanne, E., Torguet, P., & Viallet, F. (2012). Serious Game and Students' Learning Motivation: Effect of Context Using Prog&Play. En S. A. Cerri, W. J. Clancey, G. Papadourakis, & K. Panourgia (Eds.), *Intelligent tutoring systems* (Vol. 7315). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30950-2_16.
- Muratet, M., Torguet, P., Viallet, F., & Jessel, J.-P. (2011). Experimental Feedback on Prog&Play: A Serious Game for Programming Practice, *Computer Graphics Forum*, 30, 61–73. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2010.01829.x>
- Nadolski, R. J., Hummel, H. G., Van Den Brink, H. J., Hoefakker, R. E., Slootmaker, A., Kurvers, H. J., & Storm, J. (2008). EMERGO: A methodology and toolkit for developing serious games in higher education. *Simulation & Gaming*, 39(3), 338-352. <https://doi.org/10.1177/1046878108319278>
- Nelson, D. L., & Simmons, B. L. (2003). Eustress: An elusive construct, and engaging pursuit. *Research in Occupational Stress and Well-Being*, 3, 265-322.
- Núñez-Pacheco, R., Turpo-Gebera, O., Barreda-Parra, A., Vidal, E., Castro-Gutierrez, E., & Aguaded, I. (2023). Motivations and use of video games in engineering students. *Journal of Technology and Science Education*, 13(2), 532-547. <https://doi.org/10.3926/jotse.1897>
- Oblinger, D. (2004). The next generation of educational engagement. *Journal of Interactive Media in Education*, 2004(1), Article 10. <https://doi.org/10.5334/2004-8-oblinger>.
- Perkins, D. (2009). *Making Learning Whole: How seven principles of teaching can transform education*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Philpot, T. A., Hubing, N., Hall, R. H., Flori, R. E., Oglesby, D. B., & Yellamraju, V. (2003). Games as teaching tools in engineering mechanics courses. En *Proceedings of the 2003 American Society for Engineering Education Annual Conference &*

- Exposition*. American Society for Engineering Education. <https://doi.org/10.18260/1-2--11926>
- Proboste Martinez, M., Muñoz La Rivera, F., & Mora Serrano, J. (2024). Critical analysis of the use of extended reality XR for training in civil engineering. *Computer Applications in Engineering Education*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/cae.22720>
- Quinlan, K. M., Male, S., Fill, J., Jaffer, Z., Stamboulis, A., & Baillie, C. (2012). Understanding thresholds in first year engineering: Digging beneath Mohr's circle. En *ISEE 2012 Educating the Engineers of Tomorrow* (Vol. 1, pp. Paper 29). Taylor & Francis.
- Ressler, S. J. (1996). The Visual Stress Transformer – An Animated Computer Graphics Program for Engineering Mechanics Education. En *ASEE Annual Conference Proceedings*, Session 1668. <https://doi.org/10.18260/1-2--6395>
- Rossow, M. P. (1996). An interactive program for teaching stress transformation with Mohr's circle. *Computers in Education Journal*, 6(4), 42–46.
- Siang, A. C., & Rao, R. K. (2003). Theories of learning: A computer game perspective. En *Proceedings of the Fifth International Symposium on Multimedia Software Engineering* (pp. 239-245). <https://doi.org/10.1109/MMSE.2003.1254447>.
- Smith, S. A. Jr. (1986). Microcomputer-aided teaching of Mohr's circle. *International Journal of Applied Engineering Education*, 2(2), 91–101.
- Taillandier, F., & Adam, C. (2018). Games Ready to Use: A Serious Game for Teaching Natural Risk Management. *Simulation & Gaming*, 49(4), 441-470. <https://doi.org/10.1177/1046878118770217>
- Valero, M. (2022). Challenges, Difficulties and Barriers for Engineering Higher Education. *Journal of Technology and Science Education*, 12(3), 551-566. <https://doi.org/10.3926/jotse.1696>
- Valero, M. (2018, diciembre). *Gamificación (incluye propuestas)*. Departamento de Arquitectura de Computadores, Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de <https://personals.ac.upc.edu/miguel/materiales/docencia/articulos/Gamificacion.pdf>
- Van der Merwe, J., & Woollacott, L. (2017). Showing phenomenography at work: A study of engineering students' conceptions of the Mohr circle. En *Proceedings of the Fourth Biennial Conference of the South African Society for Engineering Education* (pp. 338 - 348).
- Yu, Z., Sukjairungwattana, P., & Xu, W. (2022). Effects of Serious Games on Student Engagement, Motivation, Learning Strategies, Cognition, and Enjoyment. *International Journal of Adult Education and Technology (IJAET)*, 13(1), 1-15. <http://doi.org/10.4018/IJAET.314607>