

REFERENCIA: Albarracín, L., Chico, J., Simarro, C., & Valdés-Sánchez, L. (2019). Un taller de experimentación matemática usando un videojuego de estrategia. *ENSAYOS, Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 34(2). Enlace web: <http://www.revista.uclm.es/index.php/ensayos> - Consultada en fecha (dd-mm-aaaa)

UN TALLER DE EXPERIMENTACIÓN MATEMÁTICA USANDO UN VIDEOJUEGO DE ESTRATEGIA

A WORKSHOP ON MATHEMATICAL EXPERIMENTATION USING A STRATEGY VIDEO GAME

Lluís Albarracín

lluis.albarracin@uab.cat

Judit Chico

judit.chico@uab.cat

Cristina Simarro

cristina.simarro@uab.cat

Laura Valdés-Sánchez

laura.valdes@uab.cat

Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals.
Universitat Autònoma de Barcelona (Espanya)

Recibido: 27/05/2018

Aceptado: 02/09/2019

Resumen:

En este artículo presentamos el diseño de un taller de experimentación matemática basado en el uso de un videojuego y analizamos sus potencialidades para promover la resolución de problemas en el aula de matemáticas. Se describen los fundamentos teóricos sobre resolución de problemas matemáticos y el uso de videojuegos en el aula para promover el aprendizaje de las matemáticas. Nos basamos en estos fundamentos para identificar aspectos esenciales del videojuego que permiten estructurar la propuesta didáctica en la dirección de promover la experimentación y la resolución de problemas matemáticos sugeridos por el videojuego. Se aportan evidencias de la experimentación matemática desarrollada por los alumnos y las discusiones en grupo, que provienen de las características del videojuego utilizado y de la gestión de aula por parte del profesorado.

Palabras clave: matemáticas, resolución de problemas, videojuego de estrategia, educación secundaria

Abstract:

In this article we present a mathematical experimentation workshop design based on the use of a video game and we analyze its potential to promote problem solving in the mathematics classroom. The theoretical foundations of mathematical problem solving and the use of video games in the classroom to promote mathematics learning are described. These fundamentals

allow the identification of the essential aspects of the videogame to structure the proposal presented in order to promote experimentation and the resolution of mathematical problems suggested by the videogame. Evidence is provided of the mathematical experimentation developed by the students, as well as the type of discussions that originated, which come from the characteristics of the video game used and the classroom management by the teaching staff.

Keywords: mathematics, problem solving, strategy video game, secondary school

1. Introducción

Las posibilidades de innovación en las aulas de matemáticas se han incrementado con la llegada de los soportes y contenidos digitales. A medida que estas tecnologías han ido evolucionando se han desarrollado nuevas herramientas como pueden ser los entornos virtuales de aprendizaje (Özyurt, Özyurt, Güven y Baki, 2014) o los sistemas inteligentes de tutorización (Arevalillo-Herráez, Arnau y Marco-Giménez, 2013), aunque su penetración en las aulas es escasa.

Por otra parte, es conocido que la resolución de problemas ha sido uno de los mayores focos de atención en el ámbito de la Educación matemática en las últimas cuatro décadas (Lester, 1994; Schoenfeld, 2007). Sin embargo, como señalan Arcavi y Friedlander (2007), a pesar de que en este periodo se han identificado una gran cantidad de elementos y factores involucrados en la resolución de problemas matemáticos, una gran parte del conocimiento teórico alcanzado aún no ha sido transferido a las aulas. Este hecho contrasta con el creciente interés por introducir actividades matemáticas contextualizadas en diferentes niveles educativos para poner en valor la actividad matemática en la actividad humana (Vorhölter, Kaiser y Borromeo Ferri, 2014). De esta forma nos encontramos en una situación en la que, por un lado, se promueve la innovación didáctica en el aula, pero por el otro no se aprovechan recursos disponibles, como los videojuegos.

En este marco, presentamos una propuesta para utilizar un videojuego comercial de estrategia como contexto para trabajar las matemáticas en el aula de secundaria a través de la resolución de problemas. Las mecánicas de juego y el tipo de decisiones que promueve el videojuego de estrategia utilizado en el taller muestran su potencialidad como contexto para el aprendizaje de las matemáticas. Para avanzar en el juego se generan procesos típicos de la resolución de problemas donde el análisis conjunto de diversos contenidos matemáticos es fundamental en la toma de decisiones. Concretamente, en este artículo nos centramos en definir la actividad de aula implementada y las intervenciones del docente para consolidar oportunidades de aprendizaje derivadas del uso del videojuego y transformarlas en aprendizajes concretos.

Los datos que respaldan la propuesta provienen de la implementación de la actividad en un programa denominado Campus Ítaca en el que se impartió el taller con 16 grupos de 24 estudiantes cada uno. El Campus Ítaca es un programa socioeducativo organizado por la Universidad Autónoma de Barcelona gratuito y asociado a becas de estudio. Su objetivo es animar a adolescentes en situación económica desfavorable pero buen rendimiento académico a continuar con estudios superiores. Los alumnos cursan 3º de ESO y provienen de distintos centros escolares de la provincia de Barcelona.

2. Referentes teóricos

En este apartado describimos los referentes teóricos que fundamentan la propuesta de didáctica diseñada para trabajar los procesos de resolución de problemas matemáticos a partir de la propia experimentación con un videojuego comercial.

2.1 La resolución de problemas en la Educación Matemática

Nuestro taller de experimentación matemática se basa en potenciar los procesos de resolución de problemas matemáticos. No existe un consenso en la literatura sobre qué actividades pueden considerarse un problema de matemáticas, debido a las diferentes concepciones existentes sobre lo que son las matemáticas (Grugnetti y Jaquet, 2005). En una visión amplia, Schoenfeld (1985, 1992) considera que los problemas de matemáticas son esencialmente aquellas actividades que no se basan en la repetición de rutinas y que su método de resolución no es conocido de antemano. Esta noción de no conocer un método o proceso de resolución también está presente en la definición que dan Lesh y Zawojewski (2007):

“A task, or goal-directed activity, becomes a problem (or problematic) when the problem-solver, which may be a collaborating group of specialists, needs to develop a more productive way of thinking about the given situation” (p. 31).

Aunque no exista un consenso claro sobre lo que puede denominarse problema de matemáticas, existe una convicción compartida que el proceso de resolución de un problema puede dividirse en cuatro fases principales (Pólya, 1945): a) entender el problema, b) desarrollar un plan de acción, c) ejecutar el plan, y d) fase retrospectiva.

Para evaluar la competencia matemática en resolución de problemas el estudio PISA 2012 (OECD, 2013) presenta un marco para identificar los procesos con los que los alumnos resuelven problemas matemáticos, y que sigue la misma estructura que la propuesta inicial de Pólya (1945). Las fases en las que este documento divide la resolución de un problema son las siguientes:

- *Explorar y entender.* El planteamiento de una situación problemática requiere una exploración de la naturaleza del problema activando diferentes procesos de activación que se pueden identificar como de interacción con la situación. En paralelo se produce un acercamiento inicial en el que se activan la observación, el reconocimiento de elementos conocidos, la relación con los conocimientos previos, la detección de información desconocida y se identifican y predefinen las limitaciones y posibles obstáculos a considerar
- *Representar y formular.* En esta fase se construye una representación mental coherente de la situación del problema. La representación del problema combina dos subprocesos, la elaboración de tablas, gráficos, símbolos o representaciones verbales de la situación y la formulación de hipótesis a partir de la identificación de los factores relevantes del problema y sus relaciones.
- *Planificar y ejecutar.* La planificación se basa en establecer objetivos parciales y finales en la resolución, incluyendo el diseño de un plan de acción. La ejecución se basa en llevar a la práctica el plan diseñado.
- *Monitorizar y reflexionar.* La monitorización se refiere a la revisión del proceso de avance hacia la consecución de los objetivos planteados, tanto parciales como finales, y la detección de sucesos inesperados en la resolución, así como la introducción de medidas correctoras en el plan de acción cuando sea necesario.

2.2 Los videojuegos como herramienta educativa

Siguiendo a Vigotsky y Cole (1979), jugar es una actividad que constituye una parte importante del desarrollo cognitivo y social de los niños. De hecho, el juego ha sido desde siempre una actividad cotidiana de la humanidad, tanto entre niños como adultos. Por sus características, la práctica del juego combina diversos elementos de aprendizaje, de formación de la persona, de cohesión del grupo o de soporte a la comunicación. Desde esta perspectiva, Vigotsky y Cole (1979) afirman que un niño aprende jugando con los otros, ya que en muchos casos jugar conlleva situaciones y actividades más complejas que las que experimenta en su vida cotidiana.

Existe una gran cantidad de juegos que pueden incorporarse a las dinámicas educativas (Córdoba, Lara y García, 2017). Si nos centramos en los videojuegos, estos pueden considerarse, por ellos mismos, herramientas para el aprendizaje. En concreto, los videojuegos poseen características que los hacen atractivos para los jugadores y que los dotan de una gran potencialidad tanto para la adquisición de conocimientos como para desarrollar estrategias específicas (Gros, 2007). Por su parte, Charsky (2010) considera que las características esenciales de los videojuegos que los habilitan como herramientas en entornos educativos son la presencia de objetivos, la existencia de reglas bien definidas y la necesidad de tomar decisiones.

Los videojuegos se han mostrado como una herramienta formativa en entornos de educación formales por dos aspectos principales. En primer lugar, están diseñados a partir de unas normas establecidas y con la intención de proponer a los jugadores unos objetivos de juego concretos. Por otra parte, la propia naturaleza de la interacción con la máquina les permite ofrecer respuesta inmediata a las acciones de los jugadores, con lo que el nivel de interacción es muy alto (Dickey, 2005). La rapidez con la que los jugadores obtienen respuestas por parte de la máquina permite que el jugador adapte y mejore aspectos de su juego para conseguir los retos planteados. Connolly, Boyle, MacArthur, Hainey y Boyle (2012) muestran evidencias de los efectos positivos de los videojuegos como herramientas de aprendizaje. Según estos autores, los jugadores mejoran habilidades motoras y perceptivas. También mejoran habilidades cognitivas como la rotación mental, la memoria o la resolución de problemas, en un sentido no exclusivamente matemático del término.

2.3 Los videojuegos en la Educación Matemática

Las investigaciones más relevantes sobre el uso de videojuegos para el aprendizaje de las matemáticas se remontan a Rosas et al. (2003). En este estudio se usan diversos videojuegos que proponen retos y acertijos a los alumnos relacionados con contenidos matemáticos como las secuencias numéricas, problemas de adición y sustracción, la estimación y el reconocimiento de figuras geométricas. Los resultados de este estudio muestran mejoras en la motivación de los alumnos durante el trabajo en el aula, documentando un aumento en la cooperación y la interacción verbal entre los alumnos. En los últimos años se han desarrollado diversas investigaciones para estudiar el impacto de los videojuegos educativos en los aprendizajes matemáticos de los alumnos. Se han tratado dificultades como la desconfianza que genera la discalculia (Wilson, Revkin, Cohen, Cohen y Dehaene, 2006), la orientación espacial (Macías y Quintero, 2011), proporcionalidad numérica (Wouters, Oostendorp, Vrugte, Vandercruyse, Jong y Elen, 2016) o el aprendizaje de los procesos de manipulación algebraica y resolución de ecuaciones (Gutiérrez, Arnau y González, 2015). En general estos estudios muestran el poder motivacional de los videojuegos, así como avances en el aprendizaje de contenidos matemáticos concretos.

Sin embargo, otras investigaciones ponen de manifiesto algunas de las limitaciones de los videojuegos educativos dirigidos al aprendizaje de conceptos y procedimientos matemáticos. Ke (2008) observa que los objetivos del juego y los objetivos de aprendizaje propuestos no siempre están alineados. En su estudio, Ke (2008) corrobora que los estudiantes consideran más estimulante el entorno del videojuego que las actividades tradicionales de aula, pero identifica patrones de respuesta aleatorios, es decir, los alumnos basan sus respuestas en la estrategia de ensayo y error. Este tipo de comportamientos se enmarca en una actitud de juego sin reflexión que se ve promovida por la necesidad de conseguir logros y puntuaciones rápidamente. En la misma línea, Clark y Martínez-Garza (2012) evidencian que uno de los principales desafíos en el diseño de videojuegos educativos es integrar contenidos de aprendizaje en el juego y sus mecánicas narrativas.

A las limitaciones de los videojuegos educativos se enlaza la preferencia, por parte de los estudiantes, hacia videojuegos comerciales diseñados específicamente para potenciar al máximo su aspecto lúdico (Hamlem, 2011). Algunos estudios han analizado los posibles beneficios del hábito de jugar a videojuegos comerciales, determinando que aquellos juegos en los que es necesario desenvolverse en entornos tridimensionales ayudan a mejorar las capacidades de rotación mental (Feng, Spence y Pratt, 2007) o que los videojuegos de estrategia competitivos permiten desarrollar aspectos metacognitivos (Foster, Esper y Griswold, 2013). En contraposición al tipo de propuestas educativas basadas en crear videojuegos a partir de los contenidos matemáticos, Panoutsopoulos y Sampson (2012) utilizan una adaptación del videojuego comercial del género de la simulación *The Sims*. La propuesta se basa en potenciar los contenidos sobre economía doméstica que aparecen en el videojuego para estudiar su impacto sobre el aprendizaje matemático. Aunque este trabajo pone de manifiesto la necesidad de dar un soporte externo al videojuego por parte del profesor en la gestión de la actividad, se muestra el impacto positivo en la identificación de problemas matemáticos en contextos reales por parte de los estudiantes.

3. Concreción de la propuesta de taller de experimentación matemático

En lo que sigue describimos el videojuego utilizado en el taller (Figura 1), su potencialidad para promover la resolución de problemas matemáticos y la descripción de las actividades desarrolladas que incluyen los aspectos más relevantes de la actuación de los alumnos.



Fig 1. Un grupo del taller jugando al Vector Tower Defense 2 (Candystand, 2008)

3.1. El videojuego utilizado: Vector Tower Defense 2

El videojuego utilizado en nuestro taller es Vector Tower Defense 2, un videojuego del subgénero de los Tower Defense. Los videojuegos de estrategia en tiempo real (RTS por sus siglas en inglés, Real-Time Strategy) son un género de los videojuegos basados en gestionar recursos para generar unidades y derrotar al adversario. Existe una gran variedad de RTS que se caracterizan por una gran complejidad en las características del juego y requieren de una gran inversión de tiempo para conocer su funcionamiento. La toma de decisiones en un RTS es compleja, ya que intervienen un elevado número de factores a considerar. Por ello, jugar a un requiere de una gran capacidad de análisis matemático de la información intra-juego para desarrollar estrategias de juego razonadas.

Un subgénero particular de los RTS es el de los denominados Tower Defense. En este tipo de juegos el jugador debe colocar una serie de torres defensivas sobre un mapa para evitar que las

unidades del adversario consigan llegar a su objetivo. Este tipo de videojuego es de los más sencillos dentro del género y permite a los jugadores familiarizarse rápidamente con las mecánicas y características del juego. Por sus características, los Tower Defense son juegos relativamente fáciles de programar y existe una gran variedad de ellos en el mercado. Aún y su simplicidad de diseño dentro del género de los RTS, durante una partida a un Tower Defense las cuestiones estratégicas que aparecen son ricas y requieren de conocimientos de gestión de recursos, posicionamiento geométrico y toma de decisiones para conseguir los objetivos planteados.

Para nuestro taller hemos utilizado un videojuego del subgénero Tower Defense llamado Vector Tower Defense 2 (Candystand, 2008) que puede ser jugado vía web. Una partida de este videojuego se basa en eliminar las unidades del adversario, que controla la máquina y que se mueven sobre el terreno de juego, antes de que lleguen al final del camino. Para ello se dispone de diferentes tipos de torres de defensa con diferentes características: algunas atacan a un solo objetivo, otras lo hacen a varios al mismo tiempo y otras ralentizan el movimiento de las unidades enemigas. La mecánica principal del juego se basa en que cada unidad enemiga tiene una cierta cantidad de energía y cada torre defensiva produce una cierta cantidad de daño cuando dispara. En el momento en que la energía de la unidad se reduce a cero, esta desaparece. Por su parte, las torres tienen también diferentes alcances, con lo que el posicionamiento de estas en el mapa es un aspecto crucial. Por otro lado, las unidades enemigas tienen diferentes características (resistencia y velocidad) y existe un sistema de bonus que hace que cada tipo de torre tenga un efecto de daño mayor o menor sobre cada tipo de enemigo. Para poder utilizar estas torres existe un sistema de recursos que el jugador debe gestionar de forma efectiva. En cada nivel aparece una ráfaga de enemigos de la misma tipología. Por cada enemigo que sobrevive se pierde una vida. La partida finaliza cuando el marcador de vida está a 0 o cuando se consiguen superar los 50 niveles de los que consta.

Toda esta complejidad permite que una partida del juego sea un reto interesante para el jugador, que debe tomar un gran número de decisiones basadas en los diferentes elementos a controlar. La Figura 2 muestra una captura de la pantalla del videojuego en un momento avanzado de la partida en la que se pueden observar los elementos que conforman el juego. La parte central de la pantalla muestra el camino rodeado de torres y las unidades enemigas avanzando. En la parte superior se encuentran los controles básicos, el contador de recursos económicos y de las vidas. En la parte derecha se encuentran las torres a elegir y la descripción de los enemigos que aparecen en cada nivel. De esta forma los jugadores deben gestionar los recursos económicos para poder colocar las torres, pero deben también decidir qué tipo de torres utilizan y la posición en la que las ubican. Estas decisiones locales (en el campo de juego, pero también en el tiempo) se complementan con la elección de bonus y decisiones a largo plazo en la partida como la posibilidad de usar los bonus para conseguir un nivel de intereses mayor al finalizar cada nivel.

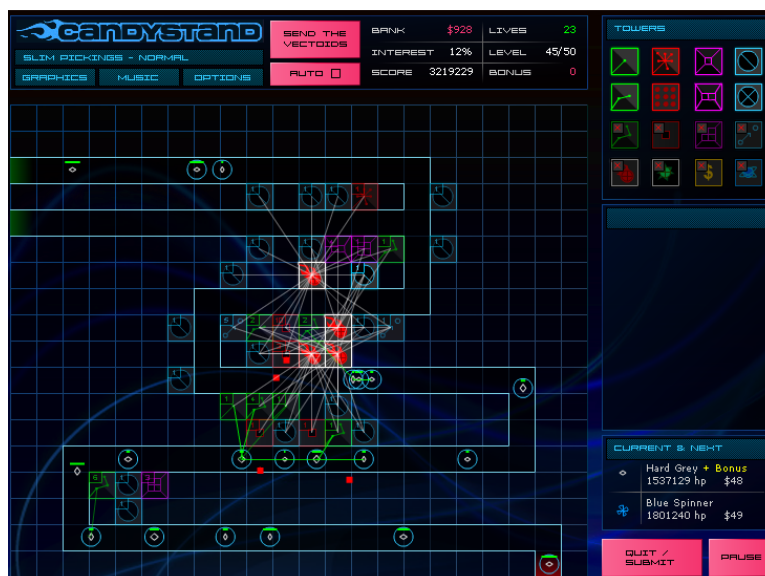


Fig. 2. Captura de pantalla del videojuego Vector Tower Defense 2

3.2. Potencialidad del videojuego utilizado para promover el razonamiento matemático

En un posicionamiento alineado con el de Panoutsopoulos y Sampson (2012), entendemos que la experiencia de juego utilizando videojuegos comerciales en el aula es más completa que aquella que proponen los videojuegos educativos. Esta afirmación se soporta en la necesidad de ser atractivos para su público objetivo y en el trabajo de diseño necesario para conseguirlo. Lo que resulta evidente es que no todos los videojuegos potencian el trabajo con contenidos matemáticos, pero existen algunos tipos de videojuegos que, por su propia naturaleza, se centran en desafíos mentales que requieren una representación espacial y numérica del contexto de juego y tomar decisiones en base a cálculos o argumentos matemáticos.

En un estudio previo comprobamos que la actividad desarrollada por alumnos de Educación Primaria y Secundaria durante el juego con Vector Tower Defense 2 es equivalente a un proceso de resolución de problemas matemáticos (Hernández-Sabaté, Joanpere, Gorgorió, y Albarracín, 2015). En concreto, se identificaron procesos de resolución de problemas como los de planificación, toma de decisiones, predicción, razonamiento y justificación. De hecho, el juego se manifiesta como una actividad de alta complejidad, donde los alumnos tienen que resolver diferentes situaciones problemáticas que aparecen durante el juego de forma simultánea generando amplios ciclos de "Observación, Planificación, Toma de decisiones". En este estudio se identifican diversos tipos de oportunidades de aprendizaje matemático motivadas por las situaciones que se presentan durante el juego. Estas oportunidades de aprendizaje matemático se relacionan con contenidos aritméticos, de relación entre variables, de proporcionalidad numérica o de medida.

En concordancia con Ferrando, Castillo y Castells (2017), se considera necesaria la intervención del docente para poder concretar en aprendizajes matemáticos las oportunidades de aprendizaje que el videojuego promueve. El motor de la experiencia es conseguir alcanzar el nivel más alto posible dentro del juego a partir de estudiar las posibilidades de diversas estrategias. Para ello es necesario explicar los fenómenos intrajuego mediante el lenguaje matemático y así poder diseñar experimentos que permitan identificar y comunicar estrategias de juego ganadoras.

3.3 Actividades del taller

La actividad dura 2 horas y 15 minutos y se realiza en parejas con el objetivo de promover la discusión entre los alumnos. Las actividades propuestas se estructuran siguiendo las fases del

proceso de resolución de problemas definidas en el marco teórico del estudio PISA 2012 (OECD, 2013). La concreción de las actividades del taller es la siguiente:

a) Juego libre (30 minutos):

El objetivo en esta fase del taller es que los alumnos exploren libremente para introducirse en la dinámica básica del juego y que ellos mismos se respondan cuestiones sobre aspectos más avanzados usando la información matemática que puedan obtener. Esto potencia la funcionalidad de los aprendizajes, ya que los alumnos observan como la información matemática les ayuda avanzar en el juego.

La actividad empieza con una descripción básica de la mecánica de juego (movimiento de los enemigos, colocación de torres, sistema de economía del juego...) y los alumnos pasan a jugar libremente. El docente gestiona las dudas que van surgiendo sobre aspectos más avanzados del juego (los tipos de torres, sus características, el significado de cada elemento...). También resuelve problemas técnicos y ayuda con la traducción al inglés de los textos que aparecen en el juego. En esta parte de la actividad es importante que el docente destaque la presencia de elementos matemáticos en el videojuego que acostumbran a pasar desapercibidos sin proporcionar interpretaciones sobre la utilidad de las torres o las sinergias que aparecen cuando se combinan. Por ejemplo, en la descripción de las torres (ver un ejemplo en la Figura 3) aparece información sobre el coste y la potencia de la torre en cantidades absolutas y el daño específico que hace a dos tipos de enemigos en porcentaje. Además de esta información cuantitativa se ofrece una descripción del tipo de disparo que incluye una comparativa de la potencia con otra torre. Todos estos parámetros influyen directamente sobre qué torre colocar en un momento del juego, pero no se pueden analizar de forma aislada.



Fig. 3. Detalle de la descripción de una torre

b) Proceso de matematización (30 minutos):

En este momento se pide a los alumnos que apaguen las pantallas del ordenador y en gran grupo se comenta si se han entendido los objetivos del juego, todas las mecánicas para poder jugar y la forma de conseguir buenos resultados. El juego consta de 50 niveles, pero en las primeras aproximaciones los alumnos no suelen superar el nivel 15, aunque algunos alumnos más experimentados pueden llegar al nivel 20 o 25. En este punto se inicia una discusión para tratar de conseguir estrategias que les permitan llegar a niveles más altos en el videojuego. De esta forma el docente guía la conversación hacia definir el concepto de la "mejor estrategia posible". Dada la dificultad de abordar esta pregunta, se solicita a los alumnos que traten de definir un criterio para decidir si una estrategia es mejor que otra. Para ello se solicita a los alumnos que compartan y expliciten las primeras propuestas de estrategia que han generado, así como la concreción de las acciones llevadas a cabo. Esta discusión pone de manifiesto dos hechos: i) una misma estrategia general puede ser concretada de diversas formas diferentes en el juego, que difieren en pequeñas acciones y que pueden llevar a resultados distintos, y ii) se observa la necesidad de crear un código para registrar las acciones llevadas a cabo en cada nivel de forma precisa y así poder comparar y reproducir estrategias. Este último hecho lleva a la construcción

compartida de un código que incluya los siguientes elementos: un sistema de referencia para determinar la ubicación de una torre o un bonus y un sistema de símbolos para denominar los elementos básicos del juego. En la Figura 4 se muestra un código consensuado por los alumnos en una de las sesiones.

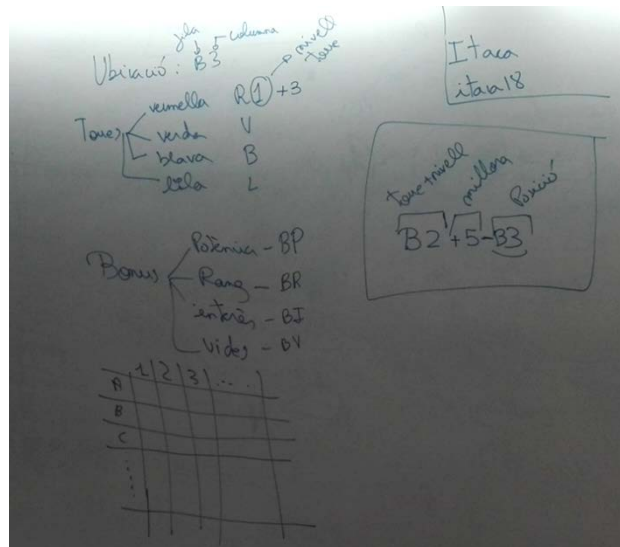


Fig. 4. Generando un código para registrar acciones en el juego

En el ejemplo de la Figura 4 los alumnos deciden combinar las letras del abecedario (eje vertical) y números (eje horizontal) para definir la ubicación de los objetos. Después se definen códigos para la tipología de torre, el nivel de la torre y las mejoras hechas a la torre, así como símbolos para cada tipo de bonus. En este proceso surgen cuestiones relativas al significado unívoco de cada símbolo. Por ejemplo, es habitual que los alumnos decidan utilizar la inicial del color de cada torre como símbolo para denotarlas. En catalán, rojo y verde (*vermell* y *verd*, respectivamente) empiezan por la misma inicial. Los propios alumnos se dan cuenta que no pueden utilizar el mismo símbolo para denotar dos torres diferentes porque llevaría a confusión y deciden modificar uno de los símbolos. Otra forma de controlar la ambigüedad en el sistema de códigos que utilizan los alumnos es considerar la posición que ocupa un símbolo para determinar su significado. Por ejemplo, B2 puede referirse a la posición de un objeto (fila B, columna 2) pero también a torre azul (blava, en catalán) de nivel 2. Los alumnos en vez de cambiar los símbolos deciden que para registrar una acción escribirán primero la torre y su nivel, después la mejora y después la ubicación de esa torre. De esta forma surgen códigos como B2+5B3 que representa la acción de poner una torre azul de nivel 2 mejorada a nivel 5 en la fila B con la columna 3.

El papel del profesor en este momento es de transcriptor de lo que los alumnos proponen, escribe en la pizarra sus propuestas para definir el sistema de códigos que se decide por consenso.

Otra posibilidad de código que usan los alumnos es el siguiente:

Nivel 1	V2 (R-13)
Nivel 2	R1 (G-7); A1 (G-8)
Nivel 3	L1 (R-14); A1 (R-12)
Nivel 4	...

Tabla 1. Ejemplo de sistema de códigos generado por alumnos

Los alumnos generan tablas en las que se temporizan las acciones por niveles y escriben los datos relativos a cada acción efectuada en ese nivel, como es el caso del nivel 2 de la Tabla 1 en el que primero colocan una torre Roja de nivel 1 en la posición de la fila G - columna 7 y después una torre Azul de nivel 1 en la posición contigua de la fila G – columna 8.

c) *Experimentación para desarrollar y validar estrategias de juego* (60 minutos):

En esta fase de la actividad se promueve que los alumnos consensuen en gran grupo un objetivo compartido que servirá para evaluar posteriormente las estrategias que desarrollen (ejemplos: llegar al nivel más alto posible, perder el mínimo de vidas hasta el nivel 15, conseguir el máximo de puntos...). Se invita a cada pareja de alumnos a diseñar y probar diversas estrategias y documentar las acciones realizadas usando el sistema de códigos consensuado. Durante esta fase, se pueden negociar nuevos códigos y parámetros a tener en cuenta que no se habían considerado en la fase anterior y que los alumnos necesitan según van documentando sus estrategias.

De esta forma, la clase trabaja colaborativamente en la resolución de un problema propio del juego que se enuncia como: ¿cuál es la estrategia que más permite acercarse al objetivo de juego planteado? Este problema puede descomponerse en el estudio de diversas situaciones de juego conflictivas. Un ejemplo son los niveles en los que los enemigos se mueven por la pantalla a gran velocidad. Los alumnos se enfrentan a estas situaciones conflictivas a partir de la experimentación, ejecutando estrategias distintas y anotando los resultados obtenidos, con lo que la actividad se transforma en un estudio de optimización. En este caso la variable es la estrategia que proponen y la función es una medida de éxito relacionada con el objetivo marcado (mayor nivel alcanzado, puntuación, etc...).

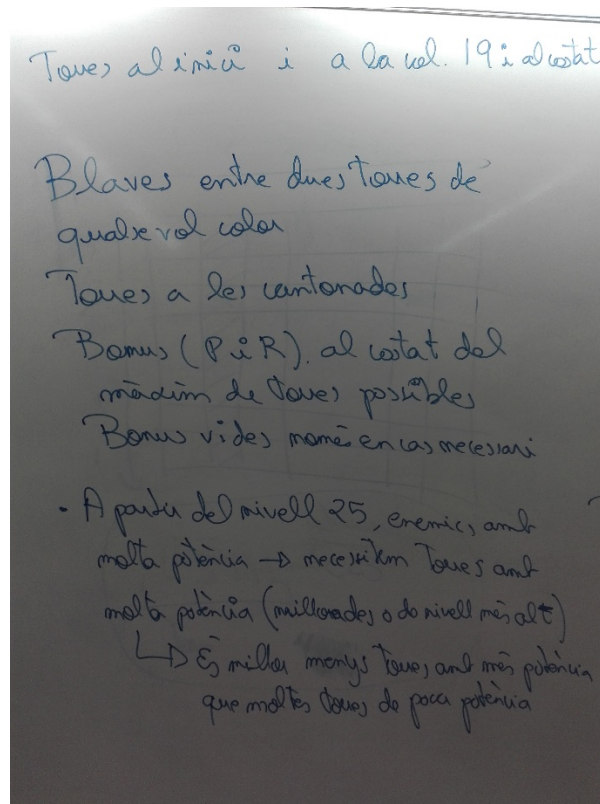


Fig. 5. Resumen de estrategias validadas generadas durante la fase de experimentación

Finalmente, se ponen en común diversas estrategias tratando de decidir cuál es la mejor para conseguir el objetivo marcado (Fig. 5). En esta fase es importante que el docente explicite que

la discusión es posible porque se han fijado previamente los objetivos y un código común para expresar las acciones en el juego. Esta fase acaba con un periodo final de juego libre, para que los alumnos puedan implementar las estrategias que han pulido y validado en las fases anteriores, así como para poder utilizar aquellas propuestas por sus compañeros.

d) *Discusión final* (15 minutos):

El docente abre una fase de discusión para que los alumnos reflexionen sobre sus progresos en el juego. En este momento los alumnos consiguen alcanzar el nivel 25 y en muchos casos sobrepasan el nivel 40, con lo que el progreso de los alumnos en el juego se hace evidente. A partir de esta evidencia se discuten los factores que han permitido este progreso, que los alumnos identifican como: i) el intercambio de ideas y propuestas con sus compañeros (potenciadas por el hecho de disponer de un código común), ii) identificar aspectos matemáticos en el juego (distancias en el mapa, relaciones numéricas, proporcionalidad...), y iii) la experimentación guiada para medir la adecuación de las estrategias propuestas al objetivo de juego fijado.

4. Resultados

En esta sección damos cuenta de los resultados cualitativos que se derivan de la experimentación del taller en 16 sesiones de trabajo en las que intervinieron 24 alumnos de 3º de ESO (13-14 años) distintos en cada sesión. El punto de partida es el estudio previo detallado en (Hernández-Sabaté, Joanpere, Gorgorió, y Albarracín, 2015) en el que se observa que jugar al Vector Tower Defense 2 es equivalente a una actividad de resolución de problemas y en el que aparecen oportunidades de aprendizaje matemático. En el juego libre los alumnos no desarrollan métodos específicos para enfrentarse a los retos que propone el videojuego y es la intervención del docente la que promueve el desarrollo de la actividad matemática. A continuación, destacamos los aspectos fundamentales promovidos por la actividad del taller:

i) *Necesidad del lenguaje matemático para superar las ambigüedades.*

El videojuego propone un tipo de actividad compleja en la que los alumnos disponen de una gran cantidad de opciones para elegir en cada acción del juego. Uno de los aspectos clave de la intervención del docente es provocar la necesidad de establecer un código que identifique de forma única cada elección posible. Este aspecto conecta con las características del lenguaje matemático, orientado a expresar conceptos y relaciones desde el punto de vista formal.

ii) *Experimentos específicos en el juego*

En el juego libre los alumnos tratan de resolver las situaciones problemáticas a partir de una estrategia de ensayo y error, en línea con la literatura (Ke, 2008). Además, los alumnos tienden a no querer abandonar la partida en la que se encuentran inmersos. Por ello es necesario promover un espacio para la experimentación sintética dentro del videojuego. Se solicita a los alumnos que transporten sus dudas en la elección de torres a experimentos concretos en los que puedan comparar los beneficios de cada una de las opciones. Para ello también es necesario definir una forma de valorar cada una de las opciones. Este hecho promueve la conexión entre los objetos intrajuego con los contenidos matemáticos de las relaciones funcionales en un contexto real.

La naturaleza de los experimentos que diseñan los alumnos es muy diversa. Desde la comparación directa entre dos tipos de torre, la comparación de la eficiencia de configuraciones de torres que tienen el mismo coste total o la elección de las mejores posiciones para ubicar las torres más valiosas. En todos estos experimentos participa de forma clave el concepto de optimización que no es explícito para los alumnos y debe ser destacado por el docente. Véase

por ejemplo la última estrategia validada mostrada en la Fig. 5 donde se concluye en grupo que, debido al aumento de la potencia de las unidades enemigas, a partir del nivel 25 es mejor gastar los recursos en mejorar torres que en comprar muchas torres. Se optimizan los recursos para obtener el mayor nivel de potencia en las torres.

Debemos destacar que inicialmente los alumnos no diseñan experimentos propios y se limitan a replicar las propuestas proporcionadas, pero rápidamente pasan a proponer sus propios experimentos en función de las necesidades que propone el videojuego. De esta forma, la intervención del profesor permite introducir un tipo de actividad no prevista por los alumnos y que de ninguna forma está promovida por el propio videojuego.

iii) El análisis matemático permite jugar mejor

Durante el taller los alumnos tratan de conseguir alcanzar los niveles más altos del juego. En las primeras partidas los alumnos viven situaciones en las que pierden el control de la situación intrajuego sin poder explicar la cadena de decisiones que les lleva a perder la partida. Conforme utilizan el código consensuado aumenta su capacidad de tratar de forma específica los eventos del juego. Al mismo tiempo, los experimentos y las discusiones entre los distintos alumnos les permite acumular un conjunto de conocimientos que refuerza su toma de decisiones. Este hecho se manifiesta de forma clara en el rápido aprendizaje intrajuego, motivado por el tipo de análisis realizado. Rápidamente los alumnos identifican que las actividades complementarias al juego propuestas les permiten alcanzar niveles mucho más altos que los que inicialmente alcanzaban.

En paralelo, al avanzar en el juego los alumnos se enfrentan a situaciones nuevas que requieren de experimentos específicos. De esta forma, el análisis matemático de las situaciones de juego permite el avance de los alumnos hasta que se enfrentan a nuevas situaciones que deben ser estudiadas. Este proceso de retroalimentación entre actividad matemática y videojuego se sostiene por dos aspectos esenciales: por un lado el diseño del propio videojuego que posee un diseño de niveles adecuado, por el otro lado la intervención del docente para proporcionar herramientas a los alumnos para superar las dificultades que presenta el videojuego.

5. Reflexiones finales

Desde el punto de vista de promover la resolución de problemas, el taller presentado en este artículo muestra una vía para desarrollar y concretar la potencialidad en el aula de los videojuegos como una herramienta de aprendizaje. Constatamos que es necesario estimular a los alumnos a pensar matemáticamente al jugar al videojuego y entendemos que la labor del docente es guiar su actividad para promover procesos de resolución de problemas que concuerden con los objetivos educativos de la Educación Secundaria. La implementación del taller muestra que los alumnos experimentan los procesos de resolución de problemas matemáticos en plenitud, ya que identifican por ellos mismos problemas intrajuego que deben ser superados, los expresan y representan formalmente, desarrollan estrategias de juego que deben validar y generan resultados que pueden implementar en partidas posteriores. Para generar la dinámica presentada es indispensable que el docente encargado de llevar a cabo el taller guíe a los alumnos de forma clara para potenciar la experimentación y la necesidad de utilizar códigos comunes, mientras explicita las conexiones de las decisiones tomadas con los diferentes contenidos matemáticos que aparecen en el proceso de juego y con las fases de resolución de problemas.

Durante la implementación del taller hemos observado un proceso que merece especial atención y que debería poder corroborarse en futuros trabajos. Tal y como se ha especificado en el texto, en la primera aproximación al videojuego los alumnos obtienen resultados discretos. Esto es debido a que es sencillo hacerse con las mecánicas de juego, pero no es tan fácil tomar

las decisiones adecuadas. Con las primeras partidas en la fase de juego libre los alumnos mejoran sus resultados, pero de forma poco relevante. Es a partir de la experimentación basada en el análisis matemático de las situaciones problemáticas del juego y de compartir sus estrategias que consiguen llegar a los niveles más altos. Los alumnos perciben la importancia del trabajo matemático en su mejora de rendimiento y se genera un ciclo virtuoso en el que las matemáticas permiten avanzar en el juego, pero mientras se avanza, el juego ofrece retos mayores. De esta forma se pone de manifiesto para los alumnos la potencialidad de las matemáticas para entender y resolver situaciones complejas que les aparecen en el juego y que pueden conectarse con situaciones complejas en la vida cotidiana.

Referencias bibliográficas

- Arcavi, A., & Friedlander, A. (2007). Curriculum developers and problem solving: The case of Israeli elementary school projects. *ZDM The International Journal on Mathematics Education, 39*(5–6), 355–364.
- Arealillo-Herráez, M., Arnau, D., & Marco-Giménez, L. (2013). Domain-specific knowledge representation and inference engine for an intelligent tutoring system. *Knowledge-Based Systems, 49*, 97–105.
- Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games: A change in the use of game characteristics. *Games and culture, 5*(2), 177-198.
- Clark, D. B., & Martínez-Garza, M. (2012). Prediction and Explanation as Design Mechanics in Conceptually Integrated Digital Games to Help Players Articulate the Tacit Understandings They Build through Game Play. En C. Steinkuhler, K. Squire, y S. Barab (Eds.), *Games, learning, and society: Learning and meaning in the digital age* (pp. 279-305). Cambridge University Press.
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education, 59*(2), 661-686.
- Córdoba, E.F., Lara, F., & García, A. (2017). El juego como estrategia lúdica para la educación inclusiva del buen vivir. *ENSAYOS, Revista de la Facultad de Educación de Albacete, 32*(1), 81-92.
- Dickey, M. D. (2005). Engaging by design: How engagement strategies in popular computer and video games can inform instructional design. *Educational Technology Research and Development, 53*(2), 67-83.
- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological science, 18*(10), 850–855.
- Ferrando, I., Castillo, J., & Castells, M. P. (2017). Videojuegos de estrategia en Educación Matemática: Una propuesta didáctica en secundaria. *Epsilon, 97*, 23-42.
- Foster, S. R., Esper, S., & Griswold, W. G. (2013). From competition to metacognition: designing diverse, sustainable educational games. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 99–108). ACM
- Gros, B. (2007). Digital games in education: The design of games-based learning environments. *Journal of Research on Technology in Education, 40*(1), 23–38.
- Gutiérrez, J., Arnau, D., & González, J. A. (2015). Un estudio exploratorio sobre el uso de dragonbox algebra como una herramienta para la enseñanza de la resolución de ecuaciones. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete, 30*(1), 33–44.

- Grugnetti, L., & Jaquet, F. (2005). A mathematical competition as a problem solving and a mathematical education experience. *The Journal of Mathematical Behavior*, 24(3-4), 373-384.
- Hamlen, K. R. (2011). Children's choices and strategies in video games. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 532-539.
- Hernández-Sabaté, A., Joanpere, M., Gorgorió, N., & Albarracín, L. (2015). Mathematics learning opportunities when playing a Tower Defense Game. *International Journal of Serious Games*, 2(4), 57-71.
- Ke, F. (2008). A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay? *Computers & Education*, 51(4), 1609-1620.
- Lesh, R., & Zawojewski, J. (2007). Problem-solving and modelling. In Lester, F. K. (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning*. Reston: NCTM.
- Lester, F. K. (1994). Musings about mathematical problem-solving research: 1970-1994. *Journal for Research in Mathematics Education*, 25(6), 660-675.
- Macías, G., & Quintero, R. (2011). Los videojuegos como una alternativa para el estudio y desarrollo de la orientación espacial. En Investigación en educación matemática XV, (pp. 405-416). Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática, SEIEM.
- OECD (2013). *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework: Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*. París: PISA, OECD Publishing.
- Özyurt, Ö., Özyurt, H., Güven, B., & Baki, A. (2014). The effects of uzwebmat on the probability unit achievement of turkish eleventh grade students and the reasons for such effects. *Computers & Education*, 75, 1-18.
- Panoutsopoulos, H., & Sampson, D. G. (2012). A study on exploiting commercial digital games into school context. *Educational Technology & Society*, 15(1), 15-27.
- Pólya, G. (1945). *How to solve it*. New Jersey: Princeton University Press.
- Premsky, M. (2001). *Digital game-based learning*. New York: McGraw-Hill.
- Rosas, R., Nussbaum, M., Cumsille, P., Marianov, V., Correa, M., Flores, P., Grau, V., Lagos, F., López, X., López, V., Rodríguez, P., & Salinas, M. (2003). Beyond Nintendo: design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers & Education*, 40(1), 71-94.
- Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving*. Academic Press.
- Schoenfeld, A. H. (1992). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense-making in mathematics. In Grouws, D. (Ed.), *Handbook for research on mathematics teaching and learning*. New York: MacMillan.
- Schoenfeld, A. H. (2007). Problem solving in the United States, 1970-2008: Research and theory, practice and politics. *ZDM The International Journal on Mathematics Education*, 39(5-6), 537-551.
- Vorhölter, K., Kaiser, G., & Borromeo Ferri, R. (2014). Modelling in mathematics classroom instruction: An innovative approach for transforming mathematics education. In Y. Li, E. Silver & S. Li (Eds.), *Transforming Mathematics Instruction. Multiple Approaches and Practices* (pp. 21-36). Dordrecht: Springer.
- Vigotsky, L. S., & Cole, M. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica Barcelona.

- Wilson, A. J., Revkin, S. K., Cohen, D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of “the number race”, an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and brain functions*, 2(1), 1.
- Wouters, P., Oostendorp, H., Vrugte, J., Vandercruysse, S., Jong, T., & Elen, J. (2016). The effect of surprising events in a serious game on learning mathematics. *British Journal of Educational Technology*, 43(4), 540–560.