

Los videojuegos como objeto de investigación incipiente en Educación Matemática

Videogames as an incipient research object in Mathematics Education

Lluís Albarracín

PROFESSOR SERRA-HÜNTER A LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

lluis.albarracin@uab.cat

Aura Hernández-Sabaté

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA Y CENTRE DE VISIÓ PER COMPUTADOR

aura@cvc.uab.cat

Núria Gorgorió

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

nuria.gorgorio@uab.cat

Abstract

This article presents a review of research made in the field of mathematics education on the use of video games in the classroom. These investigations have focused on four areas: impact in academic performance focused on mathematical contents, specific mathematical contents learning, videogame design elements for mathematical learning and relation between videogames and problem solving. Finally, we propose two research new approaches that have not been explored so far, like the use of commercial videogames for mathematical activities or the use of simulation games as environment to promote mathematical modeling.

En este artículo presentamos una revisión de las investigaciones realizadas en el ámbito de la Educación Matemática sobre el uso de videojuegos en las aulas. Hemos identificado cuatro aspectos que han centrado estas investigaciones: el impacto sobre el rendimiento académico en matemáticas, el aprendizaje de contenidos matemáticos concretos, los elementos de diseño de videojuegos para el aprendizaje de las matemáticas y la relación entre los videojuegos y la resolución de problemas. Finalmente, proponemos dos nuevos enfoques de investigación que todavía no han sido explorados, como el uso de videojuegos comerciales para desarrollar actividades matemáticas o el uso de videojuegos de simulación como entorno para promover la modelización matemática.

Keywords: Videogames, mathematical content, problem solving, simulation.

Palabras clave: Videojuegos, contenidos matemáticos, resolución de problemas, simulación.

1. Introducción

Los videojuegos han ido adquiriendo mayor presencia pública en las últimas décadas; han trascendido su papel inicial de fuente de entretenimiento para los más pequeños y se han convertido en un producto cultural. Su público objetivo ha ampliado su rango de edad al aumentar el número y tipo de dispositivos en los que es posible jugar, desde los ordenadores a los dispositivos móviles, pasando por las consolas. En paralelo, los videojuegos han experimentado una evolución enorme en cuanto a la calidad de los gráficos implementados y a la variedad de mecánicas de juego. Esta evolución se ha visto acompañada por la creación de múltiples géneros de videojuegos así como por diseños que mejoran la jugabilidad e incrementan las posibilidades de crear desafíos para los jugadores. En este sentido, el diseño de determinados videojuegos -entendido como el conjunto de reglas, objetivos y retos que definen el juego, que producen la interacción con el usuario (el jugador) y promueven su toma de decisiones-, la inmediatez de las respuestas en pantalla y el hecho que la actividad tenga su foco en las acciones de los propios jugadores-alumnos hacen de los videojuegos una herramienta con un gran potencial didáctico y educativo (Prensky, M., 2001).

En este artículo nos centramos en recopilar las investigaciones que tratan el uso de videojuegos como herramienta de aprendizaje en las aulas de matemáticas desde dos perspectivas distintas. Por una parte, revisamos los estudios centrados en las posibilidades de diferentes tipos de videojuegos que han sido usados o diseñados con el objetivo de trabajar contenidos o procesos relacionados con las matemáticas. En segundo lugar, detallamos el potencial didáctico de los videojuegos comerciales para promover la resolución de problemas y la modelización en las aulas de matemáticas. De esta forma el objetivo principal de este artículo es identificar los primeros avances en la investigación sobre el uso de videojuegos en el aula de matemáticas para determinar las posibles direcciones a seguir en futuros estudios.

2. Investigaciones sobre videojuegos y Educación Matemática

Jugar, en la vertiente más amplia del término, es una actividad que constituye una parte importante del desarrollo cognitivo y social de los niños y, de hecho, los juegos han sido desde siempre una actividad cotidiana de la humanidad. K. Salen and E.Zimmerman (2004) definen juego como *“a system in which players engage in artificial conflict, defined by rules, that results in a quantifiable outcome”* (p. 80). En la práctica del juego existen diversos elementos de aprendizaje, de formación, de cohesión o de soporte a la comunicación. Desde esta perspectiva, L. S. Vigotsky y M. Cole (1979), afirman que un niño aprende a partir de jugar con los otros, ya que en muchos casos jugar conlleva situaciones y actividades más complejas que las que experimenta en su día a día.

El juego está relacionado íntimamente con la creación de conceptos matemáticos. A. Bishop (1991) describe las matemáticas como una tecnología simbólica que está caracterizada por las actividades universales de contar, localizar, medir, diseñar, jugar y explicar. La ejecución de estas actividades incluye diversos conceptos y potencialidades matemáticas. Para M. de Guzmán (2007), los juegos están relacionados con el aprendizaje de las matemáticas, ya que requieren relacionarse con unas reglas, incitan al uso de aquellas técnicas que llevan al éxito y permiten desarrollar patrones de juego complejos, equivalentes a problemas matemáticos.

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 como instrumentos para aprender o desarrollar estrategias específicas y para la adquisición de conocimientos (Gros, B.,

2007). D. Charsky (2010), considera que las características esenciales de los videojuegos que los habilitan como herramientas en entornos educativos son la competición, la presencia de objetivos, la existencia de reglas bien definidas y la necesidad de tomar decisiones.

Los videojuegos presentan la oportunidad de desenvolverse en entornos simulados, con lo que los jugadores pueden ser los protagonistas principales de la actividad. De esta forma, permiten y estimulan el desarrollo intelectual de los jugadores a partir de presentar situaciones en las que la toma de decisiones es esencial (Ke, F., 2009). Como simulaciones, los videojuegos proporcionan a los jugadores la oportunidad de pensar, entender, preparar y ejecutar acciones, así como la posibilidad de jugar colaborativamente en juegos multijugador masivos y colaborar en equipo mientras comparten conocimientos y habilidades (Gee, J. P., 2003).

Los videojuegos se han mostrado como una atractiva herramienta formativa en entornos de educación formales por dos aspectos principales. Por un lado, están diseñados a partir de normas y objetivos concretos. Por otro lado, la naturaleza de la interacción con la máquina les permite ofrecer respuesta inmediata a las acciones de los jugadores (Dickey, M. D., 2005). La rapidez con la que se obtienen respuestas o diferentes tipos de feedback a las acciones realizadas permiten que el jugador adapte y mejore aspectos de su juego para conseguir los retos que el videojuego plantea.

En diversas investigaciones se han observado evidencias de los efectos positivos de los videojuegos como herramientas de aprendizaje, incluso en entornos no educativos. T. M. Connolly et al. (2012) realizaron una revisión sistemática de la literatura existente e identificaron aquellos estudios que ofrecen evidencia empírica del impacto positivo de los videojuegos sobre diferentes aspectos relacionados con el aprendizaje escolar. En su trabajo encontraron evidencias de mejora en habilidades motoras y perceptivas, así como en habilidades cognitivas como la rotación mental, la memoria o la resolución de problemas, en un sentido amplio del término. Estos investigadores también documentan beneficios en habilidades sociales para aquellos videojuegos que promueven los aspectos cooperativos del juego.

R. Rosas et al. (2003) han corroborado que la introducción de videojuegos educativos en las aulas produce mejoras en la motivación de los alumnos por el aprendizaje, al mismo tiempo que potencia la adquisición de conocimientos de tipo tecnológico. Además, se han evidenciado logros escolares como mejoras en la comprensión de conceptos algebraicos o incrementos en la comprensión lectora (McFarlane A. et al, 2002).

Por otra parte, se ha comprobado que los videojuegos educativos no son los que más interesan a los estudiantes, que prefieren jugar a videojuegos comerciales que están diseñados para potenciar su aspecto lúdico (Hamlen, K. R., 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, J. et al., 2007) o que los videojuegos de estrategia competitivos permiten desarrollar aspectos metacognitivos (S. R. Foster et al., 2013).

3. Los videojuegos en Educación Matemática

Las posibilidades de innovación en las aulas de matemáticas se han incrementado con la llegada de los soportes y contenidos digitales, aunque todavía no se hayan explorado en profundidad muchas de las posibilidades que presentan. Varias aplicaciones se han introducido con éxito en las aulas, como es el caso del uso de software de geometría dinámica, como *Geogebra*¹

¹www.geogebra.org

o *Cabri*², o los entornos de programación, que han evolucionado desde *LOGO*³ hasta *Scratch*⁴. A medida que las tecnologías han ido evolucionando se han desarrollado nuevas herramientas como pueden ser los entornos virtuales de aprendizaje (Özyurt, Ö. et al., 2014), los sistemas inteligentes de tutorización (M. Arevalillo-Herráez et al., 2013) o los softwares de representación gráfica dinámica de funciones (Radford, L., 2009).

En un repaso por las investigaciones sobre el uso de videojuegos en el área de la Educación Matemática podemos observar que se han iniciado algunas líneas de trabajo aunque todavía no se están investigando de forma sistemática. En concreto, hemos clasificado estos estudios en los siguientes focos de atención: 1) estudios sobre la mejora en el rendimiento académico de los alumnos en matemáticas, 2) estudios sobre el soporte que ofrecen los videojuegos para el aprendizaje de contenidos matemáticos concretos, 3) exploración de los elementos de diseño de videojuegos determinantes para el aprendizaje de las matemáticas, y 4) análisis de las posibilidades de los videojuegos como entornos de resolución de problemas.

3.1. Videojuegos para incentivar mejoras en el rendimiento matemático

A continuación mostramos una recopilación de los estudios centrados en determinar el impacto del uso de videojuegos orientados al aprendizaje de las matemáticas sobre los resultados académicos en pruebas de conocimiento matemático general.

En el primer artículo aparecido en este ámbito, R. Rosas et al. (2003) describen una investigación con diversos videojuegos que proponen retos y acertijos a los alumnos. Estos videojuegos promueven el trabajo de los alumnos con contenidos matemáticos como son las secuencias numéricas, problemas de adición y sustracción, la estimación y el reconocimiento de figuras geométricas. Los resultados de este estudio muestran un aumento 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. Asimismo, los alumnos participantes mejoran significativamente sus resultados en un test de conocimientos matemáticos a un nivel mayor que los alumnos del grupo de control que no utilizaron videojuegos.

En un estudio en el que se analiza el comportamiento de los alumnos con minijuegos diseñados para el aprendizaje de las matemáticas a los que se accede vía web, F. Ke (2008) observa que un aspecto clave del diseño de estos juegos es la relación entre los objetivos del videojuego y los objetivos de aprendizaje, que no siempre coinciden. Este hecho se ve respaldado por el trabajo de D. B. Clark y M. Martínez-Garza, Mario (2012) que evidencian que uno de los principales desafíos en el diseño de videojuegos orientados al aprendizaje es integrar o incorporar los contenidos de aprendizaje en el juego y sus mecánicas narrativas. En su estudio, F. Ke (2008) corrobora que los estudiantes consideran más estimulante el entorno del videojuego que las actividades en formato habitual, pero identifica patrones de respuesta aleatorios en las respuestas (clicks en pantalla sin sentido) que no se dan en las actividades tradicionales. Este comportamiento se enmarca en una actitud de juego sin reflexión que se ve motivada por la necesidad de conseguir rápidamente logros en el juego. En este estudio, F. Ke (2008) no observa mejoras significativas en el rendimiento matemático a partir de una estrategia de test y post-test. En la misma línea, M. van den Heuvel-Panhuizen et al. (2013). utilizan un videojuego *online* diseñado para trabajar la resolución de problemas en pre-álgebra. Este videojuego propone una secuencia de problemas a los alumnos y monitorea su trabajo. Los resultados muestran que el trabajo *online* mejora los resultados relativos a la resolución de problemas, pero lo hace a

²www.cabri.com

³www.el.media.mit.edu/logo-foundation/

⁴www.scratch.mit.edu

partir de estrategias que no son utilizadas de la misma forma en entornos habituales de trabajo matemático en el aula, como la estrategia de ensayo y error.

J. Gutiérrez et al. (2015) han utilizado un videojuego llamado *DragonBox Algebra* orientado a la enseñanza de la manipulación algebraica -incluyendo la resolución de ecuaciones, el trabajo con paréntesis o la sustitución de términos algebraicos- a partir de proponer diversos sistemas de representación. Los resultados del estudio en una evaluación test y post-test muestran que los alumnos mejoran significativamente en la resolución de ecuaciones después del juego y que incorporan procesos extraídos de las mecánicas de juego al trabajo algebraico.

Por su parte, M. Kebritchi et al. (2010) realizan un estudio centrado en investigar los aspectos motivacionales y los de análisis del rendimiento matemático de los alumnos de Educación Secundaria. Para ello utilizan un tipo de investigación mixto en el que combinan los resultados de tests de conocimientos matemáticos y de motivación académica con entrevistas personales a los alumnos. Para este trabajo utilizan los videojuegos *Evolver* y *Meltdown* (Figura 1) de la empresa de videojuegos educativos *DimensionU*⁵. Estos videojuegos imitan las mecánicas de los videojuegos comerciales (de disparos o de carreras) pero introducen preguntas y actividades de tipo matemático durante el juego que deben ser resueltas para poder continuar jugando. Este aspecto de diseño invasivo en la experiencia de juego permite obtener mejoras significativas en los aprendizajes de los contenidos tratados (de tipo algebraico). En concreto, los alumnos que utilizaron el juego para preparar las pruebas públicas finales del curso obtuvieron mejores resultados que los que siguieron una instrucción tradicional. En cambio, en este estudio no se observa un aumento en la motivación de los alumnos al utilizar este tipo de videojuegos.



Figura 1: Capturas de los videojuegos *Evolver* (izquierda) y *Meltdown* (derecha)

En un trabajo posterior del mismo equipo de investigación, H. Bai et al. (2012) utilizan otro videojuego de la compañía *DimensionU* (*Tabula Digita*, en este caso) en el que se han implementado mejoras en las dinámicas de juego, como es el juego cooperativo. Los resultados en este segundo estudio van en la línea de corroborar la mejora en los resultados de conocimiento matemático sobre álgebra, a la vez que muestran un evidente progreso en los aspectos motivacionales hacia la propuesta de aprendizaje que consideran fundados en los cambios a nivel de diseño en el videojuego.

3.2. Videojuegos para tratar contenidos matemáticos concretos

El impacto de los videojuegos En otros trabajos se estudia el impacto del uso de videojuegos diseñados para potenciar el aprendizaje de contenidos matemáticos específicos.

⁵www.dimensionu.com

En uno de los primeros trabajos centrado en mejorar contenidos matemáticos concretos, A. J. Wilson et al. (2006) crearon un videojuego adaptativo diseñado para tratar la discalculia con alumnos con dificultades de aprendizaje en matemáticas. Los resultados indicaron un aumento en el rendimiento matemático de los niños en el núcleo tareas de contenido numérico, así como una mejora en cuanto a su confianza en sus habilidades matemáticas.

G. Macías et al. (2011) realizan un estudio de tipo cualitativo en el que participan alumnos de entre 10 y 12 años jugando a videojuegos de aventuras que se desarrollan en entornos tridimensionales realistas, como son *Fable* y *Sacred*. Estos autores valoran estos videojuegos como escenarios apropiados para dirigir la atención de los alumnos hacia las propiedades y relaciones espaciales y para el desarrollo de la orientación espacial. Destacan también que los escenarios propuestos presentan ventajas dinámicas sobre las representaciones estáticas como son los mapas, para llevar a cabo tareas como descripciones de trayectos y elaboración de representaciones. Los resultados muestran que los alumnos utilizan adecuadamente el sistema referencial del entorno, pero solo una parte de ellos lo proyectan adecuadamente sobre el personaje del videojuego. Este hecho sugiere que la actividad sobre el videojuego debería ser complementada por el profesor.

A. Chow et al. (2011) utilizan una versión online del juego *Deal or not deal*, un videojuego de simulación de apuestas, y comprueban que los alumnos mejoran en su conocimiento sobre valores esperados en un curso introductorio a la estadística al mismo tiempo que mejoran su capacidad general para procesar información y tomar decisiones lógicas.

En un estudio reciente, K. Kiili et al. (2015). utilizan dos videojuegos en una misma propuesta didáctica con alumnos de los primeros cursos de Educación Primaria. Los videojuegos utilizados, *Semideus* y *Wuzzit Trouble*, han sido diseñados a partir de una representación dinámica y visual de unos determinados constructos matemáticos (la línea de números y la aritmética de enteros, respectivamente) para construir un juego alrededor de ellos. De esta forma, para resolver los puzzles y desafíos del juego es necesario comprender y resolver el problema matemático subyacente a la situación planteada. Los resultados de este estudio muestran una mejora en los resultados sobre aspectos numéricos entre los alumnos que ha seguido la propuesta didáctica. Por su parte, H. Pope et al. (2015) complementan este estudio analizando las estrategias desarrolladas por los alumnos mientras juegan a *Wuzzit Trouble*. Estos autores observan que el videojuego fuerza a los alumnos a revisar constantemente las estrategias utilizadas hasta llegar a desarrollar aspectos conceptuales complejos como la descomposición en factores de los números naturales y a combinarlos para resolver los desafíos propuestos. Dada la edad de los estudiantes participantes (9–10 años), estos resultados muestran una gran potencialidad del tipo de propuesta estudiada.

3.3. Estudios sobre el diseño de videojuegos para el aula de matemáticas

El desarrollo de videojuegos orientados al aprendizaje de las matemáticas es un aspecto clave que ha sido explorado de forma superficial. En esta línea A. Katmada et al. (2014) diseñan un videojuego llamado *Volcanic Riddles*. Como se puede observar en la Figura 2, nos encontramos ante un videojuego que propone un proceso de gamificación (Deterding, S. et al. 2011) de las tareas matemáticas de aula antes que una experiencia de juego próxima a la que viven los alumnos ante un videojuego comercial. En *Volcanic Riddles* se implementan opciones de requerimiento de ayuda por parte de los alumnos, de sugerencias para resolver las actividades y la posibilidad de que el profesor añada nuevas preguntas.

K. Chorianopoulos et al. (2014) destacan algunas características de diseño que los videojuegos orientados al aprendizaje matemático deben poseer a partir de diversos estudios de caso.

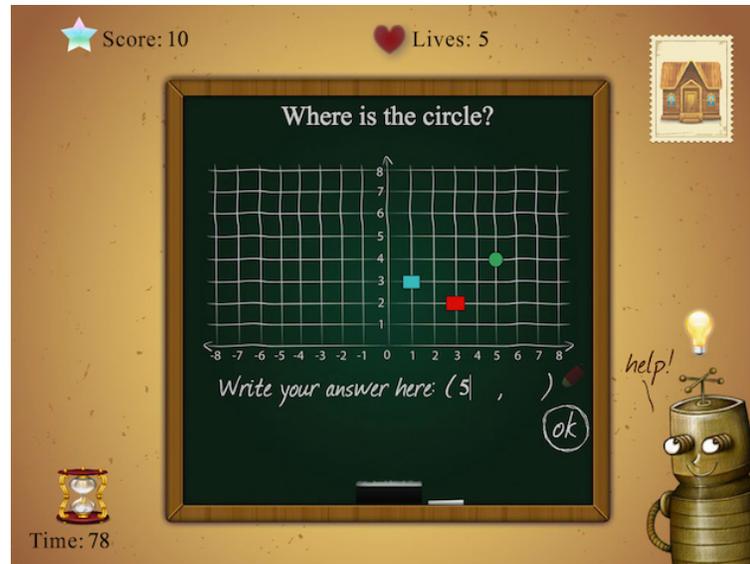


Figura 2: Una muestra del juego *Volcanic Riddles*

Entre ellas destaca la necesidad de introducir aspectos narrativos en el juego y que no se basen exclusivamente en una sucesión de pantallas que emulan ejercicios. Estos autores también argumentan que los videojuegos deberían basarse en mecánicas conocidas para permitir a los alumnos enfrentarse con facilidad al contenido matemático así como contar con la posibilidad de deshacer movimientos o acciones para poder evaluar las consecuencias de cada acto. Otro aspecto importante para estos autores, y que ha sido poco explorado, es el trabajo cooperativo, que promueven a partir de que el juego proponga objetivos comunes a los jugadores que solo se pueden alcanzar combinando sus acciones.

En contraposición al tipo de propuestas basadas en crear juegos a partir de actividades matemáticas, nos encontramos con el trabajo de H. Panoutsopoulos et al (2012). en el que utilizan una adaptación del videojuego comercial *The Sims*. En este caso explotan los contenidos sobre economía doméstica que aparecen en el videojuego para estudiar el impacto del juego sobre el aprendizaje matemático. En este trabajo se pone de manifiesto la necesidad de dar un soporte externo al videojuego por parte del profesor en la gestión de la actividad (en la misma línea que indican S. Barzilai et al., 2014) y observan un impacto positivo en la identificación de problemas matemáticos en contextos reales.

P. Wouters et al. (2016) estudian el potencial de la inclusión de efectos sorpresa en el diseño de un videojuego orientado a promover el razonamiento proporcional. Desarrollan dos estudios iterados con videojuego *Zeldenrust* en el que introducen un personaje que aparece por sorpresa y cambia las condiciones de los problemas tratados en el juego provocando la necesidad de nuevos métodos de resolución. Estos autores corroboran que los alumnos mejoran en la resolución de problemas de proporcionalidad numérica y consideran que el factor más relevante de esta mejora es la estructura de acompañamiento del juego al alumno.

Otra perspectiva distinta es la de utilizar el diseño de videojuegos como estrategia de enseñanza de contenidos matemáticos. Para ello aparece como referencia el entorno de programación *Scratch* que es parte de un movimiento por acercar la programación a las aulas de Educación Primaria y que cuenta con un gran seguimiento (Calder, N., 2010)). A nivel universitario, A. Pretelín-Ricárdez et al. (2015) han analizado el progreso en procesos de modelización matemática de estudiantes de últimos cursos de ingeniería a partir de implementar un trata-

miento realista del comportamiento de líquidos en un videojuego. Estos estudios muestran nuevas perspectivas del uso de videojuegos en el aula a partir de cambiar el rol de los alumnos, de jugadores a creadores de contenido.

3.4. Videojuegos como entorno para trabajar la resolución de problemas

El cuarto grupo de estudios que destacamos es el que se centra en las posibilidades de los videojuegos para promover competencias matemáticas más allá de centrarse en contenidos concretos.

R. M. Bottino et al. (2007) utilizan adaptaciones de juegos de mesa populares de tipo puzzle como *Mastermind*, *Battleship* y *Hexic* (véase la Figura 3) para promover el pensamiento estratégico y el razonamiento matemático en alumnos de Educación Primaria. Estos autores entienden que estas adaptaciones deben contener características de diseño que den soporte a este tipo de trabajo. Por ello en los juegos utilizados se han añadido características como la posibilidad de deshacer movimientos, ayudas para la detección de los movimientos más interesantes para el jugador, el soporte para visualizar las consecuencias de las próximas decisiones en el juego y un gestor de niveles que ajusta la dificultad del siguiente nivel al grado de éxito que consigue el alumno. En su estudio observan un impacto positivo del uso de estos juegos en las habilidades de razonamiento lógico y estratégico de los alumnos a partir de los resultados obtenidos en un test de razonamiento matemático externo (INVALSI⁶). Los autores destacan que en las entrevistas individuales realizadas se pone de manifiesto que los alumnos adoptan, durante la resolución de problemas matemáticos, algunas de las estrategias aprendidas durante el juego.

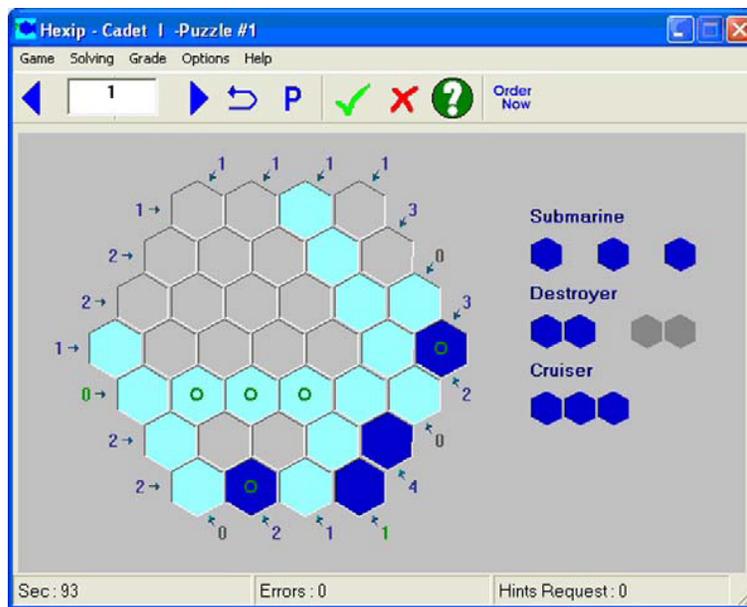


Figura 3: La pantalla del juego *Hexic*

En un estudio cualitativo basado en identificar los procesos que desarrollan los alumnos durante una partida de un videojuego de estrategia denominado *Vector Tower Defense 2*, A. Hernández-Sabaté et al. (2015) comprueban que la actividad desarrollada por alumnos de Educación Primaria y Secundaria durante el juego es equivalente a un proceso de resolución de problemas matemáticos. En concreto, identifican procesos como los de planificación, toma de

⁶<http://www.invalsi.it>

decisiones, predicción, razonamiento y justificación. De hecho, el proceso de juego se manifiesta como una actividad compleja de resolución de problemas, ya que los alumnos tratan de resolver diferentes tipos de situaciones problemáticas que aparecen durante el juego de forma simultánea y se solapan generando amplios ciclos de “Observación – Planificación – Toma de decisiones” que caracterizan la actividad de resolución de problemas como se muestra en la Figura 4 donde cada barra corresponde al intervalo de tiempo en el que los alumnos tratan de resolver una situación concreta del juego iterando diversos de estos ciclos. En su estudio identifican diversos tipos de oportunidades de aprendizaje matemático motivadas por la naturaleza del juego. Entre estas se identifican oportunidades de generar significado a aspectos numéricos, de relación entre variables, de proporcionalidad numérica o de contenidos de medida. También se han diseñado secuencias didácticas para complementar el trabajo realizado con el videojuego y para formalizar los contenidos tratados y promover la concreción de los contenidos matemáticos que aparecen durante el juego (A. Hernández-Sabaté et al., 2015).

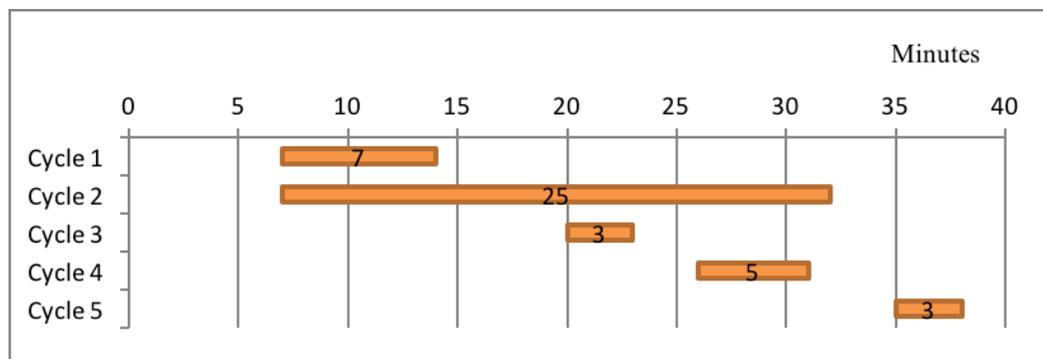


Figura 4: Ciclos superpuestos de “Observación – Planificación – Toma de decisiones” jugando al *Vector Tower Defense 2*

4. Potencialidad de los videojuegos comerciales para promover el trabajo matemático

La recopilación mostrada en la sección anterior pone de manifiesto que el uso de videojuegos en las aulas de matemáticas es un tema de estudio que puede ofrecer interesantes resultados. Desde esta perspectiva, observamos que todavía existen una gran variedad de aspectos no explorados, como la integración de los videojuegos en las aulas, el rol del profesor en estas actividades o las posibilidades de aprendizaje a través de videojuegos diseñados por los propios alumnos (A. Pretelín–Ricárdez et al. 2015).

En un posicionamiento alineado con el de H. Panoutsopoulos et al. (2012), entendemos que la experiencia de juego más completa es aquella que proponen los videojuegos comerciales. Esta afirmación se soporta en la necesidad de ser atractivos para su público objetivo y al 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, centran el reto que ofrecen a los jugadores en desafíos mentales que requieren de una representación del contexto de juego en la que intervienen una gran cantidad de elementos de tipo matemático.

Entre estos videojuegos que consideramos más interesantes desde la perspectiva de este artículo encontramos los videojuegos de puzzle. En ellos se deben superar diversos retos que

pueden estar basados en contenidos matemáticos. Un ejemplo clásico es *Tetris*, en el que se deben encajar tetrominós. Otros ejemplos más modernos son *Monument Valley* o *Echochrome* con puzzles basados en las geometrías irreales propuestas por el arte de M. C. Escher o la saga de juegos de enigmas de el profesor Layton en la que se presentan múltiples retos, algunos de los cuales son problemas matemáticos que se utilizan en las aulas.

Otro tipo de videojuegos que merecen la atención de la comunidad investigadora son los videojuegos de simulación. Estos presentan sus retos y desafíos en entornos complejos que representan diferentes tipos de contextos como la gestión de una ciudad (*SimCity*), la gestión de un equipo deportivo (*FXFutbol* o *le Tour de France videogame*), los procesos de evolución de las especies (*Spore*) o diversas actividades humanas como el transporte (*EuroTruck Simulator* o *Microsoft Train Simulator*) o los cultivos productivos (*Farming Simulator*). Estos videojuegos proporcionan múltiples oportunidades de interactuar con situaciones complejas, en las que la toma de decisiones depende de múltiples factores y es necesario analizar detalladamente las consecuencias de cada decisión tomada.

Centrándonos en aspectos matemáticos más competenciales, en lo que sigue presentamos dos enfoques para aprovechar la potencialidad de los videojuegos comerciales en las aulas de matemáticas. En concreto, destacamos las posibilidades del videojuego *Portal 2* como herramienta para trabajar el uso de heurísticas y aspectos metacognitivos en un entorno de resolución de problemas y de dos videojuegos de simulación, *The Plague* y *SimCity*, para promover la modelización matemática en las aulas.

4.1. *Portal 2* y la resolución de problemas

Portal 2 es un videojuego en el que se dirige a un personaje en primera persona y la acción se presenta en entornos tridimensionales. El objetivo en el juego es escapar de unas instalaciones científicas en las que se hacen pruebas con humanos para determinar sus capacidades intelectuales. La inteligencia artificial que controla el complejo científico pone a prueba al jugador diseñando espacios cerrados de los que éste debe salir.

Las mecánicas de juego que caracterizan a *Portal 2* se basan en las posibilidades del arma principal del juego, que es una pistola de portales. Esta pistola, en vez de disparar balas u otro tipo de munición, puede disparar dos tipos de portales, uno naranja y otro azul, que pueden situarse en las paredes del recinto de juego. Entonces, si se traspasa uno de los dos portales, el jugador aparece por el otro como si se hubiera creado un túnel entre esos dos puntos. Por ejemplo, para subir a una plataforma sin un posible acceso a pie, se puede colocar un portal en una pared cercana y otro sobre la plataforma a la que se quiere acceder, al cruzar por el portal más cercano el jugador aparece por el segundo sobre la plataforma.

De esta forma, los portales cambian la topología de las habitaciones donde se realizan las pruebas, ya que permiten conectar puntos en paredes distantes y mantienen las leyes físicas de los objetos que los atraviesan. Pero además el jugador debe encontrar las secuencias de acciones que le permitan superar cada nivel y encadenarlas con éxito, generando una secuencia que puede ser larga y compleja. De esta forma, el juego promueve el uso de estrategias meta-cognitivas o actuar por lógica inversa, pensando en la situación previa a superar el nivel e intentar llegar hasta ella. En este sentido, los pasos efectuados al superar cada uno de los niveles es similar al proceso realizado al resolver un problema. Dado que los aspectos clave que generan los retos en *Portal 2* se basan en la localización y los cambios a nivel topológico, los niveles del juego se pueden equiparar a problemas matemáticos (Albarracín, Ll., 2013).

El siguiente ejemplo trata de mostrar la forma en la que se proponen nuevas mecánicas en *Portal 2* y se incorporan al bagaje del jugador. En las primeras fases del juego se proporciona al jugador la pistola de portales y este puede experimentar con la mecánica de atravesar portales para alcanzar lugares inaccesibles. En uno de los primeros puzzles es necesario conseguir un cubo que servirá para activar un botón que abra la puerta de salida pero que se encuentra en una zona inaccesible para el jugador. La Figura 5 muestra la secuencia de acciones para conseguir alcanzar el cubo. El jugador dispara el portal azul justo debajo del cubo (Figura 5, arriba a la derecha) con lo que caerá y aparecerá por el portal naranja que está situado en otra pared. De este modo el cubo caerá sobre una plataforma (Figura 5, abajo a la izquierda). Podemos denominar a esta mecánica de juego *Recuperar un cubo*. Finalmente, para poder alcanzar la plataforma el jugador debe situar un nuevo portal azul en una pared cercana para abrir un camino hasta la plataforma elevada y alcanzar el cubo (Figura 5, abajo a la derecha).

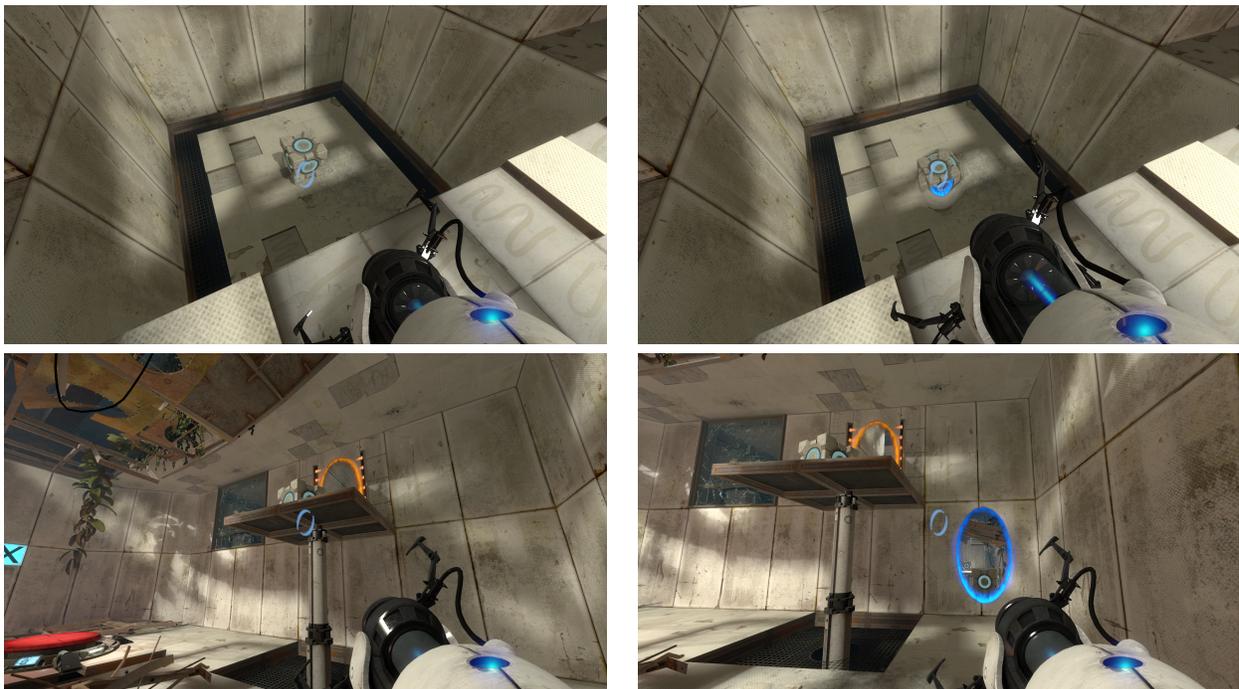


Figura 5: Secuencia de imágenes de *Portal 2* en la que se aplica por primera vez la mecánica de juego *Recuperar un cubo*

La mecánica *Recuperar un cubo* es obligatoria para poder superar el nivel, con lo que los diseñadores del juego han elaborado los siguientes niveles a partir del supuesto que los jugadores ya la conocen. De esta forma la incorporan en otros niveles de puzzle creando situaciones más complejas para el jugador. La Figura 6 muestra una situación de un nivel posterior al relatado en la que el jugador ha necesitado previamente un cubo que desvía el láser rojo que aparece en la imagen de la izquierda y activa un mecanismo para poder utilizar las escaleras que le permiten alcanzar esa posición. En ese lugar se encuentra la puerta y un botón que necesita ser activado por un cubo, pero el jugador no puede bajar por las escaleras a recogerlo para no desactivarlas. Por lo tanto, la única alternativa es volver a utilizar la mecánica *Recuperar un cubo* que desactivará las escaleras pero estando el jugador en la posición que necesita para poder proseguir el juego.

Este ejemplo no es un caso aislado en el diseño del juego. Mientras el jugador supera niveles se van añadiendo elementos que aumentan la complejidad de la propuesta, como el uso de botones que deben ser accionados remotamente, muelles que permiten saltar o rayos láser que activan

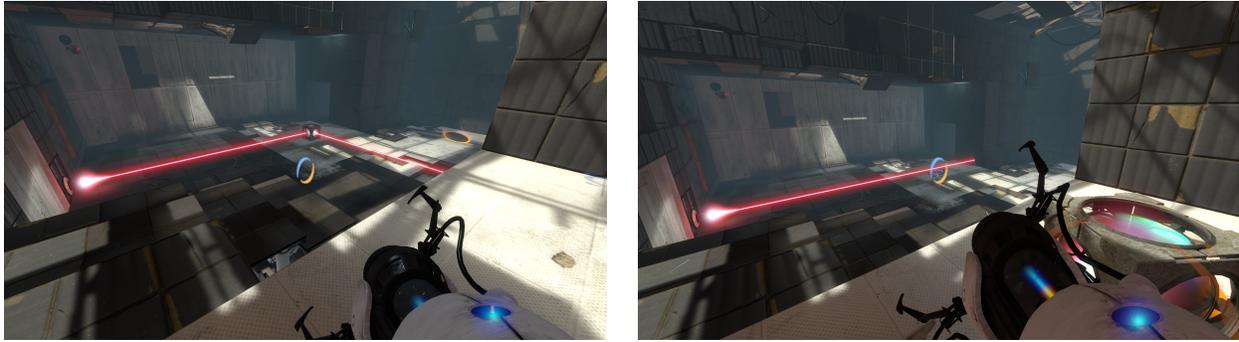


Figura 6: Secuencia de imágenes de *Portal 2* en la que se aplica por segunda vez la mecánica de juego *Recuperar un cubo*

puertas. Para aprovechar esta potencialidad, Valve –la empresa que ha desarrollado del título– ha creado el proyecto *Teach with Portals*⁷, que nos permite trabajar en un entorno educativo basado en el videojuego *Portal 2*. Los alumnos no solo pueden jugar con intrincados puzzles que requieren habilidades de visualización tridimensional sino que el *Portal 2 Puzzle Maker* les permite crear sus propios puzzles, con lo que se pueden trabajar los aspectos metacognitivos que hacen que un puzzle sea resoluble mientras se ven obligados a analizar las posibles estrategias que podrían utilizar otros jugadores. Esta herramienta supone una gran oportunidad para tratar procesos de resolución de problemas, como son la planificación y el análisis retrospectivo de las soluciones generadas.

4.2. Los videojuegos de simulación como entorno para la modelización matemática

Los videojuegos de simulación han evolucionado de forma notable en las últimas tres décadas, desde el momento en el que *SimCity* estableció unos patrones de juego que han servido de base para el resto de juegos del género. En esencia, este tipo de videojuegos se basan en recrear algún aspecto o fenómeno de la vida real y trasladarlo como reto al jugador. El nivel de realismo y de detalle de la adaptación ha ido creciendo mientras aumentaba la capacidad de rendimiento de los ordenadores domésticos y mientras los jugadores demandaban propuestas de juego más realistas. De esta forma los videojuegos de simulación se han transformado en laboratorios virtuales para la exploración de las posibilidades de gestionar diferentes tipos de fenómenos que pueden utilizarse para dar soporte a actividades de modelización en entornos de los que es posible conseguir grandes cantidades de datos provenientes de variables interrelacionadas.

Para ejemplificar este posicionamiento, tomaremos como muestra la última versión de la saga de videojuegos *SimCity*, del que se puede encontrar una descripción más detallada de los aspectos matemáticos que promueve por su diseño en Ll. Albarracín (2015). En este videojuego el jugador se encarga de gestionar una ciudad, su estructura, sus comunicaciones, sus servicios, etc. Esta gestión es compleja, ya que el jugador debe determinar la forma de la red de carreteras, el tipo de uso de cada terreno (residencial, comercial, industrial), la posición de las estaciones de servicios de agua y electricidad, o las centrales de policía y bomberos. Esta gran variedad de posibilidades ofrece al jugador un entorno de juego complejo, con una gran fidelidad en la simulación. Además, el juego proporciona grandes cantidades de datos en diferentes formatos que pueden ser aprovechados para promover un análisis matemático de los comportamientos de diferentes aspectos de la simulación.

La Figura 7 muestra una captura del menú principal del presupuesto de los servicios de

⁷www.teachwithportals.com



Figura 7: Una captura del presupuesto general de la ciudad en *SimCity*

la ciudad. Como se puede observar, el juego ofrece información sobre una gran cantidad de variables, de las que se puede estudiar su evolución en el tiempo. Este tipo de análisis debe permitir determinar el impacto de las decisiones tomadas en la gestión de la ciudad sobre sus necesidades presupuestarias.

Pero el juego también proporciona otro tipo de información que el jugador debe analizar para poder entender cómo evoluciona la ciudad y poder establecer futuras líneas de acción. La Figura 8 muestra dos capturas diferentes del juego en las que se muestra el valor económico del terreno. En la imagen de la izquierda se muestra el valor del terreno a partir de un mapa de curvas de nivel, el de la derecha muestra el valor a partir de gráficos de columna apilados. Esta información puede extraerse y analizarse para determinar qué zonas de la ciudad están aumentando su valor más rápidamente y poder estudiar los efectos positivos de las decisiones tomadas sobre la ciudad. Este trabajo es complementario al juego y debe gestionarse externamente, momento en el que el profesor pasa a ser un elemento clave para motivar a los alumnos a enfrentarse a estas situaciones desde un punto de vista matemático que implique el uso de relaciones entre variables que modelen los sucesos vividos en el juego.

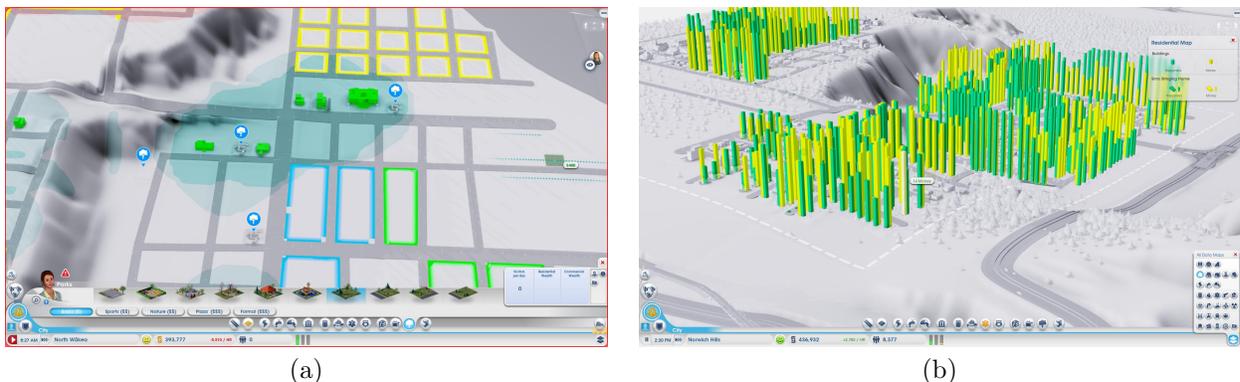


Figura 8: Dos muestras de la forma en la que se ofrece información sobre el valor del terreno en *Simcity*

En este sentido se ha desarrollado una experiencia de investigación con un videojuego de simulación más sencillo que *SimCity*. P. Frejd et al. (2017) utilizaron el videojuego *The Plague* para introducir el uso de funciones para modelizar los aspectos esenciales del juego con alumnos de Educación Secundaria. En *The Plague* los jugadores deben diseñar un virus a partir de diferentes tipos de características y elegir un punto inicial de infección con el objetivo final de infectar a toda la población humana mundial. Evidentemente, el contexto del juego presenta dificultades morales para presentarse en su forma actual en las aulas, pero al mismo tiempo supone una oportunidad para conocer los medios de propagación de una epidemia y tomar conciencia del nivel de interconexión de un mundo en el que el transporte es global.



Figura 9: La pantalla principal del videojuego *The Plague* en el que se muestra el nivel de infección en el mapa terrestre

Dejando de lado los aspectos morales o de conocimiento biológico (tipologías de agentes víricos, métodos de propagación o síntomas) y social (transporte aéreo o marítimo, relaciones entre estados), la experiencia detallada por P. Frejd et al. (2017) supone una primera guía para estudiar la forma en la que este tipo de actividades puede implementarse en las aulas de matemáticas.

La Figura 9 muestra una captura de un instante de juego en el que el jugador ha conseguido una infección generalizada en el sudeste asiático pero no ha podido conseguir la infección total que permite acabar el juego con éxito.

Este es un buen momento para evaluar las características que han permitido este nivel de éxito y los que han impedido un impacto mayor. La propuesta de aula de P. Frejd et al. (2017) se basa en estudiar la evolución de la población infectada a partir de recoger manualmente los datos que va proporcionando el juego y elaborar gráficos que se estudian en grupo en el aula.

La Figura 10 muestra unos de estos gráficos de la evolución de la población infectada en el tiempo para un desarrollo de juego en el que se ha infectado a toda la población mundial.

En este caso, los alumnos analizaron la forma del primer tramo de la función, que identificaron como una función exponencial y determinaron el tipo de parámetros necesarios para ajustarla. De esta forma, le pudieron dar un contexto concreto a uno de los usos más habituales de esta familia de funciones como es describir los procesos de crecimiento de poblaciones. En segundo lugar los alumnos trataron de dar significado al segundo tramo de la función “población

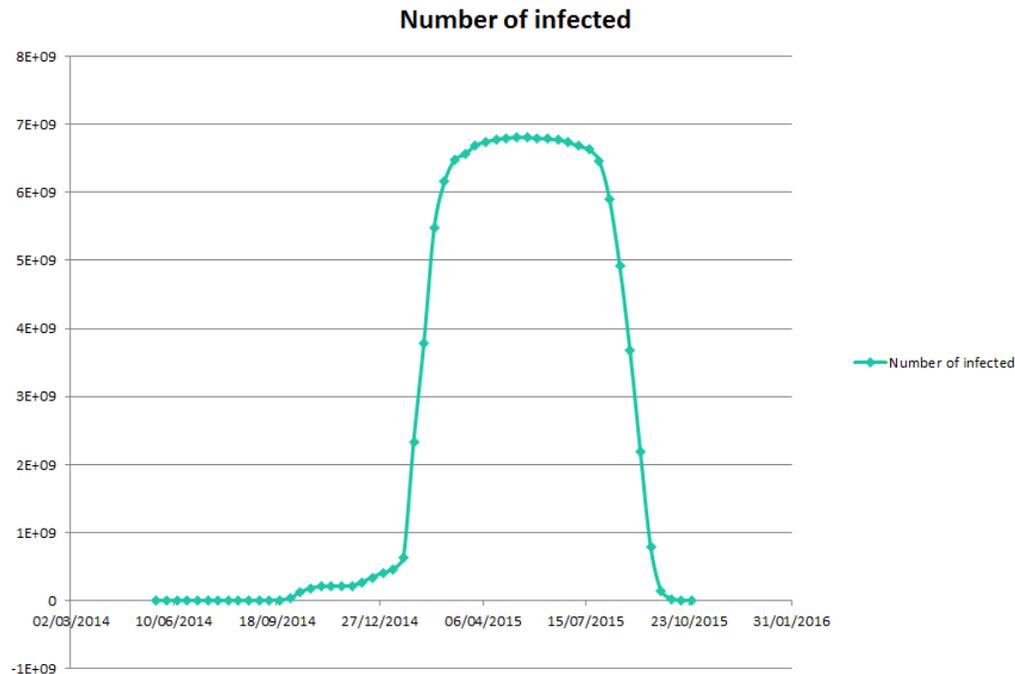


Figura 10: Gráfico elaborado por los alumnos en el estudio de P. Frejd et al., (2017) para representar la evolución de la población infectada en *The Plague*

infectada”, que decrece mientras los infectados sucumben ante la plaga con lo que el profesor pudo introducir la función logística. Este tipo de trabajo permite a los alumnos estudiar los efectos de las restricciones y cambios de un sistema a partir de datos que ellos mismos recogen durante la simulación, con lo que el juego se puede utilizar como un laboratorio virtual de matemáticas.

Esta propuesta muestra las posibilidades de extraer parte de la información que proporciona un videojuego de simulación para elaborar las gráficas del comportamiento de diferentes variables y analizarlas desde una perspectiva matemática para conseguir un mayor nivel de comprensión de la situación intrajuego estudiada. De esta forma, el profesor puede plantear actividades matemáticas en un contexto rico sobre el que el alumno tiene muchas posibilidades de incidir y experimentar. Entendemos que el objetivo es crear un ciclo de realimentación entre el juego y las actividades matemáticas: el juego sugiere unas actividades matemáticas que permiten a los jugadores obtener mejores resultados que les llevan a situaciones más complejas que requieren de análisis matemáticos más detallados y profundos.

5. Reflexiones finales

A partir de lo expuesto en esta revisión bibliográfica de las investigaciones sobre videojuegos en Educación Matemática, entendemos que nos encontramos ante un recurso por explotar desde el punto de vista didáctico y que no ha sido convenientemente explorado. Por ejemplo, en esta revisión no hemos encontrado estudios centrados en el papel del profesor como guía en las actividades, ni sobre las formas de complementar el trabajo con el videojuego a partir de usar otros materiales didácticos.

Los artículos presentados muestran que pueden diseñarse videojuegos que permitan mejorar

el rendimiento académico de los estudiantes en el ámbito de las Matemáticas. Los estudios dirigidos a estudiar el impacto de los videojuegos en el rendimiento académico han obtenido resultados dispares, aunque se ha comprobado que la motivación de los alumnos se incrementa con estas prácticas. Dado que los videojuegos utilizados en estos estudios son en general adaptaciones de actividades matemáticas habituales a un entorno virtual, entendemos que son videojuegos que no capturan completamente todas las posibilidades presentes en los videojuegos comerciales.

De esta forma, el diseño de videojuegos para el aula de matemáticas debería ir más allá de traducir las propuestas habituales de aula a las pantallas y dotarlas de un entorno de juego. Entendemos que identificar las potencialidades de los juegos y aprovechar la inmediatez de la respuesta en pantalla para ofrecer feedback a los jugadores parecen las direcciones más prometedoras en esta línea. De hecho, las investigaciones que exploran las opciones de los videojuegos para trabajar la resolución de problemas o la modelización son escasas, pero dada la complejidad de los contextos que pueden emular los videojuegos de simulación actuales ésta parece una línea de investigación a considerar.

Otro aspecto que no ha sido explorado es el de relacionar los objetivos de juego con los objetivos de aprendizaje. Es necesario estudiar esta relación para conseguir propuestas interesantes para el alumnado desde el punto de vista de la motivación y la posibilidad de diseñar los juegos pensando en que acompañen el aprendizaje de los alumnos, ofreciendo retos cada vez mayores y ajustados al nivel de conocimiento manifestado.

Finalmente, entendemos que es necesaria una vía de comunicación y un entorno de trabajo colaborativo entre desarrolladores de videojuegos e investigadores que permita llevar a cabo nuevas investigaciones. Parece claro que los desarrolladores de videojuegos tienen un alto conocimiento de los aspectos de diseño que hacen de un videojuego un reto atractivo para los jugadores. En el otro lado nos encontramos a los investigadores que pueden identificar los factores que hacen de un videojuego una herramienta para el aprendizaje. Unir los conocimientos de estos dos ámbitos debería permitir el desarrollo de nuevos videojuegos que no solo enseñen mejor (ayuden a mejorar los resultados académicos) sino que enseñen más aspectos del trabajo matemático (resolución de problemas, modelización matemática) que siguen siendo grandes retos educativos en el ámbito de la Educación Matemática.

Referencias

-  Prensky M. (2001).
Digital game-based learning.
McGraw-Hill
-  Salen K., Zimmerman E. (2004).
Rules of play: Game design fundamentals.
MIT press.
-  Bishop A. (1991).
Mathematical enculturation: A cultural perspective on mathematics education.
Springer Science & Business Media.
-  de Guzmán M. (2007).
Enseñanza de las ciencias y la matemática.
Revista Iberoamericana de Educación. Vol. 43, 19–58
-  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*
in “Games, learning, and society: Learning and meaning in the digital age”.
C. Steinkuhler, K. Squire and S. Barab, Eds.. Cambridge University Press.
-  Vigotsky L. S., Cole M. (1979).
El desarrollo de los procesos psicológicos superiores.
Ed. Crítica. Barcelona.
-  Gros Begoña (2007).
Digital games in education: The design of games-based learning environments.
Journal of Research on Technology in Education Vol. 40, No. 1, 23–38
-  Charsky Dennis (2010).
From edutainment to serious games: A change in the use of game characteristics.
Games and culture, Vol. 5, N. 2, 177–198
-  Ke F. (2009).
A qualitative meta-analysis of computer games as learning tools
in “Handbook of research on effective electronic gaming in education”.
IGI Global, pp 1–32.
-  Gee J. P. (2003).
What video games have to teach us about learning and literacy.
Computers in Entertainment, Vol. 1, N. 1, 1–4.
-  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 Vol. 53, N. 2, 67–83.

-  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 Vol. 59, N.2, 661–686.
-  Rosas R. et al. (2003).
Beyond Nintendo: design and assessment of educational video games for first and second grade students.
Computers & Education Vol. 40, N.1, 71–94.
-  McFarlane A., Sparrowhawk A., Heald, Y. (2002).
Report on the educational use of games.
TEEM (Teachers evaluating educational multimedia), Cambridge.
-  Hamlen K. R. (2011).
Children's choices and strategies in video games.
Computers in Human Behavior Vol. 27, N.1, 532–539.
-  Özyurt Ö., Özyurt H., Güven B., Baki Adnan. (2014).
The effects of UZWEBMAT on the probability unit achievement of Turkish eleventh grade students and the reasons for such effects.
Computers & Education Vol. 75, 1–18.
-  Radford L. (2009).
No! He starts walking backwards!: interpreting motion graphs and the question of space, place and distance.
ZDM Vol. 41, N.4, 467–480.
-  Kebritchi M., Hirumi A., Bai H. (2010).
The effects of modern mathematics computer games on mathematics achievement and class motivation.
Computers & education Vol. 55, N.2, 427–443.
-  Bai H., Pan W., Hirumi A., Kebritchi M. (2012).
Assessing the effectiveness of a 3-D instructional game on improving mathematics achievement and motivation of middle school students.
British Journal of Educational Technology Vol. 43, N.6, 993–1003.
-  Ke F. (2008).
A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay?
Computers & education Vol. 51, N.4, 1609–1620.
-  van den Heuvel-Panhuizen M., Kolovou A., Robitzsch A. (2013).
Primary school students' strategies in early algebra problem solving supported by an online game.
Educational Studies in Mathematics Vol. 84, N.3, 281–307.
-  Chow A. F., Woodford K. C., Maes J. (2011).
Deal or No Deal: using games to improve student learning, retention and decision-making.
International journal of mathematical education in science and technology
Vol. 42, N.2, 259–264.

-  Bottino R. M., Ferlino L., Ott M., Tavella M. (2007).
Developing strategic and reasoning abilities with computer games at primary school level.
Computers & Education Vol. 49, N.4, 1272–1286.
-  Katmada A., Mavridis A., Tsiatsos T. (2014).
Implementing a Game for Supporting Learning in Mathematics.
Electronic Journal of e-Learning Vol. 12, N.3, 230–242.
-  Deterding S., Dixon D., Khaled R., Nacke L. (2011).
From game design elements to gamefulness: defining gamification.
Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference:
Envisioning future media environments, 9–15.
-  Barzilai S., Blau I. (2014).
Scaffolding game-based learning: Impact on learning achievements, perceived learning, and game experiences.
Computers & Education, Vol. 70, 65–79.
-  Panoutsopoulos H., Sampson D. G. (2012).
A Study on Exploiting Commercial Digital Games into School Context.
Educational Technology & Society, Vol.15, N.1, 15–27.
-  Albarracín Ll. (2013).
A Portal 2.
Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas, Vol.74, 77–82.
-  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, Vol.2, N.1, 1.
-  Hernández-Sabaté A., Joanpere M., Gorgorió N. and Albarracín Ll. (2015).
A Mathematics learning opportunities when playing a Tower Defense Game.
International Journal of Serious Games, Vol.2, N.4, 57-71.
-  Frejd P., Ärlebäck J. (2017).
Initial Results From An Intervention Using a Mobile Game App To Simulate A Pandemic Outbreak.
Proceedings of ICTMA 17.
-  Kiili K., Devlin K., Perttula T., Tuomi P., Lindstedt A. (2015).
Using video games to combine learning and assessment in mathematics education.
International Journal of Serious Games, Vol.2, N.4, 37–55
-  Albarracín Ll. (2015).
Videojuegos. Diseñando ciudades en SimCity.
Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas, Vol.78, 65–71.
-  Pope H., Mangram C. (2015).
Wuzzit Trouble: The Influence of a Digital Math Game on Student Number Sense.
International Journal of Serious Games, Vol.2, N.4, 5–22.

-  [Feng J., Spence I., Pratt J. \(2007\).](#)
Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition.
Psychological science, Vol.18, N.10, 850–855.
-  [Foster S. R., Esper S., Griswold W. G. \(2013\).](#)
From competition to metacognition: designing diverse, sustainable educational games.
Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 99–108.
-  [Calder N. \(2010\).](#)
Using Scratch: An Integrated Problem-Solving Approach to Mathematical Thinking.
Australian Primary Mathematics Classroom, Vol.15, N.4, 9–14.
-  [Chorianopoulos K., Giannakos M. N. \(2014\).](#)
Design principles for serious video games in mathematics education: from theory to practice.
International Journal of Serious Game, Vol.1, N.3, 51–59.
-  [Pretelín-Ricárdez A., Sacristán A. I. \(2015\).](#)
Videogame Construction by Engineering Students for Understanding Modelling Processes: The Case of Simulating Water Behaviour.
Informatics in Education – An International Journal, Vol.4, N.2, 265–277.
-  [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”.
Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática, SEIEM, 405–416.
-  [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, Vol.43, 540–560.
-  [Gutiérrez J., Arnau D., González J. A. \(2015\).](#)
Un estudio exploratorio sobre el uso de DragnBox Algebra© como una herramienta para la enseñanza de la resolución de ecuaciones.
Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete, Vol.30, N.1 33–44.
-  [Arevalillo-Herráez M., Arnau D., Marco-Giménez L. \(2013\).](#)
Domain-specific knowledge representation and inference engine for an intelligent tutoring system.
Knowledge-Based Systems, Vol.49, 97–105.