

Una guía práctica para el uso de videojuegos en el aula de Matemáticas

Lluís Albarracín

Universitat Autònoma de Barcelona

Resumen: *En este artículo se presenta una guía básica para utilizar videojuegos en el aula de matemáticas. Se discuten los diferentes tipos de videojuegos que pueden utilizarse y la forma de elegirlos. También se detallan algunos aspectos sobre el rol que debe ocupar el videojuego en la actividad y como complementar la actividad de juego para poder utilizar videojuegos comerciales como contexto rico para promover la competencia matemática de los alumnos.*

Palabras clave: *Serious games, videojuegos comerciales, resolución de problemas.*

Gamification in mathematics, a new approach or a new word?

Abstract: *This article presents a basic guide to use videogames in the math classroom. The different types of video games that can be used and the way to choose them are discussed. Some aspects are also detailed on the role that the video game should occupy in the activity and how to complement the game activity in order to use commercial videogames as a rich context to promote the mathematical competence of the students.*

Keywords: *Serious games, commercial video games, problem solving.*

INTRODUCCIÓN

Las posibilidades de innovación en las aulas de matemáticas se han incrementado notablemente con la llegada de los soportes y contenidos digitales, aunque todavía no se hayan explorado en profundidad todas sus posibilidades. En paralelo, en las últimas décadas se han reconsiderado los objetivos del trabajo en las aulas, desplazando el foco de la enseñanza de los contenidos, tratando de centrar la actividad de aula hacia promover el desarrollo de la competencia matemática. Este cambio supone un reto para el profesorado, que sigue buscando propuestas efectivas de aula, con lo que la innovación ha pasado a ser una constante en muchas aulas de matemáticas.

Muchas de las propuestas innovadoras se nutren del frenético desarrollo de tecnologías de las últimas décadas. Muestras concretas de recursos didácticos basados en la tecnología que cuentan con una trayectoria consolidada son los entornos de geometría dinámica, como Geogebra o Cabri, los entornos de programación que han evolucionado desde LOGO hasta Scratch o los softwares de representación gráfica dinámica de funciones (Radford, 2009).

Este artículo se centra en analizar las posibilidades del uso de videojuegos en las aulas de matemáticas y trata de ofrecer diversas consideraciones para que el profesor pueda orientar de forma precisa actividades matemáticas soportadas en videojuegos. A estas alturas no resulta sorprendente plantearse el uso de un videojuego como herramienta de aprendizaje, pero es necesario observar que los videojuegos han evolucionado notablemente desde su aparición en los hogares a finales de los años 70 del siglo XX. La evidente mejora de los gráficos viene acompañada de la introducción de mecánicas de juego que permiten incorporar nuevos retos a los jugadores y la aparición de un sinfín de géneros y subgéneros, que posibilita que existan videojuegos para todos los públicos y necesidades, desde el entusiasta que dedicará centenares de horas a perfeccionar sus habilidades hasta el que solo necesita un juego para ocupar pequeños espacios de tiempo de forma esporádica.

En determinados casos, los retos que el videojuego plantea al jugador contienen elementos propios de las matemáticas, con lo que la actividad de juego puede asemejarse a un proceso de resolución de un problema matemático, que es una de las actividades centrales de la matemática escolar, pero que continúa siendo difícil de gestionar en las aulas debido a la carga cognitiva que requiere por parte de los alumnos. En este sentido, es necesario recordar que en muchas ocasiones se ha atribuido potencial didáctico a los videojuegos por su componente motivacional, que evidentemente es uno de los elementos que los definen, pero en este artículo voy a tratar de poner de manifiesto que se pueden elegir videojuegos comerciales que además promuevan el pensamiento matemático por la propia naturaleza del juego que proponen y que esta actividad puede ser de una gran riqueza por la profundidad de pensamiento necesaria para enfrentarse a ella y por el alto nivel de complejidad que presenta. Por ello, el primer objetivo de este artículo es evidenciar la potencialidad de determinados videojuegos para promover la actividad matemática. El segundo es mostrar formas exitosas de incluir estos videojuegos en las dinámicas de aula.

De esta forma, este artículo se inicia presentando un fugaz repaso a algunos de los conceptos básicos sobre el uso de videojuegos como herramienta educativa, detallándose los resultados más prominentes de las investigaciones realizadas al respecto. A continuación,

se incluye la discusión de aspectos esenciales para la toma de decisiones por parte del profesor de matemáticas para elegir videojuegos adecuados para sus actividades, así como para poder elegir una forma de gestión de aula que aproveche al máximo la potencialidad del videojuego. Finalmente, se muestran ejemplos de concreciones de actividades complementarias a la actividad de juego, que son las que en último término deben permitir consolidar los aprendizajes de los alumnos que vienen promovidos por el uso del videojuego.

LOS VIDEOJUEGOS COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA

Bishop (1999) describe las matemáticas como una tecnología simbólica que está caracterizada por las actividades universales de contar, localizar, medir, diseñar, jugar y explicar. Bishop entiende que la ejecución de estas actividades requiere diversos conceptos y potencialidades matemáticas. Desde esta perspectiva, *jugar* 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.

Salen and Zimmerman (2004) definen juego como “*un sistema en el que los jugadores se involucran en conflictos artificiales, definidos por reglas, que dan como resultado un resultado cuantificable*” (p. 80). En el caso de un juego digital o videojuego, la definición es válida simplemente añadiendo como soporte para el juego una plataforma digital. Para 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 poseen características que los hacen atractivos para los jugadores (Rosas et al., 2003) y que los dotan de una gran potencialidad como instrumentos para aprender estrategias específicas y para adquirir conocimientos (Gros, 2007). Charsky (2010) considera que las características esenciales de los videojuegos como herramientas educativas son la competición y la presencia de objetivos, la existencia de reglas bien definidas y la necesidad de tomar decisiones. 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 videojuegos multijugador y compartir conocimientos y habilidades (Gee, 2003). Que los videojuegos estén diseñados a partir de normas y objetivos concretos y la naturaleza de la interacción con la máquina, les permite ofrecer respuesta inmediata a las acciones del jugador, lo que los dota de una alta efectividad como herramienta de aprendizaje (Dickey, 2005). Esta rapidez con la que se obtienen diferentes tipos de respuestas a las acciones realizadas permite que el jugador adapte y mejore su actividad para conseguir los retos que el juego plantea.

LA ACTIVIDAD DE JUEGO COMO ACTIVIDAD DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

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, y que trataremos en mayor detalle más adelante en este texto, Hernández-Sabaté, Joanpere, Gorgorió y Albarracín (2015) comprobamos 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, identificamos los procesos de planificación, toma de decisiones, predicción, razonamiento y justificación. Estos procesos son propios de la resolución de problemas matemáticos (Pólya, 1945) y se dan de forma natural al tratar de conseguir los objetivos de juego y superar los retos que se plantean.

El análisis del comportamiento de los alumnos muestra la presencia constante de estos procesos, lo que se asocia a lo que podríamos denominar “resolución de problemas intrajuego”, pero el estudio evidencia que en los procesos de resolución se involucran un gran número de conceptos matemáticos que aparecen al tratar de entender y alcanzar el reto propuesto por el videojuego. En concreto identificamos que los alumnos se enfrentan durante el juego a situaciones que pueden ser traducidas fácilmente a problemas aritméticos, geométricos, de proporcionalidad y de optimización. De hecho, el juego se manifiesta como una actividad realmente 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, solapándose en el tiempo, y generando amplios ciclos entrelazados de “Observación → Planificación → Toma de decisiones”, hecho que interpretamos como que los alumnos están pendientes de la resolución de diversos problemas de forma simultánea.

El trabajo concluye con la identificación de diversas oportunidades de aprendizaje matemático, que no en todos los casos son aprovechadas por los alumnos para transformarse en aprendizajes efectivos, pero que suponen el inicio de una línea de investigación que me ha llevado a implementar en el aula diversas propuestas distintas utilizando videojuegos en aulas de Educación Primaria y Secundaria. El diseño de estas actividades está orientado a que el videojuego sea la herramienta que proporciona situaciones problemáticas en las que aparecen oportunidades de aprendizaje matemático y que se proporcione a los alumnos actividades complementarias para ayudarlos a generar los aprendizajes pretendidos. Esta experiencia es la base de la guía que detallo a continuación y que pretende dar al profesor orientaciones concretas y fundamentadas para poder incorporar los videojuegos a su propuesta de aula.

UNAGUÍA PARA UTILIZAR VIDEOJUEGOS EN EL AULA DE MATEMÁTICAS

Lo que sigue es un conjunto de consideraciones para el uso de videojuegos en el aula de matemáticas. Se presentan aspectos logísticos como el tipo de soporte necesario para jugar, un análisis de la naturaleza de los diferentes tipos de videojuegos recomendados y el tipo de contenidos matemáticos a trabajar, así como consideraciones didácticas relacionadas con la organización del aula y la propuesta de trabajo necesaria para complementar la actividad de juego.

Soporte de juego

La primera decisión a tomar viene condicionada por los recursos disponibles en forma de soportes de juego. Esta decisión condiciona buena parte de la práctica de aula, ya que cada tipo de soporte permite un tipo u otro de videojuegos y, sobre todo, una forma distinta de interacción con la máquina. Los videojuegos están diseñados para ser jugados sobre determinados soportes, ya sea un ordenador, una consola, una tableta o un móvil. No es nada habitual que los centros educativos dispongan de consolas de juego ni parece recomendable que se solicite a los alumnos que las lleven al centro para poder trabajar con ellas, con lo que las opciones realistas se centran en jugar en ordenadores o tabletas. En el caso de alumnos de Educación Secundaria podrían utilizarse los teléfonos móviles propios de los alumnos, aunque esencialmente podrán ejecutar el mismo tipo de videojuegos a los que les permiten jugar las tabletas.

El soporte tableta permite ejecutar juegos diseñados para dispositivos móviles. Este hecho condiciona el diseño de los juegos, desde dos puntos de vista principales. Por una parte, los controles del juego serán táctiles. Este hecho reduce el número de juegos disponibles, ya que no todos los tipos de juego se adaptan fácilmente a este tipo de control, pero siguen existiendo juegos en los que señalar y arrastrar son formas adecuadas de control y permiten que el juego sea accesible a un amplio número de alumnos, que no siempre estarán acostumbrados a otros tipos de control, como puede ser el uso de un mando. El segundo aspecto relevante es el tipo de experiencia que ofrece el juego en dispositivos móviles. En general estos juegos plantean retos estructurados en fases que se pueden jugar en pocos minutos, ofreciendo en muchos casos un gran número de niveles disponibles para el jugador. Este diseño se adapta fácilmente a los tiempos que disponemos en las aulas y permite organizar la actividad en base a un número determinado de niveles a jugar, conociendo de antemano las situaciones que los alumnos deberán superar. Además, en muchos casos los primeros niveles acostumbran a ser un manual de instrucciones jugable, con lo que no es necesaria una introducción en detalle presentando el juego a los alumnos. Un aspecto positivo es que una gran mayoría de los videojuegos disponibles en las tiendas online de los dispositivos móviles son gratuitos o disponen de una versión reducida gratuita, que puede ser perfectamente útil para una actividad de aula.

Por su parte, el soporte en ordenador permite un mayor catálogo de videojuegos a elegir, pero existen limitaciones prácticas que lo reducen. Los ordenadores disponibles en los centros educativos no acostumbran a tener una tarjeta gráfica dedicada, con lo que los videojuegos más demandantes en recursos no son una opción viable. Por ello, los videojuegos a nuestro alcance son aquellos que fueron publicados hace años o los diseñados para jugar desde el navegador, que también podrían utilizarse en ordenadores tipo *chromebook*, que empiezan a ser comunes en los centros educativos. Este último tipo de juegos es muy recomendable, ya que comparte algunas de las características de los juegos diseñados para dispositivos móviles, como son las partidas con niveles que requieren tiempos cortos y una curva de aprendizaje que encaja con los tiempos habituales en las aulas.

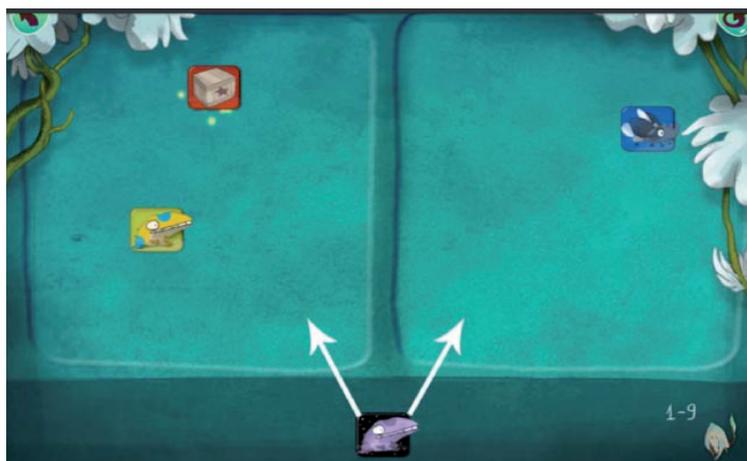


Figura. 1. Una captura de pantalla de *DragonBox Algebra*.

Serious games

Los *serious games* (juegos serios) son juegos diseñados con un propósito principal distinto del entretenimiento, hecho que motiva su nomenclatura. Existen serious games diseñados con propósitos muy dispares, como los destinados a concienciar a los jugadores (hábitos saludables de vida, medio ambiente), los pensados como ejercicios puramente artísticos o simuladores que permiten recrear prácticas complejas en entornos seguros, como pilotar un avión o practicar los protocolos de una intervención quirúrgica. Los serious games se utilizan por i) las posibilidades que ofrecen para motivar a los alumnos, ya que tratan de mantener parte del atractivo de los videojuegos comerciales; ii) la inmersión que proponen, que habilita el pensamiento profundo al poder ignorar distractores en la práctica en el mundo real; iii) la posibilidad de ofrecer respuestas inmediatas a las acciones del jugador; y iv) ofrecer un entorno virtual seguro en el que el error solo tiene consecuencias dentro del contexto de juego.

En nuestro caso nos interesan los videojuegos con objetivos educativos y didácticos, centrados en el aprendizaje de las matemáticas. Un ejemplo muy interesante de videojuego educativo es *DragonBox Algebra*, que puede jugarse en dispositivos móviles. El juego recrea las reglas de la resolución de ecuaciones y las presenta en forma de retos basados en rompecabezas. Concretamente, el juego substituye las incógnitas y números por elementos gráficos y las reglas de resolución por unas reglas alternativas pero equivalentes sobre los movimientos de las piezas en un tablero. El tablero está dividido en dos partes y cada una es equivalente a uno de los dos miembros de una ecuación (véase la fig. 1).

Gutiérrez-Soto, Arnau y González-Calero (2015) han estudiado el impacto del uso de *DragonBox Algebra* sobre la competencia de resolver ecuaciones de alumnos de Educación Secundaria cuando regresan al mundo del álgebra obteniendo resultados positivos. En la misma línea existen otros videojuegos del mismo desarrollador¹ diseñados

1. <https://dragonbox.com/>



Figura 2. Una captura de pantalla de *Semideus*.

para promover el aprendizaje de la geometría euclídea (*DragonBox Elements*) o la aritmética (*DragonBox Numbers*).

Otro videojuego diseñado como herramienta para enseñar matemáticas es *Semideus*² que surge de un proyecto de investigación de la Tampere University of Technology en Finlandia (fig. 2). El videojuego se dirige a trabajar los aspectos conceptuales relacionados con las fracciones y su representación sobre la recta numérica. Las investigaciones de sus creadores revelan que el videojuego promueve aprendizajes como la equivalencia y ordenación de fracciones y la comparación de valores de fracciones a partir de la estimación y la representación en la recta numérica (Kiili, Moeller & Ninaus, 2018).

Por su naturaleza, los videojuegos educativos diseñados para enseñar matemáticas requieren de una dinámica de aula relativamente simple, ya que ellos mismos contienen los elementos didácticos necesarios para promover aprendizajes. Sin embargo, los videojuegos de este tipo que realmente inciden en aspectos conceptuales son escasos. En algunos casos nos encontramos con videojuegos que proponen una experiencia de juego pobre, basada en otorgar logros a superar niveles que no dejan de ser meros ejercicios de cálculo. En estos casos, los alumnos acostumbran a perder rápidamente el interés por el juego. Otras propuestas, como pueden ser *Math Combat Challenge* o *Meltdown*, ofrecen videojuegos de acción como los que juegan los alumnos en su tiempo de ocio, pero añaden actividades matemáticas, normalmente cálculos, dentro del juego. Este último tipo de videojuegos introducen las matemáticas de forma completamente artificial en la dinámica de juego y pueden generar la concepción en los alumnos que las matemáticas son aquello que no les permite disfrutar del juego. La Figura 3 muestra una captura de imagen de *Meltdown*, en la que se puede ver que los alumnos deben decidir si las igualdades

2. <http://www.flowfactory.fi/semideus/>



Figura 3. Una captura de *Meltdown*, un videojuego de acción en primera persona en el que la acción se interrumpe con actividades matemáticas.

numéricas mostradas son ciertas para poder seguir con el juego. De esta forma, la actividad matemática que se propone debe hacerse dentro de la actividad de juego, pero en paralelo a la dinámica planteada. Este hecho supone una interrupción de la actividad principal, lo que supone un obstáculo para el alumno y una posible fuente de desafección hacia el trabajo matemático planteado en este formato.

Dado que el diseño de un *serious game* orientado al aprendizaje de las matemáticas no es un ejercicio trivial y es fácil que las propuestas caigan en la opción de camuflar actividades matemáticas rutinarias bajo un entorno de juego, en el siguiente bloque considero una opción opuesta, la de utilizar videojuegos dirigidos al entretenimiento que posibilitan el trabajo matemático por las características concretas de los retos que presentan.

Videjuegos comerciales

Un enfoque distinto a los *serious games* es el de utilizar videojuegos comerciales, aquellos que han sido diseñados esencialmente para ofrecer entretenimiento, y adaptar su uso a los propósitos didácticos del profesor. En la actualidad existe un abanico enorme de géneros y subgéneros de videojuegos, muchos de ellos no contienen elementos que permitan su uso educativo, otros pueden promover reflexiones interesantes pero que no involucren un análisis matemático de la situación, con lo que pueden ser herramientas útiles para otras materias (como podría ser cualquier juego de la saga *Assassin's Creed* para contextualizar determinadas épocas históricas) pero no para fomentar el aprendizaje matemático. Por ello, en el resto de este artículo me centro en aquellos videojuegos comerciales que incluyen elementos que permiten un acercamiento desde el análisis matemático que puede trasladarse de forma efectiva a las aulas de matemáticas.

En la elección del videojuego a utilizar, el primer paso es identificar la potencialidad para promover actividad matemática durante el juego. Este aspecto es estrictamente necesario en los videojuegos comerciales, justamente porque no han sido diseñados con el propósito de servir como herramienta educativa. El objetivo es aprovechar que ofrecen una propuesta de juego atractiva y que sea el docente el que se encargue de potenciar las posibilidades de trabajar las matemáticas con ellos.

En el pasado me encargué de una sección fija en la revista SUMA en la que repasé algunos videojuegos comerciales que presentan un claro potencial de aprendizaje matemático. Esa sección estaba orientada a recomendar videojuegos que los alumnos pudieran jugar en sus casas y que pudieran ser recomendados por el profesor, de la misma forma que muchos profesores recomiendan películas con contenidos matemáticos, o que repasan vidas de matemáticos célebres, o recomiendan novelas en las que las matemáticas juegan un papel relevante. La idea subyacente es que, si los alumnos van a pasar parte de su tiempo libre jugando, que el profesor de matemáticas pueda ofrecer opciones que proporcionen experiencias matemáticamente interesantes a sus alumnos.

Un ejemplo es el videojuego *Portal 2* (Albarracín, 2013) que presenta retos basados en alterar la topología de los espacios de los que la protagonista debe salir y que está estructurado como una secuencia de problemas en la que cada aprendizaje se refuerza y es clave para poder superar los niveles siguientes. Sin embargo, aunque la experiencia de juego en *Portal 2* promueva aspectos de resolución de problemas en un contexto en el que el análisis de la geometría del espacio es clave, el tiempo necesario para poder trabajar estos conceptos es muy superior al que disponemos en la práctica.

Otra opción es *SimCity* (Albarracín, 2015), un videojuego de simulación en el que el jugador toma el rol del alcalde/gestor de una ciudad y debe diseñarla y controlarla, gestionando aspectos como la distribución de las zonas residenciales, la recaudación de impuestos o la gestión de los servicios básicos. Jugando a *SimCity* se deben tomar decisiones complejas, en las que un análisis matemático de la situación es de gran ayuda para solucionar las dificultades que presenta la simulación. Como en el caso de *Portal 2*, el tiempo necesario para entender las mecánicas de juego y conocer todos los elementos involucrados en la toma de decisiones (urbanísticos, económicos, ambientales, de gestión de la energía y un largo etcétera) requiere de una cantidad de tiempo de la que generalmente no disponemos.

Ante esta situación, es necesario centrarse en videojuegos que puedan ser utilizados de forma efectiva en el aula. Videojuegos que permitan que los alumnos puedan empezar a jugar rápidamente y que puedan estructurarse en actos cortos. El género de videojuegos que mejor se ajusta a esta descripción son los videojuegos de puzle. Seguramente el ejemplo más conocido es *Tetris*, un videojuego en el que se deben encajar tetrominós, pero existen una amplia gama de juegos diferentes que comparten el patrón de proponer pequeños retos a los alumnos. Si pretendemos trabajar la perspectiva en entornos tridimensionales, *Monument Valley* (fig. 4) y *Echocrome* son dos propuestas distintas basadas en los mundos irreales de M. C. Escher.

Otro tipo de juego de puzles que proporciona muchas posibilidades de trabajar aspectos metacognitivos sobre resolución de problemas son los juegos de tuberías, de los que hay muchas variantes para dispositivos móviles. Estos juegos pueden ser una buena opción en Educación Primaria, específicamente en el segundo ciclo, para trabajar

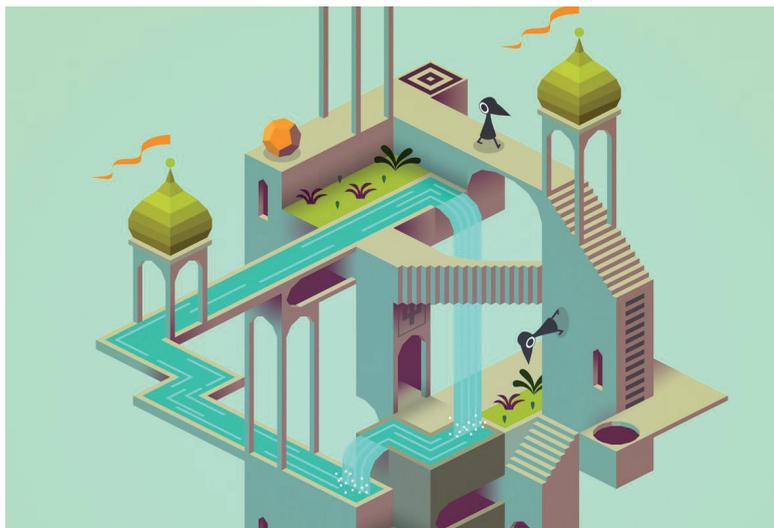


Figura 4. Una captura de *Monument Valley* en la que se ve un diseño de juego basado en los mundos irreales de M. C. Escher.

contenidos de orientación y caminos en el plano. Dado que de este subgénero se pueden encontrar múltiples juegos, podemos elegir aquél que más se acerque a nuestros intereses o que incluya elementos de diseño que podamos aprovechar. Por ejemplo, el videojuego *Pipeline* propone que construyamos una tubería para conectar dos tomas de agua (la verde y la roja en la fig. 5) pero las piezas a utilizar se encuentran en la pantalla desde el inicio y la intervención del jugador se basa en rotarlas para crear el camino por el que pasará el agua. Este diseño proporciona una mecánica de juego más simple que otras propuestas en las que el jugador debe elegir una pieza y colocarla libremente en el terreno de juego, con lo que el manejo del videojuego es más ágil y los alumnos se enfrentan antes al reto propuesto.

Un género distinto es el de los videojuegos de estrategia en tiempo real. La relevancia de estos videojuegos proviene de los años 90 con ejemplos como *Dune*, *Warcraft* o *Starcraft* (Albarracín, 2014), pero en los últimos años han vuelto a ganar popularidad por juegos en equipo como *League of Legends*. Nuevamente, este tipo de juegos no son fáciles de trasladar a las dinámicas habituales de aula, con lo que es necesario elegir algún videojuego que reduzca la complejidad de juego que acostumbran a presentar. En este caso, los videojuegos del género *tower defense* simplifican la complejidad respecto a los videojuegos de estrategia en tiempo real de forma que pueden plantearse actividades que complementen el juego con el objetivo de trabajar diferentes contenidos matemáticos.

Los videojuegos *tower defense* se caracterizan por una serie de mecánicas comunes. Cada nivel consiste en un mapa en el que hay un camino por el que circulan una serie de enemigos que aparecen en hordas, dividiendo cada nivel en diferentes rondas. El jugador debe colocar una serie de torres defensivas fijas en puntos escogidos del mapa donde atacarán a los enemigos dentro de un determinado radio de acción y con una fuerza determinada, ambas características específicas de cada tipo de torre. El juego se basa en un sistema económico que permite comprar y mejorar las torres, potenciando sus



Fig. 5. Una captura de pantalla de *Pipeline* con el camino casi definido.

características. El objetivo es sobrevivir a los sucesivos ataques de los enemigos, evitando que lleguen al final del camino.

En Ferrando, Castillo y Pla-Castells (2017) y en Joanpere, Nicolich, Vila y Albarracín (2016) se describen dos propuestas diferentes basadas en el uso de dos videojuegos *tower defense* como son *Bloons Tower Defense 5* y *Vector Tower Defense 2*, respectivamente. Ambos videojuegos comparten las mecánicas básicas de juego que son las que plantean una actividad que admite un análisis matemático a los jugadores/alumnos. Identificar la potencialidad matemática es uno de los elementos clave para elegir el videojuego, con lo que aquí nos centraremos en evidenciar qué aspectos concretos del diseño de estos dos videojuegos podemos aprovechar en el aula.

La principal mecánica de un videojuego *tower defense* es elegir y colocar torres sobre el campo de juego, con lo que el posicionamiento de torres es un aspecto crucial. Elegir una torre comporta disponer de los recursos adecuados (o tener un plan para conseguirlos), elegir un tipo concreto de torre que se ajuste a las necesidades identificadas y elegir una posición para colocarla. En Joanpere et al. (2016) se propone profundizar en el análisis de esta elección a partir de aislar este componente del juego y estudiarlo como proceso independiente. En concreto, se propone a los alumnos la actividad de decidir el mejor lugar del mapa para colocar una torre con un alcance determinado (Fig. 6).

El análisis pasa por crear una función de utilidad de la torre, que debe relacionarse con el área de camino que puede cubrir y tratar de maximizar la función “área de camino cubierta”. Los alumnos del ciclo superior de Educación Primaria trabajan a partir de contar cuadrados, pero con los alumnos de Educación Secundaria es posible trabajar directamente el área cubierta sin simplificaciones.



Figura 6. Una captura del mapa de *Vector Tower Defense 2* en la que se muestra como el jugador coloca una torre roja y considerando su alcance.

Por su parte, Ferrando, Castillo y Pla-Castells (2017) sugieren plantear la actividad matemática desde el punto de vista de la modelización a partir de *Bloons Tower Defense 5* para trabajar el concepto de función. En este punto me parece interesante destacar que, aunque *Vector Tower Defense 2* y *Bloons Tower Defense 5* son videojuegos del mismo género y comparten gran parte de los elementos de diseño que los caracterizan, presentan diferencias que pueden ser especialmente útiles para determinados tipos de actividad. En concreto, *Vector Tower Defense 2* es muy explícito con las características concretas de los enemigos y torres en el juego. Por ejemplo, es posible leer en pantalla que los enemigos del primer nivel tienen 600 puntos de vida y que la torre roja daña en 110 puntos a todos aquellos enemigos a los que dispara. Esto permite plantear problemas a los alumnos para predecir el comportamiento de los enemigos ante determinadas torres, que pueden ir aumentando en complejidad al leer en pantalla que las torres rojas causan un 150% de daño a los enemigos rojos pero solo un 50% del daño habitual a los enemigos verdes (fig. 7).

En cambio, los diseñadores de *Bloons Tower Defense 5* no incluyeron este tipo de información en la pantalla de juego, aunque sabemos que este es el tipo de cálculos que computa el juego para resolver los eventos del juego. Por ello, dado que esta información no está disponible para los alumnos, tiene sentido plantear la actividad de modelización del comportamiento interno del juego (¿cuánto tarda una torre en volver a disparar?, ¿qué cantidad de daño hace en cada disparo?). Esta diferenciación entre los dos videojuegos puede entenderse como una oportunidad para generar actividades distintas y adaptadas a los conocimientos de los alumnos en cada nivel educativo. Dado que para determinados géneros existe una gran cantidad de variantes de un mismo formato de juego, es posible elegir aquél que se adapte mejor a la propuesta que el profesor tenga en mente.

Organización de la actividad de juego

La mayoría de los videojuegos que hemos identificado como adecuados para su uso en el aula de matemáticas, ya sean *serious games* o videojuegos comerciales, presentan una propuesta de juego individual. En este caso, el docente puede mantener esta propuesta y buscar la interacción entre los alumnos a partir de compartir experiencias de juego o en el trabajo complementario a la actividad de juego. Pero también es interesante valorar la posibilidad de pedir a los alumnos que jueguen en otras configuraciones. En el estudio desarrollado en Hernández, Joanpere, Gorgorió y Albarracín (2015) pedimos a los alumnos que jugaran en parejas a un juego individual, provocando la necesidad de consensuar las decisiones a tomar. En ese caso, esta propuesta respondía a la necesidad de que los alumnos verbalizaran sus razonamientos y los defendieran frente a un igual. De la misma forma, en el aula se puede promover que los alumnos discutan y compartan ideas sobre el videojuego al jugar en pareja. De esta forma, el profesor puede aprovechar las discusiones entre los alumnos para proponer actividades de análisis matemático que permitan resolver las dificultades que aparecen durante el juego.

Otra forma de organización de la actividad de juego es que cada uno de los alumnos se enfrenten por ellos mismos al videojuego, pero que exista un conjunto de objetivos comunes a alcanzar propuestos a todo el grupo-clase. Por ejemplo, en un videojuego que se estructure en niveles, el reto puede ser que alguien del grupo llegue a superar un nivel determinado, sabiendo de antemano que ese objetivo es realmente difícil sin compartir ideas o estrategias. De otra forma, se puede conseguir que los alumnos trabajen cooperativamente al solicitar que todos superen un nivel mínimo. Esta forma de organización promueve compartir conocimientos sobre el juego, que si están conectados con aspectos matemáticos van a promover la generación y aplicación de conceptos clave. Que todo el grupo tenga un objetivo común permite discusiones en forma de lluvia de ideas a partir de las cuales se pueden testar las diferentes estrategias necesarias para avanzar con éxito en el juego. Utilizando este tipo de propuesta con *Vector Tower Defense 2* en un grupo de 6º de Primaria, los alumnos compararon distintas configuraciones de torres, midiendo su eficacia en el juego a partir de una función que definieron ellos mismos para ser usada en el modo de juego libre que incorpora el videojuego. En este modo no existe la limitación de los recursos iniciales, con lo que supone un entorno perfecto para la experimentación.

Rol del videojuego en la actividad

Una vez determinado el videojuego e identificados los elementos matemáticos que aparecen durante el juego, es necesario crear las actividades que van a complementar la

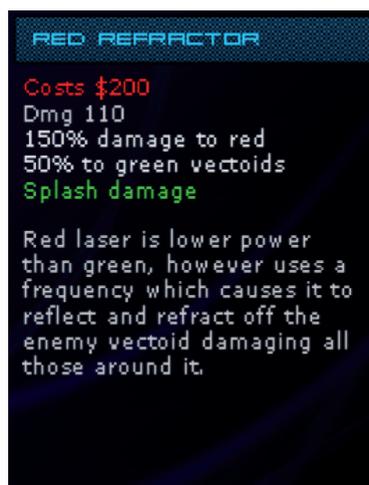


Figura 7. Detalle de la información proporcionada en pantalla por *Vector Tower Defense 2*.



Figura 8. Un nivel de *Kula World* en una plataforma tridimensional.

experiencia de juego con el objetivo de explicitar el trabajo matemático y consolidar aprendizajes. Esto es debido a que los videojuegos comerciales no están diseñados como herramientas didácticas y priorizan la experiencia de juego, con lo que los alumnos juegan en un entorno que puede ser muy rico por su complejidad, pero no nos asegura que el trabajo sea tan profundo como deseamos. Para ilustrar esta necesidad, voy a centrarme en primera instancia en desarrollar un ejemplo que he utilizado en diversas ocasiones con alumnos del ciclo superior de Educación Primaria.

Kula World es un videojuego de tipo puzzle en el que el jugador controla una esfera (en este caso es una pelota de playa) que debe recorrer una plataforma tridimensional formada por cubos en busca de las llaves que le permitan habilitar la salida (Fig. 8).

En *Kula World*, el jugador controla el movimiento de la pelota con el teclado y puede moverse en cuatro direcciones en el plano (delante, detrás, izquierda y derecha). Cuando la dirección está definida, puede decidir avanzar en línea recta hacia adelante. También se puede saltar para cambiar de plataforma o esquivar objetos peligrosos. De esta forma, cuando el jugador se mueve por la plataforma ve vistas distintas de ella, siempre desde el punto de vista subjetivo de la posición de la pelota de playa, con lo que debe interpretar su posición en la plataforma para orientarse y localizar los objetos que debe conseguir.

Los alumnos juegan de forma intuitiva y veloz. El juego no proporciona momentos para que los alumnos se paren a pensar sobre la mejor forma de alcanzar un punto concreto de la plataforma, ya que cada nivel tiene un tiempo determinado para ser superado. En muchos casos, si los alumnos no consiguen los objetivos de un nivel, reinician nivel y trabajan siguiendo la estrategia de ensayo y error. De esta forma los alumnos experimentan dificultades para visualizar las plataformas tridimensionales y se ven obligados a enfrentarse a situaciones complejas, pero hasta este punto el videojuego no ha hecho más que ofrecer oportunidades de aprendizaje que pueden ser superadas sin que los alumnos analicen adecuadamente la situación. Por ello es necesario plantear actividades que partan de esta experiencia y que los obliguen a trabajar desde otra perspectiva.

En este caso una propuesta interesante es proporcionar a los alumnos un material manipulativo que les permita construir réplicas de las plataformas que aparecen en el juego

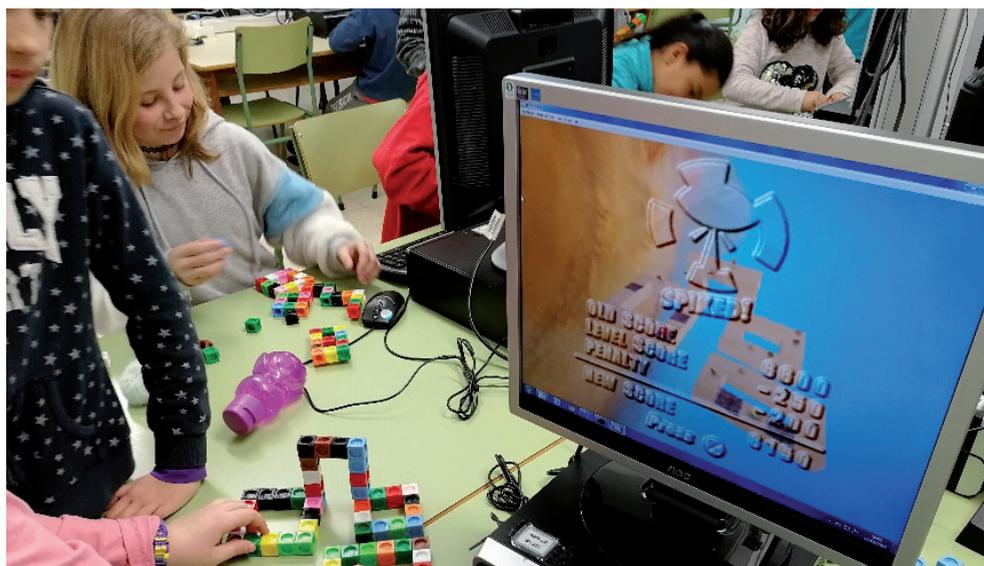


Figura 9. Unas alumnas reproduciendo una plataforma de *Kula World* utilizando cubos multilink.

en el mundo real. La Figura 9 muestra a una pareja de alumnas que trata de reproducir estas plataformas usando cubos multilink. Este trabajo permite evidenciar la naturaleza tridimensional de entorno en el que han jugado.

Una vez los alumnos han construido algunas de estas plataformas, la actividad se puede conducir a pensar con detalle algunos aspectos que propone el juego y analizarlos matemáticamente. En concreto, se puede pedir a los alumnos que, respetando las normas de movimiento del juego, determinen qué zonas de la plataforma son accesibles desde una posición inicial de la pelota. De esta forma se trabajan los caminos en entornos tridimensionales y las normas del juego pasan a actuar como restricciones de los problemas planteados. Así también se transforma una actividad geométrica (construir plataformas) en una actividad topológica (diferenciación de zonas) que conecta con la experiencia de juego, por lo que resulta natural para los alumnos y aprecian que es interesante para ver el juego desde otra perspectiva.

Los problemas a plantear a los alumnos en este contexto pueden ser muy diversos. Una vez identificada una plataforma que contenga zonas no accesibles desde un punto de partida dado, se puede proponer a los alumnos que la modifiquen (añadiendo cubos o plataformas auxiliares para permitir llegar a esas zonas) para que desde ese punto inicial se pueda llegar a recorrer toda la plataforma. Este tipo de actividad enlaza con el diseño de plataformas y los alumnos valoran la idea de trabajar como lo hacen los diseñadores del videojuego para ofrecer niveles que sean interesantes para el jugador. De esta forma la actividad puede continuar diseñando nuevas plataformas que podrían ser niveles alternativos a los propuestos por el videojuego. La opción más accesible es construir estas plataformas con materiales manipulativos, pero también existe la opción de trabajar en un entorno virtual tridimensional como *SketchUp*, aunque este último requiere que los alumnos se acostumbren y dominen una forma diferente de representar objetos. Los



Figura 10. Una captura de pantalla de *The Plague* en la que el sur de Asia ha sido infectado.

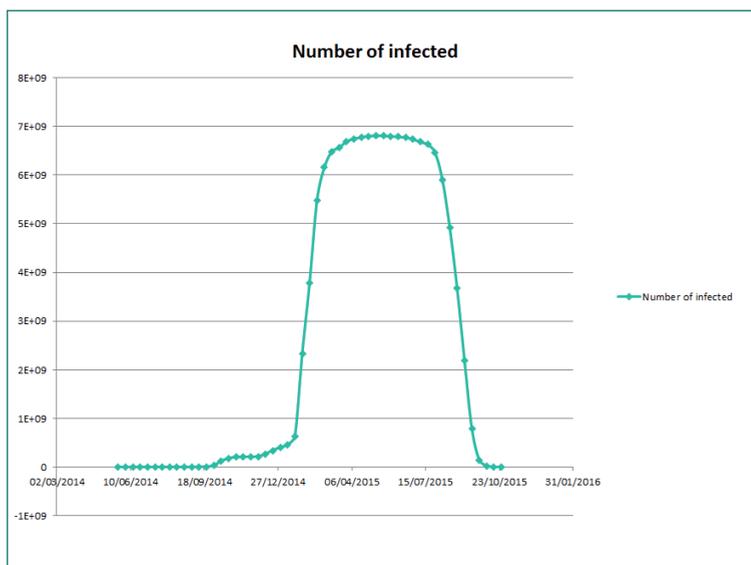
alumnos muestran mucho interés en esta actividad, especialmente en discutir los elementos y características que permiten establecer una escala de dificultad para clasificar los niveles del videojuego.

Tal y como está diseñada, esta actividad parte de la propuesta de juego de *Kula World*, iniciando los alumnos la actividad con el rol de jugadores, pero al avanzar se les proponen que tomen un rol distinto, acercándose al tipo de reflexión que hace un diseñador de videojuegos y en el que queda claro que el análisis matemático es parte fundamental.

A continuación, detallaré otro ejemplo que puede conllevar una aproximación algo distinta al videojuego. Esta propuesta proviene de Frejd y Årlebäck (2017), que utilizaron el videojuego *The Plague* (Fig. 10) con alumnos de los cursos superiores de Educación Secundaria, equivalente a la etapa de Bachillerato en España. *The Plague* es un videojuego para plataformas móviles en el que el jugador tiene la posibilidad de diseñar un virus con el objetivo de infectar a toda la población humana terrestre y provocar una pandemia que acabe con la humanidad. *The Plague* también es interesante desde el punto de vista de los conocimientos biológicos, ya que el virus puede diseñarse para que soporte climas tropicales, para que tenga un periodo de incubación largo y permita infecciones después de largos viajes transoceánicos o que provoque efectos secundarios como mucosidad o tos para que pueda propagarse más efectivamente.

Desde el punto de vista de las matemáticas, *The Plague* es interesante porque permite analizar la evolución de la población infectada. Este es un aspecto crucial en el desarrollo del juego y los alumnos se enfrentan a él de forma intuitiva. La propuesta de Frejd y Årlebäck (2017) es que los alumnos recojan los datos que va ofreciendo el juego, generen las gráficas de población adecuadas y estudien la naturaleza de las curvas que aparecen. Dado el alto nivel de autenticidad de la simulación, este trabajo permite discutir en el aula fenómenos de crecimiento exponencial y la función logarítmica.

Figura 11. Una muestra de gráfico de población elaborado jugando a *The Plague*.



La propuesta permite que los alumnos relacionen la forma de las curvas estudiadas con su experiencia en el juego, dotando de significado a la curva y su evolución, ya que los momentos de mayor crecimiento de la población infectada son aquellos que busca el jugador para conseguir los objetivos de juego. Un gráfico como el que muestra la Figura 11 permite también identificar los momentos clave del juego, como el instante en el que se da el máximo de población infectada o los cambios de tendencia (puntos de inflexión).

En el caso de *The Plague*, la implementación en el aula puede tomar formas distintas. Una opción es promover el juego en parejas, para que se consensuen decisiones y que sea menos tedioso el proceso de recopilar los datos. De esta forma también pueden tomarse notas de las decisiones que van tomando los alumnos sobre el diseño del virus y así se puede estudiar su impacto. Una opción distinta es pedir a los alumnos que hagan esta parte de la actividad en sus casas y dedicando el tiempo de aula a compartir la experiencia y al análisis matemático de los datos obtenidos.

A MODO DE CONCLUSIÓN

Este artículo muestra solo una parte de las posibilidades de los videojuegos en las aulas de matemáticas, todavía queda un largo camino por explorar. El lector echará de menos propuestas como *Minecraft*, que merecería un artículo entero, o explorar opciones alternativas de gestión, como que los alumnos propongan videojuegos y se trabajen en el aula las dificultades matemáticas que encuentran en ellos.

También es necesario explorar las posibilidades de los *serious games* que van a ir apareciendo en los próximos años cuando los videojuegos vayan siendo utilizados en más ámbitos. El mercado de los videojuegos comerciales es enorme y sigue creciendo, pero los videojuegos diseñados como herramientas educativas son todavía escasos. Es

muy posible que en los próximos años aparezcan más opciones que superen a las actuales en diversos aspectos. Bajo mi punto de vista, los videojuegos diseñados para aprender matemáticas tienen todavía margen de mejora para proponer una actividad de juego compleja e interesante por ella misma, como ofrecen los videojuegos comerciales, pero, si el uso de videojuegos se asienta en las aulas, es posible que más empresas desarrolladoras traten de ocupar este espacio. Mientras tanto, usar videojuegos comerciales permite conectar fácilmente un contexto real (dentro de la virtualidad de un videojuego) con el conocimiento matemático, si elegimos adecuadamente el videojuego a utilizar.

Porque lo que es innegable es que aquello que empezó como un entretenimiento para niños se ha ido infiltrando en muchas otras actividades e involucrando a personas de cualquier rango de edad. Y no podemos olvidar que en la actualidad supone una vía de acceso a la interacción con la tecnología, que va a ser la constante de las nuevas generaciones de alumnos, para las que los contenidos audiovisuales, los entornos tridimensionales o la realidad virtual van a formar parte de sus vidas como ciudadanos competentes.

REFERENCIAS

- Albarracín, L. (2013). Portal 2. *Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas*, 74, 77-82.
- (2014). Videojuegos de estrategia en tiempo real. *Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas*, 75, 77-83.
- (2015). Videojuegos. Diseñando ciudades en SimCity. *Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas*, 78, 65-71.
- Bishop, A. (1991). *Mathematical enculturation: A cultural perspective on mathematics education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games: A change in the use of game characteristics. *Games and culture*, 5(2), 177-198.
- De Guzmán, M. (2007). Enseñanza de las ciencias y la matemática. *Revista iberoamericana de educación*, 43, 19-58.
- Dickey, M. D. (2005). Engaging by design: How engagement strategies in popular computer and video games inform instructional design. *Educational Technology Research and Development*, 53, 67-83.
- Ferrando, I., Castillo, J., & Pla-Castells, M. (2017). Videojuegos de estrategia en Educación Matemática.: Una propuesta didáctica en secundaria. *Epsilon: Revista de la Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales*, 97, 23-42.
- Frejd, P., & Årlebäck, J. B. (2017). Initial Results of an Intervention Using a Mobile Game App to Simulate a Pandemic Outbreak. In *Mathematical Modelling and Applications* (pp. 517-527). Springer, Cham.
- Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. *ACM Computers in Entertainment*, 1(1), 1-4.
- Gros, B. (2007). Digital games in education: the design of games-based learning environments. *Journal of Research on Technology in Education*, 40(1), 23-28.

- Gutiérrez-Soto, J., Arnau, D. & González-Calero, 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*, 30(1), 33-44.
- 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.
- Joanpere, M., Nicolich, M., Vila, M., & Albarracín, L. (2016). Un videojuego de estrategia para proponer problemas de matemáticas. *Aula de innovación educativa*, 248, 24-28.
- Kiili, K., Moeller, K., & Ninaus, M. (2018). Evaluating the effectiveness of a game-based rational number training - In-game metrics as learning indicators. *Computers & Education*, 120, 13-28.
- Pólya, G. (1945). *How to Solve It*. Princeton University Press.
- Radford, L. (2009). “No! He starts walking backwards!”: interpreting motion graphs and the question of space, place and distance. *ZDM*, 41(4), 467-480.
- Rosas, R., Nussbaum, M., Cumsille, P., Marianov, V., Correa, M., Flores, P., Grau, V., Lagos, F., López, X., López, V., Rodriguez, P. and Salinas M. (2003). Beyond Nintendo: design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers & Education*, 40(1), 71-94.
- Salen, K., & Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*. Cambridge, MA: MIT Press.