



Una secuencia de actividades para desarrollar la visualización usando un videojuego

A sequence of activities to develop visualization using a video game

Lluís Albarracín

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals.

Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, Barcelona, España

Profesor Serra Hünter"

lluis.albarracin@uab.cat

RESUMEN • Este artículo describe una de secuencia de actividades para trabajar la visualización con alumnos de cuarto de Educación Primaria a partir del contexto promovido por un videojuego tipo puzzle tridimensional. La secuencia se inicia jugando libremente para identificar los retos que propone el juego. A continuación, se proponen actividades para identificar aspectos claves del videojuego y generar conocimientos geométricos sobre visualización con el cual poder diseñar niveles del videojuego. En el artículo se presenta cada actividad que conforma la secuencia, su fundamentación y la validación de los aprendizajes promovidos después de su aplicación. Estos resultados ponen de manifiesto las posibilidades del videojuego utilizado y las actividades que lo acompañan para relacionar diferentes formas de visualización de objetos tridimensionales.

PALABRAS CLAVE: Visualización; Videojuegos; Educación Primaria; Resolución de problemas.

ABSTRACT • This article describes a sequence of activities to work on visualization with Primary Education fourth-grade students from the context promoted by a three-dimensional puzzle video game. The sequence is initiated by playing freely to identify the challenges proposed by the game. Then, activities are proposed to identify key aspects of the video game and to generate geometric knowledge about visualization with which to design levels of the video game. The article presents each activity that makes up the sequence, its rationale and the validation of the learning promoted after its application. The results show the possibilities of the video game used and the activities that accompany it to relate different forms of visualization of three-dimensional objects.

KEYWORDS: Visualization; Video games; Primary Education; Problem solving.

Recepción: noviembre 2019 • Aceptación: agosto 2020 • Publicación: junio 2021

Albarracín, L. (2021). Una secuencia de actividades para desarrollar la visualización usando un videojuego. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 181-199.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3174>

INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta, justifica y valida una secuencia didáctica diseñada para trabajar la visualización con alumnado de cuarto curso de Educación Primaria utilizando un videojuego como soporte. Por una parte, se pretende aportar una forma efectiva de conjugar la representación tridimensional de formas en una pantalla con el trabajo en el mundo real para desarrollar la visualización. Por otra parte, se detalla un enfoque inédito sobre el uso de videojuegos en el aula en el que los alumnos se introducen en la actividad mediante el juego, pero posteriormente lo analizan para obtener el conocimiento matemático adecuado para poder diseñar estructuras tridimensionales que darían forma a nuevos niveles. Es el proceso de creación inherente a la actividad de diseño el que conecta los conocimientos matemáticos con las necesidades del mundo real y el que permite a las alumnas y alumnos tomar consciencia de sus propios aprendizajes. Este trabajo sigue la línea de utilizar los videojuegos comerciales como un contexto para promover aprendizajes matemáticos a partir del análisis de los procesos de juego (Frejd y Årlebäck, 2017; Hernández-Sabaté, Joanpere, Gorgorió y Albarracín, 2015). Esta se muestra como una vía prometedora de aproximación a la enseñanza que debe ser estudiada con mayor profundidad.

VISUALIZACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE OBJETOS TRIDIMENSIONALES

La inteligencia espacial, el pensamiento espacial y la visualización espacial se consideran a menudo sinónimos en la literatura científica. Varios autores han discutido sobre sus diferencias, pero existe un consenso al considerar que todas ellas están relacionadas con las habilidades de razonamiento que el estudiante necesita desarrollar para poder imaginar, representar, describir, transformar y manipular objetos en el espacio tridimensional (Fischbein y Nachlieli, 1998; Gutiérrez, 1996; Kovacevic, 2017). En este artículo tomamos una denominación común bajo el nombre de visualización.

La visualización implica la articulación de procesos y capacidades de una persona para realizar ciertas tareas que requieren ver o imaginar mentalmente objetos geométricos en el espacio, representar objetos bi- o tridimensionales, así como relacionar estos objetos entre sí y realizar tareas específicas o transformaciones geométricas con ellos. Algunas de las transformaciones esenciales son la rotación y traslación de un objeto o movimientos concretos de las partes que lo componen (McGee, 1979). Bishop (1988) identifica cuatro procesos que son aplicables a la visualización y al trabajo con imágenes mentales. Estos procesos son los siguientes: *a*) generar una imagen mental a partir de cierta información dada; *b*) inspeccionar la imagen para observar su posición o la presencia de partes de los elementos que la componen; *c*) transformar la imagen usando rotaciones, traslaciones, escalado o descomposición, y *d*) usar la imagen para responder preguntas.

Ben-Chaim, Lappan y Houang (1988) y Németh (2007) afirman que la visualización no se refiere a capacidades o habilidades innatas, sino que debe ser desarrollada. Esta solo puede lograrse cuando los estudiantes participan en actividades de aprendizaje generalmente relacionadas con experiencias de la vida real que despiertan su interés. La visualización desempeña un papel importante en el desarrollo del pensamiento matemático de los estudiantes. Pittalis y Christou (2010) observaron que las habilidades espaciales son un fuerte predictor del rendimiento de los estudiantes en geometría tridimensional. Revina, Zulkardi, Darmawijoyo y Galen (2014) corroboraron que las tareas de visualización ayudan a los estudiantes a desarrollar su comprensión de la medición de volumen. Esta relevancia de la visualización en el pensamiento matemático y su relación con otros aprendizajes justifican que sea reconocida como un elemento fundamental de la educación obligatoria y como integradora y facilitadora para resolver problemas en el currículo. En esta línea, Risma, Putri y Hartono (2013) proponen que las actividades manipulativas basadas en el uso de bloques de construcción apoyen el desarrollo de la visualización de los estudiantes.

Con relación a la visualización de objetos tridimensionales, las representaciones planas son el tipo de representación más frecuente para obtener información sobre objetos geométricos tridimensionales en las matemáticas escolares, y a veces se consideran durante el proceso de enseñanza como si estas representaciones planas fueran los objetos reales (Berthelot y Salin, 1998). Sin embargo, tanto estudiantes como adultos tienen grandes dificultades para visualizar objetos tridimensionales en representaciones planas, dibujar objetos tridimensionales, representar líneas paralelas y perpendiculares en el espacio (Ben-Chaim, Lappan y Houang, 1989; Ma, Wu, Chen y Hsieh, 2009). Estas dificultades fueron identificadas principalmente por Parzysz (1988) y Duval (1998), quienes señalaron que la visualización de un objeto tridimensional por medio de una figura plana exige un proceso de adaptación a las convenciones de representación que no es trivial y no se enseña explícitamente en la escuela. Por esta razón, es necesario interpretar y utilizar estas convenciones para representar objetos tridimensionales o extraer información de representaciones; de lo contrario, se puede malinterpretar un dibujo y no entender si representa un objeto plano o tridimensional (Parzysz, 1988).

Los desarrollos tecnológicos de las últimas décadas han favorecido la representación de objetos tridimensionales más allá del papel, ya sea directamente en una pantalla o usando realidad aumentada, lo que permite representar objetos en movimiento y habilitar la interacción directa sobre ellos. Esta aproximación se denomina visualización dinámica (Harel y Sowder, 1998; Presmeg, 1986; Zazkis, Dubinsky y Dautermann, 1996) por estar formada por imágenes en movimiento, ya sea en la mente o en un entorno externo. Este entorno externo puede soportarse en materiales manipulativos o en *software* como los programas de geometría dinámica o, como exploramos en este artículo, a partir de un videojuego. Las investigaciones señalan que la visualización dinámica puede ser una herramienta poderosa para obtener una comprensión más profunda de otros conceptos matemáticos y puede ser también un recurso para resolver problemas matemáticos (Goldenberg, Lewis y O'Keefe, 1992; Presmeg, 1986; Tall y West, 1986). En este sentido, Drijvers (2013) pone de manifiesto que el uso de *software* para promover aprendizajes matemáticos no solo concierne al diseño de la tecnología digital involucrada, sino también al diseño de las tareas y actividades que la acompañan.

USO DE VIDEOJUEGOS EN LA EDUCACIÓN MATEMÁTICA

Jugar, entendido en un sentido amplio, es una actividad que constituye una parte importante del desarrollo cognitivo y social de los niños. En la práctica del juego se dan diversos elementos de aprendizaje, de formación, de cohesión o de soporte a la comunicación y se permite a los niños experimentar con situaciones y actividades más complejas de las que experimenta en su vida diaria (Vigotsky y Cole, 1979). Salen y Zimmerman (2004) definen el juego como un sistema en el que quien participa se involucra en un conflicto artificial, definido por unas reglas concretas. Esta definición es aplicable también a los videojuegos, que pueden tener un uso educativo, promovido por su diseño. En concreto, los videojuegos están definidos por un conjunto de reglas, objetivos y retos que provocan la interacción del jugador con la máquina y promueven su toma de decisiones. Los videojuegos se caracterizan por la inmediatez de las respuestas en pantalla (Dickey, 2005). Que la actividad de juego tenga su foco en las acciones de los propios jugadores hace de los videojuegos una herramienta con un gran potencial didáctico (Prensky, 2001). Para Charsky (2010), las características esenciales de los videojuegos como herramientas didácticas son la competitividad, la presencia de objetivos, la existencia de unas reglas bien definidas y la necesidad de tomar decisiones. Ke (2009) destaca que los videojuegos presentan la oportunidad de desenvolverse en entornos simulados, con lo que los jugadores pueden ser los protagonistas de la actividad. De esta forma, permiten y estimulan el desarrollo intelectual de los jugadores presentando situaciones en las que la toma de decisiones es esencial sin experimentar en la vida real los efectos negativos de una mala decisión.

Connolly, Boyle, MacArthur, Hainey y Boyle (2012) realizaron una revisión de la literatura existente sobre el uso de videojuegos en las aulas 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 identificaron mejoras en habilidades motoras y perceptivas, así como en habilidades cognitivas como pueden ser la visualización, la memoria o la resolución de problemas.

Rosas *et al.* (2003) han corroborado que el uso de videojuegos educativos produce mejoras en la motivación del alumnado por el aprendizaje, que se conjugan con la adquisición de conocimientos de tipo tecnológico. Sin embargo, se ha observado que los videojuegos educativos (aquellos diseñados expresamente como herramientas didácticas y no con motivación lúdica) no son los que más interesan a los estudiantes, que prefieren jugar videojuegos comerciales (Hamlen, 2011). Es interesante observar que algunos videojuegos comerciales, aunque no estén centrados en promover aprendizajes, pueden promover beneficios didácticos. Dos ejemplos de ello son los géneros de videojuegos en los que es necesario desenvolverse en entornos tridimensionales, que ayudan a mejorar las capacidades de rotación mental (Feng, Spence y Pratt, 2007), o los videojuegos de estrategia competitivos, que permiten desarrollar aspectos metacognitivos (Foster, Esper y Griswold, 2013). Ke (2008) observa que un aspecto clave del diseño de los videojuegos para su uso pedagógico es la relación entre los objetivos del juego y los objetivos de aprendizaje, que no siempre coinciden. En su estudio, Ke (2008) identifica patrones de respuesta aleatorios en las respuestas de los alumnos (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 el caso específico de la educación matemática, se han desarrollado diversos estudios que buscan identificar la potencialidad de los videojuegos para promover aprendizajes. Uno de los centros de atención son los videojuegos diseñados como herramienta específica para enseñar conceptos concretos o ayudar a los alumnos a desarrollar competencias concretas. Un ejemplo es el trabajo de Gutiérrez, Arnau y González (2015). Estos autores han analizado el impacto de un videojuego llamado *Dragon-Box Algebra* (2013) orientado a la introducción de la manipulación algebraica –resolución de ecuaciones, trabajo con paréntesis, sustitución de términos algebraicos– proponiendo diversos sistemas de representación y un sistema de logros. Los resultados del estudio muestran que los alumnos mejoran significativamente en la resolución de ecuaciones y que incorporan procesos extraídos de las mecánicas de juego al trabajo algebraico. Pero también se han estudiado otras vías, como el diseño de videojuegos para estimular el aprendizaje (Pretelín-Ricárdez y Sacristán, 2015) o el uso de videojuegos comerciales como promotor de los aprendizajes. Por ejemplo, Frejd y Årlebäck (2017) utilizaron el videojuego *Plague Inc: Evolved* (2015) para introducir el uso de funciones para modelizar aspectos esenciales del juego con alumnos de Educación Secundaria.

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Diseño y objetivos de la secuencia de actividades

La secuencia de actividades está dirigida a promover el desarrollo de la visualización a partir de la actividad de juego usando un videojuego tridimensional tipo puzzle. Su diseño está fundamentado en dos principios básicos. En primer lugar, la secuencia propone actividades que van incluyendo los aprendizajes anteriores y que aumentan progresivamente la complejidad de la tarea. En segundo lugar, la tarea aprovecha tanto la potencialidad del videojuego como de materiales manipulativos para promover tareas en las que la visualización es clave.

Las actividades propuestas están diseñadas para promover el trabajo de los alumnos siguiendo una evolución de la actividad guiada por los procesos cognitivos requeridos para enfrentarse a ella en un

orden creciente de complejidad. Tomamos como referencia la clasificación de procesos cognitivos de la taxonomía de Bloom (Bloom, Engelhart, Furst, Hill y Krathwohl, 1956), que los jerarquiza en el siguiente orden: recordar, entender, aplicar, analizar, evaluar, crear. En tal taxonomía, los niveles inferiores requieren habilidades de pensamiento de orden inferior, mientras que los niveles más altos requieren habilidades de pensamiento de orden superior.

En primer lugar, los alumnos deben enfrentarse a una situación de juego en un entorno tridimensional utilizando un videojuego comercial. Esto permite proponer una actividad en la que los alumnos son los protagonistas de la actividad y deben entender un sistema de objetos tridimensionales en un espacio virtual y las reglas concretas que definen la interacción del alumno/jugador con ellos. En segundo lugar, se propone a los alumnos que relacionen los objetos del espacio virtual con objetos tridimensionales del mundo real para analizar sus propiedades. En tercer lugar, se propone que los alumnos resuelvan problemas matemáticos que emulan situaciones intrajuego pero utilizando materiales manipulativos, con el propósito de analizar las propiedades de los objetos que intervienen en el videojuego y la complejidad que añade que existan unas reglas de movimiento específicas. Finalmente, se propone a los alumnos una actividad de diseño de un nivel para el videojuego para que al crear estos contenidos activen y articulen diversos procesos y capacidades de visualización.

La secuencia está diseñada para trabajar contenidos matemáticos relativos a la geometría del espacio. Los objetivos didácticos de la secuencia didáctica son los siguientes:

- Uso y análisis de diversas formas de representación y construcción de figuras de tres dimensiones, con materiales manipulativos y recursos digitales.
- Descripción de localizaciones y movimientos de objetos en el espacio.
- Identificación de las relaciones entre las vistas parciales de un objeto tridimensional y el objeto.

Estos objetivos curriculares enlazan con capacidades de visualización como imaginar la rotación o translación de un objeto, analizar las partes que componen una figura tridimensional y usar diferentes representaciones para responder a preguntas (Bishop, 1988).

El videojuego elegido es *Kula World* (1998), que se utiliza como material didáctico que promueve la visualización al requerir la interacción con objetos tridimensionales complejos y proponer retos no triviales al jugador, que dependen de aspectos como las vistas parciales de un objeto. De esta forma, cumple con los requisitos propuestos por Ke (2008) para que un videojuego pueda considerarse una herramienta didáctica. Sin embargo, no podemos considerar que la experiencia de juego sea suficiente para alcanzar los objetivos de aprendizaje propuestos, ya que los alumnos pueden usar estrategias alternativas a desarrollar los conocimientos adecuados para superar los retos propuestos, como actuar por ensayo y error. Por ello la actividad de juego supone el inicio de la secuencia, pero el núcleo de esta se basa en las tareas que complementan la actividad de juego basadas en el análisis matemático de los elementos característicos del juego y sus propiedades (Drijvers, 2013). En concreto, se proponen actividades de construcción de figuras tridimensionales usando materiales manipulativos e integrando las vistas en pantalla de un objeto (Gutiérrez, 1996), la resolución de problemas relacionados con la localización y el movimiento de objetos en el espacio y la creación de plataformas diseñadas como niveles del videojuego. La secuencia está diseñada para aprovechar los aspectos matemáticos esenciales que promueve el videojuego, aislarlos y estudiarlos por separado para conseguir el entendimiento adecuado que permite tomar una perspectiva diferente a la del jugador, como es la del diseñador de niveles.

Participantes

La secuencia de actividades se ha utilizado con tres grupos-clase de alumnos de cuarto de Educación Primaria (10 años) de dos centros públicos de una ciudad de la provincia de Barcelona. Se trata enton-

ces de una muestra no aleatoria, seleccionada por conveniencia, formada por 40 niñas y 38 niños (78 en total) repartidos en grupos-clase compuestos por 25, 26 y 27 participantes cada uno.

El videojuego utilizado en la secuencia: *Kula World*

Kula World (1998) es un videojuego de tipo puzzle en el que el jugador controla una esfera (concretamente una pelota de playa) que debe recorrer una plataforma tridimensional en busca de unas llaves que le permitan habilitar la salida y completar el nivel. Se enmarca en el género de los videojuegos tipo puzzle en entornos tridimensionales que se inició con *Marble Madness* (1984). Otros videojuegos han seguido esta propuesta añadiendo nuevas características, como pueden ser *Puzzle Dimension* (2010) o *Mercury Meltdown* (2006) (Albarracín, 2015), o suponen una actualización de la propuesta, como *Cubosphere* (2009), un videojuego de código libre totalmente inspirado en *Kula World* (1998).

Kula World (1998) propone al jugador un tipo de reto basado en desenvolverse en un entorno tridimensional en el que la perspectiva de visualización es variante y depende de las acciones del jugador (figura 1). En el contexto de los videojuegos, se entiende por mecánicas de juego aquellas acciones que se llevan a cabo *dentro* del videojuego como consecuencia de las acciones que se realizan *fuera* de él al interactuar con la máquina. Por ejemplo, en el conocido videojuego *Tetris* (1984), el jugador puede desplazar cada pieza a izquierda o derecha apretando el botón dedicado a cada movimiento en su mando, pero también puede rotar la pieza si acciona un botón específico. En el caso de *Kula World* (1998), el jugador puede determinar la dirección en la que se mueve la pelota de playa en el plano (delante, detrás, izquierda y derecha) y cuando la dirección está definida puede decidir moverse hacia adelante. En ningún caso la pelota se cae de la plataforma mientras avanza, ya que el borde de la plataforma actúa como una pared. En *Kula World* (1998) también se puede hacer saltar la pelota hacia adelante. De esta forma se pueden recorrer las plataformas con la pelota y el jugador obtiene vistas distintas de ellas, lo que requiere que haga un esfuerzo para localizar los objetos que debe conseguir.



Fig. 1. Un nivel de *Kula World* que muestra una plataforma tridimensional.

El juego dispone de otra mecánica que lo hace muy interesante. En el caso de llegar al final de una zona de la plataforma que tenga forma de prisma, el movimiento hacia adelante permite situarse en la cara superior de este. Desde esta posición, como la mostrada en la figura 2, se puede girar en cual-

quiera de las cuatro direcciones posibles y recorrer la plataforma por cualquiera de esas cuatro caras. Esta mecánica permite que el jugador lleve la pelota a zonas que no se encuentran a la vista en primera instancia y que deba explorar y recorrer las plataformas para conseguir los objetos que necesita para completar cada nivel. Esta característica es esencial para proponer problemas durante la secuencia de actividades.



Fig. 2. La vista desde el extremo de una plataforma.

SECUENCIA DE ACTIVIDADES

En esta sección detallamos las diferentes actividades que conforman la secuencia didáctica, que se inicia con juego libre en *Kula World* (1998), sigue con actividades destinadas a trabajar la visualización, construyendo las plataformas que conforman los niveles del juego, y acaba con una actividad en la que los alumnos diseñan sus propuestas de plataforma para crear un nivel del videojuego.

Actividad 1. Juego libre

Entendiendo el videojuego como una herramienta para proponer actividades que permitan desarrollar la visualización, el primer paso del trabajo de los alumnos en el aula es que estos se enfrenten al videojuego y traten de superar diversos niveles. Los niveles están escalados por dificultad, con lo que cada uno de los primeros niveles ofrece un nuevo reto que el alumno debe superar, como son encontrar una llave que no se visualiza al inicio o recorrer diversas plataformas inconexas. En el aula se puede jugar individualmente o en parejas, compartiendo un ordenador y eligiendo cada vez a un alumno o alumna para controlar la pelota de playa, hecho que fomenta la discusión entre ellos. Una sesión de 20-30 minutos es suficiente para que los alumnos se familiaricen con las mecánicas de juego anteriormente detalladas y alcancen niveles avanzados en los que el reto incluye diversas adversidades que deben superarse de forma secuencial. En este momento es interesante proponer una breve puesta en común de todos los elementos que conforman la experiencia de juego.

Actividad 2. De la pantalla a la realidad

Después de la primera actividad se pide a los alumnos que se centren en las plataformas que conforman uno de los primeros niveles del juego y las reproduzcan en el mundo real utilizando algún tipo de material manipulativo. En nuestro caso, hemos utilizado cubos *multilink*, que son un material didáctico que permite representar estructuras e identificar relaciones espaciales de diversos objetos en el espacio (Gutiérrez y Jaime, 2012; Risma, Putri y Hartono, 2013). El uso de instrumentos manipulativos está orientado a promover los aprendizajes matemáticos dando soporte al desarrollo de la visualización, estimular los conocimientos provenientes del mundo real de los estudiantes, proporcionar formas de representación que favorezcan la codificación de los conceptos matemáticos y proporcionar oportunidades a los estudiantes para descubrir conceptos matemáticos por sí mismos. En su metaanálisis dedicado al uso de materiales manipulativos en educación matemática, Carbonneau, Marley y Selig (2013) identifican varios estudios que muestran que los materiales manipulativos benefician el aprendizaje de las matemáticas, siendo necesario elegir los materiales pertinentes para cada tipo de contenido e incorporándolos al trabajo de aula de forma sostenida y no de forma anecdótica. Desde esta perspectiva, la propuesta de combinar el trabajo en entornos virtuales y el uso de materiales manipulativos se presentan como una oportunidad para trasladar las plataformas con las que se encuentran en el juego al mundo real y poder interactuar con ellas desde una aproximación distinta.

La figura 3 muestra a un alumno que construye con cubos *multilink* una de las plataformas del videojuego que está visualizando en la pantalla del ordenador. El maestro puede solicitar a los alumnos que busquen uno o diversos niveles del juego en el que la plataforma que haya que reproducir tenga una complejidad de representación adecuada para cada uno de ellos.

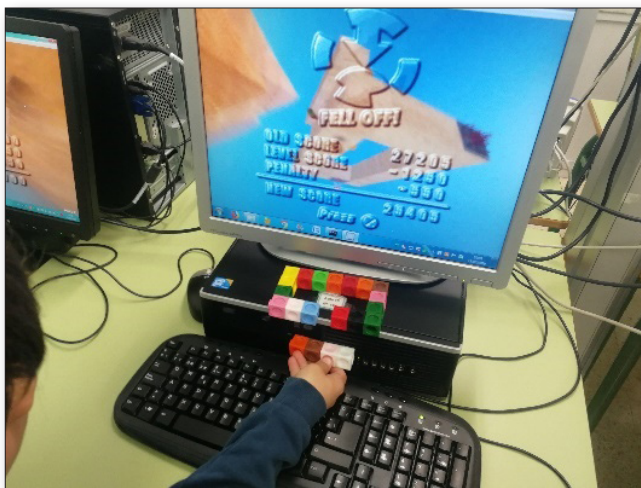


Fig. 3. Un alumno reproduciendo una plataforma del juego.

El videojuego presenta objetos tridimensionales en el espacio, pero lo hace en una pantalla plana. Por lo tanto, una primera dificultad para los alumnos es observar e interpretar esa tridimensionalidad y trasladarla al mundo real. La figura 4 muestra las diferencias de dos plataformas construidas por dos alumnos para un mismo nivel del juego. En la plataforma de la derecha se observa que su autora ha representado completamente la tridimensionalidad de la plataforma, pero en la que se encuentra en la parte inferior izquierda observamos que su autor no ha identificado la perpendicularidad entre la base de la plataforma y el puente, lo que crea una representación plana de la misma. Durante esta actividad se puede pedir a los alumnos que expliquen las características esenciales de las plataformas, con lo que

en muchos casos se pueden identificar y solventar algunos errores de visualización, como el descrito, sin la intervención directa del profesor, lo que permite que los alumnos construyan su conocimiento a partir de la interacción entre iguales.

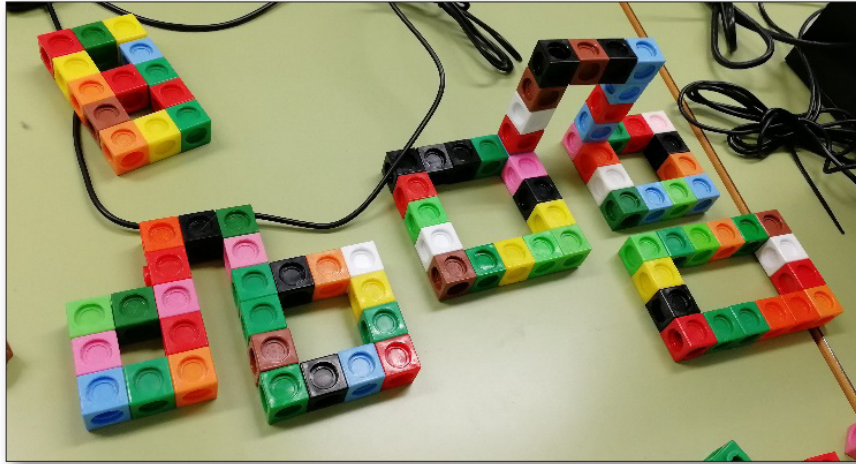
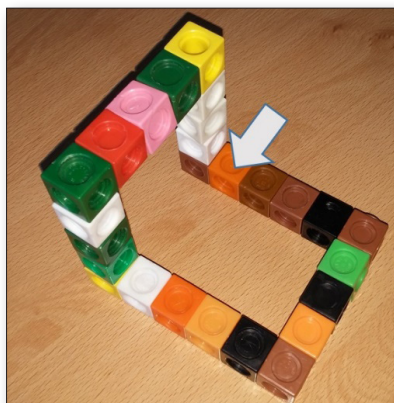


Fig. 4. Dos representaciones diferentes para una misma plataforma del juego.

Actividad 3. Problemas matemáticos basados en el videojuego

Una vez que los alumnos han explorado la naturaleza tridimensional de los objetos que aparecen en el videojuego, y las mecánicas que este propone, es momento de profundizar en esta relación como forma de promover la visualización. Por ello, a continuación se propone resolver problemas matemáticos relacionados con el movimiento de la pelota de playa en el videojuego. De esta forma se tratan contenidos de localización en el espacio y caminos en entornos tridimensionales, usando como restricciones para los problemas las mismas mecánicas de juego que se usan en el videojuego comercial. Los problemas se basan en proporcionar una plataforma concreta tridimensional construida con cubos *multilink*. En el primer problema se les pide a los alumnos y alumnas que determinen los recorridos hábiles de la pelota para una posición inicial dada y que traten de diferenciar zonas accesibles o inaccesibles de la plataforma dentro del juego en función de la posición inicial de la pelota. El enunciado de este problema se muestra en la figura 5.



Imagina que el nivel del juego se inicia con la pelota de playa a la posición señalada ¿Podemos llegar a recorrer todas las caras visibles de los cubos que forman la plataforma? Razona tu respuesta.

Fig. 5. Enunciado concreto del primer problema de la actividad 3.

En el segundo problema se pide una modificación de la plataforma para que toda su superficie pueda ser recorrida por la pelota de playa con las limitaciones de movimiento que impone el videojuego. Para este problema se aprovecha la característica antes destacada, en la que al añadir un cubo a la plataforma se habilitan nuevas formas de moverse por ella.

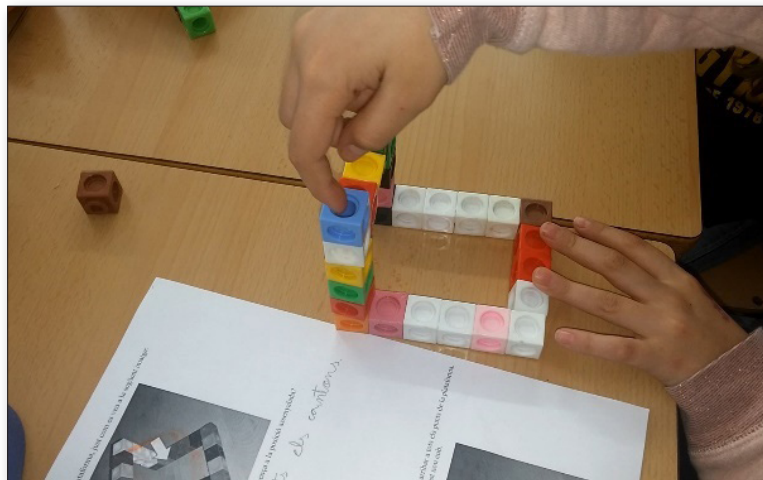


Fig. 6. Una alumna resolviendo problemas sobre plataformas reales.

La figura 6 muestra a una alumna respondiendo a los enunciados de los problemas. Estos constan de tres elementos: una figura tridimensional, su imagen en papel en la que se indica la posición inicial que considerar para la pelota y un enunciado de un problema que solicita explicitar si es posible llegar a otra posición siguiendo las mecánicas propias de juego. Es importante destacar que se solicita a los alumnos que expliquen por escrito su razonamiento, con la intención de promover la comunicación discursiva de los movimientos de la pelota de playa en la plataforma y trabajar el lenguaje adecuado para expresarlos. La segunda parte del problema se basa en identificar dos zonas cualitativamente diferenciadas de la plataforma: la zona formada por las partes alcanzables desde la posición inicial dada y la zona de caras que son inalcanzables. De esta forma se trabaja la visualización en entornos tridimensionales, con la ventaja de que los alumnos tienen una experiencia previa muy rica que proporciona el tiempo dedicado al propio videojuego.

Actividad 4. Diseño de nuevos niveles para el videojuego

Esta actividad actúa como actividad de síntesis, tratando de conectar y consolidar los aprendizajes promovidos por las actividades previas. En determinados casos, «aprender para jugar mejor» puede ser una motivación para diseñar actividades de aula interesantes para los alumnos basadas en un videojuego (Albarracín, Hernández-Sabaté y Gorgorió, 2017). Para esta actividad se ha decidido que tomar el rol de un diseñador de videojuegos es una tarea interesante para los alumnos, ya que permite un acercamiento reflexivo a la naturaleza de un videojuego y en la que se pone de manifiesto el papel que juegan las matemáticas en ámbitos profesionales concretos. En este sentido, el diseñador debe tener control sobre diversos aspectos que definen un nivel del videojuego, como puede ser la dificultad para el jugador, o que a partir de las reglas y mecánicas de juego sea posible que el jugador finalice el reto propuesto y que no se encuentren incongruencias (fallos de diseño) que bloqueen los avances del jugador.

La actividad se concreta con la demanda de crear una plataforma usando cubos *multilink* que pueda ser jugable, si se usa como soporte para diseñar un nivel concreto del videojuego. Aquí, entendemos

que jugable significa que la versión virtual de la plataforma, en el caso de ser implementada en el videojuego, pueda ser completada por los jugadores, al no presentar fallos de diseño como necesitar colocar piezas para completarla en lugares inalcanzables. Se pide a los alumnos que identifiquen los elementos clave de su construcción y que preparen una pequeña presentación en PowerPoint® para destacarlos y compartirlos con el resto de la clase. Durante las presentaciones se presenta una nueva oportunidad para discutir aspectos de diseño de las plataformas que permiten calibrar la dificultad de los niveles propuestos. La figura 7 muestra una de las plataformas elaboradas por los alumnos, que no solo han creado la plataforma, sino que definen los puntos de salida y llegada y algunos elementos como las trampas que dificultan el movimiento de los jugadores.

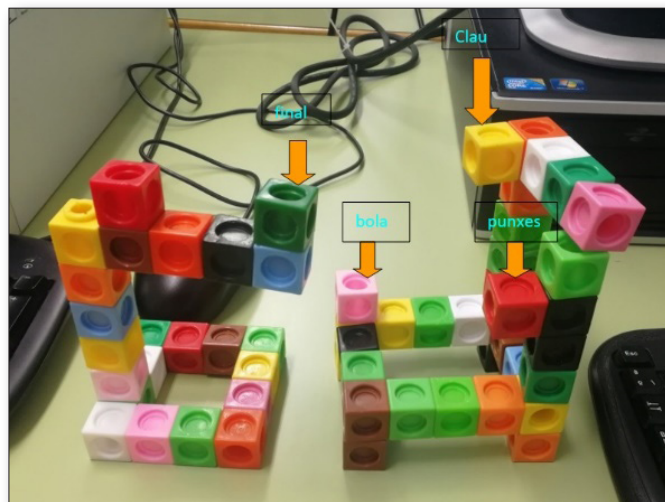


Fig. 7. Una plataforma para el videojuego diseñada por los alumnos.

Datos recogidos durante la actividad

En esta sección se detallan los datos recogidos durante la secuencia de actividades. Por una parte, se fotografiaron las plataformas que se propusieron en la actividad 2. Los alumnos las habían construido en parejas (40 en total, en los grupos con número de alumnos impar se permitía que algún alumno trabajara solo en este punto) y en las experiencias aquí recogidas se les pidió que recrearan dos de los niveles jugados, con lo que se dispone de 80 plataformas elaboradas. Se recogieron las hojas de trabajo con la resolución de los dos problemas de la actividad 3, con lo que se dispone de 156 hojas de trabajo. Finalmente, se fotografiaron y se recogieron los documentos escritos con la explicación generada para defender la propuesta de plataforma como nuevo diseño del videojuego (actividad 4). Los alumnos trabajaron en parejas, esta vez en los casos de número impar de alumnos se decidió que hubiera un grupo de tres personas. De esta forma se recogieron datos de 38 niveles diseñados por los diferentes grupos de alumnos.

RESULTADOS

Para evidenciar los progresos de los alumnos durante la secuencia, nos centramos en diversos productos generados en las actividades 2, 3 y 4, puesto que la primera actividad no genera productos analizables. A continuación, detallamos los resultados obtenidos y los interpretamos en relación con los objetivos de aprendizaje propuestos.

Resultados para la actividad 2

En la actividad 2 se identifican dos tipos de errores en la recreación de las plataformas. En algunos casos no se respeta la estructura espacial de la plataforma, pues se reproducen versiones planas de la plataforma original (como en la figura 4) o algunos elementos no se encuentran presentes. Otro tipo de error se da al no respetar las proporciones de las medidas de cada parte de la plataforma con respecto a la medida de la plataforma original, como se muestra en la figura 8. Esta fotografía muestra la misma plataforma que la de la figura 4, pero no se respeta la proporción entre las longitudes de los elementos recreados y los originales.



Fig. 8. Una plataforma que no respeta la proporción de las medidas con respecto a la original.

En este caso, la reproducción es topológicamente equivalente a la original, pero si consideramos la medida de sus partes para determinar su forma encontramos que no es completamente fiel en términos proporcionales. Estos dos tipos de errores descritos pueden darse simultáneamente. Aquellas plataformas que no contienen ninguno de estos dos tipos de errores se consideran reproducciones adecuadas. La tabla 1 resume estos resultados.

Tabla 1.
Resultados relativos a las plataformas reproducidas en la actividad 2

	<i>Número</i>	<i>Porcentaje</i>
Adecuadas	41	51,25 %
No respetan las medidas	21	26,25 %
No respetan la estructura espacial	11	13,75 %
No respetan las medidas ni la estructura espacial	7	8,75 %
Total	80	100,00 %

La tabla 1 muestra que el 51,25 % de las parejas reproduce adecuadamente las plataformas del videojuego usando cubos *multilink*. Estos alumnos muestran que pueden trasladar adecuadamente la estructura de las plataformas desde la pantalla a la realidad. La información de la que parten los alumnos son las vistas parciales de la plataforma, que pueden ser rotadas para tener una visión completa de esta.

A este conjunto de alumnos debemos añadir a aquellos que únicamente cometen errores de medida, ya que también usan adecuadamente esta información desde el punto de vista de la visualización. De esta forma, el porcentaje de alumnos que trabajando en parejas muestran que pueden reproducir adecuadamente la plataforma usando materiales manipulativos a partir de las vistas parciales en la pantalla es un 77,50 %.

Resultados para la actividad 3

Las hojas de trabajo recogidas en la actividad 3 se analizan para determinar si los alumnos pueden extraer información visual adecuada sobre los movimientos de la pelota de playa sobre las plataformas proporcionadas, respetando las mecánicas propias del videojuego. Esto significa que los estudiantes deberían usar la visualización de forma coordinada con las características del videojuego. El primer hecho observado es la constatación de que los alumnos y alumnas de cuarto de primaria participantes presentan dificultades para escribir sus razonamientos, ya que las respuestas son escuetas y no aportan tanta riqueza como las explicaciones verbales observadas en las aulas.

El primer problema propuesto solicita a los alumnos que, trabajando individualmente, identifiquen si toda la superficie de la plataforma es accesible para la pelota de playa desde una posición inicial dada, respetando los movimientos posibles en el videojuego. En este caso observamos que 57 de los 78 alumnos dan una respuesta correcta (73,08 %). El segundo problema solicita que se modifique la plataforma para que toda su superficie sea accesible. En este caso, 76 de los 78 alumnos añaden cubos que permiten nuevos movimientos por la plataforma, habilitando nuevas zonas accesibles. Pero no todos estos 76 alumnos se aseguran de que la pelota podrá acceder a toda la plataforma, y se proponen cambios que dejan algunas zonas inaccesibles. En concreto, 42 de los 78 alumnos (53,85 %) proponen modificaciones en las que se puede recorrer toda la plataforma. Este hecho supone que los alumnos deben añadir un mínimo de dos nuevos cubos, ya que añadiendo únicamente un cubo no es posible y deben poder identificar este hecho.

De esta forma, observamos que el porcentaje de alumnos que pueden responder adecuadamente a una actividad de movimiento de objetos en el espacio es del 73,08 % para una actividad básica en la que deben trabajar con una plataforma dada, y del 53,85 % cuando deben añadir elementos para modificarla considerando las mecánicas de movimiento del videojuego.

Resultados para la actividad 4

Al analizar las plataformas que dan soporte a los niveles de juego que diseñan los alumnos durante la actividad 4, podemos observar la forma en la que usan la visualización lograda en las actividades anteriores. En primer lugar, distinguimos tres tipos de plataformas desde el punto de vista de su usabilidad, si fueran introducidas en el videojuego. Aquellas plataformas que permiten navegar con la pelota de playa desde la posición de partida hasta el final recogiendo las llaves son las que consideramos jugables. Estas plataformas pueden ser más elaboradas o tener una estructura más simple. Esta distinción no es fácil de establecer, pero hemos considerado que aquellas propuestas de niveles que esconden objetos o que desde el punto de partida no permiten observar toda la superficie que debe ser recorrida son complejas. Esta decisión se basa en que esta característica muestra que los alumnos combinan la visualización de la plataforma real con la visualización que tendría en pantalla, si fuera parte del videojuego. Un ejemplo es la plataforma mostrada en la figura 9, en la que el jugador debe explorar zonas no visibles desde el inicio y que incluye diversos elementos (representados por los cubos que se añaden a la plataforma) para forzar a quien juega a pensar y anticipar las decisiones que debe tomar.

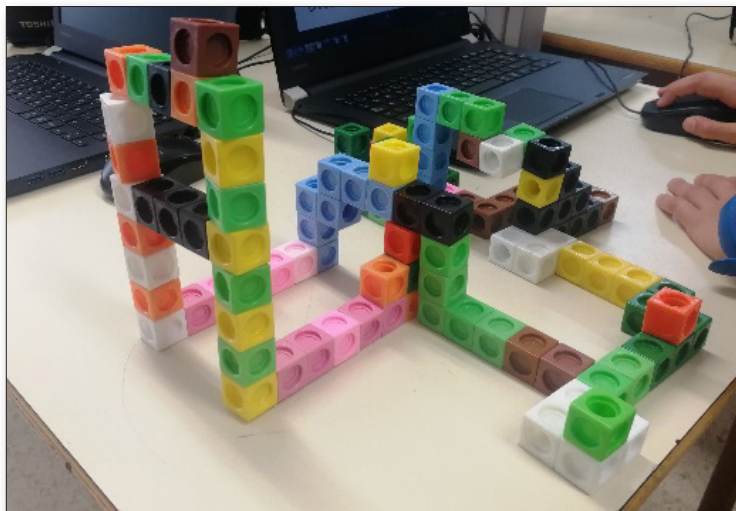


Fig. 9. Una plataforma diseñada por los alumnos, categorizada como compleja.

Finalmente, están aquellas plataformas no jugables. En este tipo de plataformas los alumnos cometen errores al construirlas como considerar que determinados movimientos inválidos son posibles o posicionar elementos clave (como las llaves) en zonas inaccesibles. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.
Resultados relativos a las propuestas de niveles en la actividad 4

	<i>Número</i>	<i>Porcentaje</i>
Jugable y compleja	22	57,89 %
Jugable y simple	13	34,21 %
No jugable	3	7,89 %
Total	38	100,00 %

Los resultados de la actividad 4 ponen de manifiesto que un 92,11 % de los alumnos participan en la creación de un nivel para el juego que cumple con los requisitos necesarios para poder ser implementado, mientras que el porcentaje de alumnos que crea plataformas jugables y complejas es del 57,89 %. Este último grupo de alumnos muestra en esta actividad un desempeño notable en referencia a la visualización, ya que la actividad requiere conectar las propiedades espaciales de la plataforma con las mecánicas de juego y las implicaciones para el jugador para cada decisión de diseño.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La secuencia de actividades presentada abre una nueva línea en el uso de videojuegos en el aula de matemáticas. Tomar la actividad de juego como motor del trabajo en el aula permite dirigir los esfuerzos de los alumnos para entender la geometría de los objetos tratados y sus propiedades. Pero para esquivar el hecho de que los alumnos podrían enfrentarse a los retos propuestos por el videojuego, obviando los conocimientos clave (Ke, 2008), se complementa la actividad de juego con actividades de análisis y diseño de las plataformas tridimensionales que sirven para dar forma a los niveles del juego (Drijvers,

2013). De esta forma se promueve que los alumnos y las alumnas de cuarto de primaria manipulen objetos tridimensionales con objetivos definidos y con un significado claro en cada paso que les permiten resolver interrogantes concretos en forma de problemas de movimiento sobre una plataforma (Bishop, 1988). El uso de materiales manipulativos para representar las plataformas presentes en el videojuego les proporciona un soporte para desarrollar su visualización, que se van construyendo durante la actividad (Gutiérrez, 1996; Risma, Putri y Hartono, 2013).

El progreso de los alumnos durante la actividad se manifiesta en los resultados obtenidos en la actividad 4, ya que los niveles diseñados en la actividad final muestran un alto nivel de control sobre los elementos tridimensionales utilizados y se sustentan en el trabajo desarrollado en las actividades previas. Al interpretar los resultados de cada actividad, teniendo en consideración que el tipo de actividad es progresivamente más complejo, se puede observar que los alumnos toman progresivamente más decisiones adecuadas basadas en los contenidos geométricos tridimensionales detallados en los objetivos didácticos de la actividad. De esta forma, todo indica que el uso combinado de pantallas y materiales manipulativos permite que los alumnos conecten diferentes formas de visualización de objetos tridimensionales y les den sentido para conseguir interpretarlos en el contexto del videojuego, que tiene unas características específicas.

Finalmente, el análisis de esta secuencia sobre visualización basada en un videojuego abre nuevas posibilidades para la investigación, ya que pone de manifiesto que los videojuegos pueden ser promotores de la actividad matemática de los alumnos, especialmente al proporcionar formas de representación complementarias a otros materiales didácticos. Parece necesario explorar los usos de los diferentes tipos de videojuegos en el aula y concretar qué tipo de videojuegos conecta con los diferentes contenidos o actividades matemáticas, ya sea para promover la resolución de problemas o la modelización. También es necesario estudiar la evolución de los alumnos durante la actividad para identificar qué actividades o interacciones en el aula son las que promueven construir nuevos aprendizajes.

AGRADECIMIENTOS

Investigación desarrollada al amparo de los proyectos EDU2017-82427-R (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, España Spain) y 2017 SGR 497 (Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca, Generalitat de Catalunya).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín, L. (2015). Videojuegos. Jugando con el espacio y el tiempo. *Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas*, 80, 79-85.
- Albarracín, L., Hernández-Sabaté, A. y Gorgorió, N. (2017). Los videojuegos como objeto de investigación incipiente en Educación Matemática. *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 53-72.
<https://doi.org/10.4995/msel.2017.6081>
- Ben-Chaim, D., Lappan, G. y Houang, R. T. (1988). The effect of instruction on spatial visualization skills of middle school boys and girls. *American Educational Research Journal*, 25(1), 51-71.
<https://doi.org/10.3102/00028312025001051>
- Ben-Chaim, D., Lappan, G. y Houang, R. T. (1989). Adolescents' ability to communicate spatial information: Analysing and effecting students' performance. *Educational Studies in Mathematics*, 20, 121-146.
<https://doi.org/10.1007/BF00579459>

- Berthelot, R. y Salin, M. H. (1998). The role of pupils' spatial knowledge in the elementary teaching of geometry. En C. Mammana y V. Villani (Eds.), *Perspectives on the teaching of geometry for the 21st Century* (pp. 71-78). Dordrecht, Países Bajos: Kluwer.
- Bishop, A. J. (1988). A review of research on visualisation in mathematics education. En A. Borbas (Ed.), *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 170-176). Veszprem, Hungría: PME.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. y Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals*. Nueva York: David McKay Company.
- Carbonneau, K. J., Marley, S. C. y Selig, J. P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 380-400.
<https://doi.org/10.1037/a0031084>
- Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games: A change in the use of game characteristics. *Games and Culture*, 5(2), 177-198.
<https://doi.org/10.1177/1555412009354727>
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T. y Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers and Education*, 59(2), 661-686.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Dickey, M. D. (2005). Engaging by design: How engagement strategies in popular computer and video games can inform instructional design. *Educational Technology Research and Development*, 53(2), 67-83.
<https://doi.org/10.1007/BF02504866>
- Drijvers, P. (2013). Digital technology in mathematics education: why it works (or doesn't). *PNA*, 8(1), 1-20. <http://hdl.handle.net/10481/27880>
- Duval, R. (1998). Geometry from a cognitive point of view. En C. Mammana y V. Villani (Eds.), *Perspectives on the teaching of geometry for the 21st century: An ICMI study*. Dordrecht: Kluwer.
- Feng, J., Spence, I. y Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological science*, 18(10), 850-855.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x>
- Fischbein, E. y Nachlieli, T. (1998). Concepts and figures in geometrical reasoning. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1193-1211.
<https://doi.org/10.1080/0950069980201003>
- Foster, S. R., Esper, S. y Griswold, W. G. (2013). From competition to metacognition: designing diverse, sustainable educational games. En W. E. Mackay, S. Brewster y S. Bodker (Eds.), *CHI'13 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 99-108). Nueva York: ACM.
- Frejd, P. y Ärlebäck, J. B. (2017). Initial results of an intervention using a mobile game app to simulate a pandemic outbreak. En G. Stillman, W. Blum y G. Kaiser (Eds.), *Mathematical modelling and applications* (pp. 517-527). Cham: Springer.
- Goldenberg, E., Lewis, P. y O'Keefe, J. (1992). Dynamic representation and the development of a process understanding of function. En G. Harel y E. Dubinsky (Eds.), *The concept of function: Aspects of epistemology and pedagogy* (pp. 235-260). Washington: Mathematical Association of America.
- Gutiérrez, A. (1996). Visualization in 3-dimensional geometry: in search of a framework. En L. Puig y A. Gutiérrez (Eds.), *Proceedings of the 20th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 1, pp. 3-19). Valencia, España: Universidad de Valencia.

- Gutiérrez, J., Arnau, D. y González, J. A. (2015). Un estudio exploratorio sobre el uso de DragonBox Algebra© como una herramienta para la enseñanza de la resolución de ecuaciones. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 30(1), 33-44.
<https://doi.org/10.18239/ensayos.v30i1.738>
- Gutiérrez, A. y Jaime, A. (2012). Reflexiones sobre la enseñanza de la geometría en primaria y secundaria. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 32, 55-70.
<https://doi.org/10.17227/ted.num32-1859>
- Hamlen, K. R. (2011). Children's choices and strategies in video games. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 532-539.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.10.001>
- Harel, G. y Sowder, L. (1998). Students' proof schemes: Results from exploratory studies. En A. Schoenfeld, J. Kaput y E. Dubinsky (Eds.), *Research on Collegiate Mathematics Education* (vol. 1, pp. 234-283). Providence: American Mathematical Society.
- Hernández-Sabaté, A., Joanpere, M., Gorgorió, N. y Albarracín, L. (2015). Mathematics learning opportunities when playing a tower defense game. *International Journal of Serious Games*, 2(4), 57-71.
<https://doi.org/10.17083/ijsg.v2i4.82>
- Ke, F. (2008). A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay? *Computers & Education*, 51(4), 1609-1620.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.03.003>
- Ke, F. (2009). A qualitative meta-analysis of computer games as learning tools. En R. E. Ferdig (Ed.), *Handbook of research on effective electronic gaming in education* (pp. 1-32). Hershey: IGI Global.
- Kovacevic, N. (2017). Spatial reasoning in mathematics. En Z. Kolar-Begovic, R. Kolar-Super y L. Jukic Matic (Eds.), *Mathematics education as a science and a profession* (pp. 45-65). Osijek: Element.
- Ma, H. L., Wu, D., Chen, J. W. y Hsieh, K. J. (2009). Mithelmor's development stages of the right rectangular prisms of elementary school students in Taiwan. En M. Tzekaki, M. Kaldrimidou y H. Sakonidis (Eds.), *Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 4, pp. 57-64). Tesalónica: PME.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin*, 86(5), 889-918.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>
- Németh, B. (2007). Measurement of the development of spatial ability by Mental Cutting Test. *Annales Mathematicae et Informaticae*, 34, 123-128.
- Parzys, B. (1988). «Knowing» vs «seeing». Problems of the plane representation of space geometry figures. *Educational Studies in Mathematics*, 19(1), 79-92.
<https://doi.org/10.1007/BF00428386>
- Pittalis, M. y Christou, C. (2010). Types of reasoning in 3D geometry thinking and their relation with spatial ability. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 191-212.
<https://doi.org/10.1007/s10649-010-9251-8>
- Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Presmeg, N. C. (1986). Visualisation and mathematical giftedness. *Educational Studies in Mathematics*, 17(3), 297-311.
<https://doi.org/10.1007/BF00305075>
- Pretelín-Ricárdez, A. y Sacristán, A. I. (2015). Videogame construction by engineering students for understanding modelling processes: The case of simulating water behaviour. *Informatics in Education*, 14(2), 265-277.
<https://doi.org/10.15388/infedu.2015.15>

- Revina, S., Zulkardi, Z., Darmawijoyo, D. y Galen, F. V. (2014). Spatial visualization tasks to support students' spatial structuring in learning volume measurement. *Journal on Mathematics Education*, 2(2), 127-146.
<http://doi.org/10.22342/jme.2.2.745.127-146>
- Risma, D. A., Putri, R. I. I. y Hartono, Y. (2013). On developing students' spatial visualisation ability. *International Education Studies*, 6(9), 1-12.
<http://dx.doi.org/10.5539/ies.v6n9p1>
- Rosas, R., Nussbaum, M., Cumsille, P., Marianov, V., Correa, M., Flores, P., Grau, V., Lagos, F., López, X., López, V., Rodríguez, P. y Salinas, M. (2003). Beyond Nintendo: Design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers and Education*, 40(1), 71-94.
[https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(02\)00099-4](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(02)00099-4)
- Salen, K. y Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*. Cambridge: MIT Press.
- Tall, D. O. y West, B. (1986). Graphic Insight into Calculus and Differential Equations. En G. Howson y J. P. Kahane (Eds.), *The influence of computers and informatics on mathematics and its teaching* (pp. 107-119). Cambridge: Cambridge University Press.
- Vigotsky, L. S. y Cole, M. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.
- Zazkis, R., Dubinsky, E. y Dautermann, J. (1996). Coordinating visual and analytic strategies: A study of students' understanding of the group D4. *Journal for Research in Mathematics Education*, 27(4), 435-457.
<https://doi.org/10.2307/749876>

Software referenciado

- Cubosphere [software] (2009). <https://sourceforge.net/projects/cubosphere/>
- DragonBox Algebra [software] (2013). Oslo: WeWantToKnow AS.
- Kula World [software] (1998). Estocolmo: Game Design Sweden AB.
- Marble Madness [software] (1984). Nueva York: Atari Games.
- Mercury Meltdown [software] (2006). Londres: UTV Ignition.
- Plague Inc: Evolved [software] (2015). Bristol: Ndemic Creations.
- Puzzle Dimension [software] (2010). Uppsala: Doctor Entertainment.
- Tetris [software] (1984). Moscú: Alekséi Pázhitnov.

A sequence of activities to develop visualization using a video game

Lluís Albarracín

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals.
Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, Barcelona, España
lluis.albarracin@uab.cat

This article presents, justifies, and validates a sequence of activities to work on visualization with fourth-year primary education students from the context promoted by a three-dimensional puzzle video game. Visualization involves the articulation of processes and abilities of a person to perform certain tasks that require seeing or mentally imagining two or three-dimensional objects in space, as well as relating these objects to each other and performing specific tasks or geometric transformations with them. For their part, video games have proved to be a powerful educational tool for promoting mathematical learning, although some of their potential has yet to be explored.

The video game used in the sequence of activities is Kula World and it is a puzzle-type video game that proposes problematic situations to students in a three-dimensional environment. The sequence is initiated by playing freely to identify the challenges proposed by the game. Then, activities are proposed to identify key aspects of the video game and to encourage students to develop geometric knowledge about visualization. Specifically, students are first asked to make reproductions of the platforms that appear in the game using manipulative materials. Then, several problems related to the movements which are allowed in the game are presented and solved by the students using the reproduced platforms. The final activity is the design of platforms that could be incorporated as new levels in the video game. This activity places students in the role of a video game designer and requires the analysis developed in the previous activities to combine the visualization aspects with the restrictions introduced by the game mechanics.

During the activity, data was collected from three interventions in fourth grade classrooms, completing a total of 78 participants. The data collected were qualitatively analyzed to identify the progress of the students on visualization. The results show some common errors in the visualization of the elements of the video game that are revealed when building the platforms using manipulative materials. It is also observed that students make mistakes when transporting to the real world the movement mechanics of the game, which introduce restrictions to the simulated movements in the proposed problems. A progressive decrease in the difficulties of visualization by students is observed during the sequence, until a notably high percentage (91.11 %) manage to build platforms that could represent valid and playable levels if they were transferred to the original video game environment.

These results highlight the possibilities of the video game used and the activities that accompany it to relate different forms of visualization of three-dimensional objects. It is necessary to accompany the game activity with a set of mathematical activities that allow its analysis to ensure that students advance in their learning process. The progress of the students during the sequence is shown in the results obtained in the activity of designing levels of the game, since the levels designed in the final activity show a high level of control over the visualization of the three-dimensional elements used and are supported by the work developed in the previous activities.

This work provides a new way of exploring the uses of different types of video games in the classroom and specifying what type of video game connects with the different mathematical contents or activities, whether to promote problem solving or modelling.

