

## Hidrogeología y videojuegos: Genaro el Geólogo y el misterio del arsénico

### *Hydrogeology and videogames. Genaro el Geólogo and the mystery of arsenic*

**PEDRO MARTÍNEZ SANTOS**

*Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. C/José Antonio Novais 2, 28040 Ciudad Universitaria, Madrid. E-mail: pemartin@ucm.es*

**Resumen** Las nuevas tecnologías nos brindan multitud de plataformas innovadoras para hacer del aprendizaje un proceso entretenido. En los últimos años, el videojuego ha ido ganando adeptos en la comunidad docente gracias a su carácter interactivo y su capacidad de inmersión. El videojuego es especialmente útil como herramienta para la consolidación de conocimientos cuando se concibe como simulador de una situación potencialmente real, ya que permite que el alumno empatice con las necesidades de los personajes y se implique directamente en la resolución de sus problemas. Este artículo tiene por objeto presentar una experiencia de clase realizada con cuarenta y tres alumnos de cuarto curso de Grado en Geología de la Universidad Complutense de Madrid. Se presta especial atención a la fase de elaboración del videojuego, así como a un proceso bidireccional de evaluación en el que los estudiantes tienen oportunidad de valorar su grado de satisfacción con el videojuego como actividad didáctica. Esta experiencia pone de manifiesto el valor de los videojuegos como herramienta didáctica en la enseñanza universitaria, ya que los resultados muestran un grado de aprovechamiento elevado y una acogida positiva por parte de los estudiantes.

**Palabras clave:** Videojuego educativo, hidrogeología, software educativo, programación.

**Abstract** *New technologies allow for the development of attractive learning interfaces. Video games are gradually gaining recognition among teachers due to their interactive nature. In particular, video games are useful tools to consolidate concepts. This is especially true of games that simulate real-life situations, largely because students empathise with the game's characters and find it easy to get involved. This paper presents an experiment carried out with forty-three undergraduate Geology students from the Universidad Complutense de Madrid, Spain. Emphasis is placed on the development and evaluation processes, showcasing the results of a two-way evaluation that highlights student satisfaction.*

**Keywords:** *Video games, hydrogeology, educational software, programming.*

## INTRODUCCIÓN

Ver cómo los alumnos disfrutan de una actividad de clase es una de las sensaciones más gratificantes para cualquier profesor. Por fortuna, las Ciencias de la Tierra nos brindan la posibilidad de plantear multitud de ejercicios atractivos y relacionarlos con los temas de actualidad que encontramos a diario en los medios de comunicación (Calonge, 2010). La generalización de las nuevas tecnologías permite además combinar esta faceta de nuestras disciplinas con el uso de plataformas innovadoras para la transmisión del conocimiento. Entre estas últimas va ganando importancia el videojuego, un medio de entretenimiento cuyas cifras estadísticas son

ya comparables a las de industrias mucho más antiguas y establecidas –como el cine, la música o el libro–, y cuyo enorme potencial como herramienta didáctica todavía no está plenamente explotado.

La gran ventaja del videojuego es su versatilidad y su carácter interactivo. Además, resulta familiar a los jóvenes –y, cada vez más, a los no tan jóvenes–, y trasciende las barreras de género y condición social. Así lo atestiguan las estadísticas disponibles: un informe reciente de la *Entertainment Software Association* revela que la edad promedio de los jugadores en Estados Unidos es de 37 años, y que el 42% de los usuarios son mujeres. En otras palabras, el perfil dista mucho del estereotipo de adolescente varón de clase media. Además, dicho informe esta-

blece que los videojuegos de uno u otro tipo tienen cabida en el 72% de los hogares norteamericanos, y que un porcentaje no despreciable de usuarios son mayores de cincuenta años (ESA, 2011). En el caso español, el 25% de los adultos se declara jugador habitual, constituyendo las mujeres el 41% de los usuarios (ADESE, 2011).

Aunque cabe argumentar que dichos informes tienen el sesgo propio de las organizaciones que los patrocinan, lo cierto es que algunos trabajos de índole científica van en la misma dirección. Otro estudio, este elaborado con profesores de secundaria en el Reino Unido, revela que el 35% de ellos utiliza o ha utilizado videojuegos como herramienta docente, y que el 60% ven con buenos ojos la posibilidad de utilizarlos en el futuro (Williamson, 2009). Entre las ventajas más citadas por los encuestados se encuentra la capacidad de los videojuegos para motivar al alumnado, así como su utilidad para potenciar el pensamiento lógico y la resolución de problemas. De la misma manera, el videojuego se revela en numerosos artículos académicos como una herramienta válida de transmisión del conocimiento desde el nivel preescolar a la enseñanza universitaria (Griffiths, 2002; Fong-Ling et al., 2009).

La dificultad de su implantación en el ámbito docente reside sobre todo en la falta de medios en muchos colegios, institutos y universidades, así como en la escasa tradición de las principales empresas del sector. Con todo, existe una incipiente actividad didáctica en torno al juego de ordenador en todo el mundo. Actualmente predominan iniciativas de carácter experimental desarrolladas por los propios docentes, aunque también se han adaptado conocidos títulos comerciales (Squire y Mingford, 2007). Por su atractiva naturaleza, son frecuentes las experiencias y evaluaciones didácticas en torno a conceptos de ingeniería y medio ambiente (D'Artista y Hellweger, 2007; Tragazakis y Meimaris, 2009).

Este artículo tiene por objeto presentar una experiencia realizada dentro de la asignatura de Hidrogeología de cuarto curso de Grado en Geología de la Universidad Complutense de Madrid. Para ello se ha utilizado el videojuego "Genaro el Geólogo: el misterio del arsénico", desarrollado expresamente por el autor para este fin. El videojuego se encuentra actualmente disponible para descarga gratuita en la página web [www.ucm.es/hidrogeologia](http://www.ucm.es/hidrogeologia), en un apartado dedicado a videojuegos educativos. A lo largo de las siguientes páginas se describe la preparación de la actividad, su desarrollo y su evaluación. Se detallan además los resultados de un cuestionario relleno por los estudiantes inmediatamente después de concluir la actividad. Este último se utiliza para explorar el valor didáctico del ejercicio y analizar la percepción del alumnado sobre el mismo.

## ELABORACIÓN DE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO

### Eligiendo un tipo de videojuego en función de los objetivos docentes

El videojuego "Genaro el Geólogo" aborda una problemática típica de contaminación de acuíferos.

Se basa en un caso real relacionado con la contaminación de un pozo de agua potable a partir de los lixiviados de compuestos de arsénico procedentes de un cementerio, y está inspirado en un ejercicio de clase propuesto por el *Water Education for Teachers Project* (WET, 1999). El objetivo de la actividad consiste en identificar el origen del contaminante –el cementerio– a partir de un estudio hidrogeológico básico. Para ello, Genaro deberá realizar un inventario de puntos de agua, medir niveles en campo, tomar muestras, realizar sondeos de investigación en los lugares pertinentes e interpretar los resultados de análisis químicos. Se trata, por tanto, de un problema de marcado carácter integrador, que busca combinar buena parte de los conceptos propios de la asignatura de Hidrogeología en un único ejercicio. La totalidad de los mismos pueden encontrarse en cualquier texto de hidrogeología fundamental (Fetter, 1994; Martínez-Alfaro et al., 2005), y hacen referencia a cuestiones como el potencial hidráulico, la ley de Darcy, los mapas de isopiezas o los factores que rigen el transporte de contaminantes en medio saturado. Se estima que el máximo aprovechamiento se obtiene con alumnos de últimos cursos de licenciatura que estén cursando materias relacionadas con la hidrogeología y la geología ambiental, si bien la experiencia de la fase nacional de la Olimpiada Geológica 2011 demuestra que estos pueden transmitirse a estudiantes de bachillerato mediante una explicación relativamente breve y sencilla.

Existen muchos tipos de videojuegos. Si accedemos a cualquier página web especializada, comprobaremos que a menudo se clasifican en categorías como "arcade", "aventura", "rol", "simulación", "deportivo" o "estrategia". Diseñar un videojuego, por tanto, implica decidir qué género se adapta mejor a los objetivos docentes que pretendemos alcanzar. Evidentemente, el propósito de esta actividad difícilmente casa con un entorno de tipo "matamarcianos". Requiere más bien de un contexto que nos permita narrar una historia en la que el alumnado desempeñe el rol del personaje protagonista. En este sentido, el género más adecuado dentro del mundo del videojuego es la aventura gráfica, un tipo de juego cuya dinámica consiste en ir avanzando a través de la resolución de diversos rompecabezas, planteados como situaciones que se suceden de manera secuencial dentro de una historia. Para ello, el alumnado desempeña el papel del personaje protagonista, al que maneja por la pantalla interactuando con personajes y objetos hasta alcanzar un objetivo que debe definirse claramente desde el principio.

### Seleccionando el motor de videojuegos

En la actualidad existen diversos programas que facilitan la elaboración de videojuegos, automatizando tareas básicas como el movimiento del protagonista por la pantalla, los diálogos con otros personajes o las interacciones con los objetos que encontramos a lo largo de nuestra aventura. Genaro el Geólogo fue desarrollado con ayuda de Adventure Game Studio (AGS), un potente motor de videojuegos enfocado a la creación de aventu-

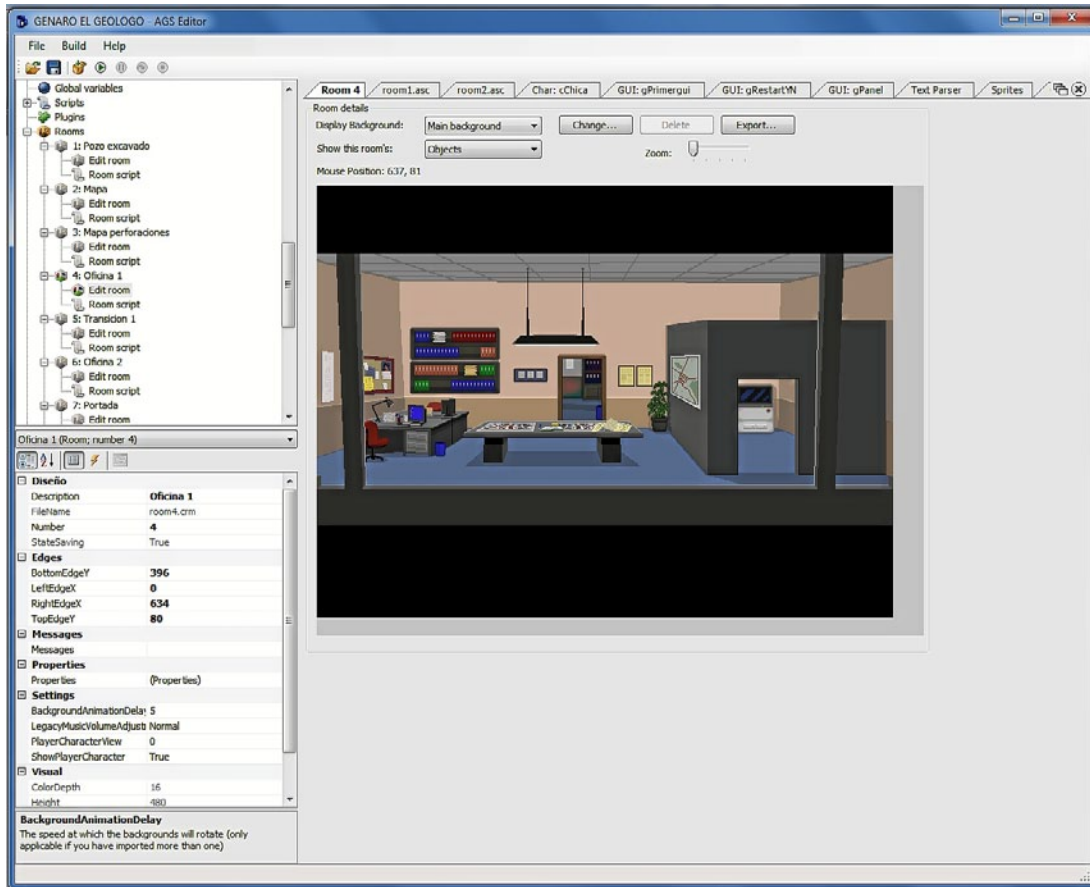


Fig. 1. La interfaz de trabajo de Adventure Game Studio (AGS) consiste en un intuitivo entorno para la creación de videojuegos. Como se observa en la figura, la interfaz está dividida en dos partes: la parte izquierda permite navegar entre los distintos aspectos del juego (personajes, pantallas, diálogos...); mientras, en la parte derecha aparece el elemento concreto con el que estamos trabajando en cada momento.

ras gráficas clásicas como “El Secreto de Monkey Island”, “Maniac Mansion”, “Grim Fandango” o “Space Quest”. Su grado de perfeccionamiento es muy elevado, hasta el punto de que con él se han desarrollado algunos videojuegos comerciales en los últimos años.

Desde sus primeras versiones, aparecidas allá por los años noventa, AGS ha sido siempre completamente gratuito. Funciona sin problemas bajo cualquier versión de Windows, estando también disponible para Linux y Mac. Una de las principales ventajas de AGS es el reducido tamaño del archivo único de descarga (8Mb), que contrasta con sus enormes prestaciones y con una interfaz de usuario de apariencia más que profesional.

De la web del programa ([www.adventuregamestudio.co.uk](http://www.adventuregamestudio.co.uk)) podemos descargar cientos de juegos, muchos de los cuales no tienen nada que envidiar a los que encontramos en los estantes de los centros comerciales. La práctica totalidad de estos juegos han sido desarrollados por una o dos personas, lo que quiere decir que la tarea de desarrollar uno por nuestra cuenta no es en absoluto inabarcable.

Para manejar AGS no son necesarios conocimientos previos de programación. Las tareas esenciales pueden realizarse cómoda y rápidamente mediante unos pocos clics del ratón (Fig. 1). Esto nos ahorrará mucho trabajo, ya que no será necesario programar desde cero tareas básicas como el desplazamiento del protagonista por la pantalla, el sistema de inventario o los menús de guardar y cargar partidas. Además, el programa cuenta con detallados tutoriales para aprender su manejo. AGS

es, por tanto, una alternativa idónea para cualquier docente que quiera introducirse en el apasionante mundo del desarrollo de videojuegos.

A pesar de que la programación no es estrictamente necesaria, pronto comprenderemos que tener unos rudimentos básicos es enormemente útil, puesto que nos permite desarrollar videojuegos mucho más versátiles y complejos. Para ello, AGS incorpora un sofisticado lenguaje de programación propio que está exhaustivamente documentado en la ayuda del programa. Se trata de un código orientado a objetos que no nos planteará problemas si estamos familiarizados con lenguajes estándar como C o Visual Basic. Su sintaxis incorpora un amplísimo elenco de funciones, al tiempo que permite al usuario definir sus propias variables y rutinas. Además, existe un foro asociado a la web oficial que proporciona numerosos enlaces a recursos básicos para la creación de videojuegos, y se caracteriza por la presencia de gente amistosa dispuesta a ayudar a cualquier desarrollador en apuros. Por ello puede decirse que, de animarnos a conocerlo, AGS nos abrirá un campo de actuación prácticamente ilimitado.

AGS facilita enormemente la distribución de nuestros videojuegos, ya que permite generar de forma automática un archivo ejecutable de instalación. Así, solo será necesario subir dicho archivo al campus virtual –o a internet en general– para que los alumnos puedan descargarlo y hacer uso de él tanto en el aula de informática como en casa.

Por último, cabe decir que existen algunas alternativas a AGS como *SLUDGE* o *RPG Builder*, las cuales nos aportan funcionalidades similares

Tabla I. Algunos recursos para iniciarse en la creación de videojuegos educativos (todas las direcciones web estaban activas en mayo de 2012).

PROGRAMAS	DIRECCIÓN WEB
Adventure Game Studio SLUDGE Wintermute <e-adventure> RPG Maker	<a href="http://www.adventuregamestudio.co.uk/">http://www.adventuregamestudio.co.uk/</a> <a href="http://opensludge.sourceforge.net/">http://opensludge.sourceforge.net/</a> <a href="http://dead-code.org/home/">http://dead-code.org/home/</a> <a href="http://e-adventure.e-ucm.es/">http://e-adventure.e-ucm.es/</a> <a href="http://www.rpgmakerweb.com/">http://www.rpgmakerweb.com/</a>
RECURSOS GRÁFICOS (DESCARGA)	
Kafka's Koffee Reality on the Norm Insta games	<a href="http://kafaskoffee.com/tutorials.shtml">http://kafaskoffee.com/tutorials.shtml</a> <a href="http://realityonthenorm.info/resources.html">http://realityonthenorm.info/resources.html</a> <a href="http://www.sylpher.com/ig/mp3.html">http://www.sylpher.com/ig/mp3.html</a>
RECURSOS GRÁFICOS (CREACIÓN)	
The Gimp Adobe Photoshop	<a href="http://www.gimp.org/">http://www.gimp.org/</a> <a href="http://www.adobe.com/es/products/photoshop.html">http://www.adobe.com/es/products/photoshop.html</a>
RECURSOS DE SONIDO (DESCARGA)	
Insta games MidiWorld	<a href="http://www.sylpher.com/ig/mp3.html">http://www.sylpher.com/ig/mp3.html</a> <a href="http://www.midiworld.com/">http://www.midiworld.com/</a>
RECURSOS DE SONIDO (CREACIÓN)	
Cakewalk	<a href="http://www.cakewalk.com">http://www.cakewalk.com</a>

(Tabla I). En castellano disponemos de *eAdventure*, una herramienta desarrollada específicamente para la creación de juegos educativos que además permite la integración con plataformas como *Moodle*.

#### La historia como elemento vertebrador de una aventura gráfica

Desarrollar un videojuego no consiste solamente en programar. De hecho, gran parte de la elaboración de un videojuego se produce fuera de la esfera de la programación. Reviste especial importancia la fase de diseño, donde deberemos pensar exactamente qué es lo que queremos plasmar en la pantalla para beneficio de nuestros alumnos.

En un primer estadio precisaremos el concepto general del juego. Esto incluye la caracterización del protagonista, la trama principal y las posibles subtramas, los objetivos a alcanzar por el jugador y el marco espacio-temporal en el que este va a moverse. En el caso de un videojuego didáctico, esta fase implica también establecer qué conocimientos básicos se le suponen al usuario, así como el tipo de objetivos docentes que pretendemos alcanzar.

Con posterioridad se procede a definir, secuencialmente, las tareas que el jugador deberá acometer para conseguir sus objetivos, incluyendo todas las alternativas derivadas de aquellos problemas que admiten varias soluciones o atajos. Al final de esta fase se llega a algo parecido al guión de una película, donde encontramos todo lo que el videojuego debe contener. A continuación se procede a elaborar el material que permitirá la inmersión del jugador en el mundo que vamos

a crear: es decir, todo lo relativo a los gráficos, diálogos y sonido. No deberemos preocuparnos si –como el autor de este artículo– carecemos por completo de talento musical y artístico. Por fortuna, existen en internet numerosas webs de las cuales podremos descargar material útil para nuestros propósitos (Tabla I).

Vestir un videojuego con tintes de historia real es importante porque ayuda a que el alumnado se meta en la piel del protagonista. Como ya hemos comentado, en nuestro caso el protagonista de la historia es Genaro, un becario de la “Agencia Central del Agua” a quien manejaremos entre pantalla y pantalla.

Todo comienza un lunes por la mañana. Genaro llega tarde a su puesto de trabajo, e interrumpe una conversación en la que su jefe y una compañera están hablando de la aparición de trazas de arsénico en el pozo de abastecimiento de una pequeña urbanización. Con ello nos introducimos de lleno en el problema que vamos a abordar. Tras la escena introductoria, donde queda reflejado el carácter urgente de la situación, pasamos directamente a la acción. Con el mapa de la zona de estudio delante, el jefe nos irá explicando con más detalle lo que debemos hacer, haciéndonos algunas preguntas sobre la conversación anterior. Este diálogo está estructurado de manera que el jugador puede contestar la respuesta que considera más correcta a partir de una serie de opciones, o bien, si no lo recuerda, pedir que sea el jefe quien se lo explique. En conjunto, la escena tiene por objeto dejar claro cuál es el objetivo de la misión y, por tanto, en qué dirección deben encaminarse las acciones de Genaro a partir de ese momento.



La siguiente escena tiene lugar en el campo. Un pozo ocupa la parte central de la pantalla (Fig. 2). Allí, Genaro deberá realizar algunas de las tareas básicas para inventariar un punto de agua. Con ayuda de su jefe, utilizará una sonda piezométrica, una bomba portátil, un generador de electricidad y un bote para la toma de muestras. Obtendrá con ello una medida de nivel y una muestra de agua para analizar en laboratorio. Esta escena tiene por objeto explicar los conceptos de potencial hidráulico, profundidad y cota, así como introducir al alumnado al típico protocolo de muestreo.

Realizar estas tareas en distintos lugares sería muy repetitivo. Como un videojuego ha de ser siempre ágil, una vez muestreado el pozo abandonado aparece un corte de tipo “horas después”, que desemboca de vuelta en la Agencia Central del Agua. Allí interpretaremos los datos de campo. Con ayuda del jefe, Genaro dibujará un mapa de isopiezas que permita conocer la dirección del flujo subterráneo en el acuífero (Fig. 3). Partiendo de esta información, diseñará una campaña de sondeos y muestreos químicos en pozos vecinos encaminada a definir la morfología y origen de la contaminación. Los muestreos y las perforaciones cuestan dinero, por lo que el juego premia que se llegue a la solución de la manera más económica posible. Para su sorpresa, el alumnado descubrirá que el arsénico no proviene de zonas industriales ni de pesticidas agrícolas, si no de un viejo cementerio.

Allí es donde tiene lugar el desenlace de la aventura. En conversación con un siniestro enterrador, Genaro descubrirá que algunos compuestos de arsénico eran utilizados antiguamente para embalsamar a los difuntos y que, como consecuencia, representan hoy fuentes latentes de contaminación en muchos acuíferos. Ello nos proporcionará nuevos y definitivos indicios para resolver el misterio.

El tono de la aventura es deliberadamente desenfadado. El lenguaje solo es técnico cuando la ocasión lo requiere y, por lo general, las explicaciones son escuetas y directas. El humor es la tónica dominante en los diálogos, de manera que estos no se hacen excesivamente pesados. Además, no es posible “morir” ni llegar a “callejones sin salida”, por lo que el alumnado puede experimentar con total libertad sobre las distintas opciones que el videojuego le va planteando. Con esto no solo se facilita el aprendizaje, sino que también se pretende potenciar el disfrute de la actividad.

Para aquellos profesores y alumnos no familiarizados con el mundo de las aventuras gráficas, el juego incorpora un pequeño tutorial al que se accede desde el menú principal. El tutorial recoge la mayoría de las acciones básicas necesarias para manejar a Genaro, como andar por la pantalla, mirar a su alrededor para obtener información, recoger y utilizar objetos, o interactuar con otros personajes.

### Diseño de puzzles

Desde el punto de vista práctico, los videojuegos suelen estructurarse en pantallas. Una pantalla podría definirse como una localización donde el personaje puede realizar una serie de acciones concretas que le permitan pasar a la siguiente. Todo juego consta de un número de pantallas, y el jugador lo



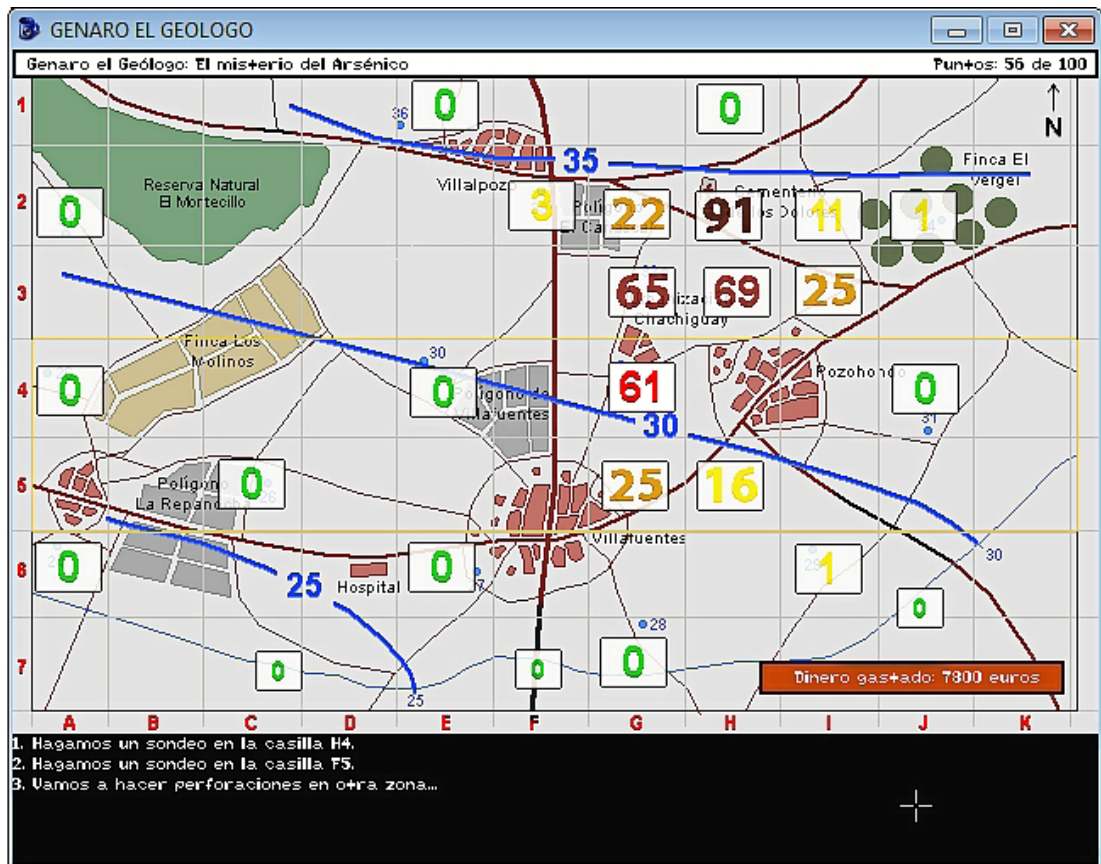
termina una vez ha completado las tareas propias de todas y cada una de ellas. En otras palabras, una aventura gráfica puede entenderse como la concatenación de una serie de tareas –“puzzles”–, estructuradas en forma de historia. Los puzzles deben ser lógicos, razonables y adecuados al nivel de conocimientos del alumno. Además, han de diseñarse de tal manera que permitan hilar la historia entre pantalla y pantalla hasta la consecución del objetivo final.

Típicamente, la programación de una escena implica cargar una o varias imágenes de fondo, definir una serie de zonas por las que el protagonista puede moverse y unos puntos concretos dentro de las mismas con los que puede interactuar. Por ejemplo, la imagen de fondo puede ser un paisaje rural con un pozo como el de la Fig. 2. Como el protagonista no podrá andar por el cielo, será necesario restringir su ámbito de movimiento a la tierra. Además, si lo que queremos es que hable con otro personaje, deberemos definir qué tipo de interacción es posible (hablar, intercambiar objetos, mirar, etc).

La interacción con los distintos personajes y objetos que hay en la pantalla revela nuevas informaciones al jugador, haciendo que la historia avance. Habitualmente, estas interacciones han de realizarse en un orden concreto para resolver problemas que se le van planteando al jugador. Además, se incluyen algunas pistas de manera que el objetivo inmediato siempre esté claro. El diseño de este tipo de problemas es una cuestión de capital importancia, puesto que la inmersión será más gratificante en la medida en que el jugador se enganche a la resolución de los enigmas que planteamos. Nótese que los elementos inmersivos, –como los gráficos, el sonido o la propia historia– son cruciales para hacer del videojuego algo atractivo. No es lo mismo que el otro personaje simplemente nos diga “mide el nivel en el pozo” que planteemos el diálogo a partir de una problemática de contaminación donde haya vidas en peligro: lo primero suena a aburrida pregunta de examen, mientras que lo segundo tiene connotaciones de drama y aventura.

Fig. 2. Los videojuegos se dividen casi siempre en distintas pantallas, siendo necesario cumplimentar una serie de tareas para pasar de una a otra. La imagen muestra una pantalla del videojuego “Genaro el Geólogo: El secreto del arsénico”, donde el protagonista debe realizar una serie de tareas propias del inventariado de puntos de agua con vistas a la posterior interpretación de los resultados.

Fig. 3. Con un poco de inventiva es posible presentar al alumnado actividades relativamente complejas, como la elaboración de un mapa de isopiezas o el rastreo de una pluma de contaminante.



Para simplificar la exposición de lo que es un puzzle, pensemos en la escena del pozo que hemos descrito anteriormente, y supongamos que nuestro objetivo es que los alumnos demuestren que saben lo que tienen que hacer para medir el nivel del agua en el mismo. Deberán por tanto conocer el concepto de potencial hidráulico y el tipo de instrumental de campo que se utiliza para esta tarea.

Para ello deberemos definir un contexto gráfico, es decir, establecer el entorno virtual en que va a desarrollarse la acción. En nuestro caso, sirve de nuevo la Fig. 2, ya que representa una escena de campo donde encontramos un pozo. Además, será necesario que exista un lugar de donde el personaje pueda extraer la sonda piezométrica –el maletero de la furgoneta– y que el personaje cuente con una “mochila” –comúnmente denominada “inventario”– para que pueda almacenarla para llevarla de un lado para otro.

A continuación, pasaremos a definir las tareas que queremos que realice el alumnado. Una secuencia lógica podría ser: (1) obtener una sonda piezométrica, (2) utilizar la sonda piezométrica para medir el nivel en el pozo, (3) descontar la altura del brocal. Para pasar de pantalla, Genaro debe necesariamente realizar estas tres tareas en orden. Además, conviene aprovechar el momento para ir introduciendo algunos de los puzzles que el alumno tendrá que resolver más adelante, de manera que vayan entrelazándose entre sí. Por ejemplo, podemos hacer que, antes del volver a la oficina, Genaro tenga que apuntar el nivel del agua y tomar una muestra de agua para analizar su contenido en arsénico. Este sencillo puzzle enlaza directamente con una escena de gabinete en la que Genaro debe realizar un

mapa de isopiezas partiendo de los valores de nivel freático medidos en campo. Con ello descubrirá en qué dirección se mueve el agua subterránea. Posteriormente pasaremos a una campaña de muestreos y perforaciones en la que, tomando como referencia los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de campo, tendremos que ir rastreando el contaminante hasta descubrir su origen.

Si omitiendo cualquier explicación ponemos al alumnado delante de una pantalla como la de la Fig. 2, puede que no sepa qué hacer. Para evitar esta sensación, es importante proporcionarle mecanismos que le permitan obtener pistas. Una posibilidad es incluir otro personaje –por ejemplo, el jefe de Genaro– y comenzar la escena con un breve diálogo entre él y el jugador. Durante el mismo debe quedar claro que el objetivo es medir el nivel del agua en el pozo, de manera que el jugador sepa en todo momento a qué atenerse. Si por cualquier circunstancia el alumno lo olvida, siempre puede hablar con el jefe para que le refresque la memoria.

### El sistema de puntuación

Dado el carácter didáctico del videojuego, conviene añadir un pequeño sistema de calificación que permita al alumnado saber si está haciendo o si ha hecho las cosas bien. Una posibilidad es establecer un límite de tiempo. En opinión del autor, esto no es aconsejable salvo que sea estrictamente necesario, ya que tiende a dificultar que el estudiante preste atención a los detalles. Otra alternativa, quizá más adecuada, consiste en premiar mediante puntos que el alumno realice todas las tareas siguiendo la secuencia lógica sin equivocarse. De hecho, al-

gunos estudios ponen de manifiesto que este tipo de recompensas positivas generan interés en el alumnado y hacen de la partida una experiencia más gratificante (Fogg y Nass, 1997). También es posible mezclar las dos alternativas. Todo depende de lo que, como docentes, consideremos más importante.

En este caso se ha optado por un sistema mixto de calificación. Al hacer las cosas bien, Genaro recibe puntos. Cada vez que esto ocurre suena una campanilla que le indica que acaba de sumar puntos a su cuenta, al tiempo que estos se suman a la barra de puntuación que hay en la parte superior de la pantalla. Por el contrario, los pierde cuando se equivoca, lo que a su vez va acompañado de un sonido átono. El máximo posible es cien puntos, por lo que el alumnado puede hacerse una idea de lo bien que lo ha hecho una vez termina la aventura. El sistema de puntos implica que esta actividad tiene la potencialidad de plantearse como un ejercicio evaluable. Por otra parte, al final de la partida se le pide al estudiante que anote la hora a la que ha terminado y los puntos que ha conseguido. Sabiendo que todos comenzaron a la vez, podremos incluir estas variables en nuestro propio análisis del videojuego como experiencia educativa.

La última pantalla del videojuego detalla la puntuación final obtenida, pidiendo al alumnado que la anote antes de proseguir. Además, y dado que Genaro el Geólogo incorpora un sistema de detección de fallos, en esta pantalla se le dan al alumno algunas sugerencias para mejorar su puntuación. Estas son breves y del tipo “revisa los conceptos de profundidad, nivel y cota” o “revisa los conceptos de isopieza y línea de flujo”. Con ello el estudiante sabrá en qué momentos de la partida ha perdido puntuación. Como se verá después, en los cuestionarios de evaluación se le pide que detalle cuáles son los consejos que ha recibido al final, de manera que esta información sirva al autor del videojuego para prestar más atención a aquellas partes que resultan más conflictivas a los alumnos, y evaluar si necesitan algún tipo de reforma.

### La fase de pruebas o *beta testing*

La última fase del desarrollo de cualquier videojuego consiste en llevar a cabo una serie de pruebas destinadas a identificar y corregir todos aquellos pequeños fallos (conocidos en el argot como “bugs”) que se hayan producido durante la fase de programación. Por lo general, estos obedecen tanto a descuidos del programador como a errores de diseño, y es necesario erradicarlos porque pueden interferir con el correcto devenir de la historia. Además, transmiten cierta impresión de dejadez.

Es deseable que esta fase, frecuentemente denominada *beta-testing*, sea llevada a cabo por alguien que no haya estado implicado en las fases de diseño y programación: al no saber cuál es la solución de los distintos problemas, el probador intentará las cosas que se le ocurrirían a cualquiera que jugase al videojuego por primera vez. Por tanto, tenderá a encontrar fallos que hayan podido escapar al programador. Una vez completada la fase de pruebas, el videojuego está listo para ser presentado a los usuarios.

En este caso, la fase de pruebas consistió en dar el juego completo a diversos compañeros del Departamento, así como a algunos becarios. Durante las pruebas no se detectaron fallos graves, ni desde el punto de vista de la programación ni desde la estructura lógica del ejercicio. Por otra parte, el hecho de que más de cuarenta alumnos fuesen capaces de completarlo en clase sin que el juego se quedase colgado ni una sola vez sugiere que la programación es robusta. Sin embargo, sí surgieron algunas sugerencias menores como, por ejemplo, incrementar el tamaño de la letra en los diálogos para hacerla más legible, aportar algunas nuevas pistas sobre determinadas actividades o ideas para mejorar el entrelazamiento de los puzzles.

### DISEÑO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN

Antes de utilizar el videojuego con los alumnos, vale la pena preguntarse cómo vamos a evaluar la actividad. Dado que las experiencias con videojuegos didácticos son todavía relativamente escasas y no necesariamente comparables entre sí, es conveniente plantear un sistema de evaluación que vaya en distintas direcciones. Indiscutiblemente es necesario evaluar al alumnado a partir de un sistema que nos permita comprobar su grado de aprovechamiento. Sin embargo, y dado el carácter innovador de la experiencia, también es interesante evaluar el propio videojuego desde la perspectiva del docente y desde la de sus destinatarios finales.

Sobre dichas evaluaciones podremos elaborar una serie de reflexiones críticas acerca de si esta experiencia, con todo el trabajo de preparación que conlleva, ha valido la pena. Hay que tener en cuenta que el tiempo de elaboración de Genaro el Geólogo, desde la concepción de la idea hasta su ejecución en el aula, ha sido de unos dieciocho meses (esto incluye varios paréntesis de inactividad de varios meses, y que se estima que podría haberse realizado en tan solo algunas semanas con dedicación a tiempo completo).

El ejercicio se valora a partir de un cuestionario. Al tratarse de una experiencia piloto, se hizo saber a los alumnos que, por el mero hecho de participar, tendrían la nota máxima en la práctica. A cambio se pidió que se tomasen muy en serio tanto el videojuego como el cuestionario, siendo tan críticos como estimasen necesario a la hora de manifestar su opinión por escrito. En este sentido, y para facilitar la sinceridad de opinión, los cuestionarios se rellenaron anónimamente. Como se verá después, los resultados de este planteamiento son más que satisfactorios, habiéndose conseguido una puntuación media muy elevada en el videojuego, así como una amplísima mayoría de comentarios aprobatorios o, como mínimo, constructivos.

El cuestionario consta de cuarenta y cuatro preguntas divididas en tres secciones: preguntas de clasificación (a rellenar antes de jugar), preguntas de aprovechamiento y preguntas de inmersión. El primer bloque consta de catorce cuestiones. Sirve





Fig. 4. El máximo aprovechamiento se obtiene cuando los estudiantes pueden trabajar de forma individual. Para poder atender adecuadamente las dudas que se van suscitando el tamaño ideal del grupo oscila entre los 20 y 30 alumnos.

para caracterizar genéricamente al alumnado de cara a la interpretación de resultados. Para ello se le pide que indique su edad, sexo, asistencia a clases de teoría y prácticas (en porcentaje), nota media en exámenes parciales (dentro de una serie de rangos, para mantener el anonimato), pautas de utilización de videojuegos en el tiempo libre y si piensa a priori que los videojuegos pueden ser útiles en la docencia universitaria.

Por su parte, las preguntas de aprovechamiento e inmersión se contestan después de jugar. Las primeras, dieciséis en total, tienen por objeto evaluar el ejercicio como si de un problema de clase se tratase. Se le pregunta al alumnado por su puntuación final, el tiempo empleado y si ha recibido ayuda del profesor en algún momento, así como un buen número de cuestiones del tipo “verdadero” o “falso” acerca de los contenidos didácticos del videojuego. Por último, las catorce preguntas de inmersión tienen por objeto valorar hasta qué punto el estudiante ha sentido parte de la historia, si ha disfrutado con la experiencia y si piensa que ha aprendido algo de ella. Además, se anima al alumnado a realizar comentarios libres al final del cuestionario. La última pregunta hace referencia explícita a si después de jugar el alumno ha cambiado su opinión sobre la utilidad de los videojuegos en la docencia universitaria.



Fig. 5. La inclusión de sonido en el videojuego favorece el uso de elementos de inmersión como los cascos de música. Con ellos facilitamos que el alumno se centre en la tarea.

## DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD EN CLASE

Una vez hemos desarrollado el videojuego y el sistema de evaluación, llegamos al punto culminante de nuestra labor: probarlo con los alumnos en clase. Para ello será necesario contar con una infraestructura técnica y establecer un entorno adecuado. Dado que la inmersión es uno de los valores fundamentales de cualquier videojuego, es deseable potenciar el aislamiento del alumno con respecto a todo cuanto le rodea. Para ello conviene contar con un aula de informática con suficientes equipos como para que los alumnos puedan trabajar individualmente (Fig. 4). Además, y dado que el videojuego tiene efectos de sonido, es conveniente que los alumnos utilicen cascos de música. Facilitamos con todo ello que cada uno se sumerja en la historia que tiene en su pantalla y se olvide de todo lo demás (Fig. 5).

Tomando como referencia el tiempo empleado por una muestra de cuarenta y tres alumnos, puede decirse que la duración media de la partida es de unos tres cuartos de hora, incluyendo el tutorial. Por su parte, el cuestionario se rellena en unos diez. Además, la explicación inicial en la que se descarga el videojuego del campus virtual, su instalación, la presentación de la actividad y el cuestionario se lleva otros diez minutos. Teniendo en cuenta que conviene acabar la clase con una breve referencia al caso real en el que se basa el videojuego, y que algunos alumnos tardaron hasta una hora en terminar, puede decirse que esta práctica es adecuada para sesiones de una hora y media. Por la propia naturaleza de la experiencia, conviene hacer hincapié en el hecho de que se trata de un ejercicio que engloba muchos de los principales conceptos de la asignatura y –llegado el caso– en su carácter evaluable.

## EVALUANDO Y SIENDO EVALUADOS: ALGUNAS REFLEXIONES

Los resultados que a continuación se exponen responden a una muestra de 43 estudiantes, diecinueve chicas y veinticuatro chicos. Uno de ellos solo rellenó la primera cara del cuestionario (es decir, las primeras 18 preguntas), presumiblemente porque no se dio cuenta de que el cuestionario continuaba por el otro lado. Por tanto, el espacio muestral es de 43 alumnos para algunas partes del cuestionario y de 42 para otras.

En términos generales, algo más del 80% de la clase afirma utilizar videojuegos en su tiempo libre, siendo esta proporción mayor en los chicos (95%) que en las chicas (63%). Teniendo en cuenta que los varones están más familiarizados con el videojuego como medio de entretenimiento, vale la pena desglosar los resultados del cuestionario por género para observar posibles diferencias de aprovechamiento.

Las plataformas preferidas son ordenador, consola y *smartphone*, siendo la distribución bastante equitativa. Sin embargo, se observa que el *smartphone* es algo más popular entre las chicas,



PREGUNTA	RESPUESTA CORRECTA	CHICAS (% ACIERTO)	CHICOS (% ACIERTO)	TOTAL (% ACIERTO)
23. El arsénico es de origen antrópico, y no natural, porque nunca antes se habían encontrado trazas en la zona	Verdad	78,9	91,3	85,7
24. El contaminante ha tardado muchas décadas en llegar al pozo de la urbanización porque el acuífero es poco permeable	Verdad	73,7	82,6	78,6
25. El cementerio es necesariamente la fuente que buscamos porque nos da la máxima concentración y además no hay trazas de arsénico al norte de él	Verdad	100,0	100,0	100,0
26. El cementerio es la única fuente posible de contaminación por arsénico	Falso	26,3	65,2	47,6
27. Muestrear puntos de agua existentes resulta más barato que perforar sondeos de investigación	Verdad	94,7	91,3	92,9
28. La dinámica del flujo subterráneo en el acuífero condiciona en gran medida la dirección y alcance de la pluma de arsénico	Verdad	100,0	95,7	97,6
29. La contaminación se detectó porque los propietarios del pozo de la urbanización realizaban análisis periódicos de la calidad de sus aguas	Falso	57,9	73,9	66,7
30. A concentraciones como las que hemos visto en el juego, los síntomas de intoxicación por arsénico se manifiestan a largo plazo	Verdad	73,7	73,9	73,8
31. Mientras que la dinámica de flujo se mantenga, el río estará a salvo de la contaminación por arsénico	Falso	73,7	65,2	69,0
32. Los casos clínicos de intoxicación por arsénico tienen que ver con el hecho de que el pozo del hospital está contaminado	Falso	57,9	69,6	64,3
33. El juego demuestra que la contaminación por arsénico representa un problema latente, y puede pasar mucho tiempo hasta que se llega a detectar	Verdad	100,0	100,0	100,0
Promedio (%)		76,1	82,6	79,7

Tabla III. Respuestas a las once preguntas principales de aprovechamiento incluidas en el cuestionario (resultados sobre una muestra de 42 alumnos).

mientras que la consola prima un poco más entre los chicos. Los jugadores de uno y otro género dedican, por término medio, entre dos y cinco horas a la semana a los videojuegos.

Como muestran las tablas II y III, la mayor exposición de los chicos a los videojuegos se manifiesta en unos resultados ligeramente mejores en la actividad, tanto en lo que respecta a puntuación total como en el menor tiempo empleado. Además, se observa que un 52% de las chicas reclamaron la ayuda del profesor en algún momento, mientras que solo el 9% de los chicos lo hizo. El cuestionario también revela que las medidas de aislamiento adoptadas para facilitar la inmersión fueron exitosas, ya que solo tres de los encuestados reconoce haber recurrido en algún momento al compañero.

En conjunto, los resultados de las tablas II y III parecen indicar que el grado de aprovechamiento del ejercicio ha sido satisfactorio. También ponen de manifiesto que el sistema de puntuación interno del juego es quizá demasiado benévolo con el jugador: la puntuación media de la clase fue de 96 puntos sobre 100, cuando el acierto medio sobre determinados aspectos del problema planteados en las preguntas 23 a 33 del cuestionario (respuesta tipo verdadero o falso), fue del orden del 80%. Se observa además que el grado de aprovechamiento es muy similar en ambos géneros, a pesar de estar los

chicos más habituados al tipo de interfaz mediante el cual se presenta la actividad.

Otra vertiente interesante del cuestionario consiste en evaluar hasta qué punto el alumnado considera que una práctica como esta, basada en un videojuego, es útil para su aprendizaje. Lo cierto es que, al cabo del ejercicio, la percepción del profesor era que los alumnos habían recibido el videojuego de forma positiva, e incluso entusiasta. El cuestionario lo confirma sin lugar a dudas. Por ejemplo, a la pregunta “¿consideras que los videojuegos pueden ser útiles en la docencia universitaria?” –que fue formulada antes de jugar– treinta y seis estudiantes dijeron que sí, cinco respondieron que no, y otros dos declararon no estar seguros. De los siete escépticos, cinco cambiaron de opinión al ser interpelados de nuevo después de jugar, respondiendo de forma afirmativa. A la última pregun-

Tabla II. Estadísticas generales de la partida (datos sobre 43 cuestionarios).

	CHICAS		CHICOS		TOTAL	
	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.
Edad	22,69	2,67	21,91	5,19	22,24	4,19
Puntuación	95,89	4,04	96,38	3,42	96,16	3,67
Tiempo (min)	50,58	8,02	42,83	7,34	46,26	8,50

Tabla IV. Respuestas a las diez preguntas principales de inmersión incluidas en el cuestionario (resultados sobre una muestra de 42 alumnos).

PREGUNTAS DE INMERSIÓN (*)	MEDIA	DESV. EST.
34. Mientras jugaba me ha resultado fácil centrarme en las tareas de Genaro, hasta el punto de que me he olvidado de lo que sucedía a mi alrededor	1,98	0,75
35. El juego suscita mi curiosidad, lo que me lleva a querer seguir jugando hasta el final	1,74	0,73
36. En todo momento me ha resultado sencillo manejar a Genaro (la forma de manejarlo no supone un obstáculo para el desarrollo de la historia)	1,40	0,66
37. En todo momento he tenido clara la tarea que tenía que realizar	1,43	0,67
38. Los gráficos (dibujos y animaciones), aunque son simples, hacen su labor de forma eficaz y me permiten centrarme en la resolución de los problemas	1,29	0,46
39. Los conocimientos adquiridos en teoría y en prácticas me han servido de ayuda para completar con éxito el juego	1,10	0,37
40. Mediante el juego he aprendido algún concepto nuevo (o que no había entendido en clase de teoría)	2,95	1,31
41. Preferiría que los problemas de prácticas de la asignatura se presentasen en formato videojuego más a menudo	2,36	1,21
42. Un juego de estas características podría utilizarse como sustituto de determinadas clases de teoría	2,67	1,14
43. Un juego de estas características podría utilizarse como examen	2,81	1,38
(*) Cada pregunta se califica sobre 5, donde 1 es "totalmente de acuerdo", 2 "bastante de acuerdo", 3 "de acuerdo a medias", 4 "casi nada de acuerdo", 5 "nada de acuerdo".		

ta de opinión global, en la que se preguntaba si jugar a Genaro el Geólogo había sido *"una pérdida de tiempo"*, *"poco útil/poco interesante"* o *"útil y satisfactorio"*, cuarenta sobre cuarenta y dos alumnos optaron por esta última alternativa. Entre los comentarios más favorables encontramos algunos como *"me parece una práctica original y muy amena"*, *"¡muy currado el juego!"*, o *"en general el juego me ha parecido estupendo y muy divertido, y muy útil para ver un ejemplo claro de los métodos usados en hidrogeología"*.

Esto no obsta para que otros fuesen más críticos. Por ejemplo, una alumna hizo la siguiente observación: *"creo que no se aprende tanto para lo que se tarda; a lo mejor en educación secundaria sí es útil, pero en la universidad me parece un poco infantil"*; y otro: *"la enseñanza con videojuegos puede ser entretenida pero no muy eficaz (...) no sería muy útil para realizar muchas clases prácticas o teóricas (...) sino para alguna clase o momento puntual"*. La mayoría de los alumnos que ponen pegas, sin embargo, son constructivos. Sirvan como ejemplo las siguientes sugerencias: *"Podría hacerse más largo y plantear más problemas, o añadir niveles de dificultad"*, o *"muestrear al sur de la pluma de contaminación puede ser útil, pero se sale un poco del objetivo principal, que es encontrar la fuente; se podría ampliar la tarea inicial para buscar el tamaño del área contaminada"*. Estas últimas son ciertamente interesantes, puesto que sirven para mejorar algunos aspectos del juego con poco trabajo de programación. También ponen de manifiesto que nadie mejor que el alumnado entiende la psicología del videojuego.

La tabla IV detalla cómo valoran los estudiantes algunos aspectos concretos de inmersión. Se trata de cuestiones planteadas a propósito para ver hasta

qué punto el diseño del juego les parece adecuado. Más que preguntas, son afirmaciones con las que el alumno tiene que decir hasta qué punto está de acuerdo. El valor de uno corresponde a "totalmente de acuerdo", mientras que el de cinco quiere decir "nada de acuerdo". La media da una idea de la percepción global de toda la clase, mientras que la desviación estándar indica hasta qué punto las respuestas son diversas.

Se observa que la puntuación media es siempre inferior a tres, lo que quiere decir que los alumnos están generalmente de acuerdo con la totalidad de las afirmaciones. Puede apreciarse con claridad que perciben la interfaz de usuario del juego como suficientemente intuitiva (1,40), y que los objetivos del mismo están claros (1,43). También indican que su valor de inmersión es suficientemente alto, puesto que coinciden con la afirmación de que el juego suscita su curiosidad (1,74), y con la que establece que, al centrarse en las tareas del videojuego, se han olvidado de lo que ocurría a su alrededor (1,98). También se manifiestan a favor de que los problemas de prácticas se presenten en forma de videojuego más a menudo (2,36).

El grado de acuerdo baja algo en relación a otras cuestiones. Por ejemplo, solo coinciden a medias (2,95) con la afirmación de que el juego les había hecho aprender algún concepto nuevo o que no habían comprendido bien en clase de teoría. Algo parecido ocurre con las preguntas referidas a su posible uso como examen (2,81) o como sustituto de clases de teoría (2,67). A menudo, estas respuestas vienen matizadas por comentarios al margen, como *"debe apoyarse siempre en clases de teoría"* o *"los conceptos habían quedado suficientemente claros en clase, por lo que no he aprendido nada nuevo"*. Al respecto de este últi-

mo comentario, hay que tener en cuenta dos aspectos importantes. En primer lugar, los estudiantes acababan de hacer un examen parcial voluntario que cubría la totalidad de los conceptos del videojuego, y que el 80% de la clase se presentó a dicho examen. También tenían muy reciente una salida de campo centrada en la elaboración sobre el terreno de un estudio hidrogeológico. Por ello es lógico que tuviesen los conceptos frescos. En segundo lugar, no se trataba de una actividad diseñada para “aprender”, sino más bien de un problema de clase disfrazado de videojuego. En otras palabras, el objetivo consistía en integrar conceptos ya aprendidos para abordar la resolución de una problemática potencialmente real. Por último, cabe reseñar el hecho de que la clase está casi unánimemente de acuerdo (1,10) con la afirmación de que los conceptos aprendidos en teoría y prácticas les han sido útiles a la hora de completar el juego.

## CONSIDERACIONES FINALES

El videojuego constituye una plataforma para la transmisión del conocimiento cuyo enorme potencial todavía está por explotar. Entre sus ventajas encontramos su versatilidad, su carácter interactivo y, sobre todo, su capacidad para suscitar la curiosidad del alumnado. En su caso hay que citar el trabajo que lleva su elaboración, así como la necesidad de aprender unos rudimentos de programación para desarrollar un ejercicio lo suficientemente complejo como para que resulte interesante. La experiencia reflejada en este artículo demuestra que los videojuegos pueden utilizarse con éxito en la enseñanza universitaria, ya que los resultados del ejercicio muestran un grado de aprovechamiento elevado y que la acogida de la práctica totalidad de los alumnos con los que se probó “Genaro el Geólogo” fue muy positiva. Este trabajo también pone de manifiesto que es necesario tomar en consideración la opinión del alumnado para poder ir introduciendo mejoras en los videojuegos didácticos que desarrollamos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADESE (2011). Penetración del videojuego en España: estilos de vida y valores de los jugadores de videojuegos españoles y el videojuego del futuro. Asociación Española de Distribuidores y Editores de Software de Entretenimiento. Informe técnico. Madrid, 21p.
- Calonge, A. (2010). La Geología que emociona, ¿qué geología enseñamos, qué geología necesitamos y qué geología divulgamos? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18.2, 141-149.
- D'Artista, B.R. y Hellweger, F.L. (2007). Urban hydrology in a computer game? *Environmental Modelling & Software*, 22(11), 1679-1684
- ESA (2011). *Essential facts about the computer and video game industry*. Entertainment Software Association. 13p.
- Fetter, C. W. (1994). *Applied Hydrogeology*, Third Edition, Prentice-Hall Publishing Co. New York, 691 p.
- Fong-Ling, F., Rong-Chang, S. y Sheng-Chin, Y. (2009). EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. *Computers & Education*, 52, 101-112.
- Fogg, B. y Nass, C. (1997). Silicon sycophants: the effects of computers that flatter. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46 (5), 551-561.
- Griffiths, M. (2002). The educational benefits of video-games. *Education and Health*, 20(3), 47-51.
- Martínez Alfaro, P.E., Martínez-Santos, P., Castaño Castaño, S. (2005). *Fundamentos de hidrogeología*. Mundiprensa. Madrid, 284p.
- Squire, K.D. y Mingfong, J. (2007). Mad City Mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), 5-29.
- Tragazakis, P. y Meimaris, M. (2009). Engaging kids with the concept of sustainability using a commercial video game – a case study. *Transactions on Edutainment*. Volume 5940/2009, p1-12.
- WET (1999). *WET Project. Curriculum and activity guide*. Water Education for Teachers. Montana, 515p.
- Williamson, B. (2009). *Computer games, schools, and young people. A report for educators on using games for learning*. Futurelab. Bristol, UK, 45p. ■

Fecha de recepción del original: 24/2/2012

Fecha de aceptación definitiva: 02/03/2013