

Aprendiendo Lógica Combinacional Jugando en secundaria

Jesús Carlos Díez-Rioja
Institut Quatre Cantons
Barcelona
carlos.diez@4cantons.cat

David Bañeres, Montse Serra
Universitat Oberta de Catalunya
Barcelona
{dbaneres,mserravi}@uoc.edu

Resumen

El aprendizaje de contenidos introductorios en las ingenierías resulta normalmente un problema para los estudiantes de primer curso. Existen diferentes razones asociadas al cambio del entorno de aprendizaje o en algunos casos a la dificultad inherente de los nuevos contenidos. Desde hace algunos años, en bachillerato ya se está analizando esta problemática para reducir el impacto del acceso a la universidad introduciendo algunos conceptos básicos. En este artículo se describe la experiencia llevada a cabo en un instituto de Barcelona donde se ha utilizado una aplicación implementada *ad hoc* para enseñar, de una forma lúdica, contenidos de sistemas digitales en el contexto de la asignatura de Tecnología Industrial del bachillerato.

Abstract

Fundamental learning concepts related to Computer Science usually are difficult to be acquired for first-year students in higher education. There are different reasons such as the change of the learning context or the inherent difficulty of new concepts. In recent years, high school teachers are already working on reducing the gap between high school and university by introducing some basic concepts related to digital systems. This paper aims at providing a description of the experience carried out at a secondary school in Barcelona where a custom-made application has been implemented to teach, in a playful way, contents of digital systems, in the context of the Industrial Technology course.

Palabras clave

Gamificación, videojuegos, aprendizaje autónomo, secundaria, circuitos digitales, puertas lógicas.

1. Motivación

El abandono en asignaturas de primer curso siempre ha sido un problema que tratar en la Ingeniería. Existen muchos trabajos anteriores que intentan refor-

mular e innovar en la docencia de las asignaturas de primer semestre para reducir el impacto [16, 19, 9, 4]. Aunque no siempre son tan efectivas como quisiéramos los profesores, estas metodologías están en constante evolución.

Es importante remarcar que este problema no siempre viene influenciado por los contenidos o metodologías de aprendizaje de las asignaturas de primer semestre [3, 12]. A veces, también influyen los conocimientos previos de los alumnos. Por esta razón, es muy importante una reforma de los contenidos de secundaria para que realmente se trate la informática como materia fundamental [15]. Mientras se debate esta propuesta, de momento, únicamente podemos hacer pequeñas mejoras en las asignaturas de tecnología que tenemos disponibles en bachillerato. El bachillerato, desde hace años, incluye tres asignaturas de marcado perfil tecnológico, como son el Dibujo Técnico, la Electrotecnia y la Tecnología Industrial. Se trata de asignaturas de modalidad, cursadas en su totalidad o en parte por estudiantes que quieren cursar ciclos formativos de grado superior o ingenierías. Concretamente, en la asignatura de Tecnología Industrial¹ (y en menor medida en la asignatura de Electrotecnia), se introducen conceptos básicos relacionados con circuitos lógicos combinatoriales y secuenciales, puertas y funciones lógicas y procedimientos de simplificación de funciones.

En los últimos años han aparecido diferentes experiencias relacionadas con la introducción de conceptos fundamentales para las ingenierías. Programación [5] o Robótica [20] son algunas de las materias que se están realizando actualmente. Si analizamos estas propuestas vemos que un tema muy importante es la motivación. Al alumnado se le debe motivar para adquirir conceptos relacionados con las nuevas tecnologías y de esta manera hacer que el aprendizaje sea más ameno y a veces más productivo. Si nos focalizamos en los conceptos relacionados con sistemas digitales, los resultados no son muy diferentes que los relacionados con la programación o las matemáticas.

¹ La asignatura de Tecnología Industrial se concreta en dos asignaturas: Tecnología Industrial 1 y 2 que se distribuyen en 1º y 2º de bachillerato respectivamente.

Existen muchas carencias en los estudiantes al llegar a las asignaturas de primer curso relacionadas con Fundamentos de Computadores o Electrónica Digital [10, 11]. Por esa razón una introducción a conceptos básicos en bachillerato puede influir positivamente en las titulaciones relacionadas con las ingenierías.

En este artículo tratamos la introducción de la lógica combinatorial en bachillerato y para tener motivados a los alumnos se ha decidido utilizar técnicas de *gamificación*. Se ha desarrollado un juego *ad hoc* para la práctica de estos conceptos. Consideramos que la experiencia realizada es interesante como metodología de aprendizaje tanto en secundaria como en asignaturas de fundamentos de Electrónica Digital en la universidad.

Este artículo se estructura de la siguiente forma. En la Sección 2 se realiza un breve análisis de diferentes experiencias de *gamificación* en educación y otras relacionadas con el aprendizaje de sistemas digitales. La Sección 3 describe el juego desarrollado y la experiencia docente se muestra en la Sección 4 con un análisis de los resultados obtenidos. Finalmente, las conclusiones y el trabajo futuro se presentan en la Sección 5.

2. Estado del arte

En la actualidad, los estudiantes de escuelas, institutos y universidades son nativos digitales². Han crecido utilizando las nuevas tecnologías y presentan nuevas maneras y actitudes ante el proceso de aprendizaje. Los docentes deben hacer frente a nuevos retos para adaptar este proceso a unas nuevas necesidades. Deben utilizar diferentes metodologías para conseguir un alumnado participativo, motivado e implicado en su propio aprendizaje. Por lo tanto, si se aplica una estrategia correcta al introducir un juego dentro de un contexto educativo, aprovechando principios de recompensa, estatus, interacción o competitividad, se fomentarán ciertas acciones del estudiante incentivando un comportamiento determinado.

Son incontables las experiencias de *gamificación* llevadas a cabo en las aulas dentro de los diferentes niveles educativos existentes con el apoyo de las TIC. A continuación se citan algunas, ordenadas desde la enseñanza primaria hasta la universitaria. En [8] se llevó a cabo un estudio del impacto sobre el uso de un juego digital denominado “Miquel Crusafont”, centrado en descubrir al personaje y explicar su trabajo en paleontología. El área básica de trabajo era “Conocimiento del Medio Natural y Social” aunque había otras áreas relacionadas, como las matemáticas. Durante el desarrollo de la experiencia, los docentes des-

tacaron que en la mayoría de actividades la habilidad del alumnado era superior a la del profesorado. Como aspecto por mejorar, destacaron la dificultad en planificar este juego dentro del aula por restricciones de currículo educativo y tiempo. Además, se consideró que son necesarias metodologías y formación específicas para que el profesorado pueda aplicar la *gamificación* en el aula.

Los autores en [6] destacan la potencialidad de la combinación de dispositivos móviles y la *gamificación* a través de videojuegos. Los autores (coautores del juego “Miquel Crusafont”) afirman que los videojuegos en primaria contribuyen en el desarrollo de las habilidades sociales, aumentan el rendimiento escolar, las habilidades cognitivas, la motivación, el pensamiento complejo y el trabajo en equipo. En [14] también se constata, en términos generales, la mejora en el aprendizaje del alumnado al realizar prácticas colaborativas entorno a un videojuego. La autora analiza ocho experiencias focalizadas de manera particular en el aprendizaje colaborativo. Demuestra que los videojuegos pueden ser utilizados para potenciar el aprendizaje y el trabajo colaborativo y que, en general, el alumnado consigue mejoras en el aprendizaje.

El uso del conocido videojuego “Minecraft” en contextos educativos es analizado en [13]. Actualmente, “Minecraft” está siendo utilizado como recurso educativo en todo el mundo en diferentes materias para enseñar, por ejemplo, geometría espacial, sostenibilidad, lengua y literatura, habilidades sociales, informática, diseño digital, gestión de proyectos o química. La empresa que desarrolla el videojuego, proporciona apoyo al profesorado y se ha desarrollado la versión educativa “MinecraftEdu”, donde se integran herramientas de gestión para facilitar el trabajo de los docentes. Como consecuencia, se ha creado una comunidad mundial de profesores (MinecraftTeachers) donde estos comparten sus experiencias.

El proyecto SIGMA [18] es un recurso en línea para ayudar a estudiantes de Brasil a alcanzar competencias matemáticas. Se trata de una plataforma interactiva dirigida al alumnado de primaria y secundaria con un doble objetivo: mejorar las competencias matemáticas del alumnado y facilitar el entrenamiento cuyo objetivo es: la “*Olimpiada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas OBMEP*”. El sistema de *gamificación* se basa en la utilización de elementos motivadores como por ejemplo puntos, insignias, bonus o certificados de nivel con el objetivo de estimular a los estudiantes.

La buena simbiosis entre la *gamificación* y las TIC destaca en la experiencia llevada a cabo [17] con un grupo de 29 estudiantes de un centro de secundaria del sureste de Malasia. En este caso, fueron las ciencias experimentales la asignatura elegida. Los elementos de *gamificación* utilizados en torno a estos contenidos fueron los puntos, las insignias y un ranking de posiciones. Los resultados mostraron que

²Término acuñado por Marc Prensky, quien denomina nativo digital a toda persona nacida desde el año 1980 hasta la actualidad. Prensky describe a los nativos digitales como las personas que, rodeadas desde temprana edad por las nuevas tecnologías y los nuevos medios de comunicación que consumen masivamente, desarrollan otra manera de pensar y de entender el mundo.

la combinación de tecnología y elementos propios del juego ayudaron en el cambio del comportamiento de los estudiantes hacia el aprendizaje.

El ámbito universitario, lógicamente, no es ajeno al fenómeno de la *gamificación*. En el libro electrónico “*Gamificación en aulas universitarias*” [7] se ofrece una visión de la *gamificación* en las aulas universitarias españolas a través de algunas experiencias. Se enfatiza en los diferentes aspectos del proceso de enseñanza-aprendizaje: la implicación y motivación del alumnado, la mejora que la *gamificación* puede suponer en el comportamiento y habilidades de los estudiantes, la mejora del proceso de evaluación en contextos *gamificados*, el fomento de la competencia amigable entre el alumnado y, por supuesto, la mejora en la adquisición de conocimientos.

Otro ejemplo se presenta en [2] donde se analizó la implicación de los estudiantes durante el curso y se comprobó la baja participación en la plataforma Moodle utilizada, la baja asistencia a clase y la falta de interés por los materiales facilitados (medida a partir del número de descargas, que era muy baja). Se *gamificó* la asignatura añadiendo elementos comunes en contextos *gamificados* como los puntos de experiencia (puntos que los jugadores van acumulando a medida que juegan y que representan su progreso), niveles, rankings, retos e insignias. Los resultados fueron muy positivos, ya que mostraban un claro aumento en el número de descargas de los materiales y, sobre todo, en la participación en los foros.

2.1. Gamificación en sistemas digitales

Una de las competencias que los estudiantes de grados relacionados con las telecomunicaciones, la informática o la electrónica deben adquirir es la capacidad de análisis y síntesis de circuitos combinacionales y secuenciales. Los estudiantes se deben enfrentar desde sencillas implementaciones de circuitos con puertas lógicas básicas hasta la intrincada anatomía de los circuitos integrados y, a menudo, el aprendizaje de la lógica combinacional y secuencial no resulta trivial. En este contexto, al alumnado, frecuentemente, le cuesta ver la diferencia entre la electrónica analógica y la digital a nivel práctico y se deben buscar estrategias para que entiendan, por ejemplo, la finalidad de una tabla de verdad, o que las variables de entrada en un circuito puedan ser unos sensores y que la función de salida de la tabla pueda significar la activación, o no, del receptor de un circuito.

Es escasa la literatura especializada que haga referencia al uso de la *gamificación* para enseñar lógica combinacional o fundamentos de sistemas digitales. No obstante, existen algunas experiencias interesantes. Por ejemplo, los autores en [21] implementan un juego, denominado “MineCircuit” (basado en el ya citado “MineCraft”) para enseñar circuitos digitales a estudiantes de ingeniería electrónica. El diseño del

juego, se basa en tres principios: guía a los estudiantes a través de retos de dificultad creciente (desde circuitos básicos a puertas CMOS o TTL de tres estados), combinan actividades de diseño de circuitos con aspectos del mundo real (por ejemplo, la distribución de agua desde un lugar más alto a uno más bajo se asimila a la manera de fluir de la corriente desde un nodo de potencial alto a uno de potencial más bajo) y, finalmente, la existencia de un hilo argumental desde el inicio del juego.

Otra experiencia de la *gamificación* aplicada a la enseñanza de circuitos digitales es la implementada en [1] en el contexto de una asignatura de primer curso de sistemas digitales. En esta asignatura existe una herramienta de autoaprendizaje para practicar ejercicios relacionados con el diseño de circuitos. Para aumentar la motivación, se decidió introducir elementos de *gamificación*: diferentes retos y un ranking relacionados con recompensas mediante puntos adicionales. Los resultados obtenidos mostraron una ligera mejora en lo que respecta al abandono y el uso de la herramienta citada, aunque son preliminares y es necesario analizar su progreso en el futuro.

3. La experiencia desarrollada

El instituto barcelonés *Quatre Cantons del Poblenou*, fundado el curso 2011-2012, se caracteriza por desarrollar un proyecto educativo que da cabida a un conjunto de actividades, de marcado carácter transversal, denominadas “Trabajo globalizado de propuesta externa”. Se trata de propuestas de intervención que diversas entidades proponen al alumnado. Con una duración de unas 6 semanas y una dedicación de 8 horas semanales el alumnado debe situarse en la naturaleza del encargo o necesidad de la institución, idear la intervención, acción o propuesta y, de acuerdo con la entidad, llevarla a cabo. Debido a que los resultados son muy satisfactorios en la ESO, se ha querido prolongar la experiencia al bachillerato. En este sentido, el alumnado que cursa la asignatura de Tecnología Industrial 1 ha recibido el encargo de organizar y tomar parte en la “Primera carrera de robots seguidores del distrito de *Sant Martí*”, concebida, preferentemente, bajo el paradigma del hardware y software libres y para la cual necesitarán conocer algunos conceptos básicos de sistemas digitales. Por otro lado, el alumnado que cursa Tecnología Industrial 2 en segundo de bachillerato y pretende examinarse de la asignatura de Tecnología Industrial en las pruebas de acceso a la universidad debe resolver un ejercicio obligatorio sobre sistemas digitales que representa un 25% de la calificación total de la prueba y que presenta siempre la misma estructura: se plantea un problema cuyas especificaciones pueden modelarse mediante tres variables binarias de entrada y una función lógica de salida; se solicita, en primer lugar, la tabla de verdad del sistema, posteriormente la fun-

ción lógica simplificada y, finalmente, la representación del esquema de puertas lógicas correspondiente.

Ante esta situación, se estimó oportuno llevar a cabo una experiencia de *gamificación* con el objetivo de que los estudiantes aprendan y consoliden conceptos básicos de sistemas digitales y lógica combinatorial de una forma lúdica. En el diseño e implementación de la prueba de concepto se han tenido presentes tres aspectos. En primer lugar, la presencia de elementos comunes en las soluciones *gamificadas* como son los puntos de experiencia, los niveles, los rankings y los retos de dificultad creciente. Además se han tenido en cuenta el tipo de alumnado a quien va dirigido, la experiencia de usuario e información de su evolución en el proceso de aprendizaje. En segundo lugar, el diseño centrado en el usuario a través de una serie de actividades colaborativas con los estudiantes relacionadas con el uso de videojuegos. Finalmente, se ha optado por una metodología SCRUM de implementación, para obtener resultados a muy corto plazo y con diversas iteraciones donde los estudiantes de la asignatura han tenido un rol importante de "testers" para la implementación de una versión inicial del juego.

3.1. La lluvia de ideas

Previo al desarrollo del juego se realizó una lluvia de ideas con el objetivo de diseñar un juego centrado en el usuario. A lo largo de siete días se realizaron un conjunto de actividades colaborativas, a modo de lluvia de ideas, con el alumnado de 1º y 2º de bachillerato que cursa la asignatura de Tecnología Industrial. De estas sesiones se obtuvieron los siguientes resultados:

- Los videojuegos, en general, les satisfacen porque les hacen tomar decisiones en poco tiempo, y eso les gusta.
- Valoran las situaciones que plantean retos asquibles, pero que a la vez impliquen cierta complicación. Cuando fallan quieren seguir jugando para equilibrar la situación.
- En general, no consideran prioritarios los hilos argumentales, sino que lo trascendente son las oportunidades de volver a intentar lo que no se domina hasta conseguirlo. En definitiva, aunque un juego no "explique una historia demasiado interesante" se sienten cómodos en un entorno que controlan y gestionan y, si es posible, que tenga pocas reglas o normas.
- Las jugadoras y jugadores más ocasionales valoran que los juegos sean rápidos, intuitivos y que no exijan un alto grado de conocimiento.
- En los juegos también buscan el reconocimiento social dentro del grupo. Son muy competitivos, les gusta lucir los resultados que obtienen y ser admirados cuando ocupan las primeras posiciones en los rankings (aunque algunos han expre-

sado que prefieren elegir personalmente si hacer pública o no su puntuación y su participación en un juego determinado).

- Consideran imprescindible un *feedback* por parte del juego para saber dónde están y qué posición ocupan respecto al resto de jugadores.

Finalmente, se puede afirmar que la relación que la mayoría tienen con los juegos acostumbra a ser vertiginosa: descubren un juego que les gusta, se "enganchan" y abusan durante un tiempo para después abandonarlo para siempre. A partir de estas especificaciones se diseñó el juego en cuestión, tal como se describe en las siguientes secciones.

3.2. Definición de actividad

Antes de definir el juego y presentar la plataforma implementada es importante describir el tipo de actividad de aprendizaje del juego. Aunque como se ha descrito anteriormente, el objetivo es "aprender de forma lúdica", no tenemos que olvidar que el alumno "debe aprender". Una actividad está formada por 4 ejercicios consecutivos. Un ejercicio consiste en la definición de una función lógica en formato de tabla de verdad o expresión booleana. El estudiante debe proponer un circuito combinatorial con un conjunto de puertas predeterminadas que define el profesor en el momento de generar el enunciado. Actualmente se dispone de tres niveles de dificultad: inicial, intermedio y experto. La dificultad viene determinada por la complejidad de la función lógica que se tiene que diseñar, el número de entradas y el tipo de puertas disponibles para hacer el ejercicio. Debemos tener en cuenta que no se pide el diseño mínimo a dos niveles que nos podría dar un método simple de optimización como Karnaugh Maps, sino que el alumno debe utilizar las propiedades del álgebra de Boole para transformar la función en una que se pueda representar con las puertas que permite el ejercicio. Nótese que en esta primera versión del juego no se permiten bloques combinatoriales complejos como multiplexores o codificadores, aunque es una mejora interesante para crear niveles de dificultad más complejos.

Un ejemplo de ejercicio de nivel intermedio se muestra en la Figura 1. La función que se pide es una XOR ($xy' + x'y$) pero el ejercicio se complica al no permitir en este nivel ni puertas XOR ni negadores NOT combinadas con puertas AND y OR. Esta solución obtenida por un alumno, resuelve el ejercicio proporcionando la solución $(xy)'(x+y)$ que es funcionalmente equivalente a la función XOR pedida. Es importante que el estudiante tenga algún *feedback* en caso de error para poder mejorar el circuito diseñado. El juego devuelve un *feedback* en términos de valores para las señales de entrada de la función que son incorrectos en el circuito diseñado. El objetivo es que el alumno analice el error y mediante un proceso de prueba y error pueda obtener la solución correcta.

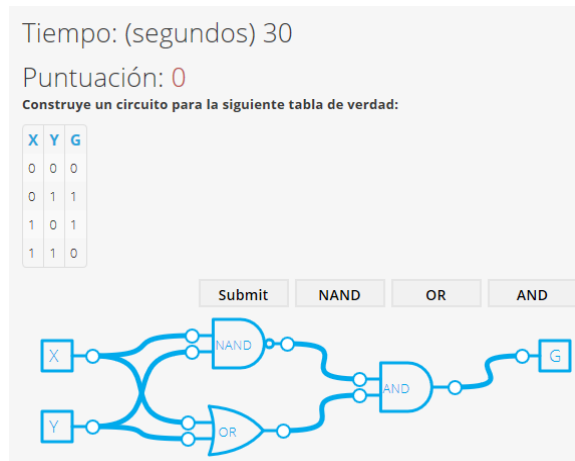


Figura 1: Circuito de nivel intermedio

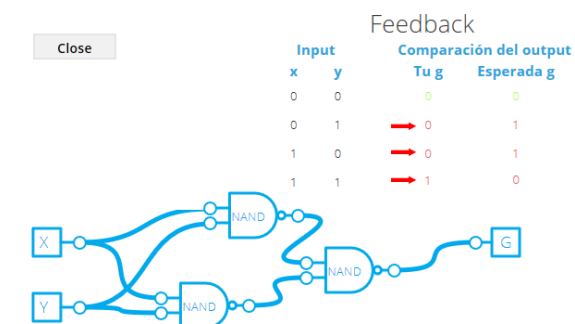


Figura 2: Feedback con las tablas de verdad del circuito propuesto y del requerido.

La Figura 2 muestra un diseño incorrecto para el ejercicio anterior. El circuito implementa la función $((xy)'(xy)')$ que con diferentes propiedades del álgebra de Boole se obtiene la función simple xy . Como podemos observar, se devuelve un *feedback* de los minterminos (o valores de las entradas) donde se encuentra el error.

3.3. Diseño del juego

El juego se ha diseñado con las siguientes especificaciones.

- Juegos cortos de 4 ejercicios consecutivos
- Definición de tres niveles de dificultad
- Consulta de la clasificación
- Consulta de la evolución personal
- Configuración de la privacidad de datos

El juego se ha implementado como una aplicación web que se puede observar en la Figura 3. El alumnao participante accede mediante un nombre de usuario y una contraseña. Desde el menú principal, el estudiante puede comenzar un nuevo juego, consultar la clasificación (ranking), su evolución personal y configurar la privacidad de datos.

Puertas y circuitos lógicos

Aprende lógica combinacional jugando

Salir

Menú principal

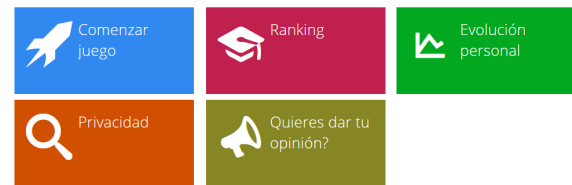


Figura 3: Menú principal

Los diferentes niveles de juego siempre están activos. De esta forma, un estudiante puede probar desde el primer acceso los diferentes niveles de dificultad disponibles.

La mecánica del juego es muy sencilla. Consiste en ir implementando circuitos lógicos con las puertas lógicas facilitadas con la particularidad que hay un cronómetro activo. Si se implementa un circuito correcto, el usuario obtiene 100, 125 o 150 puntos (a los que se restan el número de segundos consumidos en implementar el circuito) dependiendo del nivel de dificultad.

Si el circuito implementado es incorrecto, se restan 50, 75 o 100 puntos, también dependiendo del grado de dificultad y se proporciona la tabla de verdad del circuito propuesto por el alumno comparada con la requerida, de manera que se puedan observar las combinaciones incorrectas. Al superar un nivel determinado, la puntuación se almacena en el sistema.

Como hemos descrito, el juego tiene otras opciones de consulta. El ranking permite consultar la clasificación, donde aparecen las 15 máximas puntuaciones obtenidas por los miembros participantes y la evolución personal muestra el número de participaciones totales, la puntuación acumulada, la media de puntos obtenidos y su nivel (bit, byte o kilobyte) que depende del número de participaciones en el juego (hasta cuatro, ocho o más de ocho veces respectivamente).

Es importante remarcar que inicialmente esta información no es pública (tan solo el profesor puede consultar el ranking) y es decisión de los estudiantes mantener su privacidad o mostrar sus resultados al resto del grupo. Además, la configuración permite añadir un alias para que los alumnos que aún saliendo en el ranking quieran mantenerse en el anonimato.

3.4. La implementación

La prueba de concepto se ha implementado utilizando tecnologías HTML5, PHP, MariaDB y JavaScript. En la parte cliente (el navegador) se ejecutan los *scripts* que comparan las soluciones propuestas con las tablas esperadas. Para ello se ha utilizado un *framework* desarrollado por Ville Karavirta³ y publi-

³ lechef - JavaScript Logic Circuit Exercise Framework: <https://depot.com/vkaravir>

cado bajo licencia MIT. Este *framework* es el responsable de la parte principal del juego, es decir, de la visualización, del manejo del circuito combinacional y del *feedback*. En el servidor se alojan los ficheros php con los diferentes ejercicios propuestos y es desde donde se controlan, también, las validaciones de los usuarios y las variables de sesión. También se aloja en el servidor la base de datos relacional que contiene dos únicas tablas. En la tabla “clasificación” se almacenan el nombre de usuario, la fecha del ejercicio, la puntuación obtenida y el nivel correspondiente. En la tabla “privacidad” se guarda la decisión de hacer pública o no la puntuación obtenida (por defecto se define como privada) y el alias del alumno. Nótese que esta decisión puede ser modificada en cualquier momento.

4. Resultados de la experiencia

La prueba se llevó a cabo con todos los alumnos matriculados (17) en la asignatura de Tecnología Industrial. De estos 17, 13 cursan Tecnología Industrial 1 y 4 Tecnología Industrial 2. Los alumnos participaron previamente en la lluvia de ideas y por lo tanto conocían el objetivo del juego. Hemos de remarcar que previamente el profesor había explicado los conceptos teóricos de la lógica combinacional en clase. Por lo tanto, el juego en cierta manera sirvió para practicar de forma lúdica los conceptos teóricos desarrollados.

Uno de los grandes agentes motivadores en las soluciones *gamificadas* es el premio, ya sea ofrecido en forma de reconocimiento (como por ejemplo la aparición en las posiciones altas en la tabla de clasificación) o en forma de recompensa. En este sentido, antes de comenzar el juego, los estudiantes fueron informados de las diferentes recompensas disponibles:

- Todo alumno que completara, al menos, 4 juegos en cada uno de los tres niveles obtendría medio punto extra en la nota final del trimestre.
- También se premiaría con un punto extra en la nota final a quien obtuviera una de las tres puntuaciones medias más altas habiendo jugado, al menos, doce veces.

Después de tres semanas de juego, tan sólo siete estudiantes completaron el número mínimo de participaciones necesarias para recibir la recompensa. De estos siete, una alumna prefirió centrarse en conseguir la media más alta y tan sólo participó en los niveles intermedio y experto, por lo que recibió un punto de recompensa. Dos alumnos recibieron 1,5 puntos: medio punto por completar, al menos, cuatro juegos de cada nivel y un punto por haber registrado las segunda y tercera medias totales más altas. Finalmente, cuatro estudiantes recibieron medio punto de recompensa. El resto (diez alumnos) no recibieron ninguna

recompensa al no haber completado el número de ejercicios mínimos requeridos.

Nótese que los alumnos participaron como beta “testers” en las primeras versiones del juego y dieron su opinión para obtener la versión final. Gracias a sus habilidades encontraron posibles debilidades del juego y propusieron mejoras (detectaron atajos para obtener máximas puntuaciones sin hacer ejercicios, mejoras en la interfaz, comentarios sobre la privacidad, etc). Estas pruebas se realizaron durante el primer trimestre del curso 2016-2017 (un par de sesiones de aula y el resto, de manera independiente y voluntaria, en sus casas). Al realizar la prueba final a finales del trimestre (diciembre 2016), algunos alumnos renunciaron a la recompensa ya que los ejercicios que ofrecía el juego eran los mismos y el juego ya no les motivaba. Por lo tanto, una mala planificación de la prueba final comprometió los resultados de la experiencia. De todos modos, este resultado se debe valorar en base a los comentarios previos de los alumnos en la lluvia de ideas. Muchos alumnos se sintieron motivados por el juego durante el test de la aplicación. Se engancharon al juego durante las diferentes pruebas, pero durante la valoración final ya no les motivaba para continuar utilizándolo. Por lo tanto, los alumnos se comportaron tal como se definieron en un principio.

4.1. Valoración de los estudiantes

Para conocer la opinión de los estudiantes se ha implementado un cuestionario formado por un primer bloque de preguntas cerradas de elección única donde la valoración de las mismas se realiza utilizando la escala de Likert del 1 al 5 (siendo 5 el valor que corresponde a estar totalmente de acuerdo) y un segundo bloque formado por seis preguntas abiertas. El primer bloque se ha dividido, a su vez, en cuatro partes. En la primera se pretende conocer su interés general por los videojuegos. En la segunda se persigue su opinión sobre el juego “Aprende lógica combinacional jugando” mediante preguntas relacionadas con la jugabilidad, la estructura, el aspecto, etc. La tercera parte está centrada en averiguar el estado de ánimo de los estudiantes mientras juegan. La cuarta, finalmente, está concebida para valorar la opinión de los estudiantes respecto a la consolidación de contenidos de lógica combinacional. Las preguntas abiertas permiten al alumnado expresar su opinión sobre los aspectos positivos o negativos del juego, describir los problemas técnicos que hayan podido aparecer, sugerir, si lo estiman oportuno, alguna mejora en el juego o explicar el motivo de mantener (o no) el anonimato en las listas de clasificación.

La encuesta la respondieron 10 alumnos (58% de participación). Es un valor suficientemente elevado para extraer conclusiones y analizar las opiniones iniciales sobre la jugabilidad del juego. Para reducir la

extensión del análisis del cuestionario se ha optado por indicar conclusiones generales de la opinión de los alumnos.

En cuanto al juego “Aprender lógica combinacional jugando” lo consideran entretenido (73%), fácil de jugar (80%), de aspecto agradable (70%), con un número de niveles adecuado (75%) y que está bien organizado (90%). Al parecer, el paso de los segundos del cronómetro hace que un porcentaje elevado se sienta presionado (75%), aunque no tienen, en general, un sentimiento de frustración cuando fallan (30%). También afirman que han aprendido con el juego (78%), cumpliéndose sus expectativas, y que el feedback proporcionado les ha resultado de utilidad (78%).

Casi la totalidad del alumnado que ha respondido al cuestionario cree que el juego les ha ayudado a consolidar los contenidos básicos de la lógica combinacional (85%) y han entendido que las tablas se pueden sintetizar en circuitos lógicos (93%). Han entendido como aplicar teoremas del álgebra de Boole y leyes de De Morgan para resolver algunos ejercicios (78%) y han entendido que una función lógica, una tabla de verdad y un circuito lógico son tres maneras diferentes de representar la misma información (95%).

Relacionado con el análisis del estado de ánimo, mientras jugaban, según sus palabras, se han sentido animados (70%), contentos (60%), tranquilos (48%) y optimistas (60%). Los sentimientos relacionados con haberse cansado y sentirse hartos no tienen una valoración muy alta (32% y 15% respectivamente).

Respecto a las preguntas abiertas, destacan la jugabilidad y la dificultad incremental en los niveles como aspectos positivos del juego. Han detectado algunos problemas técnicos, como la necesidad de ser muy precisos a la hora de realizar las conexiones entre las entradas y salidas de las puertas lógicas y han apuntado algunas mejoras como la posibilidad de consultar el número de veces que han jugado cada nivel. Otro aspecto por mejorar consiste en introducir cierta aleatoriedad. En este sentido, sugieren que dentro de un determinado nivel, exista la posibilidad de jugar diferentes ejercicios en diferentes sesiones. Finalmente, en lo que respecta a la privacidad, la mayor parte prefiere publicar sus resultados y poder comparar su rendimiento y puntuación con la del resto del grupo aunque sea con un alias.

5. Conclusiones y trabajo futuro

El aumento de artículos científicos relacionados con la *gamificación* en las aulas de todo el mundo es una realidad. Los docentes han percibido que sus alumnos, nativos digitales, necesitan ser motivados e implicados en su propio proceso de aprendizaje mediante la incorporación de soluciones *gamificadas* basadas en el uso de algo que les resulta tan familiar

como son las TIC. La mayoría de estas soluciones *gamificadas* incluyen una serie de elementos comunes y consensuados como son los puntos de experiencia, los niveles, los rankings, las insignias y los retos. También emplean un conjunto de mecanismos eficaces: el uso de las nuevas tecnologías, un *feedback* continuo que permita a los estudiantes conocer su evolución a lo largo del juego, el uso de hilos narrativos y, finalmente, tener muy claro el tipo de alumnado al cual va dirigida la solución *gamificada*.

En este artículo se ha presentado un juego para introducir conceptos básicos de lógica combinacional en bachillerato. Se ha presentado la experiencia y un análisis preliminar del primer trimestre de aplicación. La introducción de estos conceptos en secundaria puede ser muy positiva para los alumnos que accedan en un futuro a titulaciones universitarias relacionadas con la ingeniería. A falta de un análisis del impacto real en alumnos que accedan a grados universitarios, los alumnos de esta prueba piloto han afirmado haber aprendido estos conceptos básicos y la aplicación de un juego ha sido motivador para practicarlos.

Como trabajo futuro se prevé realizar otra prueba en alumnos que no hayan participado en la fase de test. De esta forma, se espera que los resultados sean más significativos. Además se propone implementar, en el nivel experto, ejercicios de Tecnología Industrial similares a los planteados en las pruebas de acceso a la universidad (PAU) en Cataluña para aumentar la motivación de los alumnos: problemas que puedan modelarse mediante tres variables binarias de entrada y una función lógica de salida; solicitar la tabla de verdad del sistema y la función lógica simplificada y, finalmente, la representación del esquema de puertas lógicas correspondiente.

Además se propone controlar los niveles de dificultad para que sean incrementales en el sentido que primero un alumno debe completar un nivel para llegar al siguiente. Esta configuración permitirá que el alumno sienta que está evolucionando en el juego y su sentimiento de evolución sea más elevado y satisfactorio. Así mismo, se ha pensado en implementar un mecanismo para que el profesor pueda detectar aquellos casos más difíciles de resolver.

Agradecimientos

Se quiere agradecer la colaboración prestada por los alumnas y alumnos de la asignatura Tecnología Industrial de primero y segundo de bachillerato del *Institut Quatre Cantons del Poblenou*. Esta experiencia docente no habría sido posible sin su ayuda.

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto nacional: TIN2013-45303-P "ICT-FLAG: Enhancing ICT education through Formative assessment, Learning Analytics and Gamification".

Referencias

- [1] David Baneres, "Aprendiendo jugando fundamentos de sistemas digitales". En *Actas de las XXII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, Jenui 2016*, pp. 269-276, Almería, 2016.
- [2] Gabriel Barata, Sandra Gama, Joaquim Jorge y Daniel Goncalves "Engaging engineering students with gamification". En *International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, pp. 1-8, 2013.
- [3] José Benlloch Dualde, Elvira Bonet Salom, Jorge Más Estellés, José María Meseguer Dueñas y Luis Miguel Sánchez Sáez. "Estudio comparado del rendimiento de los alumnos de primer curso procedentes de COU frente a los procedentes de FP." En *Actas de las IV Jornadas de Enseñanza Universitaria de Informática, Jenui 98*, pp. 210 – 217. Sant Julià de Lòria, Andorra. 1998.
- [4] Benardino del Campo, Mercé Macià, y Guillermo Manjabacas. "¿Qué podemos hacer para solventar las carencias en matemáticas de los alumnos de nuevo ingreso?". *Actas de las XX Jornadas de Enseñanza Universitaria de Informática, Jenui 2014*, pp. 295–302, Oviedo, 2014.
- [5] Idoia Cearreta-Urbietia: "Scratch como recurso didáctico para el desarrollo del Pensamiento Computacional de los alumnos de Secundaria y Bachillerato en la asignatura de informática y como recurso transversal en el resto de asignaturas". Recuperado de <http://reunir.unir.net/handle/123456789/3150>, 2015
- [6] Ruth Sofia Contreras Espinos, y José Lluís Eguia Gómez. "Videojuegos en dispositivos móviles para desarrollar competencias en alumnos de primaria". *Mobile Communication: Experiències i recerques sobre comunicació mòbil*, pp. 56-64. 2012.
- [7] Ruth Sofia Contreras Espinosa y Jose Luis Eguia: "Gamificación en aulas Universitarias". *Bellaterra : Institut de la Comunicació, Universitat Autònoma de Barcelona*. 2016.
- [8] José Luis Eguía Gómez, Ruth Sofia Contreras Espinoza, y Lluís Solano Albajés. "Juegos digitales desde el punto de vista de los profesores: una experiencia didáctica en aulas primaria catalanas". *Education in the knowledge society (EKS)*, vol. 16, no. 2, pp. 31-48, 2015.
- [9] Alfonsa García, Ana Lías, Ángeles Mahillo y Rosa Maria Pinero. "Abandono de primer año en la ingeniería informática". En *Actas de las XX Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, Jenui 2014*, pp. 151–158, Oviedo, 2014
- [10] Geoffrey Herman, Michael Loui y Craig Zilles, "Students' Misconceptions About Medium-Scale Integrated Circuits," *IEEE Transactions on Education*, vol.54, no.4, pp. 637,645, 2011.
- [11] Geoffrey Herman, Craig Zilles y Michael Loui, "Flip-Flops in Students' Conceptions of State," *IEEE Trans. on Education*, vol.55, no.1, pp.88-98, 2012.
- [12] Jorge Mas-Estellés, José María Valiente, Luisa Zúñiga, Rosa Alcover, José Vicente Benlloch y Pedro Blesa: "Estudio de la influencia sobre el rendimiento académico de la nota de acceso y procedencia COU/FP en la E.U. de Informática." En *Actas de las VIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, Jenui 2002*, pp.197–204. Cáceres, 2002.
- [13] Steve Nebel, Sascha Schneider y Gunter Daniel Rey. "Mining learning and crafting scientific experiments: a literature review on the use of minecraft in education and research". *Journal of Educational Technology & Society*, Vol. 19, no. 2, pp. 355-366, 2016.
- [14] Marta Martín del Pozo. "Videojuegos y aprendizaje colaborativo. Experiencias en torno a la etapa de Educación Primaria". *Education in the Knowledge Society*, Vol. 16, no. 2, pp. 69-89, 2015.
- [15] Miguel Riesco, Marián Fondón, Darío Álvarez, Benjamín López, Agustín Cernuda y Aquilino Juan: "La Informática como materia fundamental en un sistema educativo del siglo XXI." *Actas de las XX Jornadas de Enseñanza Universitaria de Informática, Jenui 2014*, pp 17-32, Oviedo, 2014.
- [16] Fermín Sánchez y Ricard Gavaldá. "Objetivos formativos y estrategias docentes para el primer curso de las ingenierías informáticas". En *Actas de las X Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, Jenui 2004*, Alicante 2004.
- [17] Mageswaran Sanmugam, Zaleha Abdullah, Hasnah Mohamed, Baharuddin Aris, Norasikin Zaid, y Salihuddin Suhadi. "The affiliation between student achievement and elements of gamification in learning science". En *International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, pp. 1-4, 2016.
- [18] Armando Toda, Roberto do Carmo, Ana Silva y Jacques Brancher, "Project SIGMA - An Online Tool to Aid Students in Math Lessons with Gamification Concepts," *International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*, pp. 50-53, 2014.
- [19] Edmundo Tovar, Oliver Soto y Cristina Romero. "Estudio de rendimiento en asignaturas de primer curso en una titulación de Ingeniería en Informática". En *Actas de las XV Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, Jenui 2009*, pp. 13–20. Barcelona, 2009.
- [20] Julio Vega, y José María Cañas: "Curso de Robótica en Educación Secundaria usando Constructivismo Pedagógico". Universidad Rey Juan Carlos. Recuperado de <http://gsyc.es/jmplaza/papers/jitice2014.pdf>, 2014.
- [21] Qiang Wu, Yueming Zhu y Zongwei Luo. "A Gamification Approach to Getting Students Engaged in Academic Study." *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*, Vol. 17, no. 4, pp. 26-29, 2015.