

Aplicación de gamificación competitiva y colaborativa en asignaturas básicas de arquitectura de computadoras*

Francisco J. Andújar, Arturo González-Escribano, Javier Bastida, Yuri Torres de la Sierra

Departamento de Informática, Universidad de Valladolid

{fandujarm, arturo, bastida, yuri.torres}@infor.uva.es

Resumen

La gamificación competitiva se ha utilizado previamente con éxito para mejorar la experiencia de aprendizaje en asignaturas de programación. Puesto que la competitividad durante los concursos afecta a la colaboración habitual entre los estudiantes, algunos trabajos han propuesto alternativas para combinar y mejorar la interacción entre gamificación competitiva y colaborativa. En este trabajo se describe una experiencia para aplicar dicha combinación a asignaturas donde la programación es instrumental, concretamente de arquitectura de computadoras del Grado en Informática. Presentamos una modificación tanto de herramientas como de metodología para realizar concursos de programación en lenguaje ensamblador, basados en diversos parámetros o criterios más apropiados para este tipo de materias. Se presenta un estudio experimental donde se muestra que los alumnos que participaron en las prácticas gamificadas con la metodología propuesta mejoraron sus resultados de aprendizaje en comparación con los alumnos pertenecientes a grupos de control. Los resultados de este trabajo abren la posibilidad de ampliar el uso de este tipo de estrategias a otros tipos de prácticas y asignaturas relacionadas con la informática.

Abstract

Competitive gamification has been successfully used to improve the learning experience in programming courses. Since the contest competitiveness affects the collaboration between students, some works have proposed a combination of competitive and collaborative gamification. This work discusses an experience to apply this gamification combination in courses where programming is simply a tool, specifically computer architecture courses. We present a modification of tools and methodology to conduct machine-code programming

contests, based on parameters and criteria more appropriate for these courses. We present an experimental study showing that the students involved in the gamified exercises improve their learning results compared to the control groups. The results of this work open the possibility of extending the use of these strategies to other types of Computer Science exercises or courses.

Palabras clave

Gamificación, Arquitectura de Computadores, Concursos, Competitividad, Colaboración.

1. Introducción

Gamificación es un término introducido para referirse al uso de elementos de diseño de juego en otros entornos [3]. El uso de la gamificación en la educación mejora los resultados de aprendizaje de los estudiantes [1], su comportamiento [7], y su motivación o interés [9]. El interés en un contexto de aprendizaje activo incentiva el deseo y disposición de los alumnos de tener éxito [4]. Los profesores pueden aprovechar estos potenciales beneficios incluyendo elementos típicos del diseño de juegos de mesa o videojuegos en la experiencia de aprendizaje.

Los concursos de programación son una forma clásica de actividades gamificadas para fomentar la participación y el interés de los alumnos en las materias de programación de computadoras [2]. Existen diversas plataformas informáticas y aplicaciones web que actúan como *jueces online*, que automatizan la comprobación de las soluciones propuestas a un problema concreto, y muestran clasificaciones actualizadas a los participantes en un concurso de programación. En general, estos sistemas están basados en puntuar a los participantes por el número de problemas resueltos correctamente y el tiempo utilizado para resolverlos.

Trabajos anteriores presentan metodologías y herramientas para realizar concursos de programación. En este trabajo escogemos como referencia una de estas propuestas, utilizada en asignaturas de Computación

*Este trabajo se ha realizado con el apoyo de la Universidad de Valladolid, Proyectos de Innovación Docente PID1819-67 y PID1920-59. Queremos también agradecer a Juan José Tomás Prieto su apoyo en el análisis estadístico.

Paralela, que se apoya para gestionar los concursos en una aplicación web denominada *Tablón* [5]. Esta herramienta determina el puesto en la clasificación (*ranking*) en base al rendimiento obtenido por la solución propuesta por los alumnos para un único problema, con un conjunto desconocido de datos de entrada. La aplicación se integra con un sistema de cola para ejecutar las pruebas de los programas en diferentes sistemas de cómputo de alto rendimiento (HPC). Los alumnos pueden emitir para su valoración versiones del código cada vez más refinadas, clasificándose con el mejor tiempo obtenido por cualquiera de las versiones probadas. La metodología propuesta en ese trabajo también introduce insignias (*badges*) y otros elementos que incentivan la participación activa de los estudiantes.

Durante la aplicación de la metodología mencionada previamente, los autores señalan que el comportamiento competitivo durante los concursos de programación puede interferir con la frecuente colaboración entre estudiantes para resolver cuestiones básicas o dificultades comunes. Por ejemplo, las relacionadas con el uso de los lenguajes de programación, el uso de herramientas de compilación o del *Tablón*. Los procesos colaborativos y competitivos están interrelacionados [8]. Estudios recientes muestran que la combinación de competición y colaboración es particularmente efectiva en un contexto gamificado para promocionar los resultados de aprendizaje de comportamiento [10]. En concreto, en [6] se propone una estrategia para introducir gamificación colaborativa utilizando recompensas y evaluando la participación de los estudiantes en una plataforma colaborativa *online* basada en un foro de mensajes. En concreto, se evalúa la cantidad de participación y el reconocimiento social y técnico entre los estudiantes. Los autores muestran que esta estrategia mejora la motivación, participación y colaboración durante los concursos. Sin embargo, no se mide o comprueba el efecto neto en los resultados de aprendizaje de esta combinación de técnicas.

En este trabajo se propone una adaptación de la metodología y herramientas descritas anteriormente para aplicarlas a prácticas de asignaturas de arquitectura de computadoras. Se presenta un estudio experimental asociado a una experiencia piloto desarrollada en un curso de *Arquitectura y Organización de Computadoras*, utilizando grupos de alumnos que participan en la experiencia gamificada y grupos de alumnos de control. Los resultados muestran que la metodología propuesta mejora los resultados de aprendizaje y la satisfacción de los alumnos con la experiencia.

El resto del trabajo se estructura de la siguiente forma: el Apartado 2 presenta la estrategia de gamificación original y las modificaciones realizadas en la misma. El Apartado 3 presenta el diseño y resultados del estudio experimental. Por último, el Apartado 4 expo-

ne las conclusiones y el trabajo futuro.

2. Estrategia de gamificación

Este apartado resume las principales características de la metodología descrita en [6], que sirve de punto de partida de este trabajo, para seguidamente exponer las modificaciones realizadas en la metodología y las herramientas para el desarrollo de esta experiencia.

2.1. Estrategia original

La parte competitiva se organiza con uno o más concursos de programación a lo largo de la asignatura. En otros tipos de concursos de programación, una parte importante es escoger el algoritmo adecuado para resolver cada problema. Normalmente la puntuación se obtiene por la cantidad de problemas resueltos correctamente. Opcionalmente, suelen usarse otras métricas secundarias como el tiempo requerido para enviar una solución correcta o el número de envíos necesarios para alcanzar esta solución.

La propuesta original de esta metodología [5] está orientada a asignaturas de computación paralela y HPC (*High Performance Computing*). Se asigna a los alumnos una tarea asíncrona y no presencial. La tarea es paralelizar y optimizar un programa secuencial utilizando diferentes modelos de programación paralela [5]. Se utiliza un único programa de partida para todos los concursos, que implementa un algoritmo concreto. Los alumnos modifican el código para mejorar su rendimiento. La puntuación y clasificación se obtiene en función del mejor tiempo de ejecución obtenido por cualquiera de las soluciones enviadas al juez *online*. Los alumnos pueden enviar de forma remota sus soluciones en cualquier momento. El juez pasa un conjunto de tests de corrección con diferentes cargas de trabajo. No se penaliza/bonifica la puntuación por el número de envíos, ni por el tiempo que tardan los alumnos en encontrar su mejor solución. Sin embargo, se establece una cuota máxima de tiempo de ejecución que una vez superado penaliza la prioridad de los procesos en la cola de envíos. El objetivo es que prueben el máximo número de alternativas y soluciones posibles, manteniendo la tensión del concurso hasta el final. La herramienta desarrollada para actuar como juez *online* y presentar la clasificación a los alumnos se denomina *Tablón*. La competición se complementa con una serie de insignias o premios obtenidos al cumplir determinados hitos, sin valor concreto en la evaluación. Los hitos incentivan diversos tipos de resultados deseables, como por ejemplo ser los primeros en mandar soluciones correctas en un concurso, o ser los alumnos que menos cuota de tiempo gastan entre todos los concursos.

La gamificación colaborativa se introduce en la propuesta anterior utilizando un foro de mensajes [6]. En concreto, adaptando el módulo de foros de la plataforma *Moodle* para introducir botones de tipo *me gusta*, que permiten a los alumnos expresar apreciación social y técnica sobre las preguntas y comentarios de sus compañeros. Gracias a este *feedback*, los alumnos reciben una recompensa inmediata que estimula la participación activa. El uso del foro se realiza de forma asíncrona durante todo el período que dura el concurso. En la evaluación se recompensa la cantidad de mensajes, así como su utilidad en función de la apreciación social y técnica de sus compañeros.

Se introducen también recompensas en forma de insignias por diversos hitos colaborativos. Por ejemplo, obtener un número mínimo de mensajes valorados positivamente por compañeros, encontrar potenciales fallos en el código de partida, o ser los primeros en responder correctamente a cuestiones de compañeros o profesores.

2.2. Aplicación a asignaturas de arquitectura de computadoras

Este apartado describe las modificaciones propuestas en este trabajo para aplicar la metodología anterior en asignaturas de arquitectura de computadoras y mejorar la participación colaborativa.

En las asignaturas de arquitectura de computadoras es habitual realizar tareas prácticas de programación en lenguaje ensamblador. El objetivo es que el alumno se familiarice con el juego de instrucciones de un procesador y pueda relacionarlo con los conceptos de su estructura que se estudian en las clases teóricas. En este contexto, las tareas prácticas de programación en lenguaje ensamblador persiguen unos objetivos diferentes a las tareas de programación en alto nivel. La parte algorítmica es sencilla y se presenta como parte de la propuesta de tarea. El objetivo se focaliza en aprender a explotar correctamente el juego de instrucciones, optimizando su uso y teniendo especial cuidado de controlar errores relacionados con conceptos como *desbordamiento* o el manejo de la entrada/salida.

Para este tipo de concursos proponemos utilizar un sistema de clasificación basado en las puntuaciones obtenidas al ejecutar el programa (propuesta de solución) con un conjunto de pruebas en los que el resultado del programa debe ser el esperado (correcto o incorrecto). Esto se consigue diseñando una batería de pruebas exhaustiva que verifica diferentes aspectos de la ejecución, forzando al programa a detectar y tratar adecuadamente entradas correctas o con errores, fallos en tiempo de ejecución, rangos de representación, situaciones de desbordamiento, etc. Que se produzcan errores de ejecución para determinados casos, o el no pasar

alguna prueba básica pueden acarrear penalizaciones o la descalificación. Cada prueba pasada otorga un número de puntos que puede ser diferente al de las demás, dependiendo de lo crítica que esta sea a juicio de los profesores. Para una misma entrada, determinadas formas de presentar la salida pueden ser clasificadas como más sencillas o más depuradas otorgando más o menos puntuación. Por ejemplo, la forma de normalizar en la salida las diferentes representaciones de los números en coma flotante pueden ser merecedoras de puntuaciones diferentes.

Los alumnos son informados desde el principio del concurso del número máximo de puntos que pueden obtener para la tarea asignada. En esta nueva propuesta se mantiene el criterio utilizado en la anterior metodología que indica que los alumnos pueden mandar al juez *online* tantos intentos como deseen sin penalización, clasificándose con la mejor puntuación obtenida por cualquiera de estos. Proponemos también utilizar el número de instrucciones ejecutadas como medida de rendimiento y métrica complementaria. Esto persigue dos objetivos: (1) mantener la tensión hasta el final del concurso, incluso cuando varios alumnos ya han llegado a la máxima puntuación, y (2) tener en cuenta también las cuestiones relacionadas con el uso correcto y la optimización del código ensamblador. El peso de la puntuación de rendimiento debe ser menor que el de los casos de prueba. De esta forma, la clasificación entre grupos con similar desempeño en la resolución de casos de prueba dependerá del rendimiento de sus programas, pero alumnos con un desempeño mucho menor no podrán alcanzarlos en la clasificación por muchas optimizaciones que apliquen en su programa.

2.3. Herramientas

La herramienta *Tablón* original sólo clasifica en función del tiempo de ejecución. Por ello, se ha rediseñado para soportar los nuevos criterios de clasificación. El software original utiliza *Slurm* (<https://slurm.schedmd.com/>) para lanzar trabajos, un sistema de gestión de colas, abierto y gratuito, muy utilizado en clusters de alto rendimiento. La nueva herramienta permite también crear colas que ejecutan un programa externo y analizan su salida, sin depender de un software externo. Se ha enlazado el *Tablón* con un simulador de lenguaje ensamblador MIPS orientado a educación: *MARS* [11]. Se utiliza una funcionalidad de *MARS* para obtener en la salida también el número de instrucciones ejecutadas.

Se ha modificado el *Tablón* para que las pruebas del concurso dispongan de los siguientes atributos: entrada para el programa, posibles salidas en caso de ejecución correcta, puntuación asignada a cada posible salida, un valor lógico que indica si la prueba descalifica en caso de no ser superada y un valor lógico que indica si el

número de instrucciones ejecutadas se utilizará para el cálculo de la puntuación extra basada en el rendimiento. También se añaden campos globales para controlar la puntuación máxima, el peso y la fórmula aplicada para calcular esta puntuación extra.

Por ejemplo, en la prueba piloto, solicitamos a los alumnos implementar un programa en ensamblador MIPS que debe capturar una cadena de caracteres que representa un polinomio; derivarlo e imprimir el resultado por pantalla. Todos los términos del polinomio deben cumplir, al menos, con el formato $\pm ax^n$. Sin embargo, se valora la flexibilidad y simplicidad de la entrada/salida. De esta forma, leer x^2 e imprimir $2x$ obtiene una mayor puntuación que sólo admitir la entrada $+1x^2$ e imprimir $+2x^1$ como salida. Otras pruebas pueden detectar condiciones de error. Por ejemplo, un *desbordamiento* debido a un entero fuera de rango. Si la salida del programa es un error en tiempo de ejecución debida a una excepción del procesador, el programa sería penalizado. Si imprime un mensaje de error previamente estipulado, el programa sería bonificado.

La nueva versión de *Tablón* está disponible en <https://trasgo.infor.uva.es/tablon/>.

Para la gamificación colaborativa se ha decidido utilizar una nueva herramienta. Una de las conclusiones presentadas por los autores de [6] es que los alumnos prefieren una plataforma de comunicación más ágil que los foros de mensajes de Moodle. Se ha decidido desarrollar la experiencia con una plataforma de mensajería instantánea denominada *Discord* (<https://discordapp.com/>), utilizada habitualmente por jugadores de videojuegos y disponible en aplicación móvil, web y de escritorio. Esta plataforma ya implementa botones de tipo *me gusta* con multitud de iconos para expresar apreciación social y técnica. Dispone de un módulo opcional que permite extraer la información de las discusiones en formato XML, que puede ser fácilmente procesable de forma automática para analizar el volumen de los mensajes de cada alumno, la cantidad de iconos de apreciación, relaciones, etc. También se han incluido nuevas insignias e hitos recompensables y se han refinado algunos de los ya propuestos.

3. Estudio experimental

En este apartado se describe el diseño, ejecución y resultados de un estudio experimental para determinar si la aplicación de la estrategia de gamificación propuesta resulta beneficiosa para el aprendizaje de los alumnos, observando el impacto de la gamificación en los resultados y las calificaciones. También se ha analizado el impacto en la motivación de los estudiantes y la percepción subjetiva de los alumnos sobre la nueva metodología de trabajo mediante una encuesta.

3.1. Diseño del experimento

En este experimento se estudia el impacto de la gamificación en el rendimiento de los estudiantes. Se quiere comprobar si la hipótesis de que la gamificación aumenta la puntuación de los proyectos y las calificaciones es cierta. Para ello, se separan los alumnos en dos grupos: *grupo gamificado* o G_{gm} y *grupo de control* o G_{ctr} . Sólo en el primero se introduce la metodología de gamificación propuesta.

La experiencia de gamificación se ha llevado a cabo en las prácticas de una asignatura de “Arquitectura y Organización de Computadoras” (AOC), obligatoria de 2º curso de en el Grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Valladolid. Las prácticas de AOC se estructuran en dos partes diferenciadas. En la primera parte, los alumnos realizan una práctica de programación en lenguaje ensamblador cada semana, mientras que en la segunda parte, los alumnos realizan un proyecto de mayor complejidad de cuatro a cinco semanas, ayudándose de los conocimientos adquiridos durante la fase anterior. Ambas partes deben ser superadas para poder aprobar las prácticas.

Esta estructura se sigue manteniendo, aplicando la gamificación a la fase del proyecto. De esta forma es posible comparar por separado los resultados obtenidos en las primeras prácticas, realizadas por ambos grupos en las mismas condiciones, de del proyecto, donde se aplica la gamificación sólo en el grupo G_{gm} . Esto permite comprobar si antes de implementar la gamificación ya existían diferencias significativas en las calificaciones de ambos grupos, ya que en caso afirmativo, las diferencias en las puntuaciones finales podrían deberse a factores previos y no a la gamificación.

Las prácticas de AOC son realizadas en parejas, salvo casos de fuerza mayor (número de alumnos impar o desavenencias entre los alumnos). El grupo de control está formado por 46 alumnos distribuidos en 23 parejas. El grupo gamificado está formado por 67 alumnos distribuidos en 35 parejas. La asignación de los alumnos entre G_{ctr} y G_{gm} ha sido realizada de forma aleatoria, repartiendo seis diferentes horarios de laboratorio entre ambos grupos.

Se han tenido en cuenta 3 variables para realizar el estudio: (1) la calificación obtenida durante la fase de prácticas, (2) la puntuación obtenida por cada grupo de alumnos con la herramienta *Tablón* modificada, y (3) la calificación final obtenida en el proyecto, donde se combina el resultado obtenido en el *Tablón* con criterios relacionados con la memoria presentada, la estructura del código y el uso del juego de instrucciones. Estos criterios, no medibles por el *Tablón*, han sido aplicados por los profesores tras inspección visual del código y defensa o entrevista con los alumnos.

Para poder comparar las puntuaciones entre G_{ctr} y G_{gm} , los proyectos de G_{ctr} han sido evaluados poste-

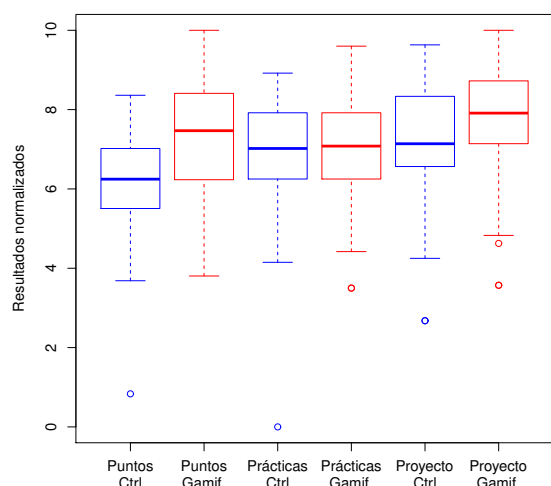


Figura 1: Distribución de la puntuación obtenida en las pruebas automáticas del *Tablón* (concurso para G_{gm} o *Tablón* privado de los profesores para G_{ctr}), calificaciones de prácticas previas a la gamificación y calificación final del proyecto. La puntuación obtenida en el *Tablón* ha sido normalizada al rango 0 a 10, siendo 0 y 10 la mínima y la máxima puntuación posibles obtenibles por el tablón.

riormente a su entrega final utilizando un *Tablón* privado que aplica las mismas pruebas y criterios de puntuación que el utilizado en la gamificación, pero al cuál solo tienen acceso los profesores. Las puntuaciones se miden de la misma forma, aunque estos alumnos no han participado en la gamificación. Por ello, han carecido de la retroalimentación o referencia para compararse con otros alumnos y por tanto, del aliciente de la competición. Siguiendo la metodología anterior de la asignatura, los alumnos de G_{ctr} sí podían solicitar a los profesores una evaluación previa para conocer el estado de su proyecto.

La clasificación obtenida en el *Tablón* privado no se ha tenido en cuenta a la hora de evaluar a los alumnos de G_{ctr} . Para este grupo un 50 % de la calificación depende de la puntuación en el *Tablón* privado y el otro 50 % se asigna en base a los otros criterios no medibles por el *Tablón*. En el caso de G_{gm} , un 40 % de la calificación depende de la puntuación obtenida en el *Tablón*, un 10 % de la clasificación en el concurso y un 50 % de los otros criterios. Se pueden obtener puntos extra por la participación activa en el foro colaborativo.

3.2. Análisis estadístico de los resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el experimento, así como el correspondiente análisis estadístico. La Figura 1 muestra gráficamente la distribución de los resultados obtenidos, mientras que el Cuadro 1 muestra los valores calculados para la

	Puntos		Prácticas		Proyecto	
	G_{ctr}	G_{gm}	G_{ctr}	G_{gm}	G_{ctr}	G_{gm}
1Q	4130	4674	6.25	6.25	6.58	7.14
2Q	4685	5601	7.02	7.08	7.13	7.91
\bar{x}	4512	5380	6.86	7.12	7.16	7.68
3Q	5264	6308	7.9	7.92	8.253	8.72

Cuadro 1: Media, mediana y rango intercuartil de los tres parámetros evaluados.

media, la mediana y el primer y tercer cuartil.

Tras comprobar la normalidad de los datos mediante el test de *Shapiro-Wilk* y la homocedasticidad mediante el test de *Levene*, se han analizado las tres variables utilizando la prueba U de *Mann-Whitney*, ya que excepto en las puntuaciones del *Tablón* para el grupo G_{gm} , se ha rechazado la normalidad de los datos obtenidos.

No se observa en los resultados que el grupo gamificado obtuviese calificaciones significativamente diferentes al grupo de control durante las prácticas previas a la gamificación ($p = 0,6379$). Los resultados muestran que las medianas y el rango intercuartil son prácticamente idénticos en ambos grupos.

Al comparar la puntuación del *Tablón*, se observan diferencias muy significativas entre las medianas de G_{ctr} y G_{gm} ($p = 0,0087$). La mediana de G_{gm} es 916 puntos superior a la mediana de G_{ctr} . Incluso el valor límite del primer cuartil de G_{gm} es similar a la mediana de G_{ctr} .

En las calificaciones finales del proyecto, se observan diferencias marginalmente no significativas ($p = 0,0578$), aunque la mediana de G_{gm} es ligeramente superior (0.78 puntos). Las diferencias en las calificaciones no son tan significativas como en las puntuaciones del concurso debido al sistema de calificación, donde el 50 % de la nota depende de factores ajenos a la gamificación y donde la calificación del grupo de control no dependía de su posición en una clasificación.

Así, los datos obtenidos apoyan la hipótesis de que la gamificación ha mejorado los resultados en los proyectos realizados por los alumnos, y de forma menos significativa, sus calificaciones. También apoyan que la diferencia en el desempeño de los alumnos es debida a la gamificación y no existía previamente.

3.3. Percepción subjetiva de los alumnos

Finalmente, se mide utilizando una encuesta el incremento en la motivación y la percepción subjetiva de aprendizaje y colaboración del alumnado. La encuesta se realizó a los alumnos dos semanas después de la finalización del concurso para evitar la influencia directa de las emociones causadas por dicha actividad.

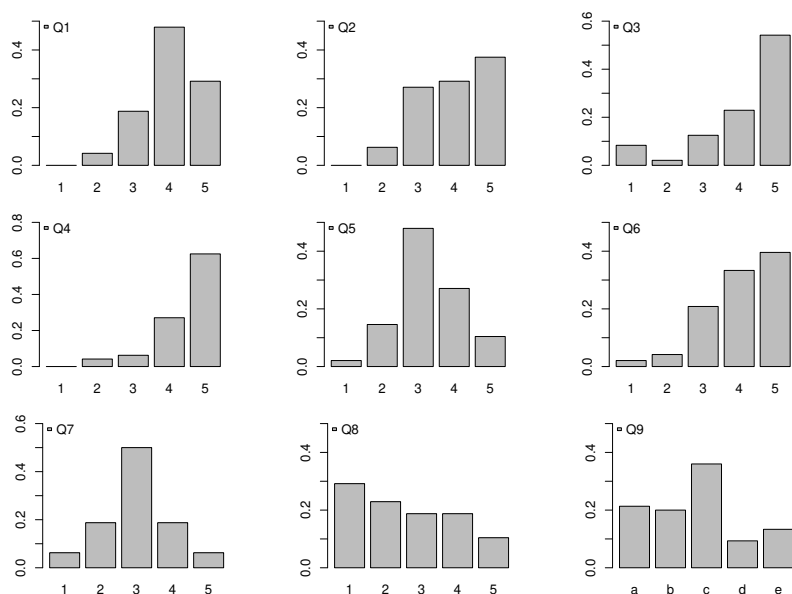


Figura 2: Histogramas con la frecuencia relativa de las respuestas en el cuestionario del grupo gamificado.

La encuesta consta de 8 preguntas que utilizan la escala de Likert de 5 valores (de 1 a 5), siendo 1 “muy en desacuerdo”, 3 una valoración neutral y 5 “muy de acuerdo”. También se incluye una pregunta con múltiples respuestas sobre posibles razones para usar una herramienta de comunicación alternativa y un texto libre para realizar observaciones y sugerencias. El texto de las preguntas es el siguiente:

Q1: ¿Estás satisfecho con la experiencia general de la asignatura, actividades, método de evaluación, etc.?

Q2: ¿Te parece que el peso de las notas de concursos y prácticas respecto a los exámenes es adecuado?

Q3: ¿En qué medida te parece que las partes competitivas de la asignatura (concursos/insignias) son adecuadas, la hacen más interesante y fomentan una participación más activa?

Q4: ¿En qué medida te parece adecuado para esta asignatura una herramienta que permita comunicarse entre los alumnos para resolver dudas o ayudarse en el desarrollo de las prácticas (como el grupo de *Discord*, un grupo de Telegram, etc)?

Q5: ¿En qué medida te parece que el grupo de *Discord* fomenta o facilita la colaboración entre alumnos?

Q6: ¿En qué medida te parece que el grupo de *Discord* es más adecuada para la comunicación y colaboración en esta asignatura que, por ejemplo, un Foro en el Campus Virtual, o una herramienta web que no tenga aplicación para móviles?

Q7: ¿Crees que el grupo de *Discord* se ha usado poco o mucho en comparación con otros medios, como por ejemplo el grupo de Telegram de los alumnos?

Q8: ¿Has utilizado, participado o consultado el grupo de *Discord* durante el desarrollo de la asignatura?

Q9: Si crees que ha sido una práctica habitual que los alumnos usen otros medios en vez de *Discord* para comunicarse, marca los motivos que consideres que pueden haber llevado a ello:

- Otros medios son más rápidos y cómodos.
- Resulta más intimidante escribir en *Discord*.
- En otros medios como el grupo de Telegram hay más gente, incluyendo alumnos de otros años.
- En otros medios no están los profesores.
- Otros motivos.

Q10: (*Texto libre*) Añade las observaciones que desees sobre el desarrollo de la asignatura, actividades colaborativas, experiencia de aprendizaje, etc.

El cuestionario fue rellenado por el 71 % de los estudiantes. La Figura 2 muestra los histogramas de la frecuencia relativa de las respuestas. Nuestras observaciones son las siguientes:

- *Respuesta a Q1 y Q2*: la percepción general de los estudiantes sobre la experiencia educativa es positiva (75 % de valoraciones positivas), aunque la valoración positiva es menor en la adecuación del peso de las notas (sólo el 56 %). Únicamente una pequeña parte de los alumnos encuestados han percibido la experiencia como algo negativo (4 % en ambas preguntas).
- *Respuesta a Q3*: gran parte de los estudiantes piensa que la competición ha mejorado la asignatura (66 %). Un 27 % de los encuestados no están seguros y el 6 % restante no están de acuerdo.

De acuerdo con el texto libre de la pregunta *Q10*, estos estudiantes perciben que la colaboración se resiente debido a la competición. Esta apreciación también es comentada por estudiantes que han respondido está pregunta positivamente, y a pesar de disfrutar de la competitividad, piensan que debe reforzarse la parte colaborativa a través de *Discord*. Otra queja recurrente entre los alumnos no motivados es que la posición de la clasificación se tenga en cuenta para la calificación final.

- *Respuesta a Q4 y Q5*: el 90 % de los estudiantes encuestados consideran adecuado el uso de herramientas de comunicación como *Discord* para el desarrollo de la asignatura. Sin embargo, el 48 % de los encuestados no están seguros de que la solución escogida, el grupo de *Discord*, fomente la colaboración. Sólo un tercio de los encuestados creen que ayuda a colaborar. Como ya se indicó en el punto anterior, muchos opinan que se tiene que reforzar la parte colaborativa.
- *Respuesta a Q6, Q7 y Q8*: la gran mayoría (73 %) de los encuestados opinan que *Discord* es una mejor herramienta de comunicación que las disponibles en *Moodle*. Sin embargo, la percepción general es *Discord* se ha usado poco. Solamente el 25 % de los encuestados opina lo contrario, porcentaje muy similar al de alumnos que afirman haber usado *Discord* activamente. La mitad de los encuestados reconocen no haberlo usado.
- *Respuesta a Q9*: la principal razón para no usar el grupo de *Discord* es que en los alumnos tienen un grupo de Telegram creado por ellos mismos y al que los profesores del grado no han sido invitados ni tienen acceso. En ese grupo hay más gente aparte de los alumnos que puede ofrecer ayuda. Las siguientes respuestas más frecuentes es que existen otros medios más cómodos y que resulta más intimidante escribir en *Discord*. En la respuesta a *Q10*, algunos alumnos destacan que no tienen instalado *Discord* en el móvil y que sería más fácil hacerlo a través de Telegram, ya que la gran mayoría tiene instalada esa aplicación.

Los estudiantes del grupo de control también fueron encuestados para conocer su opinión, modificando ligeramente el cuestionario anterior:

Q{1, 4, 5, 7}: preguntas *Q*{1, 4, 5, 10} de *G_{gm}*.

Q2: ¿Conoces el sistema de evaluación de la práctica utilizado en los grupos de la experiencia piloto, basado en un concurso y colaboración a través de *Discord*?

Q3: ¿Crees que el sistema de concursos utilizado en los grupos piloto te hubiera resultado más interesante y motivador que el utilizado en tu grupo?

Q6: ¿Has colaborado con otros alumnos para resolver dudas o intercambiar información general sobre la práctica utilizando alguna herramienta software, apli-

cación móvil o similar?

El cuestionario fue rellenado por el 50 % de los estudiantes. La Figura 3 muestra los histogramas de la frecuencia relativa de las respuestas. Nuestras observaciones son las siguientes:

- *Respuesta a Q1*: la percepción y satisfacción general con la asignatura del grupo de control es generalmente buena (56 %), pero es inferior a la mostrada por los alumnos del grupo gamificado.
- *Respuestas a Q2 y Q3*: sólo un tercio de los encuestados afirma conocer el sistema de evaluación del grupo gamificado. El 43 % opina que el sistema de concurso le hubiera resultado más motivador y un 43 % opina lo contrario. Aunque los resultados de ambas preguntas son muy similares, no se observa correlación entre el conocimiento del sistema gamificado y la opinión de que el concurso hubiera incrementado su motivación.
- *Respuestas a Q4 y Q5*: la mayoría de los encuestados (83 %) piensan que el uso de herramientas de comunicación como *Discord* es adecuado para el desarrollo de la asignatura, resultados muy similares a los obtenidos en el grupo gamificado. Sin embargo, la proporción de alumnos que opinan que estas herramientas fomentan la colaboración es mucho mayor en el grupo de control (70 %) que en el grupo gamificado (38 %).
- *Respuestas a Q6*: la mitad de los encuestados afirman no haber colaborado con otros alumnos mediante herramientas software. Solo el 25 % de los encuestados dicen haber colaborado con otros compañeros a través de medios digitales.

En resumen, los resultados muestran que la competición ha mejorado la experiencia de aprendizaje, siendo la satisfacción de los alumnos mayor en el grupo gamificado que en el de control. Ambos grupos están ampliamente a favor del empleo de herramientas de comunicación más ágiles para favorecer el desarrollo de la asignatura, aunque en el grupo gamificado la sensación es que la herramienta seleccionada o cómo ha sido utilizada no han tenido el efecto esperado. La opinión generalizada en el grupo gamificado es que, a pesar de disfrutar de la competición y sentirse más motivados gracias al concurso, debe reforzarse la parte colaborativa de la experiencia. Esto requerirá un estudio propio y nuevas propuestas y experiencias.

4. Conclusiones

Este artículo presenta una propuesta para introducir estrategias de gamificación, tanto competitiva como colaborativa, en asignaturas de arquitectura de computadores. Concretamente, se describe la experiencia llevada a cabo en una asignatura del Grado de Ingeniería

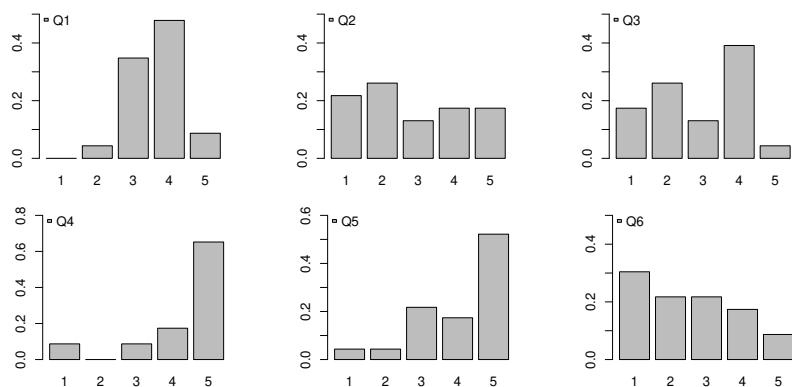


Figura 3: Histogramas con la frecuencia relativa de las respuestas en el cuestionario del grupo de control.

Informática de la Universidad de Valladolid. Se describen las modificaciones realizadas en herramientas y metodología ya existentes que han sido necesarias para el desarrollo de la experiencia. El análisis estadístico de los resultados apoyan la idea de que la combinación de las estrategias de gamificación seleccionadas mejora el desempeño de los alumnos en la asignatura. La experiencia de aprendizaje resulta más satisfactoria para los alumnos y se sienten más motivados gracias a la competición. Sin embargo, los alumnos echan en falta un mayor énfasis en la parte colaborativa.

El trabajo futuro incluye estudiar como mejorar la parte de gamificación colaborativa para reforzar aún más el aprendizaje y la motivación de los alumnos. También se pretende mejorar las herramientas software utilizadas para enfocar más la competición a conceptos más complejos de arquitectura de computadores. Por último, se plantea aplicar esta metodología en otras materias diferentes diseñando otro tipo de concursos.

Referencias

- [1] S. Arnab, T. Lim, M. B. Carvalho, F. Bellotti, S. Freitas, S. Louchart, N. Suttie, R. Berta y A. De Gloria. Mapping learning and game mechanics for serious games analysis. *British Journal of Educational Technology*, 46(2):391–411, 2014.
- [2] S. Combéfis, G. Beresnevičius y V. Dagienė. Learning programming through games and contests: Overview, characterisation and discussion. *Olympiads in Informatics*, 10:39–60, 2016.
- [3] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled y L. Nacke. From game design elements to gamefulness: defining gamification. En *15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, pág. 9–15. ACM, 2011.
- [4] D. Dicheva, K. Irwin, C. Dichev y S. Talasila. A course gamification platform supporting student motivation and engagement. En *International Conference on Web and Open Access to Learning (ICWOAL)*, pág. 1–4. IEEE, 2014.
- [5] J. Fresno, A. Ortega-Arranz, H. Ortega-Arranz, A. Gonzalez-Escribano y D. R. Llanos. *Gamification-Based E-Learning Strategies for Computer Programming Education*, cap. 6. Applying Gamification in a Parallel Programming Course. IGI Global, 2017.
- [6] A. Gonzalez-Escribano, V. Lara-Mongil, E. Rodriguez-Gutierrez y Y. Torres. Toward improving collaborative behaviour during competitive programming assignments. En *2019 IEEE/ACM Workshop on Education for High-Performance Computing (EduHPC)*, pág. 1–6. IEEE, 2019.
- [7] L. Hakulinen, T. Auvinen y A. Korhonen. Empirical study on the effect of achievement badges in trakla2 online learning environment. En *Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTiCE)*, pág. 47–54. IEEE, 2013.
- [8] C. Jonasson. *Gamification in Education: Breakthroughs in Research and Practice*, cap. 24, Vocational Learning Mediated by Constructive Competition, pág. 453–470. IGI Global, 2018.
- [9] C. I. Muntean. Raising engagement in e-learning through gamification. En *6th International Conference on Virtual Learning ICVL*, pág. 323–329, 2011.
- [10] M. Sailer y L. Homner. The gamification of learning: a meta-analysis. *Educational Psychology Review, Springer*, (primero en línea):1–36, 2019.
- [11] K. Vollmar y P. Sanderson. MARS: An education-oriented MIPS assembly language simulator. En *Proceedings of the 37th SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE '06*, pág. 239–243. 2006. ACM.