

Incorporación de robots educativos y entornos de programación visuales en asignaturas de programación

Felipe I. Anfurrutia, Ainhoa Álvarez, Mikel Larrañaga, Juan-Miguel López-Gil
Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad del País Vasco UPV/EHU,
C/ Nieves Cano 12, 01006, Vitoria-Gasteiz, España.
{felipe.anfurrutia, ainhoa.alvarez, mikel.larranaga, juanmiguel.lopez}@ehu.es

Resumen—Las asignaturas introductorias a la programación presentan muchos retos, tanto para los estudiantes que las cursan como para los profesores que las imparten. Diversos autores plantean la incorporación de robots educativos o entornos visuales de programación como medio para facilitar su aprendizaje. En este artículo se presentan tres experiencias realizadas utilizando este tipo de herramientas en combinación con el ciclo de aprendizaje de Kolb. Las experiencias se han realizado en las asignaturas de programación del primer curso del Grado en Ingeniería en Informática de Gestión y Sistemas de Información en la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz.

Palabras clave—Software educativo; experiencia uso; programación

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en la docencia de las asignaturas introductorias a la programación es el elevado grado de heterogeneidad que presentan los estudiantes en cuanto al conocimiento previo de las competencias abordadas en dichas asignaturas [1]. Este hecho dificulta que los profesores puedan diseñar métodos de aprendizaje adecuados para todo el conjunto de los estudiantes [2]. Además, las asignaturas de programación son habitualmente impartidas utilizando lenguajes de programación de propósito general, que pueden resultar muy complejos para estudiantes novatos sin conocimientos previos de la materia [1], [3]. Algunos lenguajes de programación tienen una curva de aprendizaje muy alta mientras que otros, incluso para los programas más sencillos, requieren escribir una cantidad de código que resulta complicada de entender y abordar para el alumnado novato. En general, los estudiantes tienen que hacer frente a la vez tanto a la construcción de los algoritmos como a las reglas sintácticas de los lenguajes de programación empleados.

En la bibliografía se abordan dos formas principales para intentar paliar los problemas que los estudiantes novatos se encuentran en las asignaturas de programación [4]. Por una parte, se han empleado entornos visuales para el aprendizaje de la programación. Este tipo de entornos abstraen a los estudiantes de las complejidades de los lenguajes de programación empleados permitiendo que se centren en la comprensión de los conceptos fundamentales antes de comenzar a programar [5]. Por otra parte, se plantea el uso de dispositivos físicos que permiten una aproximación en la que los estudiantes pueden interactuar con sus programas en el mundo real [6].

Los autores de este artículo han explorado ambas aproximaciones en los últimos años. Sin embargo, el mero hecho de introducir estos elementos en una asignatura no implica mejoras [7], por lo que su implantación se ha realizado en combinación con el ciclo de aprendizaje de Kolb [8] en distinto grado. Estas exploraciones se han realizado durante 5 cursos académicos en las dos asignaturas de programación que se imparten en el primer curso del Grado en Ingeniería en Informática de Gestión y Sistemas de Información en la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz: Programación Básica (PB), durante el primer cuatrimestre, y Programación Modular y Orientación a Objetos (PMYO) en el segundo.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se describe el diseño general de las experiencias concretas realizadas. A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de los estudios realizados sobre dichas experiencias. Posteriormente, se detallan un conjunto de aspectos derivados de los estudios realizados que conviene considerar al emplear cualquiera de las opciones presentadas. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

II. DISEÑO GENERAL DE LAS EXPERIENCIAS

Los autores del artículo han llevado a cabo diversas experiencias en los últimos años tanto con robots educativos como con entornos visuales. En ambos casos se realizó un estudio de los entornos y dispositivos disponibles así como de los trabajos reportados para seleccionar los más adecuados atendiendo a las características concretas de las asignaturas y a la mejora pedagógica propuesta [3], [9], [10].

El mero hecho de incluir nuevas herramientas no implica mejoras, cualquier implantación se debe diseñar cuidadosamente [7]. En las experiencias que se presentan en este artículo, se ha aplicado el ciclo de aprendizaje de Kolb [8] en diferente medida. Esta metodología conlleva cuatro etapas (ver Figura 1) en las cuales los estudiantes deben involucrarse para poder adquirir el conocimiento. En primer lugar, deben realizar una actividad concreta. Después, deben reflexionar sobre la experiencia, para poder luego conceptualizar la teoría que permite explicar las observaciones realizadas. Finalmente, deben aplicar la teoría en situaciones nuevas.

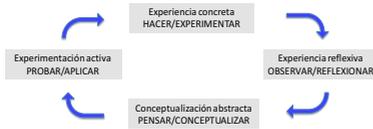


Fig. 3. Ciclo de aprendizaje de Kolb

Para determinar el efecto del uso de las nuevas herramientas en el aprendizaje y en la percepción de los actores involucrados, se han realizado estudios cualitativos y cuantitativos en cada una de las experiencias. La información recabada se ha obtenido mediante cuestionarios que los estudiantes debían rellenar y en los que valoraban las herramientas y el uso de las mismas en el aprendizaje de los diferentes conceptos relacionados con las asignaturas. Así mismo, en alguno de los casos se han realizado diversas experiencias para determinar si el uso de dichas herramientas tiene efecto en los resultados o calificaciones.

III. EXPERIENCIAS REALIZADAS

A continuación se describe para cada una de las experiencias realizadas, la herramienta utilizada y la manera en la que se ha aplicado el ciclo de aprendizaje de Kolb.

A. Experiencia 1

El objetivo de esta primera experiencia era intentar dar respuesta a uno de los principales problemas que presentan los estudiantes del primer curso: la definición de algoritmos. El objetivo era mejorar las habilidades en la resolución de problemas de los estudiantes e introducir los conceptos asociados al diseño. Estos temas se tratan en las primeras clases de la asignatura.

En esta experiencia, se decidió utilizar robots educativos, concretamente los robots educativos Lego MINDSTORM®. Para programarlos se optó por el entorno de desarrollo visual NXT-G, para que los estudiantes comprendieran y exploraran los distintos tipos de bloques y su semántica, para posteriormente abordarlos con una notación algorítmica y un lenguaje de programación concreto. Estos robots educativos se utilizaron en la asignatura de PB durante tres cursos académicos con 100 estudiantes [10], [11].

B. Experiencia 2

Tras los dos años de utilización de los robots educativos en PB, se decidió extender la aplicación del ciclo de Kolb a toda la asignatura. Sin embargo, algunos autores han documentado experiencias negativas con su uso cuando se utilizan durante todo el curso. Generalmente los estudiantes tienen acceso limitado a ellos fuera del horario lectivo y esta limitación de acceso produce que su impacto se vea interrumpido [12].

Por esta razón se desestimó la utilización de los robots para esta segunda experiencia y se optó por el entorno visual de programación Scratch (<https://scratch.mit.edu/>). Aunque en principio está orientado a una audiencia más joven, se ha utilizado para la enseñanza de la programación en centros educativos e incluso en universidades [13]. Scratch se ha utilizado en la asignatura de PB durante los dos últimos cursos

académicos, ya que permite abordar los principales aspectos de la programación (secuencia de instrucciones, instrucciones condicionales, etc.), aislando al estudiante de los aspectos sintácticos que presentan los lenguajes de programación. En esta experiencia participaron aproximadamente 110 estudiantes. Las sesiones en las que se ha utilizado Scratch se organizaron de la siguiente manera:

1. Se utiliza Scratch para presentar, mediante un ejercicio, un concepto (p.ej., sentencias condicionales)
2. El estudiante resuelve un ejercicio similar al anteriormente presentado utilizando Scratch
3. El estudiante representa el ejercicio del punto anterior utilizando notación algorítmica
4. El estudiante implementa el ejercicio utilizando un lenguaje (Java) y entorno de desarrollo (Eclipse)

C. Experiencia 3

La tercera experiencia se implantó en la asignatura de Programación Modular y Orientación a Objetos (PMYO). Para cuando llegan a esta asignatura, los estudiantes ya poseen las nociones básicas de algorítmica y el objetivo principal de la experiencia era ayudarles a comprender los conceptos relacionados con la orientación a objetos. De nuevo, se optó por entornos de programación visuales ya que permiten que, para cada tema, la fase de “Experiencia concreta” se pueda primero abordar de forma gráfica e intuitiva y que, después, los profesores pueden guiar a los estudiantes en la fase de conceptualización abstracta.

Para esta asignatura se optó por BlueJ (<http://bluej.org>) y Greenfoot (<http://greenfoot.org>), dos entornos visuales de desarrollo integrados diseñados con fines educativos [14], [15]. Ambos entornos están orientados al aprendizaje de los conceptos de la Programación Orientada a Objetos (POO). Para ello, proporcionan herramientas visuales tales como el diagrama de clases UML para la representación de los objetos. Además, desde su perspectiva visual, permiten por un lado crear objetos e interactuar con ellos (mediante paso de mensajes) sin escribir una línea de código. Permiten también analizar el estado y comportamiento de los objetos.

Ambos entornos de programación visual se han utilizado de forma continuada en la asignatura de PMYO durante 5 cursos académicos con 340 estudiantes. Por sus características, de las 15 semanas que consta la asignatura, se utilizó BlueJ durante la primera mitad del cuatrimestre para introducir los conceptos de clase y objeto, mientras que en la segunda mitad se empleó Greenfoot para trabajar los mecanismos de herencia y polimorfismo. Además, la última herramienta también es utilizada en la realización de un proyecto por el alumnado fuera del horario lectivo.

Además, al final de cada laboratorio los estudiantes debían contestar un cuestionario de tipo test relacionado con el enunciado y los conceptos trabajados en el laboratorio, lo que permitía integrar las herramientas utilizadas en la evaluación.

IV. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS SOBRE LAS EXPERIENCIAS

A continuación se resaltan los resultados más destacados de cada una de las experiencias implementadas.

A. Experiencia 1

Del análisis de los cuestionarios se deduce que tanto el interés de los estudiantes como su motivación se incrementaron gracias al uso de los robots. En cuanto a la conciencia del aprendizaje, fundamental en los procesos educativos, los estudiantes percibieron que los robots les ayudaban a comprender mejor los conceptos abordados en la asignatura. Estas observaciones fueron refrendadas por los profesores de la asignatura, que también detectaron un aumento en la motivación de los estudiantes, así como una mejora de la atmósfera de clase. Para los profesores, fue muy estimulante ver como algunos estudiantes grababan y difundían los videos de los robots ejecutando algunas de las tareas. A pesar de todos estos efectos positivos, la mejora en las calificaciones de los estudiantes no fue estadísticamente significativa.

En estas experiencias también se observaron algunos aspectos negativos. Por un lado, dado que el uso de los robots se realizó en las clases iniciales y que su uso no se evaluaba posteriormente hizo que, a pesar de ser conscientes de su efecto positivo, algunos estudiantes solicitaran la utilización de entornos de desarrollo de ámbito general como Eclipse desde el principio. Estos resultados concuerdan con los de [16], que describen que los estudiantes prefieren prescindir de aquellas actividades que no tienen impacto directo en la calificación. Por otro lado, también se observaron dificultades inherentes al uso de dispositivos físicos: factores relacionados al movimiento de los robots y aspectos relacionados con las condiciones lumínicas del aula. Las diferencias en la fricción de las superficies o la carga de las baterías afectaban al movimiento de los robots, mientras que las diferencias de las condiciones lumínicas, incluso dentro de la misma aula, afectaban al reconocimiento de los colores, esenciales para la realización de determinadas tareas.

B. Experiencia 2

Se observó que, a medida que se avanzaba en el curso, los estudiantes exploraban y experimentaban con el entorno Scratch, probando alternativas sobre los ejercicios propuestos, e incluso tratando de realizar actividades adicionales. Además, en el apartado de evaluación se integraron preguntas asociadas a Scratch (comprensión de los bloques, reconocimiento de errores o soluciones adecuadas), lo que conllevó que se integrara mejor con la asignatura y los estudiantes fueran menos reticentes a utilizarlo.

Sin embargo, dado que Scratch se diseñó para un público más joven, algunos estudiantes lo percibieron demasiado infantil para su uso en el grado.

C. Experiencia 3

Los estudios realizados en la Experiencia 3 indican que los estudiantes consideran que las herramientas utilizadas son de ayuda para el aprendizaje. Además, los estudiantes han indicado en las encuestas realizadas que no dejarían de utilizarlos. Sin

embargo, cabe destacar las diferencias observadas en función del género de los estudiantes en el resultado de las encuestas. Las respuestas de las mujeres son notablemente más negativas que las de los hombres en este aspecto.

También se han analizado los resultados académicos de los estudiantes en la asignatura. Con la incorporación de estos nuevos entornos como apoyo al ciclo de aprendizaje de Kolb, el porcentaje de estudiantes presentados al examen final ha subido de porcentajes que rondaban un 40% a una tasa superior al 60%. Además, de este alumnado presentado, el porcentaje de aprobados ha pasado de un 45% a valores cercanos al 70%.

Sin embargo, los resultados en cuanto a la motivación, en general, no cumplen las expectativas del profesorado involucrado. De hecho, resultan peores que los que se han obtenido previamente con robots físicos en la asignatura de Programación Básica [4], [10]. En este apartado se observó una elevada tasa de indecisos, especialmente en el caso de BlueJ, en el que alcanzó un 52%.

V. DISCUSIÓN

A partir de los resultados de las experiencias, planteamos un conjunto de consideraciones a tener en cuenta a la hora de implantar experiencias similares en asignaturas de programación.

A. Estudiantes: género y conocimiento previo

En las experiencias ha quedado claramente reflejado que existen diferencias en los resultados atendiendo a ciertas características de los estudiantes, su género y el conocimiento previo en programación que tienen.

Aunque los resultados obtenidos son, en general, positivos, se han detectado grandes diferencias en los resultados atendiendo al género de los estudiantes. Estas diferencias plantean la necesidad de ampliar el estudio antes de continuar con nuevas implantaciones.

Los estudios realizados se deben ampliar para analizar por ejemplo si el problema son los entornos de desarrollo seleccionados o las temáticas de los tipos de ejercicios realizados. Ampliar esta parte del estudio permitiría adaptar adecuadamente los resultados positivos que se han obtenido en las experiencias presentadas.

Un problema latente y que debe ser tratado adecuadamente es la diferencia de conocimiento previo que tienen los estudiantes. En las respuestas a las encuestas se han detectado diferencias notorias respecto a la motivación y a la aceptación de las herramientas utilizadas atendiendo al conocimiento previo de los estudiantes.

Una posibilidad para dar respuesta a esta problemática puede ser utilizar diferentes entornos de programación para las diferentes categorías de estudiantes. Incluso conforme los estudiantes van avanzando se les puede ir cambiando el entorno de programación, dado que no existe un entorno adecuado para cualquier situación [3]. Para el caso de los robots LEGO se podrían utilizar entornos visuales gráficos sencillos como

Enchanting (<http://enchanting.robotclub.ab.ca>) o NXT-G con aquellos que no tienen conocimiento previo, mientras que con los estudiantes que sí tengan conocimientos previos empezar directamente con librerías especializadas como LeJOS (<http://www.lejos.org>).

B. Selección de herramientas de apoyo

Se han detectado ciertas dificultades inherentes a la utilización de dispositivos físicos. Sin embargo, no se deben descartar automáticamente ya que se ha observado una motivación mayor que con los entornos no físicos. Esto plantea la necesidad de que los ejercicios deben diseñarse teniendo estos factores contextuales en cuenta [11].

Por otro lado, los entornos visuales permiten abstraerse fácilmente de los detalles reales y centrarse en la implementación de la lógica de la aplicación.

Además, dado que no hay ningún entorno que sirva para todo, parece interesante combinar diferentes herramientas. En relación a la integración entre los dispositivos físicos y los entornos de desarrollo, generalmente no suele haber problemas; los primeros ofrecen librerías para reutilizar la funcionalidad, mientras que los segundos permiten ser extendidos. Sin embargo, cabe reseñar la falta de integración de la funcionalidad de despliegue desde el entorno de desarrollo del proyecto al dispositivo físico. Para ello, se requiere de compiladores del lenguaje utilizado por el programador al lenguaje ensamblado utilizado por el dispositivo. En este aspecto, la librería LeJOS ofrece dicha funcionalidad para Eclipse.

C. Integración en la asignatura

Para que el ciclo de Kolb se aplique correctamente, es fundamental formular preguntas al final de los ejercicios para que los estudiantes observen, reflexionen y encuentren respuestas a los problemas planteados. Los entornos de desarrollo visual facilitan la realización de dichas tareas.

Por otro lado, también resulta adecuado integrar mejor los entornos de programación visual y/o dispositivos físicos en el proceso de evaluación de la asignatura, o bien relacionarlos con otras asignaturas de la rama de programación para dar una perspectiva global. Por ello, se plantea también que sería interesante utilizar la misma herramienta con metodología similar en PB y posteriormente en PMyOO. Esto podría hacer que los estudiantes tuvieran una mejor visión de los mismos al estar más contextualizados en el grado.

VI. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Las experiencias realizadas sugieren que una adecuada combinación del uso de entornos visuales junto con robots físicos podría mejorar la motivación de los estudiantes en PMyOO. Sin embargo, el alto grado de heterogeneidad en los conocimientos previos del alumnado de primer curso afecta a la aplicación de mejoras como las descritas, sobre todo en PB. Por lo tanto, el uso de este tipo de herramientas requiere ajustar el

tipo de entornos de aprendizaje de la programación empleados a los conocimientos previos del alumnado, así como gestionar adecuadamente el número de entornos a utilizar en una misma asignatura o cuatrimestre, sobre todo si son nuevos para el alumnado.

Por otro lado, una adecuada integración de nuevas herramientas en la asignatura requiere que estas formen parte del sistema de evaluación. De esta manera se puede conseguir una mayor aceptación y motivación por parte del alumnado. El hecho de que la evaluación sea continuada resulta también positivo en este sentido.

Actualmente estamos trabajando en la implantación de una nueva combinación de robots educativos y entornos visuales en la asignatura de PMyOO.

REFERENCIAS

- [1] A. Gomes y A. J. Mendes, «Learning to program—difficulties and solutions», in International Conference on Engineering Education—ICEE, Coimbra, Portugal, 2007, vol. 2007.
- [2] D. C. Leonard, *Learning theories*, A. Z. Westport, Conn.: Oryx Press, 2002.
- [3] A. J. Hirst, J. Johnson, M. Petre, B. A. Price, y M. Richards, «What is the best programming environment/language for teaching robotics using Lego Mindstorms?», *Artif. Life Robot*, vol. 7, n.º 3, pp. 124-131, 2003.
- [4] C.-C. Wu, I.-C. Tseng, y S.-L. Huang, «Visualization of Program Behaviors: Physical Robots Versus Robot Simulators», en *Informatics Education - Supporting Computational Thinking*, R. T. Mittermeir y M. M. Syslo, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 53-62.
- [5] A. Wilson y D. C. Moffat, «Evaluating Scratch to introduce younger schoolchildren to programming», *Proc. 22nd Annu. Psychol. Program. Interest Group Univ. Carlos III Madr. Leganés Spain*, 2010.
- [6] D. O'Sullivan y T. Igoe, *Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers*, 1st edition, Thomson, 2004.
- [7] M. Sartatzemi, V. Dagdilelis, y K. Kagani, «Teaching Introductory Programming Concepts with Lego Mindstorms in Greek High Schools: A Two-Year Experience», en *Service Robot Applications*, InTech, 2008.
- [8] D. A. Kolb, *Experiential learning: experience as the source of learning and development*, Prentice-Hall, 1984.
- [9] S. Georgantaki y S. Retalis, «Using educational tools for teaching object oriented design and programming», *J. Inf. Technol. Impact*, vol. 7, n.º 2, pp. 111-130, 2007.
- [10] A. Álvarez y M. Larrañaga, «Experiences Incorporating Lego Mindstorms Robots in the Basic Programming Syllabus: Lessons Learned», *J. Intell. Robot. Syst.*, vol. 81, n.º 1, pp. 117-129, ene. 2016.
- [11] A. Álvarez y M. Larrañaga, «Using LEGO Mindstorms to Engage Students on Algorithm Design», en *Frontiers in Education (FIE)*, 2013, pp. 1346-1351.
- [12] B. S. Fagin y L. Merkle, «Quantitative Analysis of the Effects of Robots on Introductory Computer Science Education», *J. Educ. Resour. Comput. JERIC*, vol. 2, n.º 4, dic. 2002.
- [13] J. Maloney, M. Resnick, N. Rusk, B. Silverman, y E. Eastmond, «The Scratch Programming Language and Environments», *ACM Trans. Comput. Educ.*, vol. 10, n.º 4, pp. 1-15, nov. 2010.
- [14] D. J. Barnes y M. Kölling, *Objects first with Java: a practical introduction using BlueJ*. Boston: Pearson, 2012.
- [15] M. Kölling, «The Greenfoot Programming Environment», *ACM Trans. Comput. Educ.*, vol. 10, n.º 4, pp. 1-21, nov. 2010.
- [16] K. Orton-Johnson, «'I've stuck to the path I'm afraid': exploring student non-use of blended learning», *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 40, n.º 5, pp. 837-847, 2009.