

# Una Experiencia de Aprendizaje Basado en Proyectos en una Asignatura de Robótica

Nourdine Aliane y Sergio Bemposta

**Title**—A project-based learning experience in a robotics course.

**Abstract**—This paper describes an experience of introducing the project-based learning methodology (PBL) in a robotics course. The PBL has been partially implemented and only concerns the practical credits. A single project has been proposed for the whole class, and consists in developing a checker-playing robot. It is a multidisciplinary project that integrates several technologies, such as robotics, computer vision, and artificial intelligence. First, the academic framework for introducing the PBL is described. Afterwards, the key elements for electing the project as well as some technical details of the project are given. Furthermore, the pedagogical issues concerning the PBL implementation are discussed. Finally, a qualitative assessment of our experience is addressed.

**Index Terms**— Education, Project-Based Learning, Robotics.

## I. INTRODUCCIÓN

EN el nuevo escenario educativo que resulta del proceso de armonización del Espacio Europeo de Educación Superior, se pone de manifiesto la necesidad de un modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en el alumno y se plantea claramente la necesidad de desarrollar en el alumno no solamente habilidades específicas al campo de conocimiento al que estén orientados los planes de estudios, sino también las competencias transversales muy demandadas en el mundo profesional.

En este contexto, la educación superior se está adaptando a las nuevas circunstancias realizando cambios en el paradigma educativo a través de iniciativas de innovación docente basadas en el uso de las metodologías activas como el aprendizaje basado en problemas [1], método el caso [2], o el aprendizaje basado en proyectos [3].

En este artículo se describe una experiencia piloto de implantación de la metodología de aprendizaje basado en proyectos (ABP en adelante) en una asignatura de robótica. Esta acción docente marca como objetivos elevar la

motivación de los alumnos, mejorar su aprendizaje y desarrollar competencias generales como el trabajo en equipo, la comunicación, la innovación y la iniciativa.

El resto del artículo se organiza como sigue: en la sección II se darán las claves de la metodología ABP. La sección III describe el entorno docente y el modelo de implantación de la metodología ABP. La sección IV presenta el proyecto de apoyo a la metodología de ABP así como las razones que avalan su elección. En la sección V, se explican los pasos más importantes en la implantación de esta metodología. La sección VI recoge una valoración cualitativa de la experiencia presentada en este artículo. Finalmente, la sección VII concluye este trabajo.

## II. LA METODOLOGIA ABP

La metodología ABP se empezó a aplicar a finales de los 70 en la enseñanza de la medicina en la Universidad canadiense de McMaster [1] para combatir el problema de desmotivación de los estudiantes. Desde entonces, esta metodología ha ido ganando adeptos y actualmente se considera especialmente adecuada para abordar muchos de los retos de la educación superior [4]. En este contexto, merece la pena destacar la universidad danesa de Aalborg que se considera un referente en la aplicación de la metodología ABP en el ámbito de las ingenierías [5]. Su aplicación al campo de la informática llega más tarde, pero ya se considera como una metodología madura en este campo [6], [7].

La enseñanza basada en ABP se basa en el desarrollo de un proyecto que establece una meta como la elaboración de un producto final. Su consecución exigirá el aprendizaje de conceptos técnicos y de actitudes. La metodología ABP solo estará en sintonía con los objetivos del EEES si el alumno toma un papel activo en su proceso de aprendizaje.

Las características más relevantes de la metodología ABP se resumen como sigue:

- La metodología ABP se desarrolla en un entorno real y experimental. Esta circunstancia ayuda a los alumnos a relacionar los contenidos teóricos con el mundo real, y esto recae en la mejora de la receptividad para aprender los conceptos teóricos.
- El alumno toma un papel activo en el proyecto y marca el ritmo y la profundidad de su propio aprendizaje.
- El ABP motiva a los alumnos, por tanto se puede considerar como un instrumento para mejorar el

N. Aliane pertenece al departamento de Arquitectura de Computadores y Automática de la Universidad Europea de Madrid, URB el Bosque, S/N, 28670, Villaviciosa de Odón, Madrid, España (Contacto, Teléfono: 34-91 211 56 71; e-mail: [nourdine.aliane@uem.es](mailto:nourdine.aliane@uem.es)).

S. Bemposta pertenece al departamento de Arquitectura de Computadores y Automática de la Universidad Europea de Madrid, (e-mail: [sergio.bemposta@uem.es](mailto:sergio.bemposta@uem.es)).

rendimiento académico y la persistencia en los estudios.

- El ABP crea un marco ideal para desarrollar varias competencias transversales como el trabajo en equipo, la planificación, la comunicación y la creatividad.

#### A. ABP y la robótica

La utilización de la tecnología como medio en la docencia ya no se limita a la utilización del ordenador y a los medios multimedia clásicos, sino estamos asistiendo a la incorporación de los robots como herramienta educativa [8], [9], [10]. En efecto, en muchos casos, los robots están presentes en el aula no con el fin de enseñar la robótica propiamente dicha, sino utilizarlos para activar procesos cognitivos que propicien un aprendizaje significativo de un objetivo docente determinado. El sistema “LEGO MINDSTORM” es un buen ejemplo de ello, y está siendo utilizado a gran escala no solamente en la educación [11], sino también en proyectos de investigación [12].

En general, los proyectos de robótica integran varias tecnologías, y en consecuencia, propician un aprendizaje multidisciplinar. Es más, el reto que supone para un alumno diseñar y construir un sistema real, le permite adquirir los conceptos con cierta profundidad y le permite entrar en una dinámica de aprendizaje autónomo. Asimismo, la robótica es un campo donde es relativamente fácil proponer proyectos didácticos. En definitiva, todas estas características hacen que una asignatura de robótica sea idónea para una implantación de la metodología de ABP [13]. En efecto, en la literatura, hay varios trabajos como [14], [15] y [16], donde se presentan experiencias relacionadas con la utilización de robots en el marco de ABP.

### III. ENTORNO DOCENTE Y MODELO DE IMPLANTACIÓN

La asignatura de robótica, que ha sido objeto de esta experiencia, forma parte del plan de estudios de ingeniero en informática. Es una asignatura optativa de 6 créditos y se cursa en el último curso. Su temario ha sido especialmente pensado para alumnos de informática, donde varios temas tienen una relación directa con aspectos computacionales como la implementación de los algoritmos del control cinemático, la planificación de trayectorias, la programación de los robots en sus diversas formas y la integración de otras tecnologías como la visión por computador o la inteligencia artificial. Tradicionalmente, la asignatura ha sido impartida alternando clases expositivas con sesiones de laboratorio, donde las prácticas consistían en la programación de robots manipuladores y la utilización de algunos simuladores.

Es importante señalar que los alumnos de informática, en general, consideran que la programación de los robots es extremadamente sencilla, y que muchos de ellos terminan desmotivándose. La metodología del ABP supone una oportunidad para mejorar la motivación de los estudiantes, ya que incorpora elementos que pudieran realzar el atractivo de la robótica.

Al ser una metodología completamente nueva para el profesor, se ha optado por una implantación parcial definiendo un modelo mixto que consiste en dividir la asignatura en dos bloques. El primer bloque consiste en contenidos teóricos que se imparten siguiendo el método tradicional (clases expositivas y ejercicios). El segundo bloque consiste en agrupar todas las actividades de laboratorio y enfocarlas hacia el desarrollo de un proyecto dentro del marco de ABP. Esta parte representa aproximadamente el 30% de toda la carga lectiva de la asignatura. Este modelo ha sido adoptado como una medida conservadora para ir adquiriendo experiencia en la aplicación de esta metodología.

### IV. EL PROYECTO

El proyecto de apoyo a la metodología ABP constituye el elemento central del proceso de enseñanza-aprendizaje y su elección no es trivial. Es importante resaltar que la metodología de ABP no trata de recrear una consultoría de ingeniería. El proyecto debe ser didáctico y con elementos relacionados con algunos objetivos docentes de la asignatura.

#### A. Los juegos de estrategia

Las realizaciones de sistemas que involucran a robots en los juegos de estrategia como el ajedrez, el tres en rayas o el juego de las damas son proyectos de gran interés en el ámbito académico, ya que su carácter lúdico permite mejorar notablemente la motivación de los alumnos.

En la literatura, podemos encontrar muchos trabajos que describen este tipo de proyectos. El *MarineBlue* [17] es una realización del juego de ajedrez que combina un robot, un sistema de visión y un motor de juego basado en el paquete *GNUChess* [18]. El “*Phantom Chess System*” [19] es otra realización que utiliza un sistema mecanizado escondido debajo de un tablero y utiliza fichas magnetizadas que sirven tanto para su identificación como para su localización. El tic-tac-toe (o el tres en raya) es otro juego que tiene una realización mediante dos robots de tipo LEGO que cooperan en el juego, donde uno se dedica al reconocimiento del tablero mediante un escaneo óptico y otro culmina las jugadas colocando las fichas sobre el tablero [20]. El juego de damas también tiene numerosas realizaciones siendo “*Rochester Checkers Player*” [21] la realización más importante. *LEFTY* [22] es otro sistema de juego de damas, y se considera como la realización más temprana. Finalmente, hay que destacar los trabajos [23] y [24] que describen realizaciones enmarcadas en un contexto académico.

#### B. El proyecto

Para garantizar el éxito de la implantación de la metodología ABP y facilitar la gestión del proceso de enseñanza-aprendizaje, se ha optado por proponer un solo proyecto para toda la clase. El proyecto propuesto se titula “*un robot que juega a las damas*” y consiste en el desarrollo de un sistema que permite a una persona jugar a las damas contra un robot manipulador.

La elección del proyecto se basa en los siguientes criterios:

- El proyecto es perfectamente realizable con los

*Módulo de visión:* Este módulo se encarga de capturar la imagen del tablero, y procesarla con el fin de identificar las fichas (blancas o negras, peón o dama) y su posición en el tablero. El procesamiento de la imagen genera una salida que es una matriz (8x8) que corresponde al estado actual del tablero.

*El motor de juego:* Esta parte determina las mejores jugadas a partir de una situación determinada del tablero. El juego se basa en el empleo del algoritmo Min-Max y sus variantes. El motor de juego utiliza como datos de entrada la matriz generada por el módulo de visión, y su salida consiste en la generación de las jugadas que debe realizar el robot. Estas jugadas se guardan en un fichero.

*Control del robot:* Este módulo se encarga de controlar el robot para la realización física de las jugadas guardadas en el fichero generado por el módulo anterior. Cada entrada de este archivo corresponde a una jugada, y se traduce en una serie de comandos que se tienen que mandar al controlador del robot a través de un puerto serie.

*Módulo principal:* Es la parte que coordina todos los subsistemas de la aplicación incluida la comunicación con el controlador del robot, y contiene la interfaz de usuario que permite la recogida de los parámetros de configuración del sistema durante las fases de calibración.

#### D. Método de trabajo

La clase de 14 alumnos se ha organizado en 4 grupos de (3-4 alumnos). La primera tarea de los grupos ha sido la elaboración de un ante-proyecto donde se recogen los objetivos técnicos, los hitos y una planificación de las tareas a realizar. Oficialmente, se han dedicado 2 horas semanales para el proyecto. Cada sesión de trabajo (en el laboratorio) empieza con una breve presentación de los avances parciales de cada grupo. El resto de las sesiones se dedican para las reuniones grupales e intergrupales, la realización de pruebas, hacer consultas al profesor, pedir información a otros compañeros, etc. Naturalmente, los alumnos han invertido más tiempo en sus tareas de búsqueda de la información, en la codificación, en la documentación, etc. El proyecto ha sido completado en 8 semanas.

Los miembros de cada grupo han evolucionado en un ambiente de aprendizaje colaborativo, donde todos los integrantes han intervenido en todas y cada una de las tareas programadas en su proyecto. Por otro lado, cada grupo tiene designado a un delegado para cooperar con el resto de los grupos en las tareas de definición de los mecanismos de intercambio de datos y la integración final del sistema.

El rol del profesor también ha sido importante y no se ha limitado a observar a los alumnos, sino ha tratado de crear una atmósfera de confianza y de fomentar la colaboración entre los grupos. El profesor ha cedido el liderazgo del proyecto a los alumnos, los cuales se han convertido en auténticos protagonistas del mismo.

#### E. La sesión final

Al finalizar el proyecto, cada grupo ha entregado una memoria resaltando los aspectos técnicos más relevantes de su trabajo, y han realizado una exposición oral para explicar los aspectos más destacados de su trabajo. Asimismo, durante la última sesión de laboratorio se ha reservado para realizar una valoración técnica del proyecto, así como una valoración del proceso de aprendizaje. La valoración técnica consistió en la realización de varias pruebas y demostraciones del sistema con la participación de alumnos ajenos a la clase. La valoración del método de aprendizaje de ABP se ha hecho en forma de debate.

#### F. Método de evaluación

Uno de los aspectos más complicados en la metodología de ABP es la concepción de un sistema de evaluación que sea equitativo entre todos los alumnos. En el desarrollo de un proyecto, la evaluación se vuelve difusa ya que no se sabe exactamente que es lo que se tiene que evaluar: los conocimientos adquiridos por los alumnos o su desempeño y su aportación al proyecto, y como se refleja la evaluación individualizada de cada alumno que han evolucionado dentro de un grupo. En esta primera experiencia, no se ha dado mucha importancia a este aspecto, y el profesor solo ha evaluado los alumnos de forma individualizada, donde la nota refleja el desempeño de cada alumno en el proyecto.

## VI. VALORACIÓN DE LA EXPERIENCIA

La valoración de esta experiencia es cualitativa y se basa en la opinión de los alumnos así como en la percepción personal del profesor.

Para despejar la opinión de los alumnos, se ha recurrido a una entrevista grupal semi-estructurada [28], donde el profesor formula preguntas precisas al conjunto de la clase, pero los alumnos tienen la libertad de opinar sobre todos los puntos que derivan del debate permitiendo así el intercambio de opiniones. Dicha entrevista se celebró en la sesión final, considerando que los alumnos ya han asimilado el objetivo y el alcance de la metodología del ABP. Algunas de las preguntas formuladas para alentar el debate fueron:

- ¿Qué valoración hacéis de la experiencia de ABP?
- ¿Qué pensáis de la elección del proyecto?
- ¿Qué consecuencia tiene el ABP sobre las competencias transversales?

En conjunto, los alumnos expresaron su satisfacción por la formación recibida a través del proyecto, consideran que han aprendido de forma autónoma, y que han adquirido una experiencia investigadora. La mayoría considera que el proyecto elegido ha sido adecuado, y se ha valorado de forma positiva la motivación y la estimulación que les ha producido. En lo que se refiere a las competencias, los alumnos afirman que el proyecto les ha permitido adquirir una experiencia valiosa de trabajo en equipo, que les ha permitido poner en práctica sus propias iniciativas y que no han tenido que seguir

ningún guión. Finalmente, varios alumnos han afirmado que les hubiese gustado haber cursado más asignaturas siguiendo la metodología del ABP.

Por su parte, el profesor considera que la metodología ABP es estimulante. El nivel de entendimiento entre el profesor y los alumnos es elevado, y se crea un entorno de aprendizaje marcado por la predisposición de los alumnos. El nivel de absentismo se redujo de forma significativa y los alumnos han encontrado alicientes para ir al laboratorio. A pesar de ser una metodología nueva, la dedicación del profesor no ha sido especialmente mayor.

En términos de objetivos docentes, las actividades desarrolladas en el marco del proyecto han superado en cantidad y en profundidad las actividades que se planteaban en las tradicionales prácticas de laboratorio.

El carácter abierto del proyecto ha permitido a los alumnos tener enfoques distintos para sus soluciones, originando así auténticos debates sobre las posibles soluciones. En definitiva, los alumnos se han sentido como verdaderos ingenieros que han participado en la concepción de un sistema complejo. La comunicación es inherente a la metodología ABP, y se ha visto reforzada ya que cada alumno ha tenido que explicar y comunicar al resto sus trabajos y hallazgos.

#### A. Recomendaciones

En conjunto, esta primera experiencia ha sido positiva. Sin embargo, existen varios aspectos que se pueden mejorar incorporando elementos nuevos en la gestión del proceso de enseñanza-aprendizaje.

En primer lugar, para que el alumno se involucre activamente en su propio aprendizaje, es preciso que adquiera un compromiso consigo mismo y con el resto del grupo para sacar adelante el proyecto. En este aspecto, el profesor puede incorporar un guión de trabajo donde se marcarán los puntos clave en los que los alumnos deben insistir. Es importante establecer algunas obligaciones como la entrega de informes semanales para la comunicación de resultados parciales. Esto puede ser de gran ayuda para los alumnos con poca motivación.

La evaluación es un elemento esencial para fomentar el aprendizaje. Junto a la evaluación grupal, es importante incorporar una evaluación individual. Este punto incidirá de forma directa sobre el aprendizaje colaborativo.

Si bien la metodología permite una cierta libertad a los alumnos, el profesor debe conocer las decisiones que se toman para poder corregirlas a tiempo y encauzar a los alumnos para no alejarse demasiado de los objetivos marcados.

Para que la metodología ABP cubra una parte más amplia del temario, el profesor debe elegir proyectos adecuados. En el caso de las carreras de informática, los proyectos pueden ser enfocados al desarrollo de software. En efecto, los conceptos fundamentales de la robótica como la localización espacial, la cinemática y la planificación de trayectorias, se pueden estudiar a través del desarrollo de un proyecto de software. En este aspecto, el autor está considerando para este curso académico la propuesta de un proyecto titulado

“desarrollo de un entorno de programación off-line para robot” que permite cubrir hasta un 70% del temario. También se está considerando la propuesta de proyectos que involucren los robots LEGO para abarcar los temas relacionados con la integración sensorial así como los aspectos relacionados con la inteligencia artificial.

## VII. CONCLUSIÓN Y RESUMEN

En este trabajo, se ha presentado una experiencia práctica de implantación de la metodología de aprendizaje basado en proyectos en una asignatura de robótica.

El modelo seguido consiste en una implantación parcial, donde la metodología ABP solo afecta a la parte práctica de la asignatura. Por otra parte, un solo proyecto ha sido propuesto para toda la clase, el cual consiste en la realización de un sistema titulado “un robot que juega a las damas”.

El desarrollo del proyecto ha permitido a los alumnos experimentar un aspecto novedoso relacionado con la integración de varias tecnologías y han tomado conciencia de los aspectos positivos de las competencias transversales. En conjunto, la experiencia ha sido positiva y ha sido acogida favorablemente por el conjunto de los alumnos.

## REFERENCIAS

- [1] McMaster University: Problem-Based-Learning, [En línea] <http://www.chemeng.mcmaster.ca/pbl/pbl.htm>, Último acceso: 25 de junio de 2006.
- [2] L. R. Mustoe and A. C. Croft, “Motivating engineering students by using modern case studies”, *European J. Eng. Educ.*, vol. 15, no 6, pp.469-476, 1999.
- [3] S. Gwen, “Project-based learning: a primer” *Technology and Learning*, vol. 23, no 6, pp 20-30, 2003.
- [4] D. R. Woods, R.M. Felder, A. R Garcia, and J.E. Stice, “The future of engineering education III. Developing Critical Skills”. *Chem. Engr. Educ.*, vol. 34, pp. 108-117, 2000.
- [5] Universidad de Aalborg: [En línea] <http://adm.aau.dk/faktekn/aalborg/engelsk/index.html>; Último acceso: 29 de noviembre de 2007.
- [6] M. Barg, A. Fekete, T. Greening, O. Hollands, J. Kay, J. H. Kingston, “Problem-based learning for foundation computer science courses”, *Comp. Sci. Educ.*, vol. 10, no. 2, pp.109-128, 2000.
- [7] D. Hung, “Situated cognition and problem-based learning: Implications for learning and instruction with technology”. *Journal of Interactive Learning Research*, vol. 13, no 4, 393-414, 2002.
- [8] A. Druin, y J. Hendler, *Robots for kids: Exploring new technologies for learning*. San Diego, CA: Academic Press, 2000.
- [9] A. Chiou, “Teaching technology using educational robotics”. in *Proc. 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents*, Almerston North, New Zealand, 2004, pp. 13-15.
- [10] J. T. Doswell y P. H. Mosley, “An innovative approach to teaching robotics”, in *Proc. 6<sup>th</sup> IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies (ICALT'06)*, Kerkrade, Netherlands, 2006, pp. 1121-1122.
- [11] P. J. Gawthrop y E. McGookin, “A Lego-based control experiment”, *IEEE Cont. Sys. Mag.*, vol. 24, no 5, pp 43-56, 2004.
- [12] P. J. Gawthrop y E. McGookin, “Using Lego in control education” in *Proc. 7<sup>th</sup> IFAC Symp. Advances in Control Education*, Madrid, Spain, 2006, pp.31-38.

- [13] D. Hung, "Situating cognition and problem-based learning: Implications for learning and instruction with technology". *Journal of Interactive Learning Research*, vol. 13, no 4, 393-414, 2002.
- [14] Y. Piguet, F. Mondada y R. Siegwart, "Hands-on mechatronics: Problem-based learning for mechatronics". in *Proc. IEEE Inter. Conf. on Rob. Autom.*, Washington D.C., USA, 2002.
- [15] G. Mingyang, "A Case to do empirical study using educational project", *Journal of Issues in Informing Science and Information Technology*, vol. 1, no 1, pp. 509-520, 2004.
- [16] M. W. Spong, "Project based control education" in *Proc. 7<sup>th</sup> IFAC Symp. Advances in Control Education*, Madrid, Spain, 2006, pp. 40-47.
- [17] D. Urting y Y. Berbers, "MarineBlue: A low-cost chess robot", in *Proc. Robotics and Applications*, Salzburg, Austria, 2003, pp.76-81.
- [18] GNUCHESS: (en-línea), <http://www.gnu.org/software/chess/chess.html/> Último acceso: 25 de junio de 2007
- [19] PHANTOM CHEES SYSTEM [En línea], <http://www.ryde.demon.co.uk/realmedia/phantom.htm>, Último acceso: 25 de enero de 2007.
- [20] R. Vuittonet y G. Jeff, "Tic-Tac-LEGO: An investigation into coordinated robotic control", in *Proc. ACM SE'06*, Florida, USA, 2006, pp. 778-779.
- [21] B. Marsh, C. Brown; T. LeBlanc, M. Scott; T. Becker; C. Quiroz; P. Das y J. Karlsson, "The Rochester checkers player: multimodel parallel programming", *IEEE Computer*, vol. 25, no 2, pp. 12-19, 1992.
- [22] LEFTY: "The checker playing robot" [En línea] <http://www.oopic.com/lefty.htm> Último acceso: 29 de mayo de 2007.
- [23] F.C. Groen, G.A. Boer, A. Inge y R.Stam "A chess-playing robot: lab course in robot sensor integration". *IEEE Trans. Instru. Measur.*, vol. 41, no 6, pp.911-914, 1992.
- [24] M. Zribi, y E. Sung. "An autonomous robot playing the board game checkers". *Int. J. Elec. Eng. Educ.*, vol. 35, no1, pp. 14-28, 1998.
- [25] N. Aliane, S. Bemposta, D. Gachet, "Robotics lab practices: solving the tower of Hanoi & checker playing robots", in *Proc. Workshop on Robotics Education and Training*, Weingarten, Germany, 2001, pp. 3-7.
- [26] ACL, *Advanced control language for controller B*, Reference Guide, 1995.
- [27] MATROX, *Imaging Library (MIL), Version 6.0*, User guide, 1999.
- [28] B. M. Olds, B. M. Moskal y R. L. Miller, "Assessment in engineering education: evolution, approaches, and future collaborations", *J. Eng. Educ.*, vol. 94, no 1, pp. 13-25, 2005.



**Nourdine Aliane** es Doctor en Ciencias Físicas y profesor adjunto en la Universidad Europea de Madrid. Ha participado en varios proyectos de investigación de innovación tecnológica así como proyectos de innovación docente. Sus investigaciones abarcan los campos de la robótica, el control automático y las tecnologías de la educación.



**Sergio Bemposta** es Ingeniero en informática y profesor adjunto en la Universidad Europea de Madrid. Ha participado en varios proyectos de investigación relacionados la visión artificial, los sistemas empotrados y los vehículos inteligentes.