

Un ABP basado en la robótica para las ingenierías informáticas

J. Oliver¹, R. Toledo², J. Pujol³, J. Sorribes⁴, E. Valderrama¹

¹ Departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics

² Departament de Ciències de la Computació

³ Departament d'Enginyeria de la Informació i les Comunicacions

⁴ Departament d'Arquitectura de Computadors i Sistemes Operatius

Universitat Autònoma de Barcelona

08193 Bellaterra

Joan.Oliver@autonoma.edu, Ricardo.Toledo@autonoma.edu, Jaume.Pujol@autonoma.edu,
Joan.Sorribes@autonoma.edu, Elena.Valderrama@autonoma.edu

Resumen

Estos últimos años estamos asistiendo a una disminución en la entrada de alumnos en las titulaciones tecnológicas debida a la falta de motivación de los estudiantes por unos estudios técnicos que implican un gran esfuerzo para su superación.

Por otra parte, los alumnos que entran en los primeros cursos se encuentran a menudo con un conjunto de materias distintas a las esperadas y las perciben desconectadas entre sí.

Ambas circunstancias contribuyen de forma importante a la disminución de la promoción de estudiantes en las titulaciones técnicas.

Este artículo presenta un ABP (Aprendizaje Basado en Problemas) que utiliza la robótica. Actualmente, la experiencia se está desarrollando en l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria y l'Escola Tècnica en Informàtica de Sabadell. El objetivo principal es el de aumentar la motivación de los alumnos que llegan a primer curso de la titulación sin que por ello se disminuyan los contenidos técnicos estipulados en los planes de estudio vigentes.

La novedad principal con respecto a experiencias anteriores radica en que los alumnos trabajaran aspectos de software y hardware de modo coordinado, utilizando un robot como arquitectura común.

El artículo se organiza de la siguiente forma: en la introducción se explica la situación actual y los objetivos del trabajo, luego se exponen ciertos trabajos que son precedentes en los que esta basada nuestra experiencia, en el punto 3 se desarrolla la planificación del ABP, discute sobre las competencias que el ABP puede añadir

en estas primeras materias del plan de estudios y después presenta la implantación del ABP.

1. Introducción

Durante muchos años las titulaciones de ingeniería informáticas se han beneficiado de una entrada de estudiantes muy alta que llenaban aulas y facultades con un cada vez mayor número de alumnos. Incluso entrados ya en este milenio, mientras países vecinos empezaban a notar los efectos de una decreciente demanda en las titulaciones tecnológicas, en nuestro país se creaban nuevos centros dedicados a la enseñanza de la informática.

Desde hace un par de años, se puede constatar una bajada muy pronunciada de matriculaciones en escuelas y facultades técnicas que aún no ha finalizado. Sin embargo, la intensidad y velocidad de esta reducción en los estudios de informática nos obliga a reaccionar rápidamente pensando en nuevas propuestas motivadoras hacia la sociedad para nuestros estudios.

Por otra parte, los estudiantes que aún eligen nuestras titulaciones se encuentran en primeros cursos con un conjunto de materias fundamentales que poco ayudan a incrementar el interés por el estudio y la motivación por la titulación. Una de las consecuencias es que algunos estudiantes abandonan la carrera en el primer curso. Así, el beneficio que se produce por la entrada de nuevos estudiantes se ve mermado por la dificultad de tener que asumir unas materias que, con el paso de los años, se han independizado, con pocas ligazones entre sí provocando el abandono en ciertos casos.

El objetivo principal de este artículo es presentar un mecanismo vertebrador basado en un ABP en robótica aplicado a las materias de hardware y software en los primeros cursos de la ingeniería informática para:

- Aumentar el interés del alumno por cursar cada materia de la titulación.
- Establecer un mecanismo de diálogo - interacción entre las distintas materias para que, en su conjunto, se vean como propias de la titulación informática y demuestren la interacción hardware-software desde el comienzo.
- Servir de base para la proyección de los estudiantes a las materias que se encuentran en cursos superiores.

2. Precedentes

El uso de la robótica con fines docentes ha motivado ya a diversas generaciones de profesores y estudiantes desde y para el punto de vista de la informática.

En 1994, Pattis et al. [9] editan un libro en el que presentan *Karel The Robot*, un simulador para introducir de forma amigable la programación a través de un lenguaje de programación similar al Pascal. Fueron los inicios de la robótica con fines educativos para el aprendizaje de herramientas informáticas. Entretanto diversas generaciones se han beneficiado de las tecnologías aportadas tanto por Lego Mindstorms [7] como por Sony con Aibo [1] para la producción de material educativo muy pensado para la programación a alto nivel y mediante lenguajes muy específicos, muy orientados a la inteligencia artificial. Es innumerable el material educativo y de investigación que basándose en el comportamiento de ambos robots se ha producido.

En un paso más hacia la evolución de la robótica como motor de aprendizaje en la computación el *Institute for Personal Robots in Education* (IPRE), Parallax y Microsoft han desarrollado un entorno educativo usando el robot Scribbler [11]. A diferencia de los robots anteriores, Scribbler es un robot adecuado para el aprendizaje de la programación en los primeros cursos de las titulaciones informáticas. La programación puede realizarse empleando un

lenguaje muy básico denominado PBasic. Para alumnos universitarios es mejor usar Scribbler con las herramientas de desarrollo y simulación Myro [8] o Pyro [10].

En paralelo a la aparición de herramientas didácticas para la computación, diversos autores [2,3,4,5,6] han realizado publicaciones en las que argumentan el uso de la robótica como medio en el aprendizaje de la informática. Sin embargo, todos confluyen en la robótica como medio para el aprendizaje de técnicas de y para la programación y no se aprovecha la oportunidad de la robótica como medio para demostrar la interacción hardware-software y de muchos conocimientos que de ella puede obtener un alumno de ingeniería en nuestros estudios informáticos. En este sentido, cabe agregar que el propio entorno favorece la motivación, promueve la curiosidad y permite al alumno experimentar con sistemas completos.

3. Planificación de un ABP en ingeniería informática

3.1. Introducción

Un ABP basado en robótica en la enseñanza de la informática puede agrupar a muchas de las materias que se imparten.

En los primeros cursos de la titulación la robótica puede emplearse para introducir el espectro de materias elementales que va a necesitar un ingeniero informático. Visto desde la dualidad hardware/software, el hardware va a abarcar desde los fundamentos de los computadores donde se introduce la máquina elemental y el ensamblador (y si se quiere la composición electrónica del computador) hasta el sistema operativo pasando por la programación con ensamblador. A nivel de programación, lenguajes de programación y estructuras de datos (también las bases de datos) pueden basarse completamente en el desarrollo de programas dedicados al comportamiento del robot.

Ya en cursos superiores, los horizontes que se abren mediante el uso de la robótica como eje vertebrador de conocimientos son inmensos: paralelismo, visión artificial, estructuras software basadas en redes neurales y lógica fuzzy, aplicaciones en tiempo real, interacción

persona-computador, comunicaciones cableadas e inalámbricas, ingeniería del software, arquitectura y desarrollo de proyectos, es sólo la enumeración de algunas de las posibilidades que se ofrecen.

Se puede constatar que todas las áreas de conocimiento implicadas en el estudio de la ingeniería informática son campos en los que la robótica se presenta como una arquitectura muy interesante para la transmisión y aplicación de conocimientos informáticos. Sin embargo, es en los primeros cursos donde un ABP basado en robótica tiene su mayor impacto como método de aprendizaje y motivación del alumno por la materia y donde sirve como elemento transmisor de la combinación hardware/software del computador.

3.2. Competencias asociadas a un ABP para el primer curso de informática

Las materias de primer curso son prácticamente las mismas en todas las titulaciones informáticas: lenguajes de programación y estructura de datos, fundamentos de los computadores, conocimientos básicos de electricidad/electrónica, álgebra y/o cálculo. Cada una de estas materias suele tener contenidos propios y no se pone de manifiesto la relación entre ellas durante el curso. Un ABP para el primer curso debe agrupar el máximo número de materias de forma que el esfuerzo que el estudiante realiza por la comprensión del problema global se vea recompensado con una disminución de la carga docente que debe asumir el estudiante.

La robótica reúne en el caso de la ingeniería informática el compromiso de aglutinación de materias que se espera de un ABP. El conocimiento del computador y la programación son materias que se encuentran en la base del robot, sin olvidar el complemento que juegan la electrónica y los dispositivos electrónicos en la informática. La tabla 1 presenta una relación de contenidos básicos en asignaturas de primer curso de fundamentos del computador y de la programación totalmente impartibles utilizando una metodología ABP basada en la robótica:

Además, con un aprendizaje ABP basado en robótica se añade de forma natural, un conjunto importante de competencias en el aprendizaje:

Materia	Contenido
Fundamentos de ciencias de la computación	Lenguajes de programación Estructuras básicas Algoritmos Estructuras de datos: listas, árboles, etc Abstracción, modularidad, encapsulado, interfases
Fundamentos de computadores	Máquina elemental: unidad de proceso, unidad de control Memoria Entrada/salida, interrupciones Periféricos Comunicaciones Sistemas operativos (introducción) Tiempo real (introducción)
Sistemas digitales	Lógica booleanas Circuitos combinacionales Circuitos secuenciales
Electrónica	Teoría de circuitos básica Dispositivos

Tabla 1. Materias y contenidos básicos

- Multidisciplinariedad. Pocas disciplinas requieren en ingeniería del conocimiento sobre tantas materias distintas como la robótica. Es una base importante para un buen ABP en primeros cursos de informática.
- Mejora de la comprensión del rol de la abstracción en el trabajo con lenguajes en los distintos niveles de programación, a bajo nivel con el uso del ensamblador y a alto nivel con lenguajes como C, Python, etc.
- Permite distinguir los niveles de abstracción. A nivel hardware referidos a la composición del computador, reconociendo los componentes elementales hasta llegar al microprocesador. A nivel software, se deben reconocer los distintos niveles de abstracción de la programación, desde el lenguaje máquina (ensamblador) hasta llegar al lenguaje de alto nivel.
- Comprender el concepto de interfaz como herramienta de comunicación y encapsulado entre las distintas capas de abstracción.
- Y como competencia transversal incluye el trabajo en equipo.

4. Planificación del ABP

El desarrollo del ABP en primero de informática implica:

- Planificar los objetivos, contenidos y cronología de las materias cuya programación se base en el ABP.
- Planificar de forma transversal la secuenciación de los contenidos de las distintas materias involucradas en el ABP.
- Preparar el material (teoría, seminarios, prácticas) del ABP.
- Presupuestar y preparar el conjunto de recursos adicionales que se utilizarán en el ABP.

El conjunto de prerrequisitos a considerar en el desarrollo del ABP impone unas restricciones muy serias en un plan de estudios estanco basado en asignaturas bastante independientes y encorsetadas en unos horarios rígidos. Además, el enorme trabajo involucrado en la preparación y realización del ABP es un claro contratiempo a la realización del mismo.

Para conseguir la implantación del ABP en primer curso de las ingenierías informáticas de la UAB, los autores han implementado el ABP sobre una parte importante de la materia de las dos asignaturas base de la titulación, Estructura de Datos y Fundamentos de computadores, y se han basado en unas consideraciones simples y plausibles:

- El ABP se realizará sobre un grupo de alumnos que se corresponde, en tamaño, a un grupo de prácticas de laboratorio (de 20 a 24 alumnos).
- El ABP se planifica en el segundo semestre. Con ello se pretende que los alumnos estén ya ubicados en los estudios y que los alumnos que cursan el ABP sean alumnos que aceptan una carga docente ligeramente superior a cambio de un enfoque más global de la asignatura
- Un ABP implica seguir una metodología de trabajo basada totalmente en la comprensión de problemas globales y el desarrollo de sus soluciones, lo que conlleva, si se compara con la metodología clásica basada en clases magistrales, a una variación en los conocimientos que se transmiten. Para evitar un desfase en conocimientos entre alumnos

el ABP se planifica sobre parte de la materia de las dos asignaturas, troncales de la titulación:

- Fundamentos de computadores. La materia involucrada es la clásica de fundamentos de computadores sin incluir los sistemas digitales. Los alumnos cursarán en paralelo la materia de sistemas digitales (lógica booleanas, circuitos combinacionales, circuitos secuenciales).
- Estructura de datos. Toda la asignatura entra en el ABP. Cuenta con la ventaja que los alumnos ya conocen los conceptos de programación básica y han trabajado en el primer semestre con un lenguaje de programación de alto nivel.
- Se planifican unos horarios compatibles para alumnos de todos los grupos de la titulación.
 - Dentro de estructura de datos los cambios son pequeños, en tanto que los alumnos que siguen el programa ABP cambian algunas sesiones teóricas por sesiones prácticas, lo que implica pocos movimientos sobre el horario previsto.
 - En el caso de fundamentos de computadores hay que sincronizar bien los horarios en tanto que la tarea que se asocia implica un nivel de abstracción mayor al que se realiza normalmente en la asignatura.
- Se trabaja sobre un robot específico comercial, que a nivel de programación no conlleva ninguna dificultad, y al que se le acopla una parte hardware para implementar un ABP multidisciplinar.

4.1. Desarrollo del programa

El ABP que se implementa en las asignaturas de estructura de datos y fundamentos de computadores utiliza como elemento aglutinador la conducción autónoma de un robot a través de un laberinto con puertas inteligentes (que el robot mediante diálogo con el PC debe abrir) y con “tesoros y trampas”. El robot se guía en el laberinto utilizando un seguidor de línea.

Además de los sensores que lleva innatos, al robot se le deben acoplar dos sensores adicionales que se controlan a partir de un

microcontrolador y que configuran la parte de fundamentos de computadores del ABP.

Por consiguiente, el robot:

- Se guía en el laberinto mediante el seguidor de líneas. El laberinto contiene un conjunto de líneas a través de las cuales el robot navega.
- En los giros el robot se ayuda de un compás magnético que se le ha acoplado.
- También se le ha acoplado un micrófono para el reconocimiento de sonido.
- Los algoritmos de alto nivel de seguimiento del laberinto se implementan en Python y residen en el ordenador. Las tareas a ejecutar por el robot le son enviadas de forma inalámbrica (bluetooth).
- El microcontrolador se responsabiliza de las medidas del compás y del micrófono. La programación del microcontrolador se realiza en ensamblador. Los datos son enviados al robot por comunicación serie. La programación del microcontrolador se realiza en ensamblador.
- La comunicación entre PC y robot se realiza por puerto serie empleando comunicación inalámbrica por Bluetooth.
- La localización del robot en el laberinto se realiza mediante el seguimiento del mismo desde el ordenador del profesor. La localización es necesaria para comprobar que el robot está situado delante de una puerta o ha encontrado algún “tesoro” etc.
- El ordenador del profesor es el que efectuará la apertura/cierre de puertas después de comprobar que el programa del alumno haya realizado los ejercicios propuestos de forma correcta.

4.2. Recursos requeridos

El material que se necesita para implementar el ABP con garantías requiere un conjunto de recursos hardware y software importante:

A nivel hardware:

- El robot, como eje central del ABP. Se trabaja con el Scribbler, un robot comercializado por Parallax y diseñado conjuntamente con IPRE [6] y Microsoft (el software).
- El microcontrolador y placas de desarrollo asociadas.

Existen placas simples y baratas, pero al mismo tiempo funcionalmente potentes, que permiten trabajar de forma muy simple con los microcontroladores ATmega de Atmel.

- Robot y PC se comunican a través del puerto serie. Para evitar la limitación de movimientos que impone una conexión física entre ordenador y robot, se establece la comunicación empleando un puente Bluetooth. Para ello se ha acoplado al robot una placa serie-Bluetooth. Hoy en día la mayoría de ordenadores incorporan ya una conexión inalámbrica Bluetooth y, de no ser el caso, puede acoplarse al ordenador un USB-Bluetooth.
- El ordenador del alumno se utiliza como núcleo de proceso del lenguaje de alto nivel.
- El laberinto, cámara de seguimiento y puertas asociadas para la ejecución del ABP forman el mundo del robot. El laberinto es controlado por el ordenador del profesor.
- Finalmente hay un canal de comunicaciones entre el ordenador del alumno/robot y el ordenador del profesor mediante un sistema de mensajería.
A nivel software:
- Entorno de programación a alto nivel, que reside en el PC y mediante el que se desarrolla la inteligencia del robot. En nuestro caso se trabaja con Python.
- Entorno de simulación asociado al robot, Myro/Pyro. Ambos entornos permiten realizar la simulación del modelo del robot y prever, de esta forma, su comportamiento. Con ello se flexibiliza la necesidad de comprobar continuamente en tiempo real el funcionamiento del robot.
- A bajo nivel, el entorno de simulación del microcontrolador en ensamblador. Puesto que se trabaja con los microcontroladores ATmega de Atmel se dispone del AVR Studio, en entorno preciso, elegante y fácil de emplear que permite actuar sobre todos los periféricos incluidos en el microcontrolador. Todas las simulaciones en ensamblador son realizadas con este entorno.
- El entorno de programación del microcontrolador. Existen distintas formas de programar los microcontroladores

ATmega. De forma simple, lo más fácil es emplear una programación serie (MISO) con el programador AVR-ISP que se conecta al puerto paralelo. También es posible realizar la programación empleando un programador serie o USB por el puerto JTAG del microcontrolador.

En la figura 1 se muestran los componentes principales que intervienen en el ABP.

4.3. Implementación del ABP

La realización de un ABP con ciertas garantías de éxito exige una dedicación constante al desarrollo de la materia, lo que implica que no se puede esperar que los alumnos consigan los resultados esperados si no tienen a mano el material para poder ir preparando las clases y el proyecto asociado.

En el proyecto existe una gran parte del material que no conlleva problema alguno en tanto que es material que se puede utilizar de forma libre a nivel docente. Se trata sobretodo del software. Python, MYRO/PYRO y AVR Studio son entornos de uso gratuito.

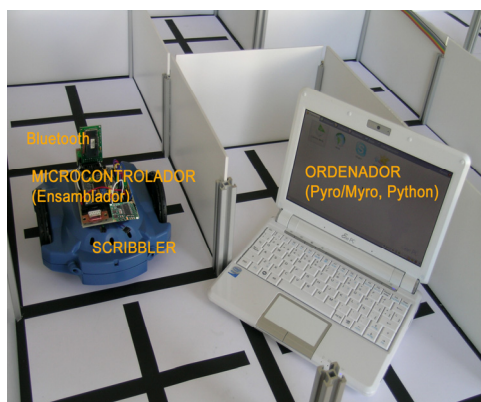


Figura 1. Componentes del proyecto ABP

Hoy en día la mayor parte de los estudiantes tienen ya un PC, ya sea un portátil o un PC en casa, por lo que el ordenador tampoco representa un problema serio para la realización del ABP.

Sin embargo, en la parte más hardware del proyecto la situación cambia: el robot y las placas de desarrollo del microcontrolador son elementos que deben ser provistos a los alumnos. Para ello se realiza un programa de cesión del material a los alumnos, de forma que ellos pueden trabajar con él en casa. Se entrega a los alumnos el robot Scribbler que se ha adquirido mediante ayudas al proyecto. Para el soporte más hardware (parte de fundamentos de computadores y para el compás magnético) que trabaja sobre el microcontrolador de Atmel se ha desarrollado una placa de expansión para la placa ET-AVR-Stamp[12] que permite al alumno trabajar con el microcontrolador de forma simple y con muy pocas conexiones externas.

Finalmente, y respecto al laberinto, éste forma parte de la práctica final en la que los robots deberán mostrar su pericia en movimientos e inteligencia para salir con rapidez del mismo.

La figura 2 muestra en un esquema las principales interacciones entre los distintos elementos del ABP.

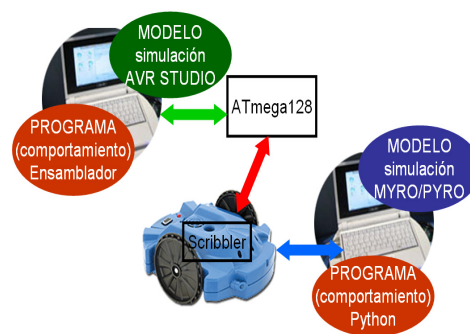


Figura 2. Interacción HW/SW en el proyecto

5. Contenidos y competencias desarrolladas en el ABP

La tabla 2 muestra un esquema entrelazado de los conocimientos y competencias previstas del ABP con robótica en primer curso de informática. En el ABP en robótica los alumnos no sólo adquieren todos los conocimientos

previstos en el plan de estudios sino que además los ejercitan sobre un proyecto real que incluye la adquisición de hábitos de trabajo en un tema multidisciplinar.

6. Conclusión

La robótica siempre ha sido una materia multidisciplinar que ha motivado a personas de todas las edades. Es precisamente esta motivación la que se busca mantener en el alumno que llega a la universidad. Con este objetivo el artículo ha presentado una experiencia sobre un ABP basado en robótica para el primer curso de la ingeniería informática que se imparte en la Universitat Autònoma de Barcelona.

Las ventajas que ofrece el desarrollo de un ABP adecuado a los estudiantes de primeros cursos son claras:

- Trabajan en el desarrollo de un proyecto común en las asignaturas de forma que pueden interactuar en cada etapa del mismo.
- Se unifica la dualidad hardware-software existente en la ingeniería informática. Se trabaja con el computador como plataforma

hardware y de programación.

- El ABP en robótica permite introducir todas las etapas de programación, desde el lenguaje máquina – ensamblador hasta el desarrollo de aplicaciones con lenguajes de alto nivel, Python en nuestro caso.
- Comprenden la programación en tiempo real y el uso del sistema operativo como temporizador de acciones.
- Muestra al alumno aspectos de ingeniería muy cercanos a la realidad

En contrapartida debe tenerse muy claro que un ABP implica:

- Una carga de trabajo muy importante por parte de los profesores involucrados en la planificación de las materias, en la secuenciación y cronología de materias impartidas y en el desarrollo de material concreto para llevar a cabo el ABP.
- Con respeto a los alumnos, hay que cuidar que la motivación introducida por el trabajo con robots no se convierta en un boomerang que se vuelva en contra por un exceso de conocimientos que deben adquirir durante el desarrollo del ABP. Se debe tener

Conocimientos	Método utilizado	Competencias
Máquina elemental: unidad de proceso, unidad de control Memoria Entrada/salida, interrupciones Periféricos Comunicaciones	Introducción teórica de los fundamentos de computadores Prácticas con ensamblador sobre el microcontrolador ATmega8/128 Comunicación robot - PC	Aprendizaje de los de fundamentos de computadores Desarrollo de programas con ensamblador Interacción robot-computador mediante RS232
Lenguajes de programación Estructuras básicas Desarrollo de algoritmos Estructuras de datos: listas, árboles, etc Abstracción, modularidad, interfases	Introducción teórica de los fundamentos de ciencia de la computación Prácticas con Python sobre entorno de simulación y robot Scribbler en el laberinto.	Aprendizaje de los fundamentos de ciencia de la computación Desarrollo de programas con lenguaje de alto nivel (Python)
Lógica booleanas Circuitos combinacionales Circuitos secuenciales	Prácticas con circuitos combinacionales y secuenciales (la parte teórica se ha visto previamente)	Saber conectar y trabajar con circuitos combinacionales y secuenciales
Teoría de circuitos básica Dispositivos	En las prácticas se trabaja con transductores de señal y pequeños dispositivos electrónicos.	
Sistemas operativos (introducción) Tiempo real (introducción)	Se introducen pequeños conceptos para comprender la ejecución de pequeñas tareas sobre el robot	Conocimiento del concepto de sistema operativo Trabajo en tiempo real
Abstracción, encapsulado e interfaz	Resolución de un problema de "gran complejidad" a partir de problemas de menor complejidad.	Desarrollo de aplicaciones a distintos niveles de abstracción del lenguaje y del hardware
Arquitecturas hardware-software	Problemas de hardware y software Grupos de dos alumnos	Multidisciplinar Trabajo en equipo

Tabla 2. Materias y contenidos básicos

especialmente en cuenta el grado de complejidad que se debe encapsular para que el nivel de exigencia sea el adecuado al curso. Por ejemplo: se debe proveer de los métodos adecuados para que el robot se desplace a una cierta velocidad y pueda efectuar giros de 90 grados con una determinada precisión. No obstante, se puede resaltar el grado de complejidad instando a realizar pequeñas pruebas con sus propios medios y comparar con la solución provista. Es decir, el robot debe ser un medio para poder transmitir mejor los conocimientos habituales de este curso e incorporar ciertas habilidades y competencias promoviendo una mayor motivación en los alumnos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria y l'Escola Tècnica en Informàtica de Sabadell el apoyo, la colaboración y la cofinanciación del proyecto. Asimismo también agradecen la ayuda obtenida de la Universitat Autònoma de Barcelona a cargo del presupuesto de Projectes d'Innovació Docent para llevar a cabo este proyecto de innovación.

Referencias

- [1] Aibo (Sony). <http://support.sony-europe.com/aibo/>
- [2] Burhans D.T. *A Robotics Introduction to Computer Science*. ACM SIGCSE Bulletin. v. 32 n. 3, p. 148-151.
- [3] Fagin B., Merkle L.. *Measuring the effectiveness of robots in teaching computer science*. SIGCSE Bulletin, vol 35. 2003 pp 307-311.
- [4] Fagin B., Merkle L. *Quantitative ananalysis of the effects of robots in introductory Computer Science education*. Journal on education and Resource computing, vol 2. 2002. pp 1-17.
- [5] Gennert M.A. *A Robotics Engineering Major*. Workshop on Research in Robots for Education. Georgia Tech. June 2007.
- [6] Kumar D. *Learning Computing with Robotics*. Institute for Personal Robots in Education (IPRE - <http://www.roboteducation.org>). Fall 2008.
- [7] Lego Mindstorms. http://mindstorms.lego.com/eng/Bangkok_dest/Default.aspx
- [8] Myro. <http://wiki.roboteducation.org/Myro>
- [9] Patis R.E., Roberts J., Stehlik M.. *Karel the Robot: A Gentle Introduction to The Art of Programming*. John Wiley & Sons. 1995.
- [10] Python Robotics. <http://pyrorobotics.org/>
- [11] Scribbler. <http://www.parallax.com/tabid/455/Default.aspx>
- [12] Futurlec: <http://www.futurlec.com>