



IV JORNADAS DE INNOVACIÓN EDUCATIVA Y ENSEÑANZA VIRTUAL EN LA  
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

**INNOVACIÓN EN LAS ASIGNATURAS RELATIVAS A SISTEMAS DE  
CONTROL MEDIANTE ROBOTS LEGO MINDSTORMS NXT**

**Ana Cruz Martín, Juan Antonio Fdez. Madrigal, Cipriano Galindo, Javier González,  
Charbel Stockmans, José Luis Blanco Claraco**

*E.T.S.I. Telecomunicación, E.T.S.I. Informática*

{anacm,jafma,cipriano,jgonzalez,jlblanco}@ctima.uma.es, cstockmans@gmail.com

**TEMA/PROBLEMA**

Este Proyecto de Innovación Educativa ha consistido en el diseño, desarrollo y aplicación de una batería de prácticas, basadas en los robots LEGO Mindstorms NXT (LEGO MINDSTORMS NXT, 2010) -junto con el diseño de actividades de trabajo colaborativo, y una serie de herramientas auxiliares- para la docencia de asignaturas relacionadas con el Control de Sistemas (Nise, 2000) impartidas por el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática en titulaciones de las E.T.S.I. Informática y E.T.S.I. Telecomunicación.

**PALABRAS CLAVE**

Sistemas de Control, Robots, LEGO, Trabajo Colaborativo

**CONTEXTO**

Las asignaturas en las que se ha aplicado el PIE se recogen en la Tabla 1 (el nº de alumnos se refiere a los datos de matriculados tomados de la aplicación AlfilWeb de la UMA para el curso 2009/2010):

<b>Asignatura</b>	<b>Créditos</b>	<b>Situación Curricular</b>	<b>Alumnos (2009-2010)</b>
Laboratorio de Sistemas de Control (LSC)	4,5	Obligatoria de 3º curso de Ingeniería Técnica en Telecomunicación, esp. Sistemas Electrónicos	43
Control por Computador (CC)	6	Optativa de 2º ciclo de la titulación Ingeniería en Informática	2
Sistemas de Control y Adquisición de Datos	9	Optativa de 1º ciclo de las titulaciones Ingeniería en Informática, Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas e Ingeniería Técnica en Informática de	9

(SCAD)		Gestión	
Sistemas en Tiempo Real (STR)	4,5	Obligatoria de 3º curso de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas.	218

Tabla 1. Asignaturas involucradas en el PIE

Las características de los alumnos son relativamente homogéneas: tienen cierta experiencia (2º o 3º) y son carreras relacionadas. La única diferencia notable entre alumnos es su número: la asignatura STR tiene un número importante de alumnos matriculados, que ha obligado a crear varios turnos de laboratorio.

La docencia se ha impartido en el laboratorio 2.1.5 del Complejo Tecnológico, que dispone de 24 puestos con un PC. Se han empleado 10 robots NXT; en todas las asignaturas los alumnos han trabajado en grupos de 2 ó 3 personas.

En este punto querríamos agradecer al PIE, la E.T.S.I. Informática, y el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática su apoyo financiero al desarrollo de este Proyecto.

## OBJETIVOS

Los objetivos perseguidos se han planteado desde dos puntos de vista: por un lado, mejorar la calidad de la enseñanza y la participación en las asignaturas relativas al Control que impartimos; por otro, hemos investigado acerca de varios aspectos en el ámbito de nuestra práctica docente, como la respuesta del alumnado ante prácticas con robots reales o ante metodologías docentes aún poco extendidas (wikis, etc.), junto con el comportamiento de los NXT en diferentes entornos docentes.

## DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Los objetivos globales de este PIE se han concretado en los siguientes puntos:

- Trabajo previo durante el curso 2008-2009. En ese curso se prepararon los elementos básicos del PIE, que serían aplicados plenamente durante el curso 2009-2010.
- Diseño, desarrollo, y aplicación de prácticas sobre temas de control por computador para diferentes asignaturas. Para las asignaturas de Laboratorio de Sistemas de Control y Sistemas de Control y Adquisición de Datos se han desarrollado diferentes prácticas en lenguaje NXC sobre el entorno gratuito de programación Bricx Command Center (Bricx Command Center, 2010); de esta forma, sin necesidad de modificar el firmware del robot, se logra que los alumnos puedan programarlo en un lenguaje similar a C, lo que les facilita la tarea. Para la asignatura de Control por Computador, con un número de alumnos muy reducido, se ha investigado el uso y comportamiento del NXT en una plataforma de programación diferente del lenguaje NXC, ampliando así también el conocimiento del grupo de profesores sobre la programación de este robot educativo. Finalmente, y aunque en principio aparecía contemplada como una ampliación futura del PIE debido al elevado número de alumnos de la asignatura, se ha podido incluir Sistemas en Tiempo Real dentro del desarrollo del mismo; para ello se han diseñado tres sesiones de laboratorio con los LEGO y NXC que se han ofertado como trabajo voluntario a los alumnos de la asignatura que lo han solicitado. Las ventajas de la utilización de los robots en esta asignatura han sido tres:

- en primer lugar, comparado con cursos anteriores, se han podido atender a muchos más alumnos que deseaban hacer estos trabajos voluntarios;
  - en segundo lugar, los profesores hemos podido comprobar cómo organizar el trabajo con los LEGO NXT en asignaturas muy numerosas;
  - finalmente, hemos comprobado que el uso de los robots produce resultados positivos en asignaturas no estrictamente asociadas al campo de la Ingeniería de Control.
- Creación del material necesario para el desarrollo de las prácticas: enunciados de las prácticas, búsqueda de referencias bibliográficas (diferentes manuales de uso del robot y de su programación en NXC) y referencias web. Todo este material ha estado a disposición de los alumnos en las webs de las asignaturas dentro del Campus Virtual (Campus Virtual de la UMA, 2010).
- Diseño y creación de los elementos de aprendizaje autónomo y trabajo colaborativo entre alumnos. Las herramientas utilizadas han sido foros, glosarios y wikis, aunque dependiendo de la asignatura su uso ha sido más o menos amplio, y con una orientación distinta.
- Diseño de los mecanismos de evaluación necesarios para conocer la valoración que del Proyecto tienen tanto los alumnos como los profesores involucrados. La respuesta del alumnado viene dada fundamentalmente por encuestas anónimas, en las que pueden plasmar su opinión acerca de sus conocimientos, de su avance, y del planteamiento de la asignatura. Por otra parte, la respuesta del profesorado se ha obtenido mediante cuestionarios tras la finalización de los dos cursos que abarca el PIE, el contacto continuado durante el curso, y reuniones específicas de trabajo.
- Diseño y creación de un repositorio web de prácticas para esta plataforma robótica. Dicho repositorio incluye todas las prácticas o trabajos voluntarios que se han creado durante los dos cursos que ha abarcado el Proyecto de Innovación Educativa.

## **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Los resultados docentes han sido muy satisfactorios. Desde la perspectiva de los alumnos, obtenida a partir de las encuestas anónimas de evaluación en diferentes momentos del curso, éstos se muestran satisfechos con el uso de los robots y no han tenido graves problemas para adaptarse a ellos. Desde nuestra visión como profesores, la experiencia también ha sido buena, pero detectamos dificultades en el alumnado al relacionar los conceptos teóricos aprendidos con los resultados prácticos que se obtienen al trabajar con los robots, por lo que continuaremos haciendo hincapié en ello, así como en evitar que los alumnos se centren en la parte lúdica del uso del NXT y no en el aprendizaje de la Ingeniería de Control. Tanto alumnos como profesores hemos experimentado la opción de realizar trabajos colaborativos en algunas de las asignaturas, que incluso se han utilizado como mecanismos de evaluación con mayor o menor peso.

Los resultados estadísticos de este PIE, mucho más ampliados puesto que se han pasado encuestas de evaluación (al inicio y/o final de curso) bastante extensas a los alumnos, pueden encontrarse en su memoria final (Cruz-Martín et al, 2010). De manera general, podemos decir que los resultados son positivos en términos de mejora en aspectos relativos al lenguaje C, sistemas empujados y sistemas robóticos, y que los alumnos se encuentran satisfechos con la utilización de los robots y el material suministrado. Respecto a la mejora de las calificaciones, no se han hecho estudios concretos, aunque sí se ha observado que en la asignatura de Sistemas en Tiempo Real, se ha producido un aumento de un 300% en el número de alumnos que han

podido realizar un trabajo voluntario basado en el NXT; además, las probabilidades de aprobar o suspender sin haber realizado dicho trabajo son del 23.53% y 76.47% respectivamente (es decir, sin realizar el trabajo, aprobar es complicado y suspender más probable)

Por otra parte, el trabajo en las asignaturas con los LEGO ha despertado el interés de algunos alumnos para realizar el Proyecto Fin de Carrera con esta plataforma, y actualmente hay seis proyectandos usándola: dos de ellos usaron el robot en el Taller Voluntario del curso 2008-2009, uno de ellos ha cursado LSC este año, otro ha realizado los trabajos voluntarios de STR en el presente curso, y el alumno colaborador del Proyecto de Innovación Educativa también va a basarse en el LEGO para su PFC. Por tanto, podemos extraer la conclusión de que el MINDSTORMS NXT, desde el punto de vista docente, atrae a los alumnos, y desde el punto de vista logístico, es un material que se amortiza no sólo para las asignaturas, sino también para los Proyectos Fin de Carrera o incluso para tareas de investigación.

La elección del LEGO Mindstorms NXT como plataforma hardware para el PIE estuvo basada en sus características y en el conocimiento previo de sus versiones anteriores: precio reducido, facilidad de uso, diferentes opciones de programación y la variedad de sensores incluidos en el kit básico. Para valorar completamente los resultados del Proyecto, hemos analizado el comportamiento del NXT en condiciones de trabajo reales para determinar si se ha ajustado a las expectativas iniciales. La conclusión es que las ventajas del NXT son superiores a sus inconvenientes, y por ello es una plataforma adecuada para el desarrollo de las prácticas que hemos planteado.

Los resultados del Proyecto de Innovación Educativa se han materializado en los siguientes puntos:

- a) Prácticas preparadas: se han preparado un total de 14 prácticas/trabajos para las cuatro asignaturas que finalmente han intervenido en el PIE. Estas prácticas pueden descargarse del repositorio de prácticas que se presenta a continuación.
- b) Repositorio de prácticas: se encuentra accesible en la dirección <http://babel.isa.uma.es/anacm/pie09ana/accesoPIE.php>. Se ha desarrollado sobre una plataforma PHP + MySQL, ambas gratuitas. La funcionalidad básica implantada permite el acceso al repositorio a usuarios identificados, la subida de prácticas, y la búsqueda de prácticas, que actualmente muestra un listado de todas las prácticas subidas hasta el momento, permitiendo su descarga. El uso del mismo durante el curso 2009-2010 ha sido escaso, ya que estuvo listo cuando la mayor parte de las asignaturas habían finalizado, por lo que el intercambio de prácticas se realizó por otros medios. En un futuro, el repositorio de prácticas podría mejorarse con nuevas funcionalidades.
- c) Wiki LEGO NXT AND CONTROL SYSTEMS TEACHING, accesible en la dirección <http://nxtpie.wikispaces.com>. En esta wiki, que se proporciona a los alumnos como material de las asignaturas, los profesores participantes en el PIE hemos volcado el conocimiento que hemos ido acumulando y que puede resultar interesante para los alumnos en su trabajo con el NXT. La evolución de las visitas únicas mes a mes muestra una tendencia positiva en el último año, y proceden de todas las partes del mundo.
- d) Publicaciones: este PIE ha dado lugar a dos publicaciones en congreso internacional:
  - i. **A. Cruz Martín, J.A. Fernández Madrigal. Using LEGO Mindstorms NXT robots for Control Systems Courses in Undergraduate Engineering Programs.** International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI 2009), Madrid, 16-18 Noviembre 2009.

- ii. *J.A. Fernández Madrigal, A. Cruz Martín. An Evaluation System based on Students Collaborative Work through a Wiki for Engineering Courses.* International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI 2009), Madrid, 16-18 Noviembre 2009.
- e) Canal en la plataforma YouTube: se ha preparado un canal para el PIE accesible en la dirección <http://www.youtube.com/user/nxtpietube>, como repositorio de vídeos de las diferentes actividades que se vayan desarrollando.
- f) Participación en la exposición Nuevos Esclavos Cibernéticos: esta exposición pertenece al ciclo *Ventana a la Ciencia* del Parque de las Ciencias de Granada, que durante el mes de Abril de 2010 (9 de Abril – 4 de Mayo) se dedicó a la investigación sobre robótica realizada por el Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática y el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Málaga. Los participantes en este PIE presentaron, como ejemplo de robótica educativa dentro del trabajo global de cada departamento, un seguidor de líneas basado en un controlador PID, que ha dado lugar a una de las prácticas incluidas en el repositorio del PIE. La inauguración de esta exposición tuvo cierta repercusión en los medios (La Opinión de Granada, 2010).

## BIBLIOGRAFÍA

- BRICX COMMAND CENTER (2010). <http://bricxcc.sourceforge.net/>
- CAMPUS VIRTUAL DE LA UMA (2010). <http://www.campusvirtual.cv.uma.es/>
- CRUZ-MARTÍN, A., FERNÁNDEZ-MADRIGAL J. A., GALINDO C., GONZÁLEZ J., STOCKMANS DAOU C. (2010). Memoria Final del Proyecto de Innovación Educativa “Innovación en las asignaturas relativas a Sistemas de Control mediante robots LEGO MINDSTORMS NXT”.
- LEGO MINDSTORMS NXT (2010). <http://mindstorms.lego.com/>
- NISE, N. S. (2000). *Control Systems Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- LA OPINIÓN DE GRANADA (2010). El lado humano de los robots. <http://www.laopiniondegranada.es/granada/2010/04/10/granada-lado-humano-robots/184559.html>