

# **Uso conjunto de la plataforma LEGO MINDSTORMS NXT y metodologías PBL en Informática Industrial**

**Isidro Calvo Gorka Perianez**  
**Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática**  
**Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz**  
**UPV/EHU**

**Resumen:** La implantación del EEES requiere la adopción de nuevas metodologías que consigan una mayor implicación de los alumnos en el proceso de aprendizaje. En este escenario, ciertas metodologías conocidas bajo el nombre de *Problem Based Learning* y *Project Based Learning* están ganando mayor aceptación. Básicamente, estas metodologías requieren la formulación de un problema, cercano a los alumnos de forma que al resolverlo éstos adquieran las competencias propias de las materias a estudiar. Sin embargo, en entornos científicos y tecnológicos normalmente estas metodologías requieren el uso de equipamientos que normalmente resultan caros. En el presente artículo se analiza el potencial de los robots LEGO MINDSTORMS NXT para proponer casos de estudio que permitan implantar las metodologías anteriores en la docencia de los estudios de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial, de la E.U.I. de Vitoria.

**Laburpena:** EUE-ren ezarpena, metodologia berriak erabiltzea behartzen du ikasleen inplikazioa handitu dadin euren ikasketa-prozesuan. Esparru honetan, *Problem Based Learning* eta *Project Based Learning* deituriko metodologiek indarra hartzen ari dute. Oinarrian, metodologia hauek buruketa bat planteatzea errekeritzen dute, ikasleen hurbil dagoena, horrela ikasleek ikasi behar duten gaien konpetentziak eskuratu ditzaten. Hala ere, inguru zientifiko eta teknologikoetan, normalean metodologia hauen ezarpena ekipamendu garestien erabilpena dakar. Artikulu honetan, LEGO MINDSTORMS NXT roboten potentziala aztertzen da ikerketa kasuak proposatzeko, zeinetan lehen aipaturiko metodologiak ezarri daitezke Ingeniaritza Tekniko Industrialean, Elektronika Industrial espezialitatean, Gasteizko Ingeniaritzako Unibertsitate Eskolan.

**Palabras clave:** Aprendizaje basado en proyectos (PBL), Didáctica de la programación, Enseñanza de Robótica, Robots LEGO MINDSTORMS

## ***Introducción***

Los alumnos de Ingeniería Electrónica requieren la adquisición de sólidas competencias en informática industrial. Estas competencias, que incluyen ciertas materias como son la programación en lenguajes de alto nivel, el diseño de sistemas empotrados que interactúan con el medio o las comunicaciones industriales,

normalmente se adquieren en el laboratorio a base de programar ejercicios sencillos sobre PCs en algún lenguaje de programación de alto nivel (C, Java, Ada, ...) de forma que o bien se simulan los sistemas finales (sensores, actuadores, tarjetas de adquisición, ...) o bien se utilizan unos equipos normalmente caros y frecuentemente complejos de utilizar.

A pesar de que inicialmente se propuso como un juego de robótica, la plataforma LEGO MINDSTORMS (Ver [Wikipedia](#)) ha ido adquiriendo un interés creciente en entornos educativos a diferentes niveles. Por ejemplo, Butler y Martin (2001) analizan esta plataforma para impulsar el desarrollo de habilidades tecnológicas entre los alumnos y profesores de educación primaria de Irlanda usando técnicas de aprendizaje basado en proyectos. Por su parte, Atmatzidou y otros (2008) investigan la efectividad de usar LEGO Mindstorms como herramienta para introducir a los alumnos de primaria y secundaria los conceptos básicos de programación a través de actividades lúdicas. También en enseñanza secundaria, Moundridou y Kalinoglou (2008), describen un estudio empírico relativo al uso de la plataforma Lego Mindstorms en enseñanza secundaria en el campo de ingeniería mecánica. Sin embargo, es en entornos universitarios donde esta plataforma está ganando más aceptación debido a que proporciona una plataforma potente y de coste reducido para ilustrar conocimientos de diferentes áreas de conocimiento. Sólo por mencionar algunos autores, Gómez de Gabriel y otros (2010), describen cómo utilizan la plataforma LEGO para desarrollar competencias en mecatrónica en la enseñanza universitaria de grado. Otros autores la usan para desarrollar competencias en programación en diferentes lenguajes de programación, tanto a nivel básico (Gandy, E.A, 2010) como avanzado (Lew y otros, 2010).

El presente artículo analiza el potencial del kit LEGO MINDSTORMS NXT (<http://mindstorms.lego.com/>) para ser utilizado como plataforma de bajo coste que permita a los alumnos adquirir las competencias relativas a informática industrial dentro de los estudios de Ingeniería Electrónica. Para ello, se compara con otras plataformas similares y se analizan algunas de las diferentes herramientas de programación disponibles sobre LEGO MINDSTORMS. Además, se describe cómo está siendo utilizado en la asignatura de Ampliación de Informática Industrial de los estudios de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial de la E.U.I. de

Vitoria-Gasteiz. Concretamente, se utiliza de acuerdo a la metodología *Project Based Learning (PBL)* para proponer a los alumnos pequeños proyectos donde experimenten la problemática habitual del desarrollo de aplicaciones empotradas. De hecho, como se verá la plataforma LEGO proporciona un entorno de trabajo muy rico con el que además de trabajar las competencias específicas relativas a las asignaturas de informática industrial resulta valioso para trabajar competencias de otras materias como Instrumentación Electrónica, Control Automático, Robótica o Mecatrónica.

### ***Un poco de historia***

La plataforma LEGO MINDSTORMS es un juego de robótica desarrollado por la compañía LEGO en colaboración con el MIT (Massachusetts Institute of Technology). El kit básico proporciona los elementos básicos (sensores, servos y partes mecánicas) para construir robots sencillos.

De la colaboración entre LEGO y el MIT salieron diversos productos que no funcionaron, en gran medida debido a que la programación de estos productos debía hacerse en computadoras, y a principios de los años 90 las computadoras no estaban al alcance de cualquier usuario.

A finales de los años 90, cuando se generalizó el acceso a las computadoras, LEGO sacó al mercado un nuevo producto. Este producto fue el Robotics Invention System (RIS) y se convirtió en la primera versión de la línea de productos LEGO MINDSTORMS. Salió al mercado en 1998, y contaba con un bloque o ladrillo (brick en inglés) con un microcontrolador de 8 bits (Hitachi H8/3000) sobre el que se ejecutaban los programas que hacían que el robot interactuase con el entorno. El nombre de este primer bloque fue RCX. El kit RIS estaba compuesto por el bloque RCX, sensores y actuadores así como piezas estándares de LEGO que permitían la creación de un gran número de estructuras. También incluía un software de programación para crear programas de ejecución.

En 2006 salió al mercado el producto LEGO MINDSTORMS NXT en sustitución del kit RIS. Este nuevo producto era totalmente distinto en apariencia y prestaciones. El nuevo bloque se comercializó bajo el nombre de NXT. Las prestaciones que ofrecía eran mayores: USB, Bluetooth, LCD más grande, microcontrolador de 32

bits (con mayor capacidad de cómputo), etc. Además, se incorporaron nuevos sensores más precisos y motores más potentes.

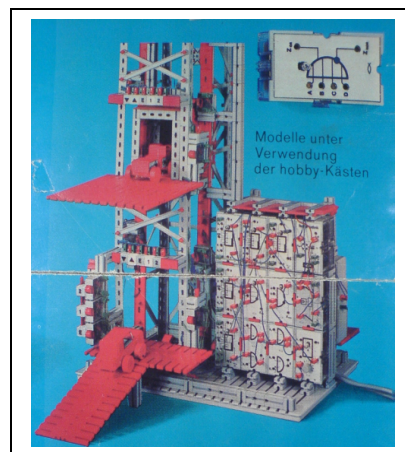
Desde 2009, LEGO comercializa una nueva versión, el LEGO MINDSTORMS NXT 2.0. Este modelo ofrece las mismas características que el modelo anterior pero con algunas mejoras en cuanto al software y sensores.

### **Otras plataformas similares**

El fabricante LEGO no es el único vendedor que comercializa plataformas de desarrollo de robots. Existen diversas compañías que ofertan plataformas similares a LEGO MINDSTORMS NXT. A continuación se analizan algunas de estas plataformas :

#### **fischertechnik**

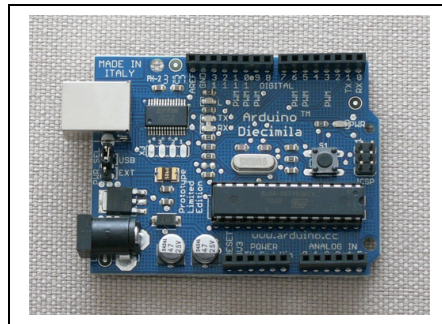
Es una plataforma con la que es posible construir modelos robustos y realistas de máquinas, robots, etc. gracias a sus magníficas piezas y su microcontrolador (<http://www.fischertechnik.de/en/>). Está dirigido a usuarios que deseen realizar modelos de funcionamiento de máquinas, aunque también puede ser utilizado por personas que deseen realizar robots. Su programación se realiza con el software ROBO Pro-Software que es proporcionado por el fabricante al comprar el producto. Posee un microcontrolador de 16 bits, entradas y salidas USB y puerto serie y conexiones para sensores y actuadores. Se trata de una excelente plataforma que sin embargo tiene un coste elevado y presenta cierta complejidad de uso.



**Figura 1: Máquina creada con fishertechnik**

**Arduino**

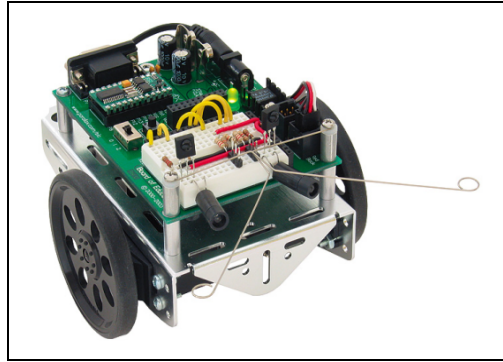
Arduino es una plataforma de hardware libre basada en una sencilla placa con entradas y salidas y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring. Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado al software del PC. Es posible adquirir la placa y los componentes por separado o también ensamblados. A la placa se le pueden añadir sensores y actuadores gracias a las entradas y salidas que dispone (RS232, USB, I<sup>2</sup>C, Bluetooth, etc.). El microchip que posee es de 8 bits. El entorno de desarrollo integrado se puede descargar gratuitamente desde la página web de Arduino (<http://www.arduino.cc/>). Está orientado a usuarios iniciados en el mundo de la electrónica y la programación. Su coste puede oscilar mucho en función de los componentes adquiridos.



**Figura 2: Placa del kit Arduino**

### **Parallax**

Es una empresa (<http://www.parallax.com/>) que posee un amplio abanico de productos relacionados con el mundo de la robótica. Entre ellos cabe destacar “Home BOE-Bot” que es un robot muy similar al LEGO MINDSTORMS NXT en cuanto a la funcionalidad. Bajo la referencia "HOMEBOEBOT" se proporcionan todos los componentes necesarios para construir un completo microbot móvil sin la necesidad de contar con grandes conocimientos técnicos sobre microcontroladores. El microbot “Home BOE-Bot” consiste fundamentalmente en una estructura motriz que se gobierna mediante la tarjeta “Home Work” de Parallax, la cual incluye un potente microcontrolador “BasicStamp 2”. En la siguiente figura se puede observar:



**Figura 3: Robot móvil Parallax**

Una de las ventajas de este microbot radica en su reducido precio. También posee un excelente tutorial y bibliografía que facilitan su programación. Su programación se realiza con “PBASIC”, un lenguaje de alto nivel basado en el lenguaje "Basic".

### **SR1**

Es un robot multifuncional dirigido a aquellos entusiastas y aficionados a la robótica que quieran aprender y profundizar en la construcción de robots móviles (<http://www.superrobotica.com/S300010.htm>). Se trata de un kit de sencillo montaje que permite realizar complejos de diferente complejidad. El kit incluye un chasis sobre el que se montan la placa de control, los sensores y el sistema motriz (consistente en dos ruedas con tracción y otra libre).



**Figura 4: Robot móvil SR1**

### **Robotis Bioloid**

Es una plataforma robotica similar a LEGO Mindstorms NXT construida con tecnología inteligente servo-controlada. Está compuesto por un controlador,

servomotores, sensores de proximidad y luminosidad frontal y lateral, un micrófono y un pequeño altavoz.



**Figura 5: Robot Robotis Bioloid**

El controlador contiene un microcontrolador 16 MHz con 128 KBytes de memoria flash, con puerto serie RS-232, comunicación inalámbrica y botones para su control. Es posible programar el controlador en lenguaje C mediante el compilador GNU GCC WinAVR. Los actuadores tienen un microcontrolador capaz de procesar 50 comandos, la mayoría de los cuales fijan o leen parámetros que definen su comportamiento (posición actual, la corriente consumida, o la variación de la temperatura del servo con la carga aplicada en el mismo), lo que permite control retroalimentado sofisticado controlando el par que soporta cada articulación del robot. Esto tiene aplicaciones por ejemplo en los robots bípedos, ya que sin necesidad de inclinómetros o acelerómetros, se pueden conseguir efectos de equilibrio.

### **RoboBuilder**

RoboBuilder está basado en bloques reutilizables, que se caracterizan por ser fáciles de conectar y ensamblar mecánicamente entre sí con múltiples configuraciones y orientaciones. Esta plataforma incluye funcionalidades avanzadas no incluidas en otras plataformas como son: controles PID, detección de objetos, detección de sonido, control remoto por infrarojos, y comunicaciones Bluetooth y via serie.





**Figura 5: Robot Robotis Bioloid**

Los actuadores de la plataforma proporcionan realimentación de velocidad, posición y par. Cada actuador se puede programar con los límites de estas variables, además, los PID utilizados son totalmente parametrizables. Con un simple comando, los actuadores se pueden conmutar entre control angular (servo) al modo de rotación continua (motor DC), permitiendo ensamblar articulaciones y ruedas con los mismos módulos actuadores.

La programación se puede realizar mediante el software proporcionado por RoboBuilder y en programación en C. Este último es el más indicado para los usuarios más avanzados.

### ***Principales características de la plataforma LEGO NXT***

El kit básico de LEGO MINDSTORMS NXT está compuesto (Ver figura 5) por un controlador, cuatro sensores (ultrasonidos, contacto, micrófono y luz), tres servomotores y un conjunto de piezas para crear estructuras mecánicas compatibles con las de otros productos LEGO.





**Figura 5: Bloque NXT, sensores y actuadores.**

El controlador, bloque NXT o brick, contiene una CPU con capacidad de ejecutar programas de diferente complejidad. Concretamente, cuenta con un microprocesador Atmel ARM7 de 32 bits a 48 MHz. Se trata de un microprocesador utilizado extensivamente en electrónica de consumo (PDAs, teléfonos móviles, reproductores digitales multimedia,...) así como en otras aplicaciones empotradas como por ejemplo en la industria del automóvil. Además, la plataforma cuenta con un coprocesador, Atmel AVR de 8 bits, y con una memoria Flash de 256 KB y una memoria RAM de 64 KB. Con respecto a las comunicaciones, el controlador soporta tanto comunicaciones inalámbricas con Bluetooth (especificación v2.0 EDR) como comunicación por cable usando tecnología USB (estándar 2.0) que soportan tasas de transferencia de datos de hasta 2.1 y 12 Mbits/s respectivamente. El bloque NXT cuenta también con 4 puertos de entrada con conexión RJ12 (conector telefónico de 6 hilos), que permiten conectar sensores tanto digitales como analógicos y 3 puertos de salida RJ12 que se utilizan para conectar diferentes tipos de actuadores, normalmente servomotores. Además, el controlador cuenta con una pantalla LCD gráfica de 100x64 píxeles que se puede utilizar en modo gráfico para dibujar figuras, un altavoz con un canal de sonido con 8 bits de resolución capaz de generar tonos en el rango de 2 a 16 KHz y 4 botones que permiten interactuar con el bloque NXT.

A pesar de que el kit básico de LEGO sólo cuenta con cuatro sensores que miden luminosidad, volumen sonoro, ultrasonidos y un sensor de contacto, existe una amplia gama de sensores compatibles con la plataforma LEGO que miden muchas más variables: Aceleración, inclinación, posición (GPS), dirección (brújula), giróscopo, presión atmosférica, presión neumática, temperatura, magnitudes eléctricas (tensión,

corriente, conductividad), magnitudes químicas (pH, salinidad, etc.) y muchas más. Dos de los suministradores más frecuentes de estos sensores son HiTechnic (<http://www.hitechnic.com/>) y MindSensors (<http://www.mindsensors.com/>), que no sólo ofertan sensores sino otros componentes compatibles con la plataforma LEGO MINDSTORMS. También existe un adaptador para conectar sensores Vernier (<http://www.vernier.com/probes/>) que amplía aún más el rango de sensores disponibles para medir magnitudes con la plataforma LEGO.

Con respecto a los actuadores, además de los motores suministrados con el kit básico, existen diferentes tipos de motores como motores lineales, etc.

### ***Herramientas de programación***

Existe una gran diversidad de entornos de programación que permiten construir programas para los robots LEGO MINDSTORMS en diferentes lenguajes de programación. Un buen punto de partida para seleccionar el lenguaje y el entorno de una extensiva y actualizada lista puede ser la Wikipedia (Ver [Lego Mindstorms](#)). Como se puede observar en esa lista, existen herramientas para programar los controladores en prácticamente cualquier lenguaje de alto nivel, incluyendo algunos de los más extendidos: C, C++, Java, Ada, .NET (C#, Visual Basic), LabVIEW, Python, Ruby, MATLAB, etc. Además, existen lenguajes de programación específicos que están basados en lenguajes de programación estándar y que añaden algunas características específicas facilitando la programación de los controladores. Entre estos lenguajes de programación predominan los lenguajes textuales NQC, NXC y RobotC, basados en código C y NXT-G que se trata de un lenguaje de programación gráfico basado en LabVIEW.

Además, de la amplia gama de lenguajes de programación disponibles, una característica importante de la programación de los robots LEGO es la gran cantidad y calidad de entornos de programación disponibles. En muchos casos, se pueden programar los robots LEGO desde entornos que se utilizan a nivel profesional, como Visual Studio .NET, Eclipse, LabVIEW o muchos de los entornos que soporten el compilador y herramientas GCC. La programación con estos entornos de programación se realiza desde un PC con Windows / Linux desde donde se utilizan herramientas para

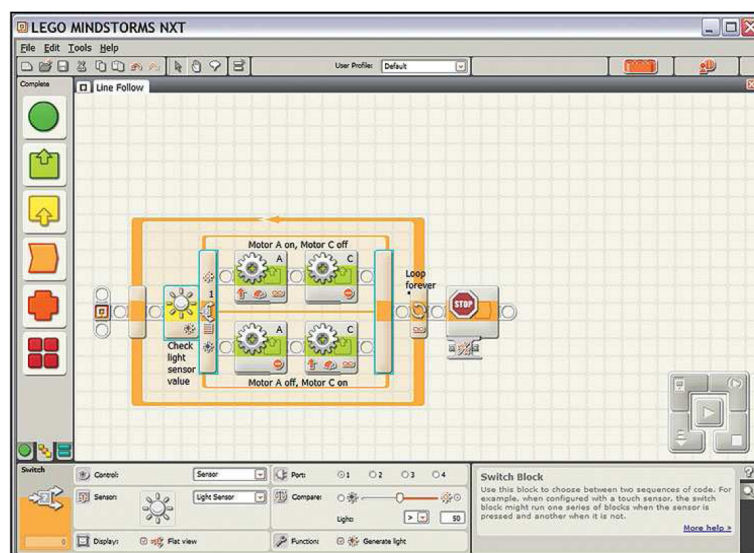
crear los programas, cargarlos en la CPU e, incluso en algunos casos, se permite depurarlos.

Por último otra característica interesante es la portabilidad de plataformas industriales, como OSEK, originariamente diseñado para proporcionar una arquitectura estándar de software para las diferentes ECUs del automóvil, a las CPUs LEGO Mindstorms. Esta plataforma, que se conoce con el nombre de nxtOSEK incluye el sistema operativo, una pila de comunicaciones y un protocolo para la administración de redes, proporciona un sistema operativo de tiempo real que gestiona el funcionamiento del dispositivo en el que está implantado. Para ello dispone de estas herramientas: tareas, eventos, alarmas, etc. Un entorno de este tipo resulta especialmente interesante para la enseñanza de conceptos avanzados de programación orientados a las áreas de los dispositivos empotrados y comunicaciones.

A continuación se analizan las principales características de algunas plataformas de programación especialmente relevantes.

### **NXT-G**

Este es el software comercial de LEGO MINDSTORMS NXT. Está basado en el motor de LabVIEW de National Instruments.



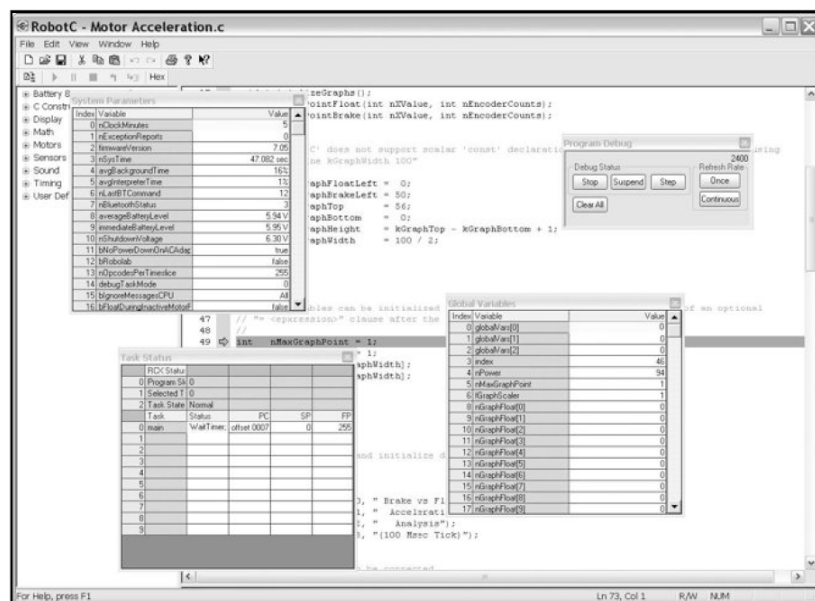
**Figura 6: Programación con NXT-G.**

Se trata de un software propietario con una programación gráfica en el que la programación se realiza conectando bloques en secuencia. Como se puede ver en la

figura 6, los bloques son insertados en una ventana y entrelazados entre sí, obteniendo secuencias de comandos que el robot realizará. Se trata de un entorno sencillo que oferta LEGO que puede ser utilizado desde las primeras etapas educativas.

## RobotC

Este es un software dirigido a la educación, desarrollado por Robotics Academy, que permite programar en C. Es un software comercial de LEGO MINDSTORMS NXT. La programación es textual y su entorno es propietario. El entorno está bastante trabajado y además de las herramientas habituales (editor, gestión de ficheros, etc.) proporciona herramientas avanzadas para la generación de código cruzado como por ejemplo ventanas de visualización, en tiempo real, de los valores que ofrecen los sensores y actuadores del robot. La principal ventaja es que permite reaprovechar lo aprendido dado que el lenguaje C está muy extendido. RobotC puede utilizarse con el mismo firmware que NXT-G o con otro suministrado por LEGO más eficiente.

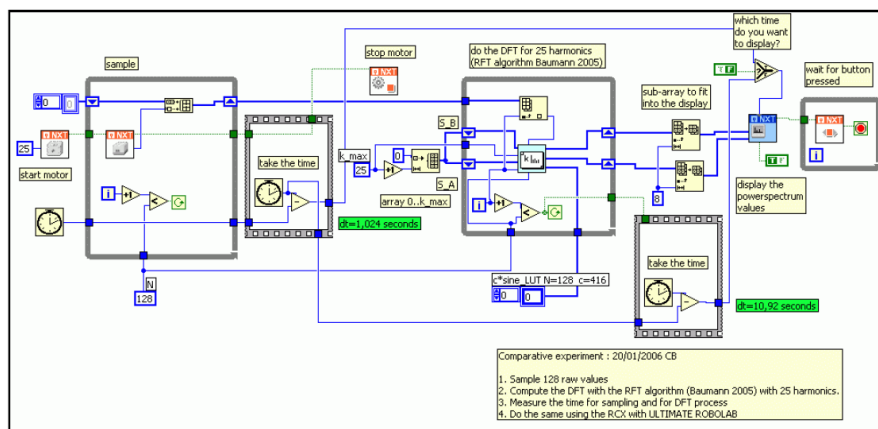


**Figura 7: Programación con RobotC.**

## LabView Toolkit

Es un software de programación gráfica y posee un entorno propietario. Es posible programar el NXT directamente desde LabVIEW con el LabVIEW Toolkit for LEGO MINDSTORMS NXT, disponible en <http://www.ni.com/academic/mindstorms/>. Éste es un software cada vez más extendido en entornos científicos y de ingeniería para

realizar tareas de adquisición de datos y control, con lo que su uso es directamente reaprovechado por los alumnos. Permite una programación mucho más avanzada que con NXT-G, además, con el LabVIEW Toolkit for LEGO MINDSTORMS NXT es posible desarrollar nuevos bloques de programación para NXT-G. En caso de no disponer de Labview, la empresa propietaria, National Instruments (<http://www.ni.com/>), facilita la obtención del software LabVIEW 7.1 versión estudiante en modo gratuito, aunque esta licencia está limitada al uso como software de desarrollo para NXT. Existen diversas guías y tutoriales para aprender a programar los Legos en este lenguaje, por ejemplo, Gasperi, M, (2009) es un buen libro. La figura 8 muestra el aspecto de este entorno de programación.

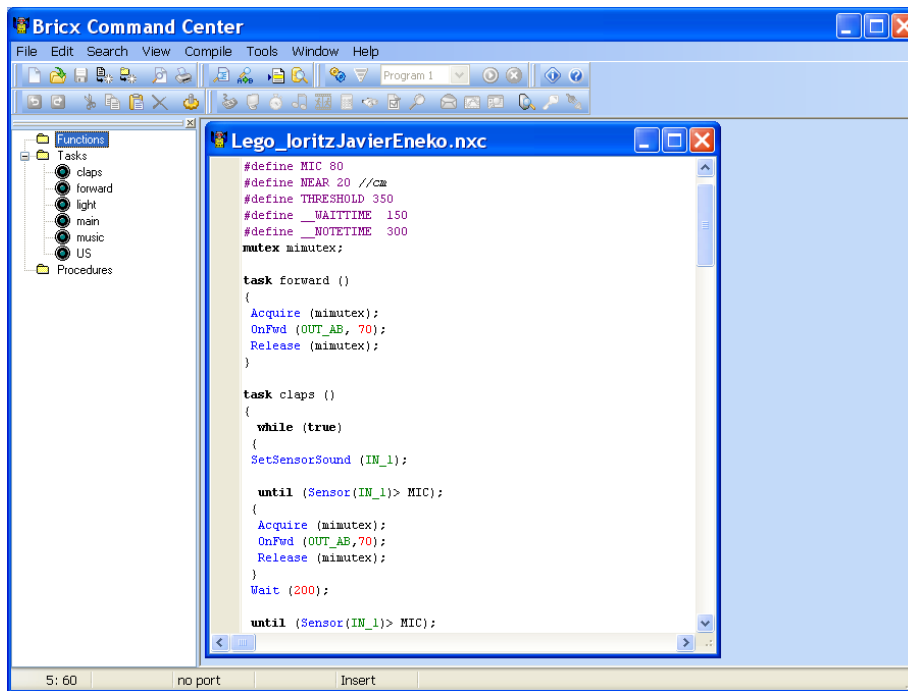


**Figura 8: Programación con Labview.**

## NXC

Es un lenguaje de programación de alto nivel basado en C. Es un software de programación textual y de libre distribución (se puede descargar de <http://bricxcc.sourceforge.net/>). NXC significa Not eXactly C (No eXactamente C), aunque en realidad las diferencias con C son mínimas dado que es una especie de lenguaje C adaptado a la programación de robots LEGO. Está construido sobre el compilador NBC (anterior a NXC, de tipo ensamblador), y es la evolución natural del anterior lenguaje de programación NQC (Not Quite C), usado en las primeras versiones de LEGO Mindstorms, los RCX. Su creador fue John C. Hansen, ingeniero de software y ampliamente conocido en los foros de Mindstorms. Para aprovechar al máximo la capacidad de NXC existe un firmware mejorado. Benedettelli, D. (2007) proporciona una interesante guía de programación en que puede ser utilizada a modo de introducción

al entorno. También existen libros más avanzados Hansen, J. C. (2009). La figura 9 muestra el aspecto de este sencillo pero potente entorno de programación.



**Figura 9: Programación con NXC.**

Las principales características de NXC son:

- Al igual que en C estándar, cada programa consta de un número determinado de tareas (tasks), una de las cuales deberá ser la principal (main()). Un programa estándar soporta hasta 256 tareas.
- NXC dispone de su propia biblioteca de funciones adaptadas.
- Para evitar conflictos en la ejecución simultánea de diversas tareas existen mutexes (semáforos de exclusión mutua) con las funciones acquire y release.
- Existe un firmware mejorado que proporciona un uso más eficiente de la plataforma.

### leJOS NXJ

Este software es un software de programación textual y de libre distribución (se puede descargar de <http://lejos.sourceforge.net/>). leJOS NXJ facilita la programación

del NXT con Java. Posee un completo firmware que sustituye el oficial de LEGO que funciona tanto en Windows como en Linux. Poco a poco se va completando e incorporando nuevos servicios. LeJOS proporciona, entre otros, los siguientes componentes: (1) un firmware mejorado para el bloque NXT que incluye una máquina virtual Java (JVM), (2) una API Java para usar el bloque NXT (ver <http://leJOS.sourceforge.net/nxt/nxj/api/index.html>) (3) comunicaciones con el PC y (4) herramientas para cambiar el firmware, descargar programas, depurado de programas así como otras funciones. En cuanto a los entornos de programación, dado que se trata de código Java, podría utilizarse cualquier entorno de los utilizados para crear programas en Java como por ejemplo Eclipse (la elección más habitual, dado que existe un plug-in de Eclipse para leJOS. En Internet se pueden encontrar diversos tutoriales para introducirse en el mundo de leJOS. Breña, J.A. (2009) proporciona un ebook, en continua actualización, que puede resultar de interés.

### ***Experiencia en la E.U.I. de Vitoria***

La plataforma LEGO MINDSTORMS, analizada en el presente artículo ha sido utilizada en la E.U.I. de Vitoria en el marco de una asignatura optativa (concretamente la asignatura titulada “Ampliación de informática industrial”) de la titulación de Ingeniería Técnica Industrial Esp. Electrónica Industrial en los cursos académicos 2008/09 y 2009/10. Los alumnos que se matriculan en esta asignatura tienen conocimientos básicos de programación en C. En esta asignatura se explican conocimientos más avanzados, relativos a programación concurrente, sistemas operativos de tiempo real, diseño de sistemas empotrados y comunicaciones.

El laboratorio de la asignatura se divide en dos partes: (1) en la primera parte se realizan un conjunto de prácticas con Linux donde los alumnos pueden reforzar los conocimientos adquiridos en el aula. En esta parte se explican los conceptos básicos de tareas, semáforos, timers, programación de sockets, etc. (2) en la segunda parte (de cuatro sesiones de dos horas) se les proporciona los robots Lego y se les propone una tarea a realizar con ellos. Para motivar a los alumnos la tarea escogida permite realizar competiciones y el resultado en la competición tiene traducción en la nota final de la asignatura. En esta segunda parte los alumnos trabajan en equipos.



En el curso 2008/09 se propuso la programación de un robot que debía seguir una línea marcada en el suelo. El robot programado debía ser capaz de buscar la línea cuando ocasionalmente se perdía o cuando encontraba obstáculos en su camino que le impedían continuar. En esta competición ganaba el equipo que necesitaba menos tiempo para completar el circuito. Se realizaron varias mangas y se tomó la media. En este curso se dio libertad a los alumnos para que montasen su propia configuración del robot y seleccionasen el lenguaje de programación utilizado (las principales opciones fueron NXT-G y RobotC). El siguiente enlace (<http://ehutb.ehu.es/es/serial/326.html#873>) permite acceder a un vídeo que muestra el funcionamiento del robot montado por uno de los grupos de alumnos participantes.

En el curso 2009/10 se planteó que los alumnos debían programar un robot barredor/aspirador que recorriese una superficie que simulaba una casa sin dejarse huecos por barrer/aspirar. Para detectar de forma sencilla el equipo ganador, se pidió que los robots recorriesen la superficie de la casa y que buscasen una serie de obstáculos que se encontrasen en ella contabilizándolos. Cada vez que el robot LEGO encontraba un objeto en la casa debía emitir un sonido para indicar que lo había reconocido adecuadamente. En este caso todos los grupos de alumnos utilizaron el lenguaje NXC. El siguiente enlace (<http://ehutb.ehu.es/es/serial/327.html#874>) permite acceder a un vídeo que recoge el ambiente en el día de la competición así como algunos de los robots participantes.

Independientemente de los resultados obtenidos por los alumnos en ambos cursos la experiencia resultó muy positiva ya que el enfoque competitivo motivó los alumnos y pudieron experimentar con los robots LEGO todo el ciclo de creación de aplicaciones empotradas (que era el objeto de la asignatura) así como la complejidad que introduce el desarrollo de código cruzado: Los programas se crean en un PC para ejecutarlos en otro dispositivo.

## **Conclusiones**

Como se ha podido observar, existe un amplio abanico de plataformas roboticas con las cuales es posible desarrollar el aprendizaje basado en problemas y en proyectos, con las que es posible conseguir una mayor implicación del alumno en el proceso de aprendizaje. Todas ellas son validas en mayor o menor medida, aunque es

aconsejable escoger las más versátiles. De todas ellas, una de las más interesantes es la plataforma LEGO MINDSTROMS NXT puesto que ofrece multitud de posibilidades de diseño en lo que se refiere al software y al hardware, presenta una buena relación calidad/precio y además, existe un gran número de sensores y actuadores. Es por ello que dicha plataforma parece adecuada para que los alumnos construyan pequeños sistemas programables, contando, en opinión de los autores, con un gran potencial en la docencia.

Más concretamente, el presente trabajo también analiza la plataforma LEGO MINDSTORMS NXT para ser utilizada en la docencia de Informática Industrial. Para ello se han analizado los principales entornos y lenguajes de programación disponibles y por último se han descrito algunas experiencias de uso a nivel universitario en la E.U.I. de Vitoria.

Las conclusiones de uso son muy satisfactorias ya que los alumnos agradecieron el uso de una plataforma con la que pudieran visualizar los conceptos vistos en clase (tareas, semáforos, comunicaciones por Bluetooth, programación de sistemas embebidos, etc.)

## **Agradecimientos**

Este trabajo se enmarca dentro del Proyecto de Innovación Educativa PIE09/14, *Creación de un laboratorio virtual y remoto para las disciplinas de Regulación Automática y Automatización Industrial*, y por tanto, los autores desean hacer constar su agradecimiento a la UPV/EHU como entidad financiadora del proyecto.

## **Referencias**

Atmatzidou, S., Markelis, I., Demetriadis, S., “The use of LEGO Mindstorms in elementary and secondary education: game as a way of triggering learning”, Intl. Conf. on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots, Venice(Italy) 2008 November,3-4 pp. 22-30.

Benedettelli, D., “Programming LEGO NXT Robots using NXC”, Junio, 2007, Disponible en [http://briexcc.sourceforge.net/nbc/nxcdoc/NXC\\_tutorial.pdf](http://briexcc.sourceforge.net/nbc/nxcdoc/NXC_tutorial.pdf)

Breña Moral, J.A. “Develop leJOS Programs Step by Step”, Disponible en <http://www.juanantonio.info/lejos-ebook/>, 2009

Butler, D., Martin, F., “Learning with LEGO Mindstorms in Irish Primary Education”, *The Spring Symposium of the American Association for Artificial Intelligence (AAAI)*, March 2001, Stanford, California USA.

Gandy, E. A. “The Use of LEGO MINDSTORMS NXT Robots in the Teaching of Introductory Java Programming to Undergraduate Students”, Disponible online en: <http://www.ics.heacademy.ac.uk/italics/vol9iss1/pdf/paper01.pdf>

Gasperi, M., “LabVIEW for LEGO Mindstorms NXT”, NTS Press, 2009

Gómez-de-Gabriel, J. M., Mandow, A., Fernández-Lozano, J., García-Cerezo, A., “Using LEGO NXT Mobile Robots With LabVIEW for Undergraduate Courses on Mechatronics”, *IEEE Transactions on Education*, Disponible on-line <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5430870>

Hansen, J.C., “LEGO Mindstorms NXT Power Programming: Robotics in C”, Variant Press, 2009

Lew, M., Horton, T., and Sherriff, M. "Using LEGO MINDSTORMS NXT and LEJOS in an Advanced Software Engineering Course." *The 23rd Annual IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training*, Pittsburg, PA, Mar 9-12, 2010.

Wikipedia, Lego Mindstorms, [http://en.wikipedia.org/wiki/Lego\\_Mindstorms](http://en.wikipedia.org/wiki/Lego_Mindstorms) (en inglés)