

Uso de Robots y Animales como Herramientas Motivadoras en la Enseñanza de Materias TIC

Juan Felipe García Sierra, Francisco Javier Rodríguez Lera, *Student Member IEEE*, Camino Fernández, and Vicente Matellán Olivera, *Member, IEEE*

Title—Using robots and animals as a motivating tool for teaching IT courses.

Abstract—This article presents the use of robots to increase students' engagement in non-robotic IT courses. It describes the experience of using robots in a course on computer architecture of the computer engineering program at the Universidad de León (Spain). It also states that including competitions contributes to students' engagement. Finally, we show how the use of natural and unpredictable elements (living animals) in the environment makes these competitions more challenging.

Preliminary analysis of this experience is also discussed based on a group of 67 students. We assessed the students' attendance, their final marks, and also the subjective impression about lectures through in ad-hoc questionnaires.

Index Terms— Computer science education, student experiments, robotics.

I. INTRODUCCIÓN

UN ratón y un robot corriendo por un laberinto de madera, compitiendo por llegar el primero al queso de premio, despierta el interés de estudiantes de casi cualquier titulación. En particular, los estudiantes del segundo curso del Grado en Ingeniería Informática de la Universidad de León en Junio de 2013 estaban muy interesados en que el primero en llegar fuese el robot que habían programado. Se jugaban una parte de la nota en que su robot venciese al ratón en alguna de las carreras. Al final el ratón venció 4-1 [10], pero esa victoria del robot consiguió levantar aplausos y gritos de los estudiantes, lo que sirvió para confirmar las hipótesis planteadas en este artículo.

En la experiencia docente de los autores, no es muy habitual que las tareas prácticas asignadas a los estudiantes acaben de esta forma: con un sentimiento de éxito colectivo. Más interesante aún es que los estudiantes del 2013 pidieron repetir esa tarea (el enfrentamiento ratón-robot) que habían conocido por sus compañeros del curso anterior, otra prueba más de lo exitoso de la iniciativa, a juicio de los autores.

Juan Felipe García Sierra, Francisco Javier Rodríguez Lera, Camino Fernández Llamas y Vicente Matellán Olivera forman parte del Grupo de Robótica del Departamento de Ingenierías Mecánica, Informática y Aeroespacial {ffgars,fjrodl,camino.fernandez,vicente.matellan}@unileon.es. Vicente Matellán (correspondingauthor: +34-987-291-1743; fax: +34-987-293-065; e-mail: vicente.matellan@unileon.es).

Desde el punto de vista docente, esta tarea fue concebida para fomentar la motivación de los estudiantes y para favorecer el trabajo en equipo como mecanismos para reforzar y facilitar el aprendizaje.

La idea no es nueva, existen múltiples iniciativas por todo el mundo que utilizan robots como herramienta de mejora en los procesos de aprendizaje. Algunos de los ejemplos más conocidos son la RoboCupJr [20], el proyecto Program-KPL[32] o la FIRST LEGO League^R[2][3], programas en los que nuestro grupo de robótica¹ ha estado involucrado como docentes u organizadores [4]. El objetivo de estas experiencias ha sido utilizar la capacidad de atraer y sorprender de la robótica móvil para demostrar la aplicabilidad de las enseñanzas e incrementar de esta forma el interés de los estudiantes.

A lo largo del artículo se presenta el desarrollo de nuestra experiencia con LEGO, orientada en su origen a un público más joven, y tratamos de evaluar si realmente pueden obtenerse los mismos resultados si es aplicado a estudiantes universitarios.

En la literatura científica existen múltiples ejemplos de cómo utilizar la robótica como herramienta motivadora, como se revisa en el trabajo de Ruiz-del-Solar[22] o Goldman [9]. Para ello existen múltiples plataformas robóticas que se han diseñado y se comercializan con ese fin.

Igualmente, la motivación está ampliamente reconocida como una de las herramientas más ponderosas para mejorar el aprendizaje, como se extrae de los trabajos de Malone [17], Garris[8] o Pintrich[19].

Analizando esta literatura, hay tres factores de puesta en valor de la aplicación de la robótica en la enseñanza y que son comunes a todas las experiencias:

1. La programación de dispositivos: Programar un robot que posteriormente interacciona con el entorno y el humano en el mundo real a través de sensores resulta mucho más atractivo para el alumno que desarrollar un programa cuyo ámbito de interacción queda reducido al teclado y la pantalla del ordenador personal.
2. El trabajo en equipo: Muchas de las tareas en la educación informática tienden a ser individuales, cuando en el mundo profesional ése no suele ser el caso.
3. Evaluación por competición: Medir los resultados del aprendizaje por un sistema de competición se presenta como un sistema positivo para el alumno.

Nuestra propuesta se puede resumir en que creemos que estas ventajas ya contrastadas en un público de entre 10 y 18 años pueden aprovecharse no sólo para el aprendizaje de materias relacionadas con la robótica (visión computacional, inteligencia artificial, sistemas empotrados, etc.), sino que se pueden usar en la planificación docente de otras materias universitarias. En concreto, la experiencia descrita en las siguientes secciones se aplicó en la asignatura de “arquitectura de computadores” del grado de Ingeniería en Informática de la Escuela de Ingenierías Industrial e Informática de la Universidad de León.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma: la sección dos presenta un breve repaso por el estado de la cuestión de los robots diseñados para la docencia, la tercera sección realiza una comparación entre dichas plataformas, la cuarta describe nuestra experiencia con los alumnos de grado y finalizamos con las conclusiones y trabajos futuros.

II. PLATAFORMAS

Existen dos opciones para trabajar con robots como herramientas educativas: Usar robots físicos o simuladores. Como hemos explicado previamente, creemos que uno de los factores clave del éxito de la robótica estriba precisamente en el uso de los propios dispositivos físicos, por ello sólo hemos considerado para este trabajo plataformas robóticas reales.

Por completitud, enumeramos también los simuladores más comunes que hemos utilizado en otros proyectos, como son Logo [16], Player / Stage/ Gazebo [18], SRIsim / Saphira [14], Webots [29] or SARSIM[28], aunque en las siguientes secciones sólo analizamos las plataformas físicas.

La figura 1 agrupa las plataformas descritas a continuación. Las letras bajo cada foto se corresponden con el de las siguientes secciones donde se describen las características principales de los mismos. Nótese que del primero de los robots de la figura 1 (parte superior izquierda) aparecen dos unidades diferentes, por corresponder a las dos versiones del mismo robot.

A. Lego Mindstorms

Mindstorms en su versión educativa es un kit de construcción de robots del popular fabricante danés de juegos de construcción con piezas de plástico LEGO

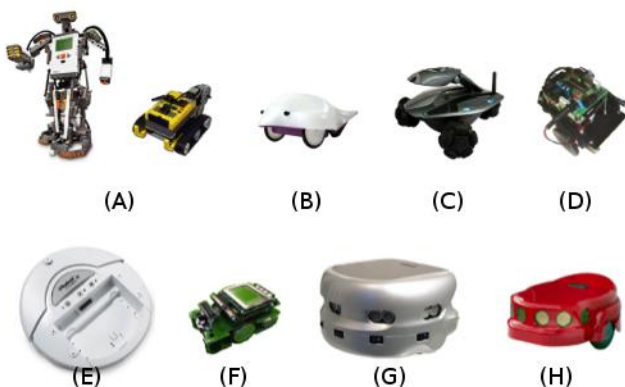


Figura 1. Plataformas evaluadas

surgido a finales de los años 90 en colaboración con el MIT *Media Laboratory*.

El componente principal de este juego es el denominado *brick* que contiene el hardware controlador y sobre el que se desplegará el programa del usuario. En su primera versión, el llamado RCX, poseía un micro-controlador *H8/300* que permitía conectar hasta tres sensores simultáneamente. La conexión se realizaba de la misma forma que las tradicionales piezas de LEGO. Existen múltiples tipos de sensores adaptados para este controlador (medición de luz, temperatura, colisiones, etc.), bien fabricados por LEGO o bien por terceros fabricantes.

Permitía igualmente controlar hasta tres motores simultáneamente que se conectan de igual manera. La alimentación en su versión original la proporcionan 6 pilas AA de 1.5 Voltios cada una. Todo ello por un precio de unos 250€.

Este modelo fue utilizado junto con la versión denominada comercialmente NXT y que es gestionado por un micro-controlador *Atmel AT91SAM7S256*. Fue lanzada en el 2006. La mayor diferencia con su antecesor es que puede conectar un sensor más y que utiliza cables RJ12. Otra novedad fue la inclusión de sensores de ultrasonido en el kit básico, lo que amplía bastante su capacidad de sensorización. Esta versión dispone también de un display mono-cromo de 100x60 pixels y un altavoz que permite reproducir ficheros de sonido a 8kHz. La versión para educación disponía de baterías recargables de iones de litio. Estos kits para educación se comercializan en España con un coste de unos 300€.

La versión NXT 2.9 se lanzó en 2009, pero fue un rediseño fundamentalmente estético y la incorporación de un sensor de color.

Todas las versiones de LEGO Mindstorms pueden programarse con diferentes lenguajes de programación, desde lenguajes de bajo nivel tipo ensamblador, hasta lenguajes de programación visual basados en tecnologías como LabView^{TR} adaptadas para el trabajo con niños.

LEGO Mindstorms NXT puede programarse también con Enchanting, una variante de Scratch, un entorno de programación visual que permite a los niños desarrollar juegos, historias animadas y compartirlas con otros a través de la red [23][27].

B. Finch

El robot Finch fue creado en el laboratorio CREATE de Carnegie Mellon. Se diseñó para servir como herramienta docente para introducir a los estudiantes en el campo de la programación de computadores. Por ello tiene soporte para más de una docena de lenguajes de programación y dispone de diferentes entornos de desarrollo especialmente diseñados para niños desde los 8 años [26].

El entorno incluye sensores similares a los de los LEGO que proporcionan medidas de luz, detección de obstáculos, etc.

Este kit no necesita pilas puesto que se conecta a través de un puerto USB. Esta característica hace también que su coste sea mucho más reducido, estando alrededor de los 75€.

C. Rovio™

El Rovio™ de WowWee® es una aproximación diferente. En este caso se trata de un robot concebido como “juguete” de producción masiva, no específicamente diseñado como herramienta educativa.

Se trata de un robot móvil controlado a través de una conexión Wi-Fi. Este robot percibe su entorno fundamentalmente mediante una cámara, aunque también dispone de sensores infrarrojos para la detección de obstáculos próximos. El robot tiene la capacidad de enviar la señal de vídeo y audio en *streaming* utilizando la conectividad Wi-Fi, por lo que se podría calificar realmente como una webcam móvil con control remoto. La producción masiva consigue rebajar el coste hasta los 250€.

A diferencia de otros robots, el procesamiento no se realiza en el propio robot. El diseño del Rovio™ prevé que el procesamiento de la información percibida por los sensores y la toma de decisión sobre el control se realicen en un computador remoto que se comunica con el robot a través de la Wi-Fi. Esta aproximación permite disponer de una capacidad de procesamiento mucho mayor, al disponer *off-board* de un computador tan potente como el usuario desee. Igualmente, se puede utilizar en ese ordenador cualquier lenguaje y entorno de programación que soporte comunicación TCP/IP. La única limitación de este modelo es el ancho de banda disponible por la red inalámbrica.

El principal problema de esta plataforma es que no ha sido diseñada para uso educativo infantil-juvenil, lo que hace que requiera un nivel de programación elevado, es decir, no hay un entorno de programación específico para un uso educativo de la plataforma y hay que utilizar los entornos convencionales de programación (por ejemplo Eclipse) y lenguajes de programación igualmente profesionales (tipo C, java, etc.) lo que requiere un nivel de programación elevado. De este modo consideramos que esta plataforma podría encajar entre un público estudiantes universitarios en su rama más científica.

D. Skybot

El micro-robot Skybot es el nombre de la evolución del robot Tritt que fue un robot distribuido en forma de kit muy popular en España. Tritt estaba basado en el micro-controlador Motorola 68HC11 y utilizaba para su chasis piezas de LEGO.

A diferencia de Tritt, Skybot se distribuye con un chasis de metacrilato y utiliza un micro-controlador PIC16F876A. Se distribuye con cuatro sensores de infrarrojos, dos sensores de contacto y un sensor de luz. El movimiento lo proporcionan 2 servomotores.

Se trata de un robot más pensado para iniciar al público en la electrónica que en la programación, en particular en el campo de los micro-controladores [24].

El coste es de unos 170€ y el principal inconveniente es que requiere conocimientos elevados de programación, puesto que los únicos lenguajes disponibles son C y ensamblador.

La principal ventaja es que se trata de un kit muy fácilmente reutilizable para cualquiera que tenga conocimientos técnicos. Esto es, se pueden añadir nuevos

componentes, modificar la estructura, etc. Además, el hecho de ser un “hardware libre”, hace que cualquiera pueda redistribuirlo, modificarlo, venderlo, etc.

E. Roomba – iRobotCreate

Roomba es un robot diseñado originalmente como una aspiradora autónoma. Se trata realmente de un electrodoméstico que empezó a comercializar la compañía iRobot en el 2002 y del que se han vendido más de 8 millones de unidades.

Dado lo ajustado de su precio, se convirtió rápidamente en una plataforma para uso educativo e investigador. Ante ese éxito, el fabricante ha creado una versión específica para uso educativo e investigador denominada iRobotCreate [21]. Sobre esta versión se han construido otras plataformas como TurtleBot[30] diseñadas como bases robóticas móviles de bajo coste.

Sobre estas bases, los diseñadores robóticos pueden añadir sensores adicionales, cámaras, manipuladores, etc.

Con todo, se trata de una plataforma que, a nuestro juicio, está diseñada para enseñanza en cursos de un nivel elevado, pues requiere conocimientos de programación, pero también de electrónica. Aunque su bajo coste, los componentes básicos, incluyendo batería y cargador, están en los 150-175€, ha hecho que sea una plataforma ampliamente difundida.

F. EyeBot

El EyeBot no es realmente un robot concreto, se trata más bien de un controlador que se puede usar en robots con ruedas, caminantes o voladores. Se trata de una tarjeta basada en micro-controlador de 32 bits fabricado por Motorola y que se comercializa integrado con un display gráfico y una cámara en color, cuyas imágenes es capaz de procesar el micro-controlador.

La principal ventaja de este “robot” es que permite escribir programas empotrados sofisticados, incluyendo el desarrollo de algoritmos basados en visión, sin tener que utilizar un potente computador [6].

Este micro-controlador para robots puede programarse en C o C++ y está muy bien diseñado para enseñar los fundamentos de programación en tiempo real aplicada al procesamiento de visión, ya que el EyeBot viene equipado con una cámara digital integrada.

Se puede resumir la descripción de este equipo como indicado para usuarios tecnológicamente avanzados. El precio es acorde a esta definición, unos 800€ para un controlador únicamente, o un robot completo basado en él como el SoccerBot S4 por unos 2.000€ [7].

G. Khepera

El Khepera es un robot miniaturizado que se viene fabricando por la empresa suiza K-Team desde hace más de 10 años.

Se trata de un micro-robot de reducido tamaño (el Khepera III tiene un diámetro de 130mm y una altura de 70mm) diseñado para la educación avanzada y la investigación. Se basa en el sistema operativo Linux para que el desarrollo de aplicaciones sea más rápido y las aplicaciones más portables [12].

La plataforma básica cuesta alrededor de los 4.000€ y cada componente se vende por separado, existiendo

módulos para dotar al robot de un sensor láser, cámara, un mini-manipulador, etc. Estos módulos tienen un precio que oscila entre los 700 y los 3.700 euros cada uno.

H. AmigoBot

El AmigoBot es una versión más barata (aunque a pesar de ello valorada aún en unos 2.000€), más pequeña y más sencilla del robot Pioneer, uno de los robots más extendidos en los laboratorios de investigación en robótica. La versión AmigoBot se basa en una plataforma con dirección diferencial que se utiliza principalmente en proyectos educacionales y colaborativos [13]. Incluye el software de navegación sonar SONARNL para sus 8 sensores sonar y permite realizar rastreo por colorACTS.

Se programa en C/C++ utilizando el API para robótica ARIA y se maneja desde un ordenador remoto por red inalámbrica, al igual que sucede con el Rovio™.

III. PLATAFORMA ELEGIDA

Aunque está claro que un robot físico no solo es preferible, sino preceptivo frente a un simulador para el objeto de este trabajo, elegir el dispositivo más adecuado no es una tarea sencilla. Hay que tener en cuenta varios puntos clave: sensorización, versatilidad, precio, estabilidad hardware y software, opciones de programación, integración con Scratch, entre otras.

La Tabla I muestra los criterios que cumplen (y los que no cumplen) los robots presentados en la sección anterior. Se ha dado una puntuación subjetiva de 1 a 5 para cada uno de dichos criterios, siendo 1 la puntuación más baja (indicando por tanto que el robot no sería adecuado en este sentido, por ejemplo por ser muy caro o por carecer de determinados sensores), salvo para la categoría *uso educativo* que se valora, bien con 1 (adecuado para niños), bien con 2 (se requiere conocimientos de programación medios o avanzados) o bien con 3 (se necesitan conocimientos de programación y electrónica). La columna *TOTAL* representa la suma de las categorías anteriores.

A la vista de los resultados recogidos en esta tabla, se ha elegido el robot LEGO Mindstorms como plataforma principal para el curso dado que ha obtenido la puntuación máxima a nivel tanto técnico como de idoneidad para la enseñanza. El robot Rovio™ también se

utilizó para la experiencia con alumnos de grado dado que posee una cámara que permite realizar tareas interesantes relacionadas con la visión por computador; se eligió frente a otras opciones dado que era el mejor para estudiantes de informática si se tenían en cuenta el precio y su aplicación en el ámbito educativo.

IV. EXPERIENCIA CON ALUMNOS DE GRADO

Los principales objetivos de la experiencia eran:

- Demostrar que los robots se pueden desplegar dentro de cursos y asignaturas del grado en informática sin tener que estar éstas relacionadas estrictamente con la robótica.
- Validar la aplicación en el mundo real del conocimiento adquirido en cada práctica.
- Motivar al alumno para realizar prácticas opcionales relacionadas con robots que siempre tendrán un nexo de unión con la práctica oficial correspondiente.
- Permitir a los alumnos conocer tecnologías robóticas desde su lado más innovador, con su aplicación en entornos industriales o asistenciales, hasta su lado más clásico como puede ser el robot sigue líneas.
- Fomentar el trabajo en equipo frente al individualismo y la actitud colaborativa frente a la competitiva.
- Motivar a los estudiantes dentro de un sistema educativo rígido.

A. Organización del Curso

Tal y como se comentaba anteriormente, la asignatura elegida para esta experiencia ha sido ‘‘Arquitectura de Computadores’’. Se trata de una asignatura obligatoria del sexto semestre de la titulación Grado en Ingeniería Informática de la Universidad de León. La carga lectiva de esta asignatura es de 6 créditos ECTS, por lo que se presuponen 150 horas de trabajo a un estudiante medio.

La parte teórica de la misma consiste en un curso clásico de organización del computador, siguiendo en líneas generales la estructura del ‘‘Arquitectura de Computadores’’ de John L. Hennessy [31].

La innovación se aplica a las prácticas de la asignatura, que se organizan de la siguiente manera:

TABLA I.
COMPARACIÓN ENTRE LAS PLATAFORMAS ROBÓTICAS MÁS ADECUADAS PARA USOS ACADÉMICOS: DOCENTES E INVESTIGADORES
(EL VALOR MÁS ALTO INDICA MEJOR ADECUACIÓN)

Robot	Sensorización	Versatilidad	Precio	Estabilidad	Opciones de Programación	Uso educativo	TOTAL
Mindstorm	2	3	3	5	5	1	18
Finch	1	2	5	4	5	1	16
Rovio™	3	3	3	4	5	2	18
Skybot	2	3	4	4	2	2	15
Roomba	4	4	2	3	3	3	16
EyeBot	4	4	2	4	2	3	16
Khepera	4	3	1	4	5	2	17
AmigoBot	3	3	2	4	4	2	16

1. Se propone una tarea obligatoria para todos los estudiantes. Dicha tarea se resuelve utilizando PC tradicionales con sistema operativo Windows o GNU/Linux y está siempre relacionada con tareas o problemas clásicos de arquitectura de computadores.
2. Se proponen una o varias tareas opcionales relacionadas con robótica. Las tareas propuestas están basadas en la tarea obligatoria correspondiente.
3. Se proponen igualmente tareas opcionales no relacionadas con la robótica. La razón de hacer esto es no forzar a los estudiantes a realizar tareas (por ejemplo, programación de robots) que pudieran pensar que no están directamente relacionadas con la asignatura. Este paso no se aplica a la última práctica (la tarea propuesta para el RCX), cuya temática se centra en la robótica.

La evaluación de las prácticas se realiza de la siguiente manera:

1. Se evalúa el trabajo de cada grupo.
2. Una parte de la nota final de cada estudiante depende del resto de compañeros, para bien y para mal: toda la clase tiene que trabajar en equipo para resolver una tarea. Este paso se aplica solamente a una de las tres prácticas propuestas: la competición de robot vs. ratón.

Todas las prácticas se realizan en grupo y la máxima nota para cada una de ellas (10 puntos sobre 10) se puede alcanzar completando la parte obligatoria junto con una de las partes opcionales, la relacionada con la robótica o la no relacionada con la robótica: la parte obligatoria cuenta 7 puntos de 10 para la nota, y las partes opcionales suponen 3 puntos de 10 (cada una de ellas, lo que permite al estudiante elegir cuál de ellas – si es que le interesa realizar alguna – prefiere completar).

B. Experiencia

En concreto se proponen tres tareas opcionales relacionadas con robótica, una por cada práctica de la asignatura:

1) La primera práctica

La parte obligatoria consiste en el desarrollo en Java de un banco de pruebas para medir el rendimiento de un computador. La aplicación debe aplicar un filtro de color sobre una imagen local para eliminar aquellos píxeles que no pertenezcan a un color en concreto (se eligió el color naranja por continuar con la tradición de la RoboCup).

La tarea opcional de robótica consiste en utilizar este mismo filtro para programar el robot Rovio™ para seguir la pelota.

La figura 2 muestra la visión subjetiva desde el robot Rovio™ (parte inferior izquierda) que la deben procesar los estudiantes y una visión cenital del campo de juego para la preparación de las pruebas.

La tarea no relacionada con robótica consiste en implementar opciones adicionales de filtrado (diferentes espacios de color, LUT,...).

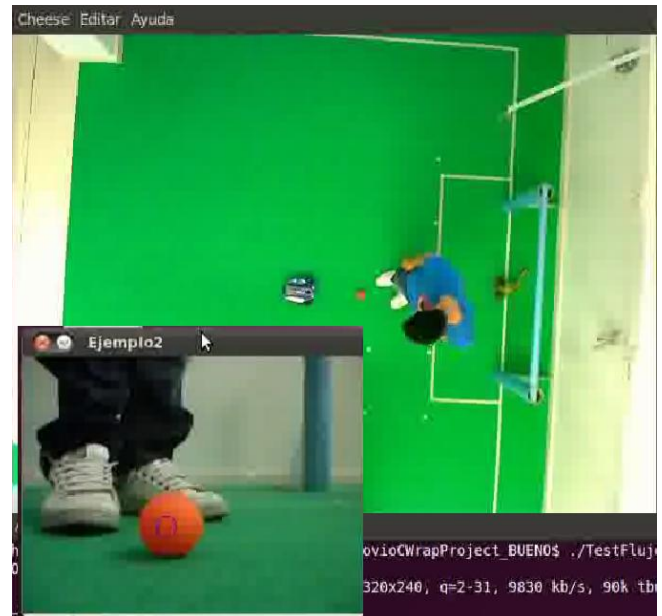


Figura2. Tele-operador del robot Rovio™

2) La segunda práctica

La parte obligatoria consiste en desarrollar una aplicación multilenguaje (Java – ADA) que simule las operaciones en formato IEEE754 de una ALU de coma flotante.

La tarea opcional relacionada con la robótica consiste en programar el robot Rovio™ para reconocer números (en concreto la representación binaria de reales en formato IEEE754) escritos en una cartulina de papel que se le muestra; una vez obtenidos los números, el robot utiliza el código anteriormente descrito para simular la operación de la ALU, y termina comunicando el resultado obtenido (utilizando software de *text2speech*).

La tarea no relacionada con robótica consiste en implementar operaciones adicionales para la ALU (permitir que realice operaciones con enteros además de realizarlas con reales).

3) La tercera práctica

Esta tarea está relacionada con todos los contenidos tratados en la asignatura, incluyendo rendimiento, optimización, operaciones de Entrada y Salida, utilización de memoria, etc.

En ella se utiliza el robot Mindstorms RCX y los estudiantes tienen que construir y programar su robot para competir con un ratón. El objetivo es que el ratón tenga encontrar un trozo de queso dentro de un laberinto (ver figuras3, 4 y 5). Un grupo final de cinco robots intenta derrotar a un grupo de cinco ratones.

Se trata de una tarea colaborativa en la que todos los estudiantes obtienen la máxima calificación (10 sobre 10) si alguno de los robots consigue tener éxito. Sólo uno de ellos lo consiguió en 2012, pero fue una gran sensación de éxito para todos los que acudieron a la prueba final, que estaba abierta a todo el público, no sólo a los estudiantes. No hay tareas no relacionadas con robótica para esta práctica.



Figura3. Ratón alcanzando el queso en el laberinto

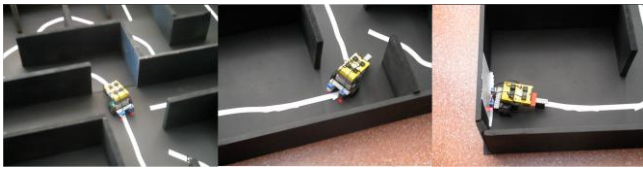


Figura3. Robot alcanzando la meta en el laberinto

Para aumentar más la motivación, se decidió usar un rival independiente en lugar de hacer competir a los equipos entre sí. Generalmente, si se evalúa comparando con los compañeros, los resultados de esa competitividad pueden inducir a una desmotivación del alumno al tratarse de un igual, en nuestro caso valoramos diferentes agentes autónomos para evitar esta competición y llegamos a la conclusión de que utilizar ratones para esta última práctica podría encajar dentro de esta experiencia.

Los ratones son una forma de vida evolucionada, con un gran instinto de supervivencia y exploración (lo que incluye buscar comida). Se trata por tanto de un gran rival para probar la eficacia y eficiencia de los algoritmos de navegación desarrollados por los alumnos para el robot RCX.

C. Resultados

La tabla 2 muestra el número de estudiantes que cursaron la asignatura de Arquitectura de Computadores en 2013, así como su participación en tareas opcionales (relacionadas y no relacionadas con robótica).

A pesar de que los alumnos que participaron en tareas relacionadas con robótica suponen un 33% del total de estudiantes, está claro que la mayoría de los que estaban interesados en tareas opcionales (que a pesar de ser opcionales contaban para la nota de cada práctica) eligió tareas relacionadas con robótica, un 62%, frente a las no relacionadas.

Por otro lado, en lugar continuar el decrecimiento del número de alumnos que van abandonando la materia a medida que transcurre el curso, observamos que dicho



Figura4. Laberinto completo para las competiciones

TABLA II
RESUMEN DEL RENDIMIENTO DE LOS ESTUDIANTES

Práctica	Total	Superada	Robótica	No Robótica
Benchmark	67	53	18	11
ALU	67	48	18	3
IEEE754				
Robot vs Ratón	67	53	53	0

número vuelve a aumentar para la última práctica, recuperando los valores del comienzo de curso.

Los robots Mindstorms RCX y Rovio™ se han utilizado desde 2008 para cursos de extensión universitaria encaminados a estudiantes de grados técnicos (o a cualquiera con conocimientos de programación) de la Universidad de León.

El robot RCX se ha utilizado en cuatro cursos introductorios a la programación de robots móviles, mientras que el Rovio™ se ha utilizado en la única edición de nivel medio de estos cursos realizada hasta la fecha. Los cursos introductorios abordaban tareas de navegación mediante sensores de luz y de contacto (utilizados para detectar el color del suelo o la cercanía de objetos), mientras que el curso de nivel medio trataba temas de visión por computador aplicada a reconocimiento de objetos por color y forma o a reconocimiento de texto.

La reacción y *feedback* de todos ellos, obtenida mediante encuestas oficiales realizadas por la Oficina de Calidad de la Universidad [5] ha sido muy buena, con estudiantes preguntando cada año si el curso de nivel medio se repetiría dado que querían asistir al mismo.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Lo más relevante de las propuestas comentadas en la presente investigación es la inclusión de robots y animales en la enseñanza, fomentar la actitud colaborativa en vez de la competitiva y el aprendizaje basado en la motivación del alumno. En este sentido se puede concluir a partir de esta experiencia que:

1. Aplicar el conocimiento a la resolución de tareas del mundo real y hacerlo mediante robots, junto con los robots en sí mismos, constituyen herramientas de motivación muy efectivas, y la motivación es una herramienta muy poderosa para mejorar el aprendizaje.
2. Las competiciones internas son herramientas poderosas para involucrar más a los estudiantes.
3. Basándonos en nuestras experiencias previas, pensamos que utilizar competiciones formales (RoboCup, FIRST Lego League, etc.) es más sencillo dado que las reglas, materiales, etc. ya existen. Sin embargo, partiendo de nuestra experiencia, creemos que en educación formal es mejor crear nuevas competiciones (como la de los robots y los ratones) porque los estudiantes tienen que definir estrategias partiendo de cero.

Finalmente, hay que destacar que la robótica es una ciencia con un ámbito muy amplio. Existen muchas áreas

interesantes dentro de la robótica móvil: localización, navegación, mapeado,... También se puede emplear asociada con otras disciplinas, desde la medicina (utilización de robots quirúrgicos, prótesis robóticas) a la psicología (interacción entre humanos y robots), pasando por las matemáticas (localización utilizando algoritmos probabilísticos, visión por computador utilizando diferencias de Gaussianas, ...) servicios sociales (cuidado de discapacitados y ancianos) o agricultura (recolección autónoma), entre otras.

Por todas estas razones, es posible e interesante aplicar esta rama del conocimiento no sólo a las disciplinas tecnológicas sino a muchas otras disciplinas impartidas en la universidad.

Al expandir el uso de la robótica a otras ramas, es necesario considerar el ámbito de las mismas y el conocimiento de los estudiantes a los que va dirigida para proporcionar herramientas apropiadas para su uso y comprensión: las disciplinas no técnicas podrían requerir herramientas de computación adicionales que permitan manejar los robots sin tener que programarlos utilizando lenguajes de alto nivel.

Aquellos docentes que estén interesados en aplicar la robótica en sus asignaturas disponen de cursos de introducción impartidos por el grupo de robótica que proporcionan los conocimientos básicos necesarios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer su apoyo a la Cátedra Telefónica de la Universidad de León por su soporte.

REFERENCES

- [1] Cañas, J.M., Cazorla, M.A. Matellán, V. Uso de simuladores en docencia de robótica móvil. IEEE-RITA.Volumen 4, Número 4 Pag. 268-277, 2009.
- [2] FLL. <http://firstlegoleague.org>. On-line; accedido 7-Febrero-2014
- [3] FLL - Spain. <http://www.firstlegoleague.es> On-line; accedido 7-Febrero-2014
- [4] FLL - Universidad de León. <http://firstlegoleague.unileon.es> On-line; accedido 7-Febrero-2014.
- [5] Evadoc. <http://calidad.unileon.es/evadoc> On-line; accedido 7-Febrero-2014
- [6] Eyebot. <http://www.joker-robotics.com/eyebot> On-line; accedido 7-Febrero-2014.
- [7] Eyebot price list. <http://inrosoft.com/pricelist.html> On-line; accedido 7-Febrero-2014
- [8] Garris, R. Ahlers, R. Driskell, J.E. Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation&gaming*, 2002.
- [9] Goldman, R. Eguchi, A. Sklar, E. Using educational robotics to engage inner-city students with technology. ICLS '04 Proceedings of the 6th international conference on Learning sciences , 2004.
- [10] González, N. Robot vs Mouse. *Diario de León*. (On-line; accedido 7-Febrero-2014). <http://www.unileon.es/dosier-de-prensa/robotica-raton-robot-contra-raton-raton>
- [11] Jones, L. Flynn, A. M. Seiger. B. A. *Mobile Robots: Inspiration to Implementation* (2nd Edition). A. K. Peters, Wellesley, Massachusetts (USA), 1998.
- [12] Khepera. <http://www.k-team.com/mobile-robotics-products/khepera-iii> On-line; accedido 7-Febrero-2014
- [13] AmigoBot. <http://www.mobilerobots.com/researchrobots/amigobot.aspx> On-line; accedido 7-Febrero-2014
- [14] Konolige, K. Myers, K.L. Ruspini, E.H. Saffiotti, A. *The Saphira architecture: A design for autonomy*. *Journal of experimental and theoretical artificial intelligence*: JETAI, 9(1):215–235, 1997.
- [15] LEGO Mindstorms. <http://mindstorms.lego.com> On-line; accedido 7-Febrero-2014.
- [16] Logo. <http://el.media.mit.edu/logo-foundation/logo/index.html> On-line; accedido 7-Febrero-2014.
- [17] Malone, T. W. Lepper, M. R. *Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning*. *Aptitude, learning, and instruction*, 1987.
- [18] Player, Stage, Gazebo. <http://playerstage.sourceforge.net> On-line; accedido 7-Febrero-2014.
- [19] Pintrich, P.R. A motivational science perspective on the role of student motivation in learning and teaching contexts. *Journal of educational Psychology*, 2003.
- [20] Robocup Jr. <http://rcj.robocup.org> On-line; accedido 7-Febrero-2014.
- [21] Roomba. <http://store.irobot.com/shop/index.jsp?categoryId=3311368> Online; accessed 14-June-2013
- [22] Ruiz-del-Solar, J. Avilés R. Robotics courses for children as a motivation tool: the Chilean experience. *IEEE Transactions on Education*, 2004.
- [23] Scratch. <http://scratch.mit.edu> Online; accedido 7-February-2014
- [24] Skybot. <http://www.learobotics.com/wiki/index.php?title=Skybot> Online; accessed 14-June-2013
- [25] Sklar, E. Eguchi, A. Johnson, J. *RoboCupJunior: learning with educational robotics*. *RoboCup 2002: Robot Soccer World Cup VI*, 2003.
- [26] The Finch. <http://www.finchrobot.com> On-line; accedido 7-Febrero-2014.
- [27] Tweney, D. Scratch Lowers Resistance to Programming. *Wired*. March 2009.
- [28] US-ARSim. <http://usarsim.sourceforge.net> On-line; accedido 7-Febrero-2014.
- [29] Webots by Cyberbotics. <http://www.cyberbotics.com> On-line; accedido 7-February-2014
- [30] Turtlebot. <http://www.willowgarage.com/turtlebot> On-line; accedido 7-February-2014
- [31] John L. Hennessy and David A. Patterson. *Computer Architecture, Fifth Edition: A Quantitative Approach*. Morgan Kaufmann, 2011.
- [32] Jon Schwartz, Jonah Stagner, and Walt Morrison. *Kid's programming language(KPL)*. In *ACM SIGGRAPH 2006 Educators program*. ACM, New York, NY, USA, 2006



Juan Felipe García Sierra nació en León (España) en 1983. Recibió su título de Ingeniero en informática por la Universidad de León (España), en 2005 y obtuvo de Doctor en Informática en la misma universidad en 2011.

Ha trabajado como investigador en matemáticas, robótica y visión por computador durante cinco años en varias universidades, incluyendo la Universidad de León, la Universidad Rey Juan Carlos, y la National University of Ireland, Galway, (Irlanda). Actualmente es profesor asociado en el Departamento de Ingenierías Mecánica, Informática y Aeroespacial de la Universidad de León, y trabaja como desarrollador software en Indra, donde participa en proyectos de gestión de tráfico aéreo desde 2010.



Francisco Javier Rodríguez Lera (SM'10) nació en León (España) en 1981. Obtuvo su Diploma de Estudios Avanzados en Sistemas Inteligentes en la Universidad de León (España) en 2009. Es estudiante de doctorado en la misma universidad desde 2009 y trabaja en materias relacionadas con la interacción humano-robot y la realidad aumentada. Ha sido profesor asociado en el departamento de

Ingenierías Mecánica, Informática y Aeroespacial durante los últimos cuatro años y actualmente está trabajando en una plataforma robótica de bajo coste para la asistencia ancianos denominada MYRABot con la que ha participado en la competición RoCKInChallenge en su versión @home. Mr Lera es miembro como estudiante de IEEE Robotics & Automation Society.



Camino Fernández Llamas recibió el título de Licenciado en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid en 1994, el de máster en Ingeniería del Conocimiento en 1995 y el de doctor en 2000 por la misma universidad. Se incorporó como profesora a la Universidad Carlos III de Madrid en 1995 y en 2008 se trasladó a la Universidad de León donde es profesora titular de universidad donde forma parte del grupo de investigación en robótica.

Sus intereses en investigación se centran en los simuladores hápticos para el aprendizaje y los *serious games*. Fue la organizadora del concurso First Lego League de la Universidad de León en 2013 donde participaron 16 equipos de niños entre 10 y 16 años.



Vicente Matellán Olivera (M'07) Obtuvo los títulos de Licenciado Doctor en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid (España) en 1993 y 1998 respectivamente. Fue profesor ayudante en la universidad Carlos III de Madrid entre 1993 y 1999 y profesor titular en la Universidad Rey Juan Carlos entre 1999 y 2008.

Desde entonces es profesor titular de universidad en la Universidad de León, donde dirige la Cátedra Telefónica desde 2012.

Es miembro del IEEE Technical Committee on Software Engineering for Robotics, editor del Journal of Physical Agents (<http://jopha.net>) y preside la Asociación Nacional de Investigación en Agentes Físicos. Ha publicado más de 150 artículos en revistas, libros y congresos en el campo de la robótica de servicios.