

EXPERIENCIA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO ROBÓTICO DE FÚTBOL PARA LA ROBOCUP JUNIOR

EXPERIENCE IN THE IMPLEMENTATION OF A ROBOTIC SOCCER TEAM FOR ROBOCUP JUNIOR

(Recibido el 16 de enero de 2015 - Aprobado el 20 de marzo de 2015)

PhD. Jaime Alberto Guzmán Luna
Universidad Nacional de Colombia,
Departamento de la computación y
la decisión, Ingeniería de Sistemas
e Informática, Medellín, Colombia
jaguzman@unal.edu.co

Fabián Zapata Valencia
Universidad Nacional de Colombia,
Departamento de la computación y
la decisión, Ingeniería de Sistemas
e Informática, Medellín-Colombia
fazapatav@unal.edu.co

Paola Andrea Galeano Hincapié
Universidad Nacional de Colombia,
Departamento de la computación y
la decisión, Ingeniería de Sistemas
e Informática, Medellín, Colombia
pagaleanoh@unal.edu.co

Resumen. Este artículo presenta diferentes aspectos relacionados con la implementación de un equipo de fútbol apto para la participación en la Robocup Junior Soccer (Novice League). Se explica desde la elección del modelo, el por qué y para qué de los sensores utilizados, cuáles fueron las estrategias planteadas y que algoritmos hicieron posible que estas estrategias sean realizadas por los robots de forma autónoma teniendo en cuenta las reglas de la Robocup. Este trabajo fue implementado en dos robots Lego Mindstorms y programados con el lenguaje NXT-G arrojando resultados satisfactorios en las distintas pruebas realizadas tales como precisión de disparo, tiempos de respuesta y posicionamiento.

Palabras clave: robótica; Robocup Junior; Lego Mindstorms; Lego NXT-G.

Abstract. This article presents different aspects related to the implementation of a soccer team suitable to participate in the Robocup Junior Soccer (Novice League). The article explains the model selection, why and what are the sensors used for, what the proposed strategies were and what algorithms made possible these strategies to be carried out by robots independently, considering Robocup's rules. This work was implemented in two Lego Mindstorm robots programmed with the language NXT-G and casting satisfactory results in the various tests such as shooting accuracy, response time and positioning

Keywords: robotics; Robocup Junior; Lego Mindstorms; Lego NXT-G.

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo pretende mostrar el proceso de construcción y programación de un equipo de fútbol conformado por dos robots siguiendo las reglas de la RoboCup Junior Soccer (RoboCup, 2012), esta es una iniciativa educativa orientada a apoyar proyectos robóticos la cual ha tenido una gran aceptación y evolución desde sus inicios (Sklar & Eguchi, RoboCupJunior — Four Years Later, 2005), dado a que dichos proyectos son ideales para la divulgación y aprendizaje de la robótica (Sklar, Eguchi, & Johnson, RoboCupJunior: Learning with Educational Robotics, 2003) además de fomentar la investigación entre los niños y jóvenes.

El equipo de fútbol fue elaborado con robots Lego Mindstorms (Lego, 2012) ya que estos son los autorizados en la RoboCup para la categoría Junior Novice League tanto para fútbol como para otras competiciones debido a la facilidad de armar robots en poco tiempo, así mismo por ser una gran herramienta para la enseñanza de robótica para usuarios con pocos conocimientos (Lund, 1999), (Martin, 1996).

En la sección 2 se encuentra la caracterización del problema, la sección 3 describe el proceso de construcción de los robots explicando el diseño escogido y los sensores utilizados, su ubicación y explicación de funcionamiento. En la sección 4 se

explican las diferentes estrategias y algoritmos que se implementaron para lograr que cada robot juegue de forma autónoma y eficaz a la hora de cumplir sus objetivos. En la sección 5 se muestran los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas. Finalmente en la sección 6 se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

2. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

En la Robocup Junior los participantes deben diseñar y programar dos robots para competir contra un par opuesto disparando una pelota con señales infrarrojas hacia su objetivo designado haciendo uso de una cancha oficial la cual se detalla en la Fig 1.

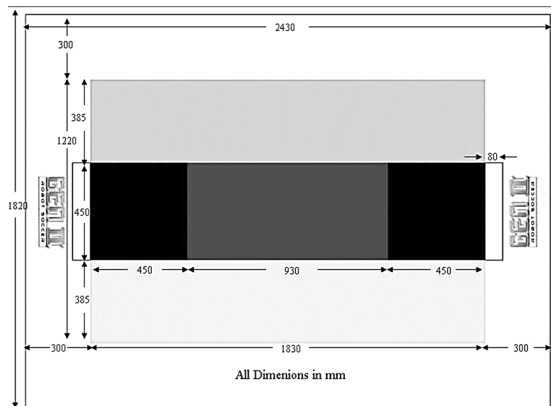


Figura 1. Campo de juego RoboCup junior Soccer

Los equipos tienen la opción de usar dos robots de ataque o un atacante con un portero siempre y cuando se respeten las reglas de las que cabe resaltar las más importantes:

- Cada robot debe caber en posición vertical dentro de un cilindro de 22 centímetros de diámetro.
- La altura del robot debe ser inferior a 22 cm
- El peso deberá ser: Novatos no más de 1 kg, expertos no más de 2.5 kg.
- El campo es del tamaño de una mesa de ping-pong, de color blanco con tonos verdes y negro que permita la navegación a través del uso de sensores de luz, la dimensión del campo de juego es de 122 cm de ancho por 183 cm de largo (Fig. 1).
- El ancho de cada portería es de 45 cm y el color de fondo y los costados interiores están pintadas de azul cielo.
- La pelota electrónica es de un diámetro entre 7.5 - 8.0 cm.
- Los robots se deben construir con piezas de marca estrictamente LEGO.
- No hay otros materiales de construcción que se pueden utilizar, incluyendo pegamento, cinta adhesiva, tornillos, etc.

- No se permiten ruedas omnidireccionales
- Los robots deben tener un mango para que los árbitros puedan recogerlos fácilmente. El mango no se incluirá en las mediciones anteriores. Para la liga de novatos las manijas se pueden hacer de materiales que no hagan parte de los componentes Lego.

2.1 Zonas de captura del balón

- El balón no puede penetrar en la zona de captura más de 3 cm.
- Un robot no puede "mantener" una bola.
- La pelota debe ser visible y los demás jugadores deben ser capaces de acceder a ella en todo momento.

A continuación se describe el proceso de construcción del equipo teniendo en cuenta las anteriores reglas y restricciones.

3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO LEGO MINDSTORM

En la Fig. 2-a) se puede observar el robot denominado "A" el cual fue construido de modo que se pueda adaptar fácilmente a cualquiera de las estrategias que se explican más adelante en este artículo; gracias a sus dos ruedas delanteras y una trasera, el robot resulta muy estable en comparación a otros robots.

La Fig. 2-b) se aprecia el modelo "B", que se diferencia con el "A" en que la parte frontal es un poco más amplia. No se hicieron dos modelos muy diferentes ya que esto implicaría crear una estrategia para cada uno.

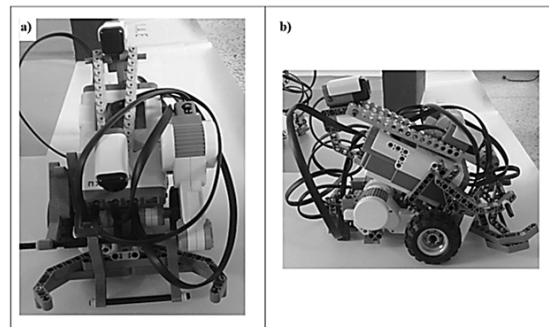


Figura 2. a) Fotografía del modelo Lego Mindstorms "A". b) Fotografía del modelo Lego Mindstorms "B"

En la parte frontal de cada robot se le ha instalado una barra transversal de aproximadamente 5 cm que es accionada por un servomotor ubicado a un costado del robot en el momento en que el robot se encuentre en la posición adecuada para disparar, la figura 3

ilustra el momento en el cual la barra transversal no se acciona debido a que el robot no se encuentra en la posición correcta, caso contrario a la figura 4. El resto del armazón del robot está debidamente adecuado para la colocación de los respectivos sensores.

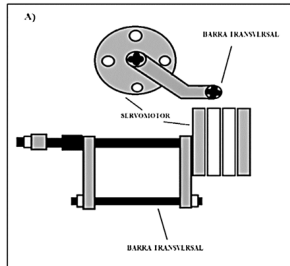


Figura 3. Vista lateral y frontal del mecanismo de disparo sin activar

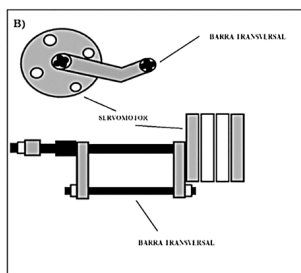


Figura 4. Vista lateral y frontal del mecanismo de disparo activado

Para mejor desarrollo de las estrategias de juego, fue necesario incluir tres sensores fundamentales en el modelo Lego Mindstorm: la brújula (sensor magnético), que permite ubicar un norte relativo en el campo de juego (arco adversario), sensor infrarrojo que permita detectar la bola y el sensor de luz que diferencie la intensidad de los colores en el campo de juego. En la figura 5 se observa la ubicación de los sensores en el robot.

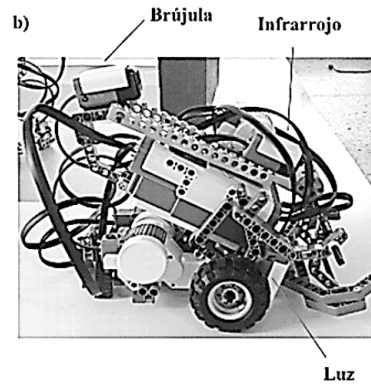
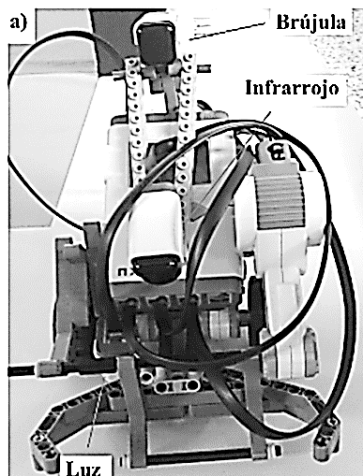


Figura 5. a) Vista de frente del modelo “A” especificando ubicación de la brújula, el infrarrojo y el sensor de luz. b) Vista de lado del modelo “B” especificando ubicación de la brújula, el infrarrojo y el sensor de luz

El sensor magnético (compas) fue ubicado en la parte más alta del robot y distante de los servomotores, ya que estos causan interferencias y por consiguiente el sensor presentaría una lectura errónea.

El sensor “NXT Compass” es una brújula digital que mide el campo magnético de la tierra y genera un valor que representa el rumbo actual.

El rumbo magnético se calcula con precisión de 1° y se devuelve como un número de 0 a 359. El sensor se actualiza 100 veces por segundo funcionando en dos modos: modo de lectura y el modo de calibración. En el modo de lectura, el rumbo actual se calcula y se vuelve a calcular cada vez que el programa de NXT se ejecuta. En la figura 5a se puede ver una imagen del sensor.

El sensor infrarrojo está ubicado en el centro del robot a media altura con el fin de tener la mejor visión del campo de juego y así poder detectar la pelota lo más rápido posible. Con un diseño específico y cinco detectores internos, el sensor tiene una vista de 240 grados que lo hace perfecto para ser acondicionado a un modelo diseñado para jugar fútbol. El sensor devuelve la dirección y fuerza de la señal, que hace fácil localizar y medir la distancia relativa al objetivo. En la figura 5a se puede observar una imagen del sensor “NXT IRSeeker”.

Por último, el sensor de luz ubicado en la parte inferior, lo más cerca del piso posible para que la lectura o detección del color sea más acertada. El sensor de luz le permite distinguir entre la luz y la oscuridad, así como determinar la intensidad de la luz en una habitación o la intensidad de luz de diferentes colores. Este sensor se puede apreciar en la figura 5b.

4. ESTRATEGIAS Y ALGORITMOS

Como en el fútbol real la estrategia es primordial para competir y ganar, por esta razón los algoritmos deben ser lo suficientemente eficientes para que el equipo de robots logre ejecutar las estrategias planteadas.

Fundamentalmente fueron tres estrategias las implementadas, las cuales consisten en hacer una triangulación a la bola para ubicarse en la posición correcta, un método constante de disparo cuando el robot estuviese en la posición indicada y una buena ubicación del robot dentro del campo de juego. Los algoritmos fueron desarrollados en el lenguaje NXT-G (ver figura 6).

Como ya se ha mencionado en los robots se utilizan 3 sensores (luz, infrarrojo, compas) y 3 servomotores (2 para cada rueda y uno para “chutar”).

4.1 Brújula, fijando el objetivo

La brújula siempre mide el ángulo que hay entre la posición inicial del robot y el norte dando un valor que representa los grados de este ángulo. Para fijar cual es la portería rival hacia la cual debemos chutar necesitamos saber a cuantos grados está la portería objetivo respecto al norte, para lograr esto la posición inicial del robot antes de comenzar el partido debe ser de frente al arco rival.

La primera acción que realiza el robot (o los robots ya que ambos funcionan igual) es medir a cuantos grados esta nuestro objetivo del norte, este valor es guardado en una variable que más adelante será utilizada, después de esta acción empieza un ciclo infinito con los diferentes algoritmos desarrollados con el objetivo de ganar en un partido.

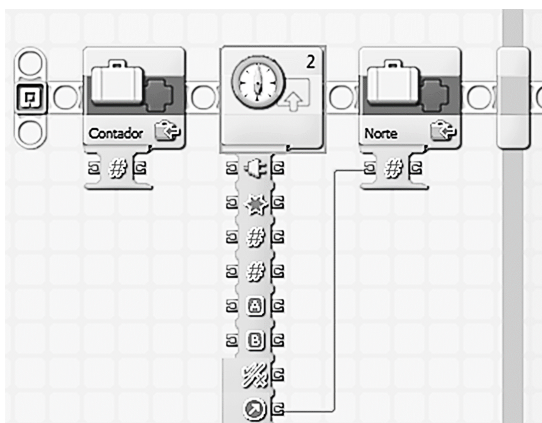


Figura 6. Imagen del lenguaje lego NXT-G con el algoritmo de identificación a cuantos grados está el objetivo respecto al norte

4.2 Sensor de luz, ¡vuelve al campo de juego!

Cada vez que un robot realice un desplazamiento el sensor de luz va midiendo la intensidad arrojando un valor, entre más alto sea este valor más claro es el color del campo de juego.

Cuando el robot detecte el color blanco (intensidad aproximadamente mayor a 35, esto depende de la posición del sensor, aconsejable calibrar el sensor antes de cada prueba) este sabrá que esta fuera del campo de juego e inmediatamente realiza 0,8 rotaciones hacia atrás, gira 180 grados y vuelve al campo de juego. A continuación se presenta el pseudocódigo utilizado.

```

Función volverAlCampo
x = sensorLuz()
si (x > 35) entonces
    retroceder (0.8) //0.8 rotaciones
    girar (180) // 180 grados
    avanzar (2)
fin si
Fin volverAlCampo
    
```

4.3 Sensor infrarrojo, ¿dónde está la pelota?

El sensor infrarrojo nos posibilita 2 funciones, medir el ángulo en que esta la pelota respecto al robot y medir la intensidad de la luz infrarroja, entre mayor la intensidad más cerca está la pelota de la posición del robot (intensidad mayor a 15 aproximadamente).

Si los robots no están viendo la pelota (sensor infrarrojo da un valor de cero) el robot empieza a girar en su eje censando su alrededor en busca de una señal infrarroja. Si al dar 2 giros no se ha encontrado la pelota el robot avanza y cambia de zona con el fin de cubrir y rastrear las distintas zonas del campo de juego. A continuación se muestra el pseudocódigo que implementa lo anterior.

```

Función buscarPelota
intensidad = intensidadSensorInfrarrojo()
giros = 0
mientras (intensidad=0)
    si (giros = 2) entonces
        avanzar ()
        giros = 0
    fin si
    girar ()
    giros = giros + 1
fin mientras
Fin buscarPelota
    
```

4.4 Infrarrojo y compas, “chuta” o realizar “triangulación”

Si el robot encuentra la pelota y esta está cerca para poderla “chutar” (intensidad luz infrarroja mayor a 15 aproximadamente) con el fin de no chutar hacia cualquier parte pudiendo ocasionar un autogol, el robot analiza su posición para ver si está de frente a la portería objetivo.

El robot mira a cuantos grados está del norte, a este valor se le resta los grados que hay entre la portería objetivo y el norte, siendo el primer paso que realiza el robot (ver “Fijando el objetivo”). El resultado de esa resta será los grados que hay entre la posición actual del robot y la portería rival. Si este ángulo está entre -30 y 30 grados el robot chuta teniendo muchas posibilidades de que la pelota entre a la portería rival. Si el ángulo resultante no está en el rango anterior el robot realizará una “triangulación” para acomodarse y posicionarse al frente de la pelota pero esta vez mirando el objetivo, esto se hace retrocediendo un poco, luego hace el recorrido de la hipotenusa y gira hacia el objetivo. Todo esto se hace sin tocar la pelota para no desacomodarla. A continuación se muestra el pseudocódigo de la función `chutar_triangulacion`.

```

Función chutar_triangulacion
  Intensidad = intensidadSensorInfrarrojo()
  direccionArco = direccionInicial -
  direccionSensorMagnetico
  /* Al ángulo obtenido en fijando el
  objetivo” se le resta la dirección actual,
  dando como resultado los grados que hay
  que girar para estar frente al objetivo */
  Si (intensidad > 15) entonces
    Si ((direccionArco > -
    30) y (direccionArco <
    30))
      Chutar ()
      si no
        //triangulación
        Retroceder (0.8)
        //rotaciones
        girarIzq (0.7)
        avanzar (1.1)
        girarDer (1.5)
      fin si
    fin si
  fin chutar_triangulacion

```

5. ESTRATEGIAS Y ALGORITMOS

Para probar el correcto funcionamiento de la arquitectura de cada robot y los algoritmos diseñados se realizaron 4 pruebas diferentes evaluando la precisión, tiempo de respuesta y posicionamiento de cada robot.

Las pruebas se realizaron en un campo de juego con las dimensiones y colores reglamentarios de la RoboCup Junior. Así mismo solo uso un solo robot dado a que ambos presentan la misma arquitectura y la misma programación. Cabe mencionar que la estrategia de juego es tener 2 robots jugadores y no implementar arquero como se detalla en la Fig. 6.

A continuación se presentan las distintas pruebas realizadas con sus resultados y análisis.

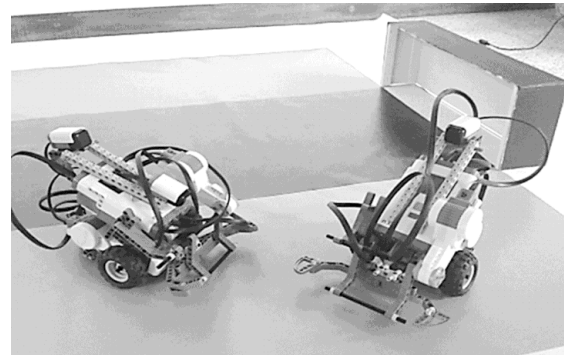


Figura 7. Robot “A” (izquierda) y Robot “B” (derecha) en el campo de juego

5.1 Prueba A: tiempo en ubicar la pelota

En esta prueba se ubicó al robot en un extremo del campo y la pelota en el extremo opuesto tomando el tiempo que demoraba el robot en ubicar la pelota. En la tabla 1 se relacionan los resultados de esta prueba. Como se detalla el menor tiempo fue de 23,5 segundos y el mayor tiempo 28,4 segundos. Este es un tiempo que puede ser propenso a mejorarse.

Tabla 1. Tiempo en ubicar la pelota

| INTENTO | TIEMPO (SEGUNDOS) |
|---------|-------------------|
| 1 | 23,5 |
| 2 | 20,5 |
| 3 | 21,8 |
| 4 | 22,1 |
| 5 | 28,4 |

5.2 Prueba B: tiempo en encontrar la dirección ideal para disparar usando el algoritmo de triangulación

En esta prueba se contemplaron 5 escenarios diferentes, en cada uno el robot está situado en su área pero la pelota está ubicada en distintas posiciones. Particularmente, el robot se ubica en una dirección mirando hacia la portería propia. En la figura 8 se presentan los diferentes escenarios.

El objetivo de esta prueba no es medir el tiempo que utiliza el robot para encontrar la bola y chutar, sino que luego de encontrar la bola cuanto tiempo utiliza el robot para ubicarse de frente a la pelota pero mirando hacia la portería contraria haciendo uso del algoritmo denominado “triangulación” para que posteriormente dispare. Es así como las mediciones que se relacionan en la tabla 2 solo detallan el tiempo utilizado por el robot para encontrar la dirección ideal con el fin de anotar el gol.

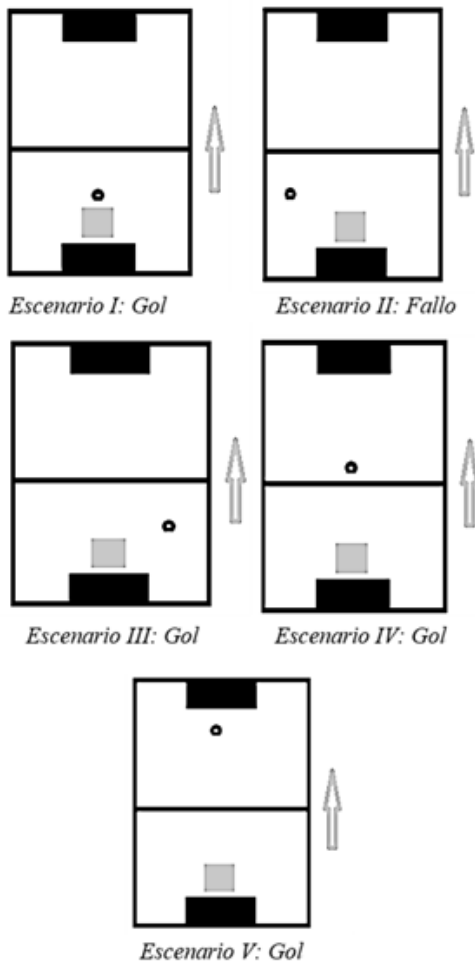


Figura 8. Diferentes escenarios contemplados según posición de la pelota y el robot

Los tiempos obtenidos son menores a los tiempos requeridos para ubicar la pelota dada la complejidad de buscar en un área que es más compleja que el buscar una posición y dirección de disparo haciendo uso del algoritmo de triangulación.

Tabla 2. Tiempo en encontrar la dirección de disparo ideal

| INTENTO | TIEMPO (SEGUNDOS) |
|---------|-------------------|
| 1 | 8,6 |
| 2 | 10,48 |
| 3 | 8,34 |
| 4 | 10,81 |
| 5 | 10,89 |

6. CONCLUSIONES

Se diseñaron un conjunto de estrategias de juego que fueron implementadas haciendo uso del lenguaje lego-NXTG y el robot Lego Mindstorms.

Al realizar las pruebas se pudo comprobar que el diseño físico y los algoritmos escogidos se acoplaron logrando realizar las estrategias diseñadas.

En los resultados de las pruebas para medir el tiempo de ubicación de la pelota y para encontrar la posición ideal de disparo (punto y dirección). Surgen datos extremos gracias a causas externas como desnivel en la cancha y el derrape de las llantas en el desplazamiento o en los giros.

Con las pruebas realizadas, se puede concluir que los robots cumplen efectivamente el principal objetivo del fútbol: Hacer goles en un tiempo aceptable para conservar una dinámica de juego no lenta.

Como trabajo futuro se plantea un sistema de robótica colaborativa (Mitnik, Recabarren, Nussbaum, & Soto, 2009) que permita a los robots de un mismo equipo comunicarse entre sí para realizar movimientos coordinados y acertados ya que como en el fútbol real, un equipo con individualidades pero sin comunicación entre estas no logra un buen rendimiento.

Además se plantea el uso de técnicas de planificación de movimientos con el propósito de que el robot pueda construir una ruta de navegación en tiempo real y libre de colisiones (Márquez, Torres, & Guzmán, 2011)

RECONOCIMIENTO

Este trabajo es soportado por el proyecto “Modelo de gestión en la nube para la manipulación de sistemas robóticos utilizando dispositivos móviles” aprobado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) en su convocatoria 617 del 2013 llamada “Convocatoria para conformar bancos de elegibles para formación de alto nivel para la ciencia, la tecnología y la innovación (semilleros y jóvenes investigadores, doctorados nacionales y en el exterior)”. Este proyecto está asociado particularmente con el módulo (1) semilleros de investigación de dicha convocatoria.

REFERENCIAS

- Mitnik, R., Recabarren, M., Nussbaum, M. y Soto, A. (2009). Collaborative robotic instruction: A graph teaching experience. *Computers & Education*, 53 (2), 330-342.
- Sklar, E., Eguchi, A., & Johnson, J. (2003). RoboCupJunior: Learning with Educational Robotics. En Kaminka, G.A., Lima, P.U. y Rojas, R. (Eds). *RoboCup 2002: Robot Soccer World Cup VI* (pp. 238-253) Berlin, Alemania: Springer.
- Legó. (2012). *Legó Mindstorms*. California, EU. Recuperado de <http://www.lego.com/en-us/mindstorms>
- Lund, H. H. et al. (1999). AI in Children's Play with LEGO Robots. *Proceedings of AAAI 1999 Spring Symposium Series*. Palo Alto, EU.
- Márquez, D., Torres, I., & Guzmán, J. (2011). Planificación de movimiento de un robot lego basado en la aplicación del algoritmo Dist-Bug. *Avances en sistemas e informática*. 8(2) 205-210.
- Martin, F. (1996). Kids learning engineering science using Legó and the programmable brick. *Presented at the AERA 1996 Annual Meeting* New York, EU.
- RoboCup Junior Australia. (2012). RoboCup Junior Soccer. Recuperado de <http://www.robocupjunior.org.au/soccer>
- Sklar, E., y Eguchi, A. (2005). RoboCupJunior — Four Years Later. En D. Nardi, M. Riedmiller, C. Sammut, y J. Santos-Victor (Eds), *RoboCup 2004: Robot Soccer World Cup VIII* (pp.172-183). Berlin: Springer.