

Plataforma educativa basada en robótica de bajo costo para la enseñanza de la programación

Duana, Juan Sebastián; Defelippe, Lautaro; Benítez, José;
Leonardi, Carmen; Marone, José

Instituto de Investigación en Tecnología Informática Avanzada (INTIA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN)

<jsduana@gmail.com>; <lautaro.defelippe@gmail.com>; <jbenitez89@gmail.com>;
<cleonardi@exa.unicen.edu.ar>; <marone@exa.unicen.edu.ar>

Resumen

La robótica educativa es una estrategia de aprendizaje interdisciplinaria que emplea robots para potenciar el desarrollo de habilidades de programación y pensamiento computacional. De esta manera, el estudiante experimenta el paso de lo abstracto a lo concreto, por medio del control de objetos, observando la materialización de las distintas soluciones algorítmicas propuestas.

En este contexto, se desarrolló “*StrandBotic*”, una plataforma educativa basada en robótica, utilizando hardware y software libre, con la premisa fundamental de que sea de bajo costo y accesible para la comunidad educativa.

La misma consta de 3 módulos fundamentales: Un kit de componentes para el armado de robot hexápodo, un entorno de programación visual, para que los estudiantes programan los movimientos básicos del robot de manera inalámbrica y por último un conjunto de secuencias didácticas destinadas a estudiantes del segundo ciclo de Educación Primaria que el docente puede utilizar, junto con otros recursos, para desarrollar el pensamiento algorítmico y los conceptos básicos de la programación.

Este trabajo desarrolla y pone a disposición de la comunidad educativa una plataforma completa, accesible y documentada que puede ser utilizada como un recurso más dentro del aula para la enseñanza de la programación en las escuelas de nivel primario.

Palabras clave: Robótica Educativa, Pensamiento Computacional, Enseñanza de programación, Cultura Libre.

Introducción

Durante 2016 un estudio realizado por Microsoft para Latinoamérica [8], pone de manifiesto que, en los últimos años, ha crecido el interés por ampliar la formación tecnológica de los estudiantes, educando a los jóvenes en la comprensión de cómo funcionan las tecnologías, de manera de convertirlos en usuarios creativos del mundo digital y no solamente en sus consumidores.

Existen diferentes argumentaciones para justificar la necesidad de educar a los jóvenes en Ciencias de la Computación (CC) y en particular en programación. Las más comunes refieren a los beneficios que tendría para las personas una mejor comprensión del mundo digital, así como desarrollar la habilidad de resolver problemas aprovechando las potencialidades de las tecnologías digitales, y comprender sus posibles alcances y limitaciones [9].

“Cuando uno programa, ejercita ciertas habilidades que podríamos llamar ladrillos de la cognición, en el sentido de que luego sirven para los más variados órdenes de la vida” [10].

Es decir, que enseñar programación y CC hace que los estudiantes adquieran habilidades transversales que son aplicables a la vida en general.

A nivel mundial, la educación STEM (*del acrónimo en inglés Science, Technology, Engineering y Mathematics*), se está abriendo paso en la currícula de la educación primaria y secundaria de igual modo que la ciencia y el método científico se incorporaron al currículo en el siglo XX [11].

En Argentina, desde el Consejo Federal de Educación se ha declarado de importancia estratégica a la enseñanza y el aprendizaje de la programación. Durante el año 2018 se creó el NAP (Núcleo de Aprendizaje Prioritario) “Educación Digital, Programación y Robótica” donde estas temáticas serán de carácter obligatorios en la educación Inicial, Primaria y Secundaria en todos los establecimientos del país¹.

Actualmente la robótica educativa ofrece ambientes favorables para el desarrollo de proyectos de programación cuyos productos salen de las pantallas para dar vida a artefactos concretos que se mueven y toman datos del ambiente para realizar ciertas acciones [4] [1]. Interactuar físicamente con un robot y observar cómo evita obstáculos hasta llegar a su meta, tiene más impacto emocional que ver un personaje virtual en un monitor [8].

Algunos de los productos de robótica educativa más relevante en el mundo son LEGO Mindstorms², Bee-Bot³, Fischertechnik⁴, VEX EDR kit⁵ y Moway⁶. En Argentina, por ejemplo, se destacan alternativas comerciales como el Proyecto Icaro⁷, RobotDuino⁸, los productos de RobotGroup⁹ (Figura 1).

Asimismo, las Universidades a través de sus investigadores, desarrollan diversos proyectos en el área, como “Enseñando a programar con

Robots”¹⁰ UNLP, el proyecto “UNC++”¹¹ (UNC) y “FrankLab” [3] (UNCOMA).



Fig. 1 Productos de Robótica Educativa

En este contexto, se pueden plantear algunas problemáticas observadas:

1. Los productos de robótica educativa más relevantes en el mundo implican un alto costo.
2. Muchos de ellos están destinados a un público con realidades muy diferentes a las de nuestra región.
3. Un gran número de piezas o partes, que en su mayoría, no pueden ser reconstruidas si se pierden o se rompen.
4. El comportamiento de los sensores que componen el sistema de “percepción” los cuales en muchos casos son complejos en el uso y programación [7].

Estos factores impiden que los estudiantes desarrollen algunas competencias básicas como el fortalecimiento de habilidades creativas y de diseño, lo cual motiva a desarrollar una plataforma educativa basada en robótica que se adapte a la realidad de los estudiantes de latinoamericanos.

Este trabajo se propone y desarrolla una plataforma educativa basada en robótica con una filosofía de cultura libre que sea accesible, tanto desde lo funcional como lo económico, acompañado además, de un conjunto de secuencias didácticas que guíe al docente en sus actividades áulicas. Este desarrollo se realizó en el contexto del trabajo final de la

¹ [Resolución CFE N° 343 /18](https://www.cfe.gov.ar/resoluciones/343-18)

² <https://www.lego.com/es-ar/mindstorms/learn-to-program>

³ <https://www.bee-bot.us/>

⁴ <https://www.fischertechnik.de/en/teaching>

⁵ <https://www.vexrobotics.com/>

⁶ <http://moway-robot.com/es/inicio/>

⁷ <http://roboticaro.org/>

⁸ <http://www.robotduino.com.ar/>

⁹ <http://robotgroup.com.ar/es/>

¹⁰ <http://robots.linti.unlp.edu.ar/>

¹¹ <http://umm.famaf.unc.edu.ar/>

carrera de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Ciencias Exactas (UNICEN) [2].

Descripción general de la plataforma

La plataforma denominada “StrandBotic”, utiliza hardware y software libre, con la premisa fundamental de que sea de bajo costo y accesible para la comunidad educativa. La misma consta de 3 módulos fundamentales:

1. Un kit de componentes para el armado del robot basado en el mecanismo de Theo Jansen¹².
2. Una interfaz programación sencilla (desarrollado sobre Ardublockly¹³) que presenta un entorno de programación visual, para que los estudiantes diseñen programas mediante bloques básicos que soportan los movimientos del robot y las estructuras de control básicas. La comunicación entre el entorno y el robot, puede ser cableada o inalámbrica.
3. Secuencias didácticas destinadas a estudiantes del segundo ciclo de Educación Primaria que el docente puede utilizar, junto con otros recursos didácticos, para desarrollar el pensamiento algorítmico y los conceptos básicos de la programación.

Para acompañar y guiar al docente se desarrolló un Sitio Web¹⁴ para que los diferentes usuarios tengan toda la información necesaria para poder construir sus propios prototipos, además de poder descargar el entorno de desarrollo y utilizar las secuencias didácticas. En este mismo sitio, se estableció un espacio para resolver las dudas de los usuarios, así como recibir propuestas con el fin de crear una comunidad que permita ir mejorando el desarrollo de la plataforma.

Diseño y construcción del prototipo

Una de las principales diferencias del prototipo con respecto a otros robots educativos, son las

patas. Se estudió y adoptó el mecanismo de Theo Jansen para simular el movimiento de las patas de un animal. Luego varias versiones de prueba, se crearon 2 prototipos funcionales distintos que paulatinamente, mientras se iban corrigiendo sus defectos mecánicos y electrónicos, fueron dando paso a un tercero, que es el que se propone en este trabajo. Utilizando tornillos con tuerca Guía en plástico polipropileno se consiguió que el giro de las patas se produzca sin complicaciones y a su vez no pierda la forma original. Además, se pudo reducir el peso de la estructura. Se compraron dos Motores DC de 3v a 6v con caja Reductora¹⁵ y un eje bilateral. De esta forma, el motor alimenta con su propio eje bilateral los engranajes ocasionando menos conflictos a la hora del rozamiento y la transmisión. En la Figura 2 podemos observar el montaje final del tercer prototipo.



Figura 2: Montaje final del tercer prototipo

Se decidió utilizar dos sensores para que el Robot Educativo pueda guiarse en su trayectoria. En primer lugar, se ubicó en la parte alta de la estructura un sensor ultrasónico de distancia (HC-SR04), cuyo funcionamiento se basa en el envío de un sonido de alta frecuencia, no audible por el ser humano, el cual rebota en los objetos cercanos y es reflejado hacia el robot, el sensor calcula la distancia a la que se encuentran los objetos midiendo la diferencia de tiempo entre el envío del sonido y el rebote de la señal. En segundo lugar, se utilizó un módulo de detección de color (TCS230) que puede detectar una gran

¹² <http://www.strandbeest.com/>

¹³ <https://ardublockly.embeddedlog.com/>

¹⁴ <https://strandbotic.jintand.com/>

¹⁵

<https://candy-ho.com/producto/motor-dc-3v-a-6v-caja-reductora-autor-inteligente-arduino/>

cantidad de colores capturando las componentes Roja-Verde-Azul (RGB) de una fuente de luz y convirtiéndolos en una señal digital de salida.

Finalmente, para darle potencia a los motores se utilizó un módulo controlador (L298N) que permite controlar la velocidad y la dirección de los dos motores de corriente continua de una forma muy sencilla.

Desarrollo del entorno de programación

Para el desarrollo del entorno se tomó como premisa la simpleza y minimalidad de componentes visuales, para que los estudiantes diseñen programas mediante la programación en bloque. Fue desarrollado desde cero sobre *ArduBlockly*, un ambiente de programación en bloques para Arduino desarrollado a partir de la biblioteca Blockly¹⁶ de Google, todas estas bibliotecas tienen licencias de software libre.

Descripción de funcionalidad e interfaz

El diagrama de caso de uso (Figura 3) muestra la funcionalidad del entorno, siendo destacadas con el color azul las más comúnmente utilizadas por los niños.

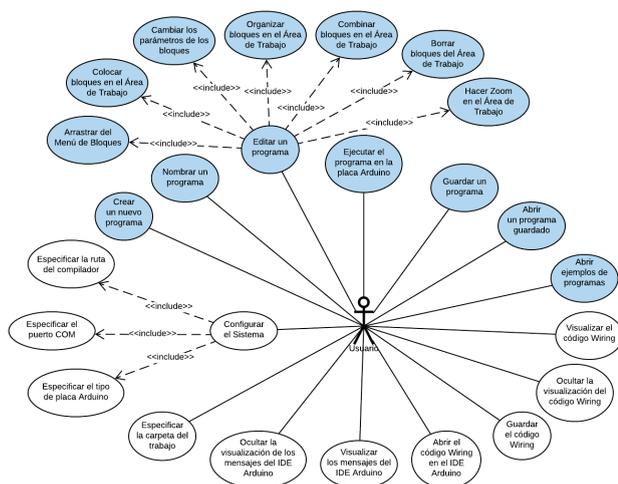


Figura 3: Diagrama de casos de uso

La interfaz de StrandBoTic (Figura. 4) tiene también una barra de navegación donde es posible nombrar, guardar, abrir y crear un nuevo programa.

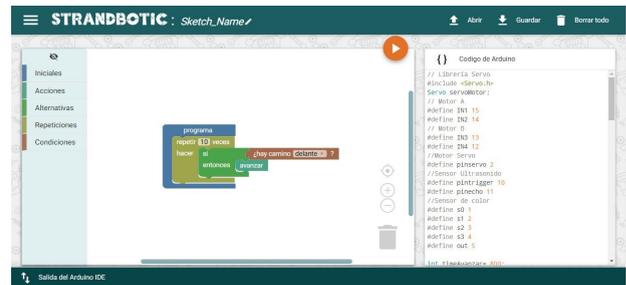


Figura 4: Visualización general de la Interfaz de StrandBoTic

El acceso a los bloques se realiza desde el menú de bloques, donde cada elemento del mismo representa una categoría de bloques y da acceso a un submenú donde están disponibles los bloques correspondientes a esta categoría. También están presentes en el escritorio un botón para enviar el programa a la placa Arduino, una papelera para eliminar bloques y un conjunto de tres botones que permiten aplicar zoom (positivo y negativo) a los bloques.

Diseño y construcción de los Bloques

Dado que la plataforma está pensada para dar soporte a un proceso de enseñanza y aprendizaje de los conceptos básicos de la programación, los bloques de *StrandBoTic* fueron diseñados para dar soporte a las estructuras de control como repetición y decisión, así como también las principales acciones del robot. Los bloques se organizaron en diferentes categorías: iniciales, acciones, alternativas, repeticiones y condiciones. La Figura 5 muestra las categorías: Acciones; Repeticiones y Condiciones.

¹⁶ <https://developers.google.com/blockly/>



Figura 5: Categorías de bloques

Para describir las "funciones" de los bloques se optó por utilizar una representación textual (al igual que Scratch Jr¹⁷ y Lego Mindstorms). En cuanto a los colores utilizados en el ambiente, en contraposición a los colores neutros utilizados en la barra de navegación y en las barras de títulos de las ventanas retráctiles, se decidió adoptar colores para que todos los bloques y sus respectivos elementos de menú compartan una paleta cohesiva. Los bloques utilizados para la construcción de los programas, fueron totalmente rediseñados y programados con *Block-Factory*, una de las partes de la herramienta de desarrollo web *Blockly Developer Tools*.

Comunicación entre el entorno y el robot

La comunicación entre el entorno de programación y el robot se puede realizar de dos maneras:

1. **Cableada:** el framework educativo utiliza el puerto serie mediante una conexión USB para poder actualizar el firmware de la placa Arduino, de esta manera se pueden cargar los nuevos programas. El framework de *StrandBoTic* genera un servidor local para poder comunicarse con entorno *Arduino* a través de comandos (del tipo CLI¹⁸). Por medio de estos tipos de comandos se puede enviar el

código generado para que se pueda realizar la compilación y la carga de un nuevo programa en la placa por medio del cable USB. Si bien este método es funcional y está totalmente implementado, resulta incómodo tener que conectar los dispositivos de esta forma cada vez que se desea cambiar el programa para que el robot realice otra actividad.

2. **Inalámbrica:** para poder establecer esta conexión se buscó un módulo que sea capaz de poder comunicarse vía WiFi con una computadora donde se pueda acceder a la plataforma. Esto se realizó mediante un módulo WiFi (ESP8266) cuyas características son ideales para poder integrarlo en el proyecto ya que su integración con la placa Arduino se puede realizar con una configuración sencilla. Una de las características más interesantes que tienen estos módulos, es la capacidad de cargar remotamente un firmware concreto, es decir, programación vía OTA (Over The Air).

Diseño de secuencias didácticas

Se diseñaron secuencias didácticas pensadas para docentes del segundo ciclo del nivel primario, sin formación específica en CC. Por ese motivo, fueron desarrolladas para que sean accesibles mediante la introducción de ejemplos, explicaciones, analogías y ejercicios que ayuden a la comprensión de los conceptos y temáticas propias de la disciplina. Sin embargo, no reemplazan una formación docente en CC.

Se propone que a través de las secuencias didácticas y el entorno educativo *StrandBoTic*, los estudiantes se inicien en el desarrollo del pensamiento computacional. Estas secuencias están basadas en los manuales de Ciencias de la computación para el aula de la *Fundación Sadosky* [5][6] y enfocadas en el uso del robot para la enseñanza de cada concepto, por lo cual, en un futuro, las secuencias deberían completarse agregando más ejercicios a fin de que los estudiantes puedan crear programas cada vez más complejos para resolver problemas en forma computacional. Se espera

¹⁷ <https://www.scratchjr.org/>

¹⁸ Es un método que permite a los usuarios dar instrucciones a algún programa informático por medio de una línea de texto simple.

que el abordaje de los temas presentados en las secuencias, sean el inicio de un recorrido que los estudiantes transitarán durante los primeros años de escolaridad y que al finalizar puedan:

- Trabajar con conceptos relacionados con las CC para desarrollar habilidades de pensamiento computacional.
- Estimular la confianza de los estudiantes mediante el uso y la ejecución de programas diseñados por ellos mismos.
- Propiciar la reflexión acerca de la utilidad de los programas para representar ideas y resolver problemas.
- Identificar problemas y proponer soluciones a través de la programación, incentivando a la creación de programas, de manera que no se limiten a ser usuarios de aplicaciones realizadas por terceros.
- Promover la reflexión crítica y el trabajo colaborativo a través de la detección y corrección de errores de los programas propios y ajenos.

Las secuencias didácticas presentan algunas actividades para mostrar el tipo de ejercicio de programación que se pueden llevar a cabo con el robot *StrandBotic*. Hasta la presentación de este trabajo se diseñaron 4 Secuencias:

- En la primera secuencia didáctica se introduce a los niños al mundo de la programación donde aprenderán que un programa es una secuencia de instrucciones que la computadora puede realizar y comenzarán a programar, leer y comprender programas con la estructura de control más básica: la SECUENCIA como una forma de escribir paso a paso lo que deberá hacer la computadora.
- En la siguiente secuencia, se introduce la necesidad de contar con algún mecanismo para indicarle a la computadora que queremos que alguna acción se ejecute reiteradas veces, de esta manera introducimos la estructura de control REPETICIÓN SIMPLE.
- La tercer secuencia didáctica, presenta, de manera muy básica e introductoria la noción

de CONDICIONALIDAD, de modo que los estudiantes experimenten que, así como en la vida cotidiana hacemos acciones dependiendo de una condición, en programación se pueden construir sentencias que se ejecutan si determinada condición es verdadera o falsa.

- se propone una cuarta secuencia integradora, en la que los estudiantes pondrán en juego todos los conocimientos adquiridos a lo largo de las distintas secuencias.

Todas las actividades están pensadas para ser realizadas en el entorno de programación por bloques, donde los estudiantes pueden arrastrar las instrucciones y encastrarlas para “escribir” el programa, de una manera muy sencilla. Esta facilidad hace que el estudiante pueda concentrarse en la resolución del problema y no en la forma de escribir la solución. Sin embargo, como son muchos temas (secuencia, repetición, alternativa condicional, entre otros) y varias habilidades (escribir, corregir, predecir, etc.) para que los docentes las lleven al aula, requiere que estas secuencias estén acompañadas de otros recursos necesarios para completar con el proceso de enseñanza-aprendizaje, como por ejemplo: actividades unplugged, actividades en entornos tipo Scratch o Pilas Bloques¹⁹, etc.

Cada secuencia cuenta con orientaciones específicas que intentan colaborar en el momento de implementación o puesta en práctica de cada una de las actividades con el robot StrandBotic. La Figura 6 muestra parte de una actividad de la secuencia didáctica 3. En el sitio <https://strandbotic.jintand.com/> se describen las secuencias didácticas diseñadas.

¹⁹ <http://pilasbloques.program.ar/online/#/libros>

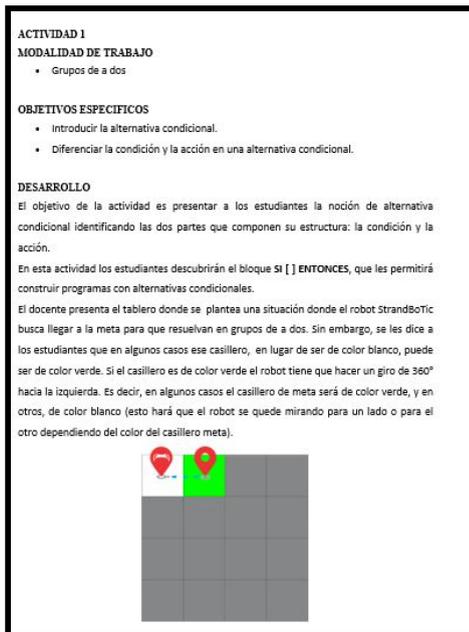


Figura 6 Descripción parcial de una actividad de la secuencia didáctica 3

Conclusiones y trabajo futuros

La robótica educativa se presenta como una alternativa interesante para el desarrollo de actividades en el ámbito escolar ya que permite abordar un gran número de situaciones constructivistas donde los estudiantes pueden diseñar y aprender mediante el estudio de un robot y generar situaciones de apropiación del conocimiento. Con este fin se desarrolló la plataforma *StrandBotic*, la cual está basada en robótica de bajo costo, utilizando hardware y software libre para que estudiantes aprendan a pensar algorítmicamente. En este contexto, el robot sólo es una excusa para trabajar conceptos de pensamiento computacional y despertar vocaciones científicas, pero no es una finalidad en sí misma. Las ventajas de contar con el código fuente de todo el proyecto (tanto del software como del diseño de hardware) permite investigar y mejorar el mismo, para adaptarlo a necesidades concretas, o la posibilidad de “escalar” en complejidad, trabajando a un nivel alto de programación. El costo de producción por robot es de menos de 50 dólares lo cual es relativamente bajo con respecto a las opciones presentes en el mercado.

Esta plataforma consiste en un prototipo de robot con el mecanismo de Theo Jansen, un framework para facilitarle a los estudiantes el desarrollo de programas de alto nivel y secuencias didácticas destinadas a estudiantes del segundo ciclo de Educación Primaria, para enseñarles los conceptos básicos de la programación e introducirlos en el pensamiento computacional. Acompaña a la plataforma un sitio Web para que los diferentes usuarios tengan toda la información necesaria para poder construir sus propios prototipos, descargar el entorno de desarrollo y utilizar las secuencias didácticas, creando además un espacio de intercambio de información para crear una comunidad que permita ir mejorando la propuesta.

Se realizaron algunas pruebas utilizando el robot, donde participaron 5 niños entre 10 y 12 años. De los niños participantes de las pruebas, cuatro demostraron ser capaces de desarrollar las actividades que implican competencias del pensamiento computacional, y uno presentó dificultades en este sentido. La mayor dificultad encontrada por este último se refiere a cuestiones relacionadas con la capacidad de abstracción y la construcción mental de una solución de la secuencia de acciones necesarias para que el robot logre el objetivo planteado en la actividad.

Se planifica continuar el trabajo de este proyecto en los siguientes aspectos:

- Mejorar el sistema de tracción del prototipo ya que en el movimiento de “avanzar” tiene desviaciones debido a los motores de bajo costo utilizados.
- Agregar nuevos sensores y actuadores de bajo costo compatibles con Arduino, como seguidores de línea y tarjetas RFID que permitan la generación de actividades en un contexto real.
- Evaluar la plataforma y las secuencias didácticas en el contexto real de un aula de segundo ciclo de educación primaria, con el fin de analizar su pertinencia y hacer los ajustes necesarios tanto en el entorno de

programación como en las secuencias. Estas pruebas están condicionadas a la disponibilidad que se consiga para realizar estos trabajos en el aula, sabiendo que Ciencias de la Computación todavía no tiene un espacio propio dentro de la currícula.

- Se estudiará la posibilidad de agregar funcionalidad para poder soportar tanto el concepto de procedimiento/función como el manejo de variables simples, y desarrollar las secuencias didácticas correspondientes para enseñar estos conceptos.

Para finalizar, y contrario a lo que se pensó en un inicio, la plataforma no solo presenta una oportunidad para ser utilizada en estudiantes de educación primaria, sino también en los niveles secundario y universitario, por lo que sería interesante agregar a la plataforma el soporte de otros conceptos de la programación y del pensamiento computacional. Al estar basada en software y hardware libre, la plataforma puede ser extendida y actualizada por la comunidad universitaria analizando los requerimientos presentados por las prácticas en escuelas convirtiéndose así, en un proyecto sostenible en el tiempo.

Bibliografía

- [1] ALIANE, N.; BEMPOSTA, S.; FERNÁNDEZ, J.; EGIDO V. (2007). Una experiencia práctica de aprendizaje basado en proyecto en una asignatura de robótica. Extraído el 30 de enero de 2018. <http://bioinfo.uib.es/~joemi/procJenui/Jen2007/alunae.pdf>
- [2] BENITEZ, J; DEFELIPPE, L; DUANA, J. S. (2019). Trabajo Final de Grado para la Carrera de Ingeniería de Sistemas. "StrandBoTic": Una Plataforma Educativa basada en robótica de bajo costo para introducir al mundo de la Ciencia de la Computación. Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA.
- [3] DE LA FUENTE, J.; PICUCCI, M.; BONET PEINADO, D.; ZURITA R.; PARRA, G; RODRIGUEZ, J. Y CECCHI, L. (2018) Construyendo FrankLab: Una Plataforma Web de Robótica Educativa. U Nacional del Comahue. XXIV Congreso Argentino en Ciencias de la Computación: VII Workshop de Innovación en Educación en Informática. Tandil, Buenos Aires, Argentina.
- [4] DEL MAR, A. (2006). Planificación de actividades didácticas para la enseñanza y aprendizaje de la ciencia y tecnología a través de la Robótica Pedagógica con enfoque CTS. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas. Extraído el 30 de enero de 2018. <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAO6345.pdf>
- [5] FUNDACIÓN DR. MANUEL SADOSKY. (2018). Ciencias de la computación para el aula: 1er. Ciclo de primaria: libro para docentes - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Extraído el 02 de Enero de 2019: http://program.ar/descargas/cc_para_el_aula-1er_ciclo_primaria.pdf
- [6] FUNDACIÓN DR. MANUEL SADOSKY. (2018). Ciencias de la computación para el aula: 2do. Ciclo de primaria: libro para docentes /. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Extraído el 02 de Enero de 2019: http://program.ar/descargas/cc_para_el_aula-2do_ciclo_primaria.pdf
- [7] GONZÁLEZ E, J.; JIMÉNEZ B, J. La robótica como herramienta para la educación en ciencias e ingeniería. Escuela de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Revista Iberoamericana de Informática-Educativa, Número 10, Julio - Diciembre 2009. Extraído el 30 de enero de 2018. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3188219.pdf>
- [8] MICROSOFT AMÉRICA LATINA (2016). Enseñar Ciencias de la Computación: Creando oportunidades para los jóvenes de América Latina. Preparado por Ignacio Jara y Pedro Hepp. Extraído el 30 de enero de 2018. https://www.vopuedoprogramar.com/CS_Whiter_Paper_Latam.pdf
- [9] ODORICO, A. (2004). Marco teórico para una robótica pedagógica. Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales, vol. 1(3), 34-46. Extraído el 30 de enero de 2018. <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/010103/A4oct2004.pdf>
- [10] SCHAPACHNIK, F. (2016) Ciencias de la Computación, conocimiento necesario para ejercer la ciudadanía del siglo XXI. Entrevista por Andrés Sebastián Canavoso. En VEsC - Año 7 - Número 12 - Disponible: <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/vesc>
- [11] STEM Education Coalition. Disponible en: <http://www.stemedcoalition.org>