

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Electrónica



**PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL DE BAJO COSTO
COMO MEDIO DE INCLUSIÓN TECNOLÓGICA EN LA
SOCIEDAD ESCOLAR**

Natalia Duarte Alonso

Víctor Raúl Franco Piñáñez

Asesores:

Prof. Ing. Félix Kanazawa

Ing. MSc. Mario Arzamendia

Lic. Ariel Guerrero

San Lorenzo, Paraguay

Noviembre 2013

PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL DE BAJO COSTO COMO MEDIO DE INCLUSIÓN TECNOLÓGICA EN LA SOCIEDAD ESCOLAR

Natalia Duarte, Raúl Franco, *Estudiantes.*

Félix Kanazawa, Mario Arzamendia, Ariel Guerrero, *Orientadores.*

Ingeniería Electrónica.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción.

Resumen – La Robótica Educativa es un medio de aprendizaje, que despierta la motivación y el interés a través de la tecnología. En este contexto, una plataforma robótica es el instrumento principal, el cual representa un apoyo a los procesos de enseñanza y aprendizaje brindando facilidad de comprensión de conceptos por medio de la práctica.

En el presente documento se expone el diseño constructivo de un robot móvil de bajo costo que permita la inclusión de la Robótica Educativa en las escuelas públicas y privadas del Paraguay. Este prototipo conserva las características esenciales del robot *Butiá* desarrollado en Uruguay, el que utiliza la computadora XO del proyecto “*Una Computadora por Niño*” y la que ha sido remplazada por una SBC (*Computadora de Placa Reducida*) con el objetivo de lograr su independencia de la XO, ya que la misma no se encuentra altamente extendida en el Paraguay.

Palabras Claves: Robótica Educativa, Robot móvil, Construccinismo.

Abstrac – The Educational Robotic is a way of learning, that arouses the motivation and the interest through the technology. In this context, a robotic platform is the main instrument, which represents a support for the teaching and learning processes providing facilities in the comprehension of concepts by the practice.

This document exposed the structural design of a low-cost mobile robot that allows the inclusion of Educational Robotics in public and private schools of Paraguay. This prototype retains the essential characteristics of Butia robot developed in Uruguay, which uses the XO computer of the project “One Laptop per Child” and has been replaced by a SBC (Single Board Computer) in order to achieve independence from XO, since it is not highly extended in Paraguay.

Key Words: Educational Robotic, Mobile Robot, Constructionism.

INTRODUCCIÓN

La baja penetración de las Tecnologías de Información y Comunicación *TICs*, repercute con un impacto negativo en la sociedad y la economía. En el Paraguay existen zonas de limitado acceso y conocimiento de las *TICs* [1]. Esto trasciende en el desarrollo del conocimiento, generando un producto intelectual no equitativo y desactualizado.

Algunas metodologías de solución a nivel internacional como respuesta a esta problemática, razonan en la idea de introducir las *TICs* como herramientas en la educación, tal es el Proyecto OLPC - *One Laptop per Child* (*Una Computadora por Niño*) [2], la enseñanza de programación promovida por la Fundación Code.org [3], cursos de robótica, etc. En Paraguay, se evidencia falta de infraestructura *TIC* en instituciones educativas del sector público, el escaso mantenimiento de la disponible y su incorporación en el quehacer educativo [1].

Incluir a la tecnología como medio de renovación en el modelo actual de educación es actualmente un imperativo para los países como el Paraguay, si pretende acelerar su crecimiento y superar el alto índice de pobreza que caracteriza a su población [1].

La combinación de tecnología y educación posibilitará la aplicación de nuevos métodos de enseñanza, que permitirá el fortalecimiento amplio de habilidades como el diseño, investigación, creatividad, trabajo en grupo, entre otras cosas y adicionalmente facilitará el aprendizaje de conceptos teóricos.

Por otro lado, la tecnología es uno de los ejes del mercado actual, con lo que cada vez se requiere mayor número de profesionales

en el área tecnológica. Es así, que iniciar a estudiantes en etapa escolar en la robótica podría presentarse como un elemento más para definir su vocación hacia orientaciones científico - tecnológicas.

Los robots pueden ser una herramienta poderosa y flexible. Aprender a programarlos potencia el desarrollo del aprendizaje inductivo y por descubrimiento guiado, posibilita el diseño de situaciones didácticas que permiten a los estudiantes construir su propio conocimiento, además de favorecer al desarrollo de capacidades cognitivas.

I. ROBÓTICA EDUCATIVA

La Educación, como todo método tiene un proceso evolutivo con el transcurrir del tiempo. Antes del siglo XIX, regía el modelo de la Educación Pasiva, en la que existían dos papeles, el activo (maestro) y el pasivo (aprendiz). El conocimiento se toma como fluido que se transmite desde fuente (*sujeto activo*), hasta destino (*sujeto pasivo*) [4].

Algunos años más tarde, durante el siglo XX, renacieron dos nuevas teorías pedagógicas, el Constructivismo y el Construccinismo.

Aprender en acción.

El constructivismo postula la necesidad de entregar al alumno herramientas que le permitan crear sus propios procedimientos para resolver una situación problemática, de modo que el conocimiento sea una auténtica construcción operada por la persona que aprende. El constructivismo, en pedagogía, se aplica como la enseñanza orientada a la acción [5].

Como figuras clave del constructivismo cabe citar a Jean Piaget y a Lev Vygotski.

El *construccinismo* en pedagogía, es una teoría del aprendizaje desarrollada por Seymour Papert que destaca la importancia de la acción. Está inspirado en el *constructivismo*, y de igual modo supone que en el proceso de aprendizaje, el conocimiento debe ser construido o reconstruido por el propio sujeto que aprende a través de la acción, no siendo algo que simplemente se puede transmitir [4]. Esta

última teoría, es en la que se basan muchos de los desarrollos en robótica educativa ya que el individuo al construir algo tangible puede validar conocimientos o reconstruirlos.

Seymour Papert también es creador del lenguaje de programación Logo [6], el cual mediante instrucciones sencillas permite programar el movimiento de una tortuga.

Uno de los precursores de Seymour Papert, Brian Silverman, es creador de otros entornos de programación que se basan en su mismo principio, con la diferencia de que la programación es realizada por bloques. Algunos ejemplos son Tortugarte y Scratch.

En 1986, Papert realizó un pequeño experimento en la escuela de Heningan, en Boston, incorporando computadoras con Logo en las clases [4]. Los resultados fueron sorprendentes:

Luego de seis meses, los niños presentaban proactividad en el desarrollo de actividades propuestas, demostrando además otros talentos como la creatividad, la estética, el trabajo en grupo, afinidades y estilos, así como habilidades cognitivas.

Además, observó que con la inclusión de una computadora, el papel del docente cambiaba. Éste se convierte en un orientador que utiliza un nuevo medio para lograr enseñar lo que siempre había enseñado y los alumnos encuentran el mejor método de aprender, mediante pruebas y errores, impulsados por la motivación de hacerlo.

Por otro lado, una inmersión total en el mundo de las computadoras más que en el mundo físico puede resultar peligrosa, de ahí la importancia de esta conexión con el mundo real. Es aquí la valoración de la Robótica en la educación.

La Robótica en la Educación constituye un medio de aprendizaje para fortalecer áreas específicas del conocimiento y desarrollar competencias en el estudiante, mediante la planeación, diseño, implementación y realización de pruebas. Desde esta perspectiva, se la conoce como Robótica Educativa, la que se diferencia de la Robótica Pedagógica, cuyo objetivo principal es la enseñanza de robótica.

Uno de los kits de robótica educativa mayormente conocido es el LEGO [7] y más específicamente la línea Lego Mindstorm. El kit LEGO se basa principalmente en un bloque de control gobernado por un microcontrolador. Cuenta con puertos de entrada para la conexión de distintos dispositivos sensores: de luz, temperatura, contacto, giro, ultrasónico, otros y salidas, usualmente para el control de motores. El mismo kit, además cuenta con piezas y ruedas de tipos distintos para la construcción mecánica.

Un inconveniente con este tipo de kits robóticos está más relacionado con el precio y su adaptación a la realidad de los países en vía de desarrollo. Desde esta perspectiva, nace en el año 2009 el proyecto *Butiá* [8], el que consiste en la creación de una plataforma robótica móvil de bajo costo que soporta a las computadoras del Proyecto OLPC (*One Laptop per Child*), las que fueron proporcionadas al sistema de educación pública del Uruguay a través del Plan Ceibal [9], llevado adelante por el gobierno de Uruguay a partir del año 2007. En la Figura 1, puede observarse el Robot Butiá.



Figura 1: Robot Butiá

Lo que caracteriza esencialmente a esta plataforma, desde la perspectiva de su arquitectura hardware, es que es de diseño abierto, de fácil construcción y de bajo costo, además es posible fabricarla de manera casera en todas sus aristas, y posee compatibilidad con otros kits robóticos. Desde la perspectiva del software, este está diseñado para fomentar el uso de software libre.

En Paraguay, en el 2013, miembros del Proyecto Juky[10] en conjunto con la Fundación Paraguay Educa [11], construyeron un total de seis kits robóticos Butiá con motivo de incorporar la robótica en la educación como apoyo al Proyecto UCPN (*Una Computadora por Niño*).

La plataforma Butiá fue pensada para ser distribuida en las escuelas del Uruguay, en donde el proyecto UCPN posee un gran despliegue, registrándose más de 620.000 laptops [9] repartidas por todo su territorio.

En el Paraguay han sido beneficiadas escuelas de la ciudad de Caacupé con alrededor de 10.000 laptops [11], lo que representa un porcentaje menor al 1% de la población. Esto delata una dificultad evidente en la implementación del robot Butiá en escuelas de otras localidades del país.

Por este motivo, se decidió realizar modificaciones al robot Butiá, adaptándolo a las condiciones del entorno paraguayo, independizándolo de la Computadora del programa UCPN, pero conservando sus características más beneficiosas.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

A causa de no contar con una cantidad suficiente de computadoras XO (una de las computadoras del proyecto OLPC) en el Paraguay, se decidió reemplazarla por una Computadora de Placa Reducida – *Single Board Computer (SBC)*, la cual es más fácil de conseguir y tiene un costo mucho menor que la XO. Se realizó dos prototipos funcionales con las SBCs BeagleBone Black [12] y Raspberry Pi [13], (Figura 2).

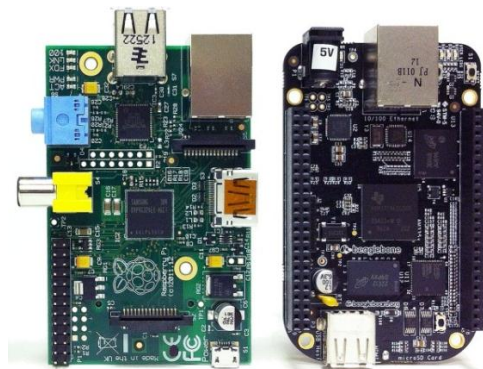


Figura 2: RaspberryPi, BeagleBone Black

El sistema implementado utiliza las tres capas de la arquitectura Butiá [14], expuesta en la Figura 3, donde la primera capa, el nivel más cercano al hardware, es la encargada de actuar con los sensores y actuadores. En esta capa se especifican los servicios que el firmware brinda, además estos servicios son agrupados de forma lógica en componentes de software llamados *módulos de usuario*, los cuales son una abstracción del sensor o actuador que se desea controlar en el robot. Estos componentes de software residen en el firmware de la placa de entrada y salida. El prototipo construido utiliza la placa de E/S USB4Butia [15], la que se observa en la Figura 4, pero también es funcional con la placa Arduino.

TurtleBots [17], para interactuar con la plataforma Butiá y otros kits robóticos.

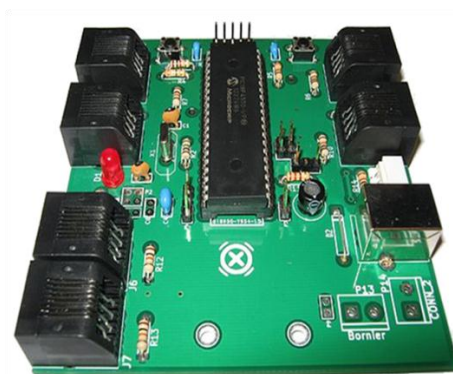


Figura 4: Placa de control de E/S, USB4Butiá

A diferencia de otras plataformas donde la lógica de control se desarrolla en una placa de E/S microcontrolada, la arquitectura Butiá goza de un diseño híbrido, como puede observarse en la Figura 6, donde en la placa de E/S solo se implementa la interacción directa con el hardware, representado en módulos de usuario. La lógica de control es desarrollada en un lenguaje de alto nivel en base a los servicios que estos módulos exponen, implementada esta en la computadora XO. En remplazo de la misma, se incorpora una SBC, que estará a cargo del procesamiento de esta lógica, como puede verse en la Figura 7.

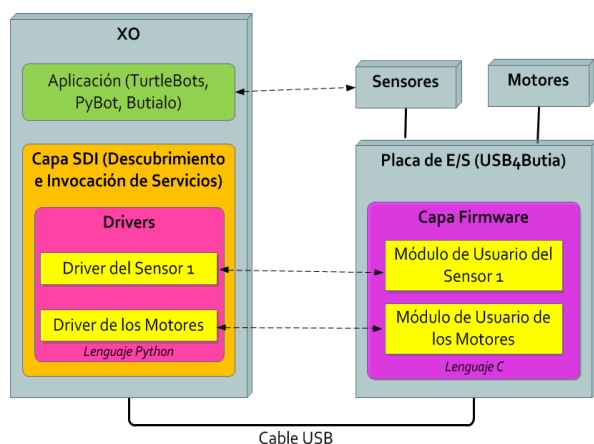


Figura 3: Software del Robot Butiá

La segunda capa se encarga de descubrir de forma dinámica los módulos presentes en la placa de E/S junto con los servicios o funcionalidades que estos brindan, que una vez descubiertos son expuestos para poder ser utilizados por una aplicación.

La tercera capa está hecha para permitir un uso más versátil al momento de integrarse con diferentes lenguajes de programación. Ofreciendo los servicios a un nivel mayor de abstracción.

Entre los lenguajes que pueden ser utilizados para la programación se pueden citar a Python, Lua y otros lenguajes por bloques, como es el caso que ofrece Tortugarte [16]. A éste último, se le ha extendido agregando una paleta, denominada

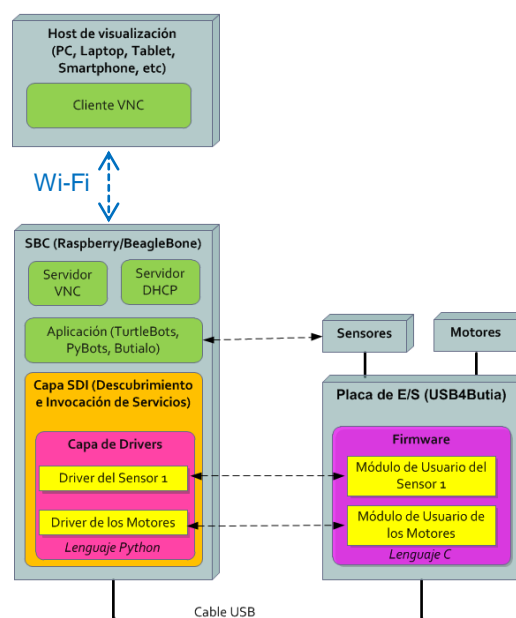


Figura 5: Software del Robot ButiaPi y ButiaBone

A la SBC se le integra un servidor VNC (del inglés, *Virtual Network Computing* – Computación Virtual en Red). Mediante este software, basado en una estructura cliente – servidor, es posible tomar el control del ordenador servidor remotamente a través de un ordenador cliente. Esta característica, facilita que la programación y la depuración puedan ser llevada a cabo de manera remota en otro dispositivo que cuente con un cliente VNC y posea conectividad de red inalámbrica. Respecto a este último punto, en el diseño se tomó como etapa inicial la utilización del protocolo de comunicación 802.11, Wi-Fi. Todo esto independiza al robot Butiá de la XO, pudiendo el niño programar desde cualquier dispositivo (PC de escritorio, tablets, smartphone, laptops, etc.), sin imponer restricción con el sistema operativo que se esté utilizando.

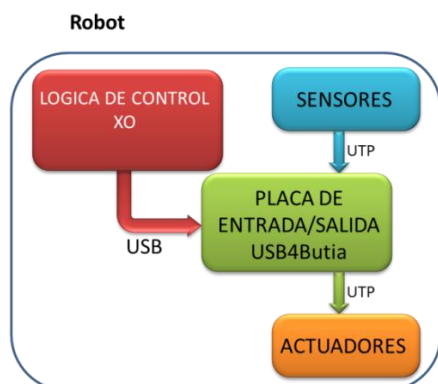


Figura 6: Hardware del Robot Butiá

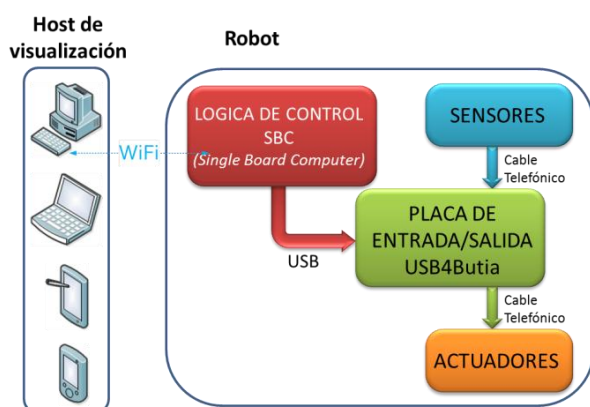


Figura 7: Hardware del RobotButiaPi y ButiaBone

Como el robot está orientado a niños escolares (entre 6 a 12 años) sin experiencia en la programación, es ideal el empleo del lenguaje de programación en bloques ofrecido por el programa TurtleBots (Figura

8). Por esta razón, este programa fue instalado y acondicionado en la SBC, de tal forma que su uso sea sencillo.

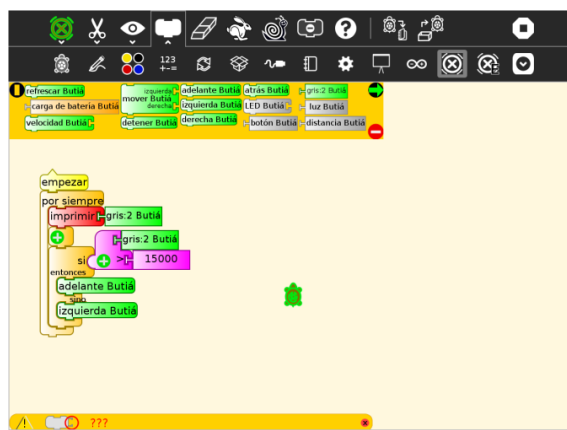


Figura 8: TurtleBots

Para facilitar la conexión de la PC con el robot, se ha configurado el inicio del servicio VNC de forma automática, una vez que la SBC es encendida.

Además, para que esta conexión pueda ser hecha sin necesidad de una previa configuración de red de la SBC se ha creado una red ad-hoc, adicionando además un servidor DHCP (del inglés, *Dynamic Host Configuration Protocol*– Protocolo de Configuración Dinámica de Host), lo que ofrece el servicio de configuración de red automática para el dispositivo de control. De manera esquemática se observa el Software del Robot Butiá modificado en la Figura 5.

Una razón por la cual se mantuvo la arquitectura Butiá es la facilidad de conexión y adición de nuevos sensores. Asimismo, en otras plataformas robóticas, el usuario debe llevar nota de qué dispositivo conectó en cada puerto de comunicación y declararlo en algún punto de la estructura del software. Esto difiere radicalmente respecto a la capacidad de auto-configuración o *Plug&Play* que ofrece la plataforma Butiá. Con esto, el usuario puede aprovechar las capacidades sensoriales y de actuación del robot Butiá, sin preocuparse por una configuración.

III. RESULTADOS

Se obtiene una plataforma robótica móvil de bajo costo, puede verse en la Figura 9,

con un precio de USD 164, mostrándose relativamente económica en comparación con otras alternativas comercializadas. Esta puede ser construida de materiales y componentes reciclables, inclusive pudiendo ser de tamaño y peso reducido, lo que influye directamente en el consumo de energía.

Se logra un diseño adecuado, enfocado a la educación de niños escolares entre 6 y 12 años, de fácil inclusión en todas las escuelas públicas y privadas del país.

El robot es fácil de programar y no requiere ninguna configuración tediosa previamente a su uso. Además, por ser independiente de la computadora del Proyecto UCPN, éste puede ser implementado en lugares donde éste proyecto no tiene alcance.

Adicionalmente, mantiene la fácil extensión sensorial del Butiá y al igual que este permite la programación en bloques y la programación en lenguajes por código.

Inclusive ofrece la oportunidad de programar por medio de una conexión virtual, sin importar el sistema operativo que se tenga instalado. Pudiéndose utilizar materiales informáticos que ya se encuentran a disposición en varios colegios.

El robot puede controlarse de manera remota desde varias computadoras, dentro de la misma red de área local (LAN) hasta un total de 100 sesiones independientes. Se agrega a esto, la incuestionable comodidad del proceso.

Actualmente, el proyecto se encuentra como prototipo por lo que no se han considerado elementos de análisis específico que permitan medir el desempeño de la plataforma frente a otras existentes, aunque el desarrollo del robot ha sido efectuado con éxito dejando la posibilidad de escalar toda la plataforma educativa sin la necesidad de incurrir en grandes costos económicos.

Como resultado de las pruebas realizadas se pudo medir que el consumo total del sistema es de 700 mA. La autonomía de 3 horas utilizando seis pilas AA Ni-MH recargables de 2500 mAh de 1,2 V cada una. La cobertura Wi-Fi ad-hoc fue de 25 metros

lo que satisface el requisito de operación del robot que es de 3 metros. También fue realizada una prueba del ancho de banda máximo utilizado por el sistema, dando un resultado de 1,5 Mbps.



Figura 9: Prototipo del Robot construido denominado ButiaPi

IV. CONCLUSIÓN

Incrementar la inserción de las TICs en la Educación, permite que esta última evolucione respondiendo a los cambios que sufre la sociedad actual. Se plantea la Robótica Educativa como estrategia para brindar a los niños un nuevo medio de aprendizaje.

Con el trabajo desarrollado, se logra como resultado un robot adaptado a nuestro entorno, independiente de la computadora XO, lo que promueve su despliegue a zonas que no han sido beneficiadas con el Proyecto OLPC. Además de conservar la mayor parte de las características del Robot Butiá, como su sencilla construcción y uso, ofrece otras ventajas como un menor costo frente a este.

V. TRABAJOS FUTUROS

Implementado el prototipo y llevándose a cabo una etapa de pruebas de funcionamiento, se proponen varias alternativas que permitirán la madurez de la plataforma.

Debido a que VNC utiliza un gran ancho de banda a causa de que transmite toda la pantalla del entorno que corre en la SBC, no se puede utilizar protocolos de comunicaciones inalámbricas de bajo consumo. Como solución a este inconveniente, podría crearse una interfaz

gráfica web que permita el control del robot enviando únicamente los comandos, reduciendo de esta forma la tasa de transmisión de datos.

La mayoría de las SBCs conocidas no se consiguen fácilmente en el mercado local, por lo tanto, se puede realizar un intérprete en el microcontrolador de la placa de control utilizada, que adicionalmente permita reducir el ancho de banda a utilizarse o bien, remplazar el cable USB por una interfaz de comunicación inalámbrica modificando el firmware como el driver correspondiente. Esto a su vez, reduciría su costo.

El WiFi, por tratarse de un protocolo destinado para el tráfico de multimedia, resulta ideal para la implementación del trabajo, pero en cuanto al hardware que lo soporta, exhibe ser un dispositivo de alto consumo de energía. Como otra alternativa de comunicación, en caso de reducirse el envío de tráfico, es el protocolo 6LoWPAN. Esto tendría como ventaja el aumento de la autonomía del robot, aplicándose el concepto de Internet de las Cosas IoT y de esta manera, se posibilitará la incursión en Robótica Cooperativa.

REFERENCIAS

- [1] Incorporación de TICs en el Sistema Educativo Nacional. Ministerio de Educación y Cultura. Enero 2013.
- [2] ProyectoOLPC, "One laptop per child". Disponible en URL:<http://laptop.org/>, Junio 2013.
- [3] Fundación Code. Disponible en URL:<http://code.org/>, Julio 2013.
- [4] Papert S. *A Critique of technocentrism in thinking about the school of the future*.1990 M.I.T. Media Lab.Epistemology and Learning Memo No. 2, 1990.
- [5] Piaget, J. Inhelder, B. *La psychologie de L'enfant*.Paris. P.U.F, 1966.
- [6] LOGO. Disponible en URL:<http://el.media.mit.edu/logo-foundation/>, Agosto 2013.
- [7] LEGO Mindstorms: Disponible en: http://mindstorms.lego.com/Overview/MTR_AlphaRex.aspx, Octubre 2013.
- [8] Proyecto Butiá. Disponible en URL: <http://www.fing.edu.uy/inco/proyectos/butia/>, Enero 2013.
- [9] Plan Ceibal. Disponible en URL:<http://www.ceibal.edu.uy/>, Agosto 2013.
- [10] Proyecto Juky. Disponible en URL:<http://wiki.sugarlabs.org/go/JukyParaguay>, Agosto 2013.
- [11] Fundación Paraguay Educa. Disponible en URL: <http://www.paraguayeduca.org/es/>, Junio 2013.
- [12] Beagle Bone Black. Disponible en URL:<http://beagleboard.org/Products/BeagleBone+Black/>, Octubre 2013.
- [13] Raspberry Pi. Disponible en URL: <http://www.raspberrypi.org/>, Octubre 2013.
- [14] Gonzalo Tejera, Andrés Aguirre, Federico Andrade, Pablo Gindel, Santiago Margni y Jorge Visca. *Butiá: "Plataforma robótica genérica para la enseñanza de la informática"*. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay. 2011.
- [15] USB4Butia. Disponible en URL: <https://www.fing.edu.uy/inco/proyectos/butia/mediawiki/index.php/USB4buti%C3%A1>. Febrero 2013.
- [16] Tortugarte. Disponible en URL:<http://www.tortugarte.org/>, Marzo 2013.
- [17] Turtlebots. Disponible en URL: <http://wiki.sugarlabs.org/go/Activities/TurtleBots>, Marzo 2013.