

DESARROLLO DE UN MODELO DE ROBOT APLICADO A LA EDUCACIÓN Y SIMULACIÓN EN ENTORNOS VIRTUALES CON ROS: ESPECIFICACIONES DEL MODELO ROBOT UNICICLO EDUBOT-V4
DEVELOPMENT OF A ROBOT MODEL APPLIED TO EDUCATION AND SIMULATION IN VIRTUAL ENVIRONMENTS WITH ROS: SPECIFICATIONS OF THE ROBOT UNICICLO MODEL EDUBOT-V4

**Carlos Solon Guimarães, José Luis Rubio-Tamayo, Renato Ventura Bayan Henriques,
Liliana María Passerino**

DESARROLLO DE UN MODELO DE ROBOT APLICADO A LA EDUCACIÓN Y SIMULACIÓN
EN ENTORNOS VIRTUALES CON ROS: ESPECIFICACIONES DEL MODELO ROBOT
UNICICLO EDUBOT-V4

DEVELOPMENT OF A ROBOT MODEL APPLIED TO EDUCATION AND SIMULATION
IN VIRTUAL ENVIRONMENTS WITH ROS: SPECIFICATIONS OF THE ROBOT UNICICLO
MODEL EDUBOT-V4

Carlos Solon Guimarães¹, José Luis Rubio-Tamayo², Renato Ventura Bayan Henriques³,
Liliana María Passerino⁴

¹ Investigador de Universidad Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

² Profesor Asociado de Universidad Rey Juan Carlos (España) joseluisrubiotamayo@ciberimaginario.es

³ Investigador de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul (Brasil). rventura@ece.ufrgs.br

⁴ Investigadora de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul (Brasil). lpasserino@gmail.com

Resumen

La robótica es una disciplina que viene siendo aplicada a los contextos de aprendizaje desde hace décadas. El uso de robots como tecnología mediadora en los procesos de enseñanza-aprendizaje ha evolucionado notablemente desde entonces, encuadrándose en diferentes perspectivas y aplicaciones. El desarrollo de la creatividad, así como la planificación y la resolución de problemas, o la adquisición de competencias procedimentales relacionadas con el ámbito tecnológico, son algunos de los aspectos que produce la robótica en el ámbito educativo. En el presente artículo describimos el desarrollo de un modelo de robot enmarcado dentro de este ámbito educativo, así como sus características y las aplicaciones. El modelo, cuyo primer prototipo fue iniciado en 2014 se ha desarrollado con componentes de *hardware* libre y código abierto. El presente artículo muestra las implicaciones de implementar dinámicas de trabajo con robots en ámbitos educativos universitarios, al tiempo que el uso de herramientas de simulación en entornos virtuales e inmersivos, usando librerías de *software* como ROS o simuladores como Gazebo, incrementa las posibilidades de desarrollar nuevas líneas de trabajo y dinámicas de aprendizaje innovadoras.

Palabras Clave: educación, sistema interactivo, robótica, simulación, robótica educativa.

Abstract

Robotics is a discipline that has been applied to learning contexts for decades. The use of robots as a technology for approaching to educational processes, has progressed since then, and has been part of diverse approaches and applications. The development of creativity, the resolution of problems or acquisition of competences connected with the technological scope, are some of the features set out by robotics in the educational domain. This manuscript describes the development of a model of robot for educational purposes, as well as its features and applications. The model, whose first prototype was initiated in 2014, has been developed with free hardware components and open source. This manuscript shows implications when implementing work dynamics with robots in educational university contexts. Simultaneously, when using tools for simulating robots in virtual immersive environments, all together increases possibilities for developing new lines and dynamics for collaborative and cooperative work.

Keywords: education, interactive system, robotics, simulation, educational robotics.

INTRODUCCIÓN

Desde finales de los años 40 y principios de los 50, a partir de aportaciones de científicos como Walter (1950, 1950b, 1951), la robótica es objeto de una serie de hitos que marcarían el enfoque de aplicación y uso de esta disciplina en diferentes ámbitos, especialmente en lo que concierne a su planteamiento como herramienta educativa, o las implicaciones sociales de la misma. A partir de entonces, innovaciones y nuevas propuestas en áreas como la robótica social, la imitación de la naturaleza para el desarrollo de máquinas autónomas o el planteamiento de que los robots pudieran aprender a modo de inteligencia artificial, los avances en las aplicaciones de la robótica han tenido una gran repercusión, hasta el punto de que la robótica se plantea como un instrumento en las tecnologías de la educación.

La robótica es, al día de hoy, un área de conocimiento y desarrollo que deja de estar exclusivamente ligada a la industria y la producción para ser aplicada en áreas de trabajo interdisciplinarias. En este contexto, y desde hace un tiempo, es un instrumento que actúa como mediador en los procesos de enseñanza-aprendizaje, como aquellos de perspectiva constructivista e interaccionista, y que se centran en aspectos relacionados con estos últimos, como el *learning-by-doing*, o la resolución de problemas con base científico-tecnológica. Por otra parte, el desarrollo de entornos virtuales y simuladores plantea la posibilidad de reforzar un debate en torno a nuevas posibilidades de acceso en el ámbito de la robótica, conectando necesariamente esta disciplina con áreas del conocimiento emergentes como el internet de las cosas. Por su parte, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), especialmente aquellas en el ámbito digital, también están potenciando la evolución y el desarrollo en este campo de la robótica, gracias a la simulación virtual de componentes que permiten emular el funcionamiento de robots sin disponer del dispositivo físico.

El trabajo actual consiste en una propuesta metodológica centrada en ámbitos universitarios, con la mediación del uso de robots y de simuladores en entornos virtuales. Mediante la implementación de robots con características específicas, se pretende potenciar el aprendizaje de áreas propias del estudio de la ingeniería, como son la programación, el aprendizaje del funcionamiento de algoritmos, o la electrónica. Entre las aproximaciones metodológicas que se presentan en esta investigación, se encuentra la teoría socio-histórica de Lev Vygotsky (en Vygotsky, 1997). Esta propuesta pedagógica con base epistémica en Vygotsky, junto con herramientas de *hardware* y de *software*, nos han permitido llevar a cabo el desarrollo de un sistema de robótica con fines pedagógicos que se ha denominado EduBOT, cuya estructura, mecanismos, proceso de desarrollo y aproximaciones a la interacción, son descritas a lo largo del presente artículo.

El período de desarrollo de EduBOT se lleva a cabo entre marzo de 2014 y junio de 2017, consistiendo en varias fases que culminan con la versión V5. Los resultados parciales y la descripción del modelo en las etapas del proyecto, correspondiente a la versión del modelo EduBOT-V2, se dan a conocer en publicaciones anteriores (Guimarães et al., 2014).

Las actividades que se desarrollan en el marco de este proyecto se enfocan en diferentes áreas y disciplinas. Entre las áreas de conocimiento que potencia la implementación de la robótica en procesos de aprendizaje, se encuentran actividades relacionadas con la programación, el prototipado o la capacidad para llevar a cabo y desarrollar un proyecto, con la robótica como base. También, la construcción de prototipos permite a los estudiantes elaborar hipótesis (lo que les pone en contacto con el método científico) o trabajar de manera colaborativa en la resolución de problemas. En este contexto, el aprendizaje mediado por una tecnología como la robótica nos retrotrae a lo que

Vygotsky en los años 30 (en Vygotsky, 1978) denomina como Zonas de Desarrollo Próximo (ZDP), permitiendo esa mediación tecnológica ampliar su radio de actuación. Estas ZDPs, desde esta perspectiva, se conforman como espacios de aprendizaje que potencian, de un lado, la construcción de conceptos científicos, potenciando a su vez competencias y habilidades importantes para las interacciones sociales y culturales (Vygotsky, 1998).

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La robótica aplicada al campo educativo ha tenido muchas aproximaciones y tiene una enorme proyección en este contexto, siendo, tal y como se ha mencionado, un instrumento para desarrollar procesos de trabajo constructivistas, y conectar a las personas con los fundamentos de la tecnología y el funcionamiento de los sistemas.

Los dispositivos robóticos funcionan, en ese sentido, y bajo esta perspectiva, como interfaces, en la medida en que la forma en que se diseña el robot es en gran parte la forma en que se plantea esa interacción con el usuario, profundizando en esa relación entre la forma y la función. En esta línea, tal y como afirman autores como Cuadrado Alvarado (2014), la “interfaz es una metáfora de control”, y, aplicado a este contexto, la robótica es una disciplina que atribuye unas funciones a un objeto que interactúa, a modo de *hardware*, con un entorno y una serie de usuarios. Bajo esta perspectiva, el diseño que adapta las funciones del robot bajo la configuración de una estructura (*hardware*) es lo que, en cierta medida, se corresponde con una interfaz.

La robótica aplicada al contexto de la educación no es un fenómeno reciente, y han sido numerosas las perspectivas y líneas de trabajo bajo las cuales se han desarrollado proyectos en estas áreas, teniendo en cuenta esta relación entre configuración de un dispositivo y las funciones que se le plantean asignar. Esta relación profundiza, pues, en el hecho de que la robótica fuera planteada desde casi sus inicios como un contexto tecnológico

con un gran potencial para desarrollar líneas de investigación en el ámbito de la educación, dando lugar a la robótica educativa. Varios autores (Ahlgren y Verner, 2002, Alimsis, 2013) han planteado, así recientemente, los retos que presenta la robótica educativa como medio para desarrollar nuevas líneas de investigación.

Dentro de las diferentes aproximaciones a esta área de investigación, estudios de autores como Chiou (2012) enmarcan la robótica educativa dentro del contexto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Otros estudios recientes, como el de Chuah et al. (2014), se centran en el desarrollo de un instrumento para el aprendizaje de la interacción, en este caso, aplicado a casos como el desarrollo de las habilidades sociales en niños autistas, incidiendo de nuevo en esa idea de robot como dispositivo de interacción. También trabajos como los de Denis y Hubert (2001) o de Goldman et al. (2004) inciden en este potencial colaborativo de la robótica, y otros estudios, como los de De Cristoforis et al. (2013), analizan la robótica colaborativa desde la perspectiva del comportamiento e interacción con los sujetos y/o usuarios. Esta aproximación a la interacción también se viene investigando en campos como el autismo (Kozima et al. 2005), en la medida en que los robots se constituyen como dispositivos mediadores entre el usuario y su entorno. Otros autores, como Oreggia et al. (2016), plantean la inclusión de la robótica en el currículum escolar.

La robótica también presenta enfoques de gran interés en ámbito con otras disciplinas que tienen relación con las TIC, especialmente con esta nueva generación relacionadas con los entornos inmersivos, la realidad virtual o la telepresencia. En esta línea, estudios como los de Kaerlein (2012) nos hablan de la aplicación de la telepresencia al área de la robótica. En el estudio, el autor plantea este enfoque interactivo en el que dispositivos de carácter antropomórfico se utilizan como tecnología para que dos interlocutores remotos se puedan comunicar.

Este contexto de la telepresencia (que tiene una relación directa con otros ámbitos de esta nueva generación de TICs como los entornos inmersivos o la realidad virtual) en el área de la robótica, profundiza en esa noción del dispositivo tecnológico (y en este caso, el dispositivo robótico) como interfaz, que influiría, de algún modo, en algunas decisiones tomadas en lo referente al diseño de interfaces. Además, este aspecto estaría intrínsecamente ligado a otras áreas, tales como el diseño de interacciones, que a su vez deriva de las funciones potenciales para las que se configura o se quiere implementar en el dispositivo, por un lado, y a los medios técnicos disponibles para desarrollar esa interfaz. Además, Kaerlein (2012), plantea una reflexión en ese punto, sobre el aspecto de las interfaces de usuario que clasifica en dos grupos fundamentales: “naturales” y “tangibles”, y que aplicados al área de la robótica y estudios de factores como el ya referido de la telepresencia, sería el resultado de una conexión continua entre entornos reales y entornos generados de manera artificial, planteando, además, la relación entre medios y la noción de inmediatez en el ámbito de la comunicación y de la relación con el entorno.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se muestra la metodología de enseñanza-aprendizaje que se viene utilizando durante las fases de la docencia impartida. En este caso, la metodología es la que se viene llevando a cabo, de manera específica, en los cursos de Ingeniería de Computación e Ingeniería de Control y Automatización en la Universidad Federal do Río Grande do Sul (UFGRS, Porto Alegre, Brasil). Durante el proceso se estuvo reflexionando sobre las diversas formas de ofrecer a los estudiantes, en las primeras etapas del grado, actividades que faciliten la asimilación de conceptos científicos a partir de nociones fundamentales basados en el uso de la tecnología robótica. Este proceso de asimilación e interiorización de conceptos científicos, que parte de teorías como la teoría socio-histórica desarrollada por Vygotsky alrededor de los años 20 (en Vygotsky, 1997), se potencia a través de

la acción mediadora del modelo de robot usado en la investigación (EduBOT) y de las actividades que permiten la interacción entre los sujetos.

El uso de la robótica en la educación requiere de una planificación atenta y esmerada para todas y cada una de las etapas del proceso de enseñanza-aprendizaje. Este uso de la robótica no se limita al montaje y ensamblaje de prototipos, sino, sobre todo, cómo y qué conceptos se pueden abordar a la hora de concebir la elaboración de los mismos y la forma como esos conceptos se relacionan para planificar una hipótesis de solución de un problema. Así, para que la robótica pueda ser un instrumento de mediación en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se propone una metodología (que se muestra en la figura 1) en la que se diferencian algunas etapas fundamentales, que son la presentación de los artefactos, presentación de los desafíos y validación de las propuestas de los grupos. La formación de los Grupos Colaborativo tiene como finalidad el diseño y la estructuración de los laboratorios, definición de las diferentes herramientas que forman parte del proceso, producción de los recursos que van a ser empleados, realización de *test* de lógica y programación para el uso de un robot móvil en un laberinto y, finalmente, la evaluación del proceso en su conjunto, mediante la resolución colectiva por medio del trabajo grupal.

La metodología desarrollada tiene un enfoque cualitativo, basada en la investigación-acción, definida por Thiollent (2005) como un “tipo de investigación social con base empírica y que es concebida y realizada en estrecha asociación con una acción o resolución de un problema colectivo”, donde los investigadores se encuentran implicados ya sea de modo cooperativo o participativo. En este caso, las evaluaciones se realizan mediante un proceso que consta de varias partes, como el desarrollo y la elaboración de trabajos en grupo, el envío de informes de las actividades que han sido realizadas, una serie de pruebas de carácter individual y, en la última fase, una presentación final de los trabajos que se han desarrollado, en donde se analizan los diferentes conceptos técnico-científicos y la manera que estos han sido interiorizados, asimilados y comprendidos por los estudiantes.

Por otro lado, y en lo referente al modelo de robot desarrollado durante el periodo relativo a este estudio, plantear el uso de este tipo de modelos de robots en la educación presenta, entre otras ventajas, la de que tiene un coste reducido, de manera que pueda ser accesible a un número elevado de organismos, colectivos, instituciones, y usuarios a nivel particular. El uso de *hardware* y *software* libre y el hecho de que gran parte de los componentes hayan sido elegidos, en la medida en que puedan ser accesibles para los centros educativos, es otro de los planteamientos en los que la propia robótica educativa tiene que incidir. El hecho de facilitar el acceso e implementación de la robótica educativa dentro de las TICs también surge a partir de la posibilidad de usar simuladores de robots virtuales (muchos de ellos de código abierto) que posibiliten formas de trabajar con robots sin necesidad de tener el dispositivo de manera física.

EduBOT se presenta en la figura 2, cuyo diagrama de implantación define las relaciones entre los componentes de *software* y *hardware*.

Con la pretensión de desarrollar una cinemática de carácter más sintética, la configuración por la que se optó fue la de un modelo de tipo uniciclo (Secchi, 2008), compuesto por dos ruedas fijas de carácter convencional, posicionadas sobre un mismo eje, y que son accionadas de forma independiente -lo que se denomina mecanismo diferencial- (Barros, 2014). Esta configuración utiliza uno o más elementos de contacto con la superficie, de manera que le pueda conferir al robot la estabilidad deseada (Nourbakhsh & Siegwart, 2004). A nivel general, se emplean una o más ruedas pasivas, ya sea de carácter orientable y no centrada, o bien de tipo esférico, tal y como se especifica en la figura 2. El robot móvil EduBOT ha sido modelado mediante un *software* de diseño mecánico CAD, que se basa

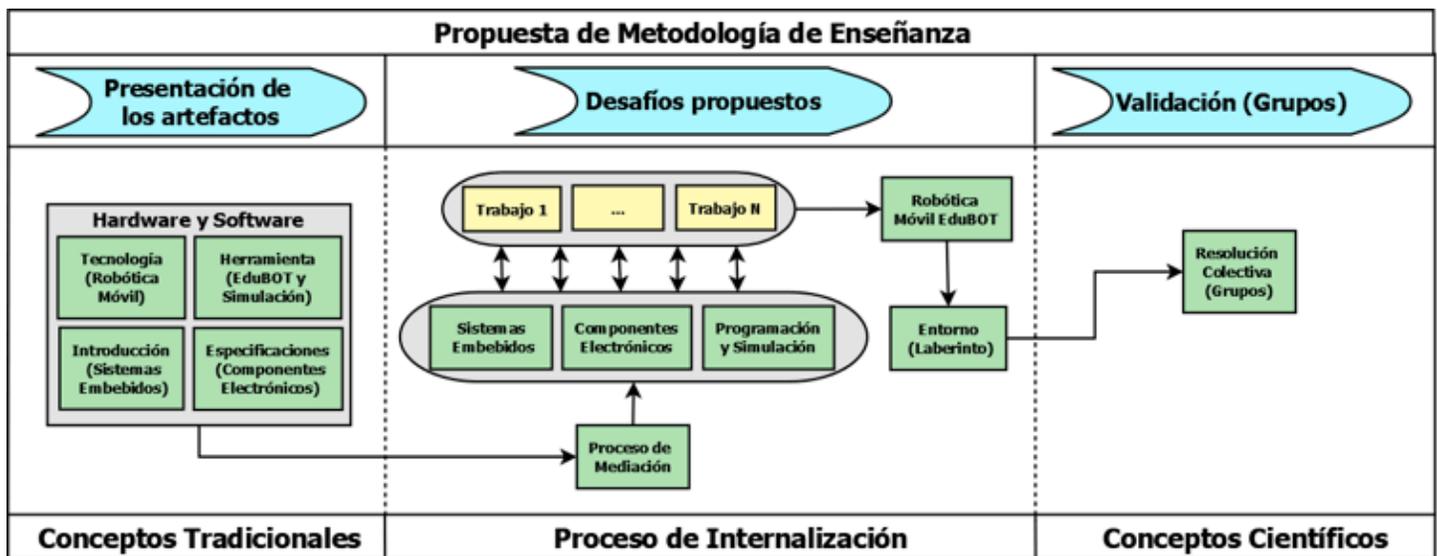


Figura 1. Estructura de la Propuesta de Metodología de Enseñanza, propuesta por Thiollent (2005) y otros, y donde se muestran tres áreas fundamentales diferenciadas: por un lado, los Conceptos Tradicionales (en donde se enmarca la presentación de la tecnología que va a ser utilizada), el Proceso de Internalización (en donde se enmarcan los propios desafíos propuestos por la tecnología) y, como tercer estrato del proceso, los conceptos que tienen relación con la validación.

ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Descripción

La plataforma EduBOT-V4 se define como un robot móvil de tipo no holonómico con accionamiento diferencial, y que usa las ruedas como sistema de locomoción (Guimarães, 2015). El modelado del Sistema Embebido del modelo

en la computación paramétrica. El desarrollo de las formas tridimensionales con el *software* CAD se ha realizado a partir de formas geométricas elementales, que luego han sido ensambladas para construir el dispositivo. Desde el inicio del proyecto, tanto los diseño mecánicos, como electromecánicos del EduBOT han sido objeto de modificaciones y mejoras, centrando dichas

mejoras en la estructura mecánica, por un lado, y en aspectos relacionados con el rendimiento del robot. La versión correspondiente a la fase actual de desarrollo del EduBOT puede ser observada en las figura 3.

Simulación del Robot en Entornos Virtuales: ROS (Robot Operating System), STDR, y Gazebo

La evolución de la robótica en el campo de la educación plantea cuestiones de interés que ponen de manifiesto su relación directa con las tecnologías digitales (TICs), y que,

cada vez más campos del conocimiento y de la ciencia, viene teniendo también un impacto de gran calado en la propia robótica, en la medida en que ésta se puede simular gracias a estos entornos inmersivos 3D que la trasladan al espacio virtual.

En el actual proyecto está siendo utilizado un *framework* para poner en contexto el entorno real del robot EduBOT-V4 para los estudiantes. Este *framework* viene siendo utilizado con el ya mencionado *Robot Operating System (ROS)*, que consiste en una estructura flexible que permite escribir *software* aplicado

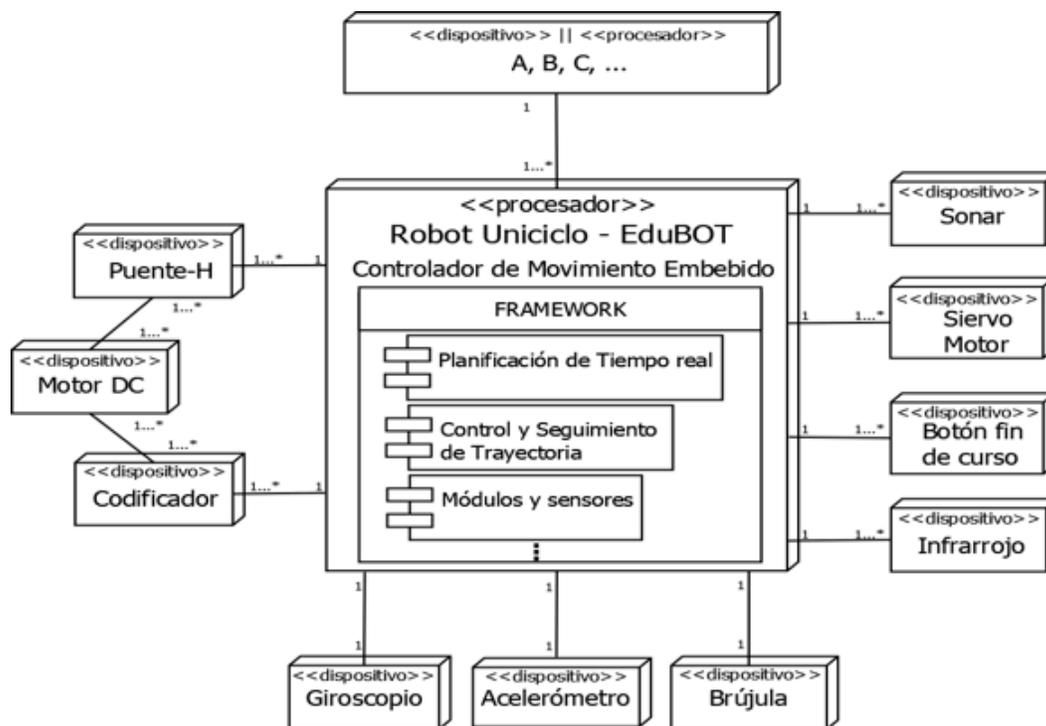


Figura 2. Diagrama para la implantación del sistema de control del robot EduBOT. Este diagrama, además de ayudar a entender las relaciones entre los diferentes componentes de *hardware* y *software* del modelo utilizado, también ayuda a comprender y sintetizar las propias funciones del mecanismo, incorporando la perspectiva de disciplinas como el diseño de interacciones, en el que la interacción define la función de un sistema, y éste especifica el componente que va a ser usado para el mismo.

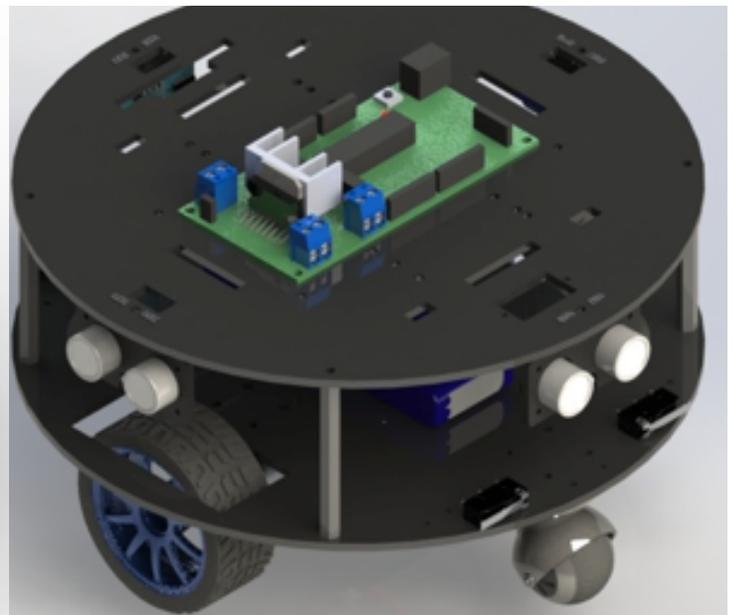
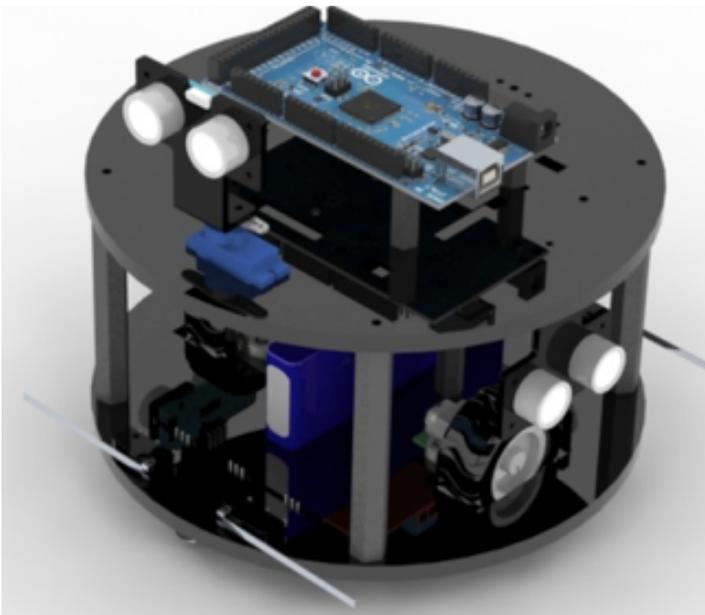
necesariamente, se hace preciso conectar, tal y como se ha explicado. La robótica, como área tecnológica relacionada de forma directa con otras áreas, no es ajena a la evolución de las tecnologías digitales, y se desarrolla de manera paralela, en un proceso de retroalimentación entre tales tecnologías digitales, los dispositivos de *hardware* y los métodos de investigación y de proyección de actividades. De este modo, la emergencia de simuladores y de entornos virtuales e inmersivos, y su aplicabilidad a

a robots. Así, ROS se basa en una colección de herramientas, librerías y estándares que pretenden simplificar el proceso de desarrollo de acciones y dinámicas en una amplia variedad de plataformas robóticas. En los test iniciales, han sido utilizados dos simuladores integrados en el ROS, un simulador y un multi-robot 2D simple, flexible y escalable, y, por otro lado, un simulador 3D realista con un soporte de *hardware*.

A - ROS Simulador 2D STDR (Simple Two-Dimensional Robot Simulator):

El STDR Simulator (STDR 2017) implementa una arquitectura distribuida basada en el modelo de diseño de *software* cliente-servidor, permitiendo que cada nodo pueda ser ejecutado en una máquina diferente y comunicarse a través del uso de las interfaces ROS. El simulador de STDR proporciona a su vez una interfaz gráfica de usuario (GUI- Graphical User Interface), desarrollada

otro, el que incorpore un mayor número de funcionalidades. Lo que se pretende, mediante el uso de este simulador, es poder simular uno o más robots de manera simplificada, y minimizando las acciones necesarias que un investigador en el área debe ejecutar para iniciar la experiencia. Aparte de este hecho, el STDR puede funcionar de dos maneras, con o sin entorno gráfico, lo que a su vez permite que las experiencias ocurran utilizando conexiones a través del protocolo de red.



Figuras 3 y 4. Diseño en CAD 3D del robot EduBOT-V3 y V4. En la figura 3 se presenta el robot con la placa Arduino. En la figura 4, se presentan modificaciones, como la integración de la placa Venturino (UFRGS) y cambios en componentes como las ruedas.

en QT, que permite la visualización de los componentes, entre otras funciones. La figura 5 muestra el proceso de ejecución del simulador STDR para la navegación de un robot, donde el STDR proporciona varios lanzadores (que van incluidos en el paquete `stdr_launchers`) para abarcar escenarios de uso básicos, ejecutándose la ventana GUI STDR.

La GUI no es precisa para que se ejecute el simulador, pudiendo ser sus funciones ejecutadas usando herramientas en líneas de comando, que son proporcionadas por el paquete. El uso del simulador STDR tiene dos principales enfoques:

- No pretende ser el simulador con mayor grado de realismo, por un lado, ni, por

- El simulador STDR se desarrolla de forma que sea totalmente compatible con ROS. Los robots y los sensores emiten una transformación (tf) ROS, un paquete que permite al usuario observar los múltiples cuadros de coordenadas a lo largo del tiempo, siendo todas las medidas publicadas en temas ROS. De esta forma, la STDR, utiliza todas las ventajas de ROS, apuntando a un uso fácil con una estructura robótica más avanzada. Esta compatibilidad con ROS también sugiere que la GUI y el servidor STDR pueden ser ejecutados en máquinas diferentes, pudiendo, a su vez, el STDR trabajar junto con el ROS Rviz para visualizaciones.

B - ROS Simulador 3D GAZEBO

Gazebo puede simular uno o varios robots en un entorno 3D, presentando una elevada capacidad de interacción dinámica entre objetos. El simulador posibilita testar de manera rápida, realizar proyecciones de robots, realizar test de navegación y entrenar el sistema mediante el uso de escenarios realistas. Gazebo ofrece también la capacidad de simular de forma precisa y eficiente grupos de robots en entornos internos y externos complejos, con un motor de física consistente, gráficos de alta calidad e interfaces programáticas. Gazebo suministra un paquete para trabajar

realizar el accionamiento de Gazebo, se inicia el simulador con una ventana GUI.

El diseño del modelado de mecánica 3D del EduBOT, es, posteriormente, exportado a STL (Standard Tessellation/Triangulation Language), consistente en un formato de archivo 3D que usa una serie de triángulos para realizar una descripción de las superficies externas de un modelo de 3D. Así, de este modo, el robot 3D en STL es importado dentro de un entorno virtual de Gazebo junto con URDF (Universal Robotic Description Format), que consiste en un formato de archivo XML utilizado en ROS para describir todos los elementos del robot.

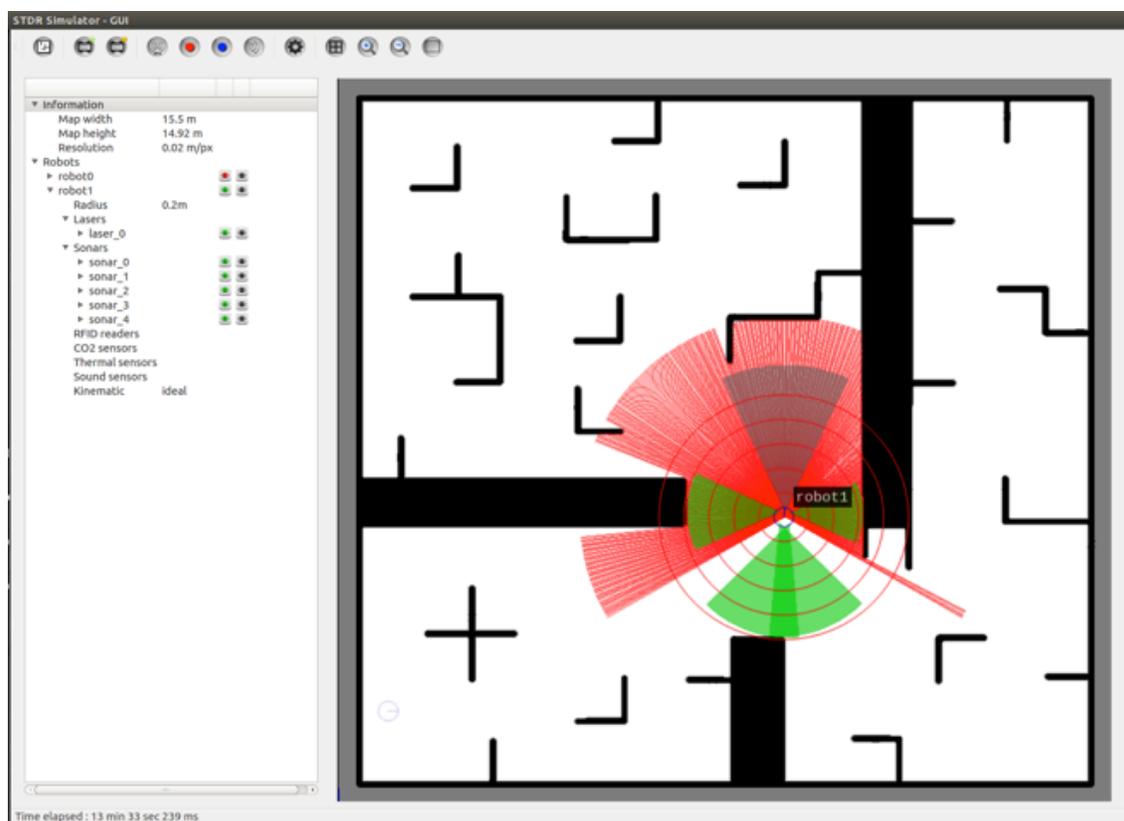


Figura 5. Interfaz gráfica de usuario (GUI) y de ejecución del simulador STDR en ROS.

en el entorno ROS, iniciando un nodo llamado igualmente "gazebo" que inmediatamente, a su vez, abastece a las interfaces de ROS. A su vez, a API ROS permite que un usuario manipule las propiedades del entorno de simulación, además de permitir la observación sobre el estado de cada modelo dentro del entorno. La figura 6 muestra la ejecución del simulador Gazebo para la navegación del robot EduBOT, después de configurar variables de entorno ROS y

Además, y dentro del contexto del uso de estos simuladores, es importante resaltar el valor de la función para el desarrollo del sistema o del dispositivo. A partir de una necesidad aplicada de interacción con el entorno y el diseño de unas características previas de este sistema, se pueden simular robots que han sido diseñados previamente mediante otros procedimientos, así como testarlos, además de tener la posibilidad, a través del uso de

la plataforma, de concebir nuevos modelos de robots que presenten nuevas funciones, y testarlos antes de desarrollarlos e implantarlos.

SIMULADORES DE ROBOTS APLICADOS AL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN Y LA EDUCACIÓN

Existen otros simuladores virtuales de robots, algunos de ellos aplicados exclusivamente al campo educativo, como pueden ser *Robot Virtual World (RBO)* o el *Virtual Robotics*

En cuanto a desarrollos más recientes de simuladores virtuales de robots aplicados al campo de la investigación y la experimentación en tecnología, encontramos ejemplos como *Roborobo!*, un simulador de robots destinado a ser usado, fundamentalmente, en robótica colectiva o en robótica de enjambres (Bredeche et al 2013). Mendonça et al. (2013) desarrollan un simulador basado en el ya mencionado *framework* ROS para aplicarlo, de manera específica, a físicas en entornos simulados en desplazamiento e interacción en aire y entornos acuáticos. En otra línea, Collins et al (2016)

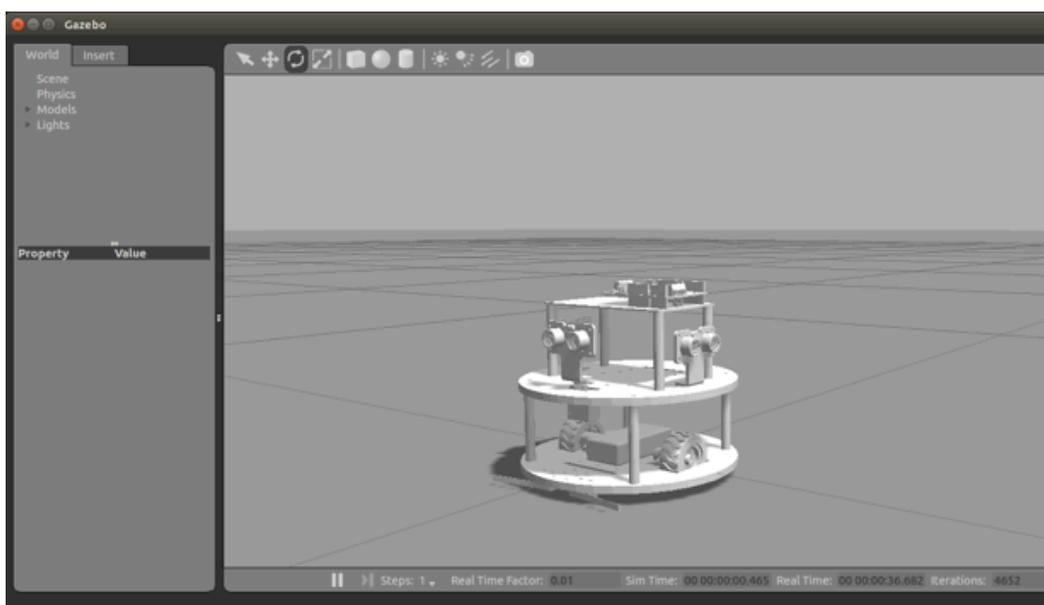


Figura 6. Interfaz Gráfica y ejecución del simulador Gazebo en ROS con EduBOT.

Toolkit de Lego. Las investigaciones en este campo vienen dando resultados bajo diferentes perspectivas, fundamentalmente desde la primera década del siglo XXI. Así, investigaciones como las de Gamez et al. (2006) desarrollan dos herramientas para simular robots inspirados en la biónica. Otros estudios, se centran en el desarrollo de estos entornos, como es el caso de *USARSim* (Carpin y Lewis, 2007). Por su parte, Tikhonoff et al. (2008) desarrollan también un simulador de código abierto para investigación en el área de robótica cognitiva, denominado *iCub* (en Tikhonoff et al., 2008), y otros autores como Freese et al (2010) desarrollan una plataforma para la experimentación con robots virtuales, con el nombre de *V-rep*.

también realizan su aportación con *Rebots*, un simulador enfocado de manera específica a robots autoconfigurables. Y, en lo que en la búsqueda de aplicaciones de la robótica en ámbitos específicos, Jeon y Lee (2017) aplican los simuladores de robots y los *frameworks* a áreas como la logística hospitalaria.

IMPLEMENTACIÓN EN EL CONTEXTO DE LA UFGRS: BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Tal y como se ha explicitado, el proyecto pretende implementar dinámicas de trabajo colaborativo en clase. Durante el proceso de trabajo en grupo, se realizan varias acciones orientadas a abordar los diferentes aspectos de la metodología. Así, en la fase inicial de

la disciplina, los estudiantes son divididos en grupos, para, posteriormente, introducir los simuladores en las aulas. En la etapa final, posteriormente a la fase de testeo, de las aplicaciones de los artefactos y de los desafíos propuestos en la metodología, los estudiantes inician la parte práctica de los test con un robot EduBOT en un contexto real, utilizando un laberinto construido en madera como entorno de experimentación, tal y como se muestra en la figura 7. La configuración de los grupos se realiza de manera espontánea, o bien pueden ser formados por el profesor. Por otro lado, se deben mantener como meta la capacidad de abordar y confrontar las diferencias para que los procesos puedan conducir al surgimiento de nuevos hallazgos, perspectivas, ideas, y la emergencia de nuevas ZDPs.

va ligada de manera implícita a la formación académica en el ámbito universitario.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

La aplicación del campo de la robótica en áreas como la educación, y el uso de simuladores, abre la puerta a numerosas proyecciones que pueden suponer un salto cualitativo en la forma y las perspectivas en que la tecnología se aplica en los diferentes contextos. Los procesos de aprendizaje con tecnologías de la información y la comunicación, no solamente precisan de reformular, de manera constante, el uso y la implementación de la propia tecnología, sino que también, plantear los siguientes pasos en los que es posible innovar, además de contribuir a ampliar el marco definitorio

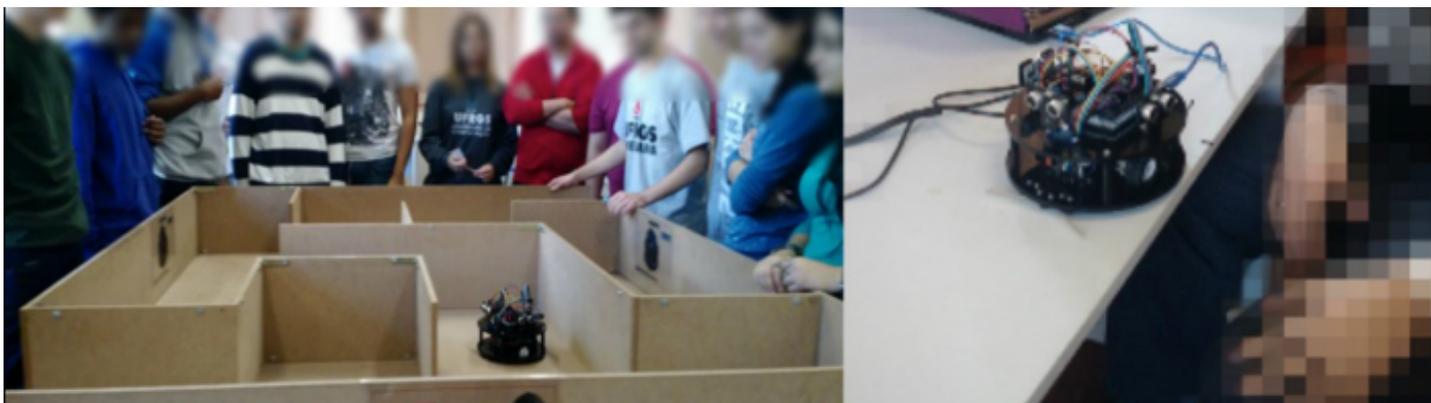


Figura 7. Documentación del proceso descrito en la estructura del proyecto con EduBOT V-4.

A su vez, estos grupos tienen que desarrollar algoritmos que posibiliten al robot, de una forma autónoma, llevar a cabo un desplazamiento por el laberinto, partiendo desde un punto de origen hasta una única salida disponible. El objetivo principal dentro del proyecto final es el desarrollo de una serie de algoritmos que permitan al robot desplazarse por el laberinto y salir del mismo en el menor tiempo posible. Estas actividades y retos plantean que los y las estudiantes promuevan el sentido crítico, así como capacidades asociadas a la metacognición, a la colaboración y al trabajo en equipo, fomentando de este modo el desarrollo de capacidades y aptitudes relacionadas con la formación en ámbitos no técnicos y la formación en competencias humanas, que

de lo que se corresponden con tecnologías de la información y de la comunicación. A este respecto, si recientemente venimos observando un contexto en el que las TICs se han encuadrado, fundamentalmente, en lo que venía siendo el uso de equipos de sobremesa y laptops, actualmente la idea es ampliar el término a toda tecnología susceptible de ser usada en un contexto educativo, lo que evidentemente abre, desde hace tiempo, numerosas posibilidades en el campo de la educación.

Por otro lado, no se puede plantear la robótica sin hacer referencia a conceptos que se encuentran, de una manera cada vez más visible, conectados a la propia naturaleza de esta área tecnológica. Entre estos conceptos

cabe destacar el internet de las cosas, que es un área que proyecta numerosas posibilidades de cara a futuras investigaciones, además de los casos ya mencionados de la simulación o los entornos inmersivos. En el caso del internet de las cosas, la robótica tiene una proyección de gran interés en la medida en que es un vector de gran relevancia para conectar el mundo físico con información y elementos generados de manera digital, incidiendo en el incremento de posibilidades de esta interconexión entre ambos mundos (Kopetz, 2011), e, incluso, de la conexión de los objetos cotidianos para redefinir su uso (Xia et al., 2012), donde la robótica presenta un rol fundamental. Esta conexión entre los objetos físicos y la información digital también ha sido abordada por autores como Gubbi et al. (2013), en donde la disciplina de la robótica va a presentar un rol relevante en los próximos años conectando estas áreas.

En el contexto del actual proyecto, tal y como se ha explicitado, la metodología de trabajo descrita viene siendo aplicada semestralmente desde el año 2014, dentro de las disciplinas Introducción a la Ingeniería, de los cursos de Ingeniería de Computación e Ingeniería de Control y Automatización en la UFRGS. En base a las evaluaciones realizadas por los monitores del Programa de Post-Graduado en Ingeniería Eléctrica (PPGEE), las observaciones a lo largo del transcurso de las clases, o los testimonios de las personas que participaron en el proceso, se pudo percibir en los alumnos un incremento en su interés por los contenidos que fueron abordados en clase. Otros aspectos que fueron observados fue el incremento del rendimiento o de la creatividad, así como un desempeño más óptimo en el desarrollo de las actividades. Entre los trabajos futuros que se plantean dentro de esta línea de trabajo, se incluye un análisis de tipo cuantitativo sobre varios aspectos relacionados con la motivación y la implicación de los estudiantes, enfocándose en factores como las tasas de abandono, o, por otro lado, la calidad y originalidad de los proyectos desde diferentes perspectivas y enfoques.

Colaboradores en el Desarrollo del Proyecto EduBOT-V4

Carlos Eduardo Pedroso de Oliveira, Gabriel Figueiredo Schmitz, Guilherme Alan Ritter, Maik Basso.

REFERENCIAS

- Ahlgren, D. J. & Verner, I. (2002). An international view of robotics as an educational medium. *In International Conference on Engineering Education (ICEE'2002)*.
- Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, 6 (1), 63-71.
- Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54 (15), 2787-2805.
- Bredeche, N., Montanier, J. M., Weel, B. & Haasdijk, E. (2013). Roborobo! a fast robot simulator for swarm and collective robotics. *arXiv preprint arXiv:1304.2888*.
- Carpin, S., Lewis, M., Wang, J., Balakirsky, S. & Scrapper, C. (2007). USARSim: a robot simulator for research and education. *In Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference*.
- Chiou, A. (2012). Teaching technology using educational robotics. En *Proceedings of the Australian conference on science and mathematics education (formerly UniServe Science Conference)* (Vol. 10, pp. 9-14).
- Chuah, M. C., Coombe, D., Garman, C., Guerrero, C. & Spletzer, J. (2014). Lehigh instrument for learning interaction (lili): An interactive robot to aid development of social skills for autistic children. En *Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS), 2014 IEEE 11th International Conference*.
- Collins, T. & Shen, W. M. (2016). Robots: A drag-and-drop highperformance simulator for modular and self-reconfigurable robots. *ISI Technical Reports*.
- Cuadrado, A. (2014). Tocar a través del cuadro: una genealogía del interfaz como metáfora de control en el espacio del arte, el cine y los videojuegos. *Icono 14*, 12, 141-167. doi: 10.7195/ri14.v12i2.708

- Denis, B. & Hubert, S. (2001). Collaborative learning in an educational robotics environment. *Computers in Human Behavior*, 17 (5), 465-480.
- De Cristoforis, P., Pedre, S., Nitsche, M., Fischer, T., Pessacq, F., & Di Pietro, C. (2013). A behavior-based approach for educational robotics activities. *IEEE transactions on education*, 56 (1), 61-66.
- Espinosa, R. y Medellín, H. I. (2014): Análisis y evaluación de la generación de iconos mentales en personas invidentes a partir de la percepción virtual táctil utilizando realidad virtual y sistemas hápticos. *Icono 14*, (12) 295-317. doi:10.7195/ri14.v12i2.695
- Freese, M., Singh, S., Ozaki, F. & Matsuhira, N. (2010). Virtual robot experimentation platform v-rep: A versatile 3d robot simulator. *Simulation, modelling, and programming for autonomous robots*, 51-62.
- Gallego, J. L. y Rodríguez, A. (2014). El reto de una educación de calidad en le Escuela Inclusiva. *Revista Portuguesa de Pedagogía*, 48 (1), 1-24. Recuperado de <http://impactum-journals.uc.pt/index.php/rppedagogia/article/view/2237/1476>
- Gallego, J. L. y Rodríguez, A. (2015). Líneas de investigación sobre Educación Especial en España: un estudio bibliométrico (2006-2010). *Revista de Ciencias Sociales*, 21 (2), 219-233. Recuperado de <http://produccioncientificaluz.org/index.php/rcs/article/view/20003/19936>
- Gamez, D., Newcombe, R., Holland, O. & Knight, R. (2006). Two simulation tools for biologically inspired virtual robotics. En *Proceedings of the IEEE 5th chapter conference on advances in cybernetic systems*, 85-90.
- Gazebo. Recuperado el 23 de agosto de 2017 de <http://gazebo.org/>.
- Goldman, R., Eguchi, A. & Sklar, E. (2004). Using educational robotics to engage inner-city students with technology. In *Proceedings of the 6th international conference on Learning sciences*, 214-221. International Society of the Learning Sciences.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29 (7), 1645-1660.
- Guimarães Jr., C. S., Rubio-Tamayo, J. L., Henriques, R. V. B. (2014). Robótica para los procesos de enseñanza de la disciplina mecatrónica: desarrollo del prototipo edubot-v2. En *III Congreso Internacional Sociedad Digital*. Madrid, Icono 14.
- Jeon, S. & Lee, J. (2017). Framework and Modeling of a Multi-robot Simulator for Hospital Logistics. In *Robot Intelligence Technology and Applications (4)* 213-219. Springer International Publishing.
- Kaerlein, T. (2012) Presence in a Pocket. Phantasms of Immediacy in Japanese Mobile Telepresence Robotics. *Communication +1*, (1) 1-24. doi:10.7275/R52R3PM7.
- Kopetz, H. (2011). Internet of things. En *Real-time systems* (pp. 307-323). Springer, Boston, MA
- Kozima, H., Nakagawa, C. & Yasuda, Y. (2005). Interactive robots for communication-care: A case-study in autism therapy. In *Robot and human interactive communication, 2005. ROMAN 2005. IEEE International Workshop*, 341-346.
- Mendonça, R., Santana, P., Marques, F., Lourenço, A., Silva, J. & Barata, J. (2013). Kelpie: A ros-based multi-robot simulator for water surface and aerial vehicles. En *Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013 IEEE International Conference*, 3645-3650. IEEE.
- Oreggia, M., Chiorri, C., Pozzi, F., & Tacchella, A. (2016, July). Introducing Computer Engineering Curriculum to Upper Secondary Students: An Evaluation of Experiences Based on Educational Robotics. En *Advanced Learning Technologies (ICALT), 2016 IEEE 16th International Conference*, 293-294. IEEE.
- Rodríguez, L., Rodríguez, A. y Gallego Ortega, J. L. (2016): Reflexiones docentes acerca del diseño arquitectónico de los centros de Formación Profesional en Granada. *Propósitos y representaciones*, 4 (1), 115-168. doi:<http://dx.doi.org/10.20511/pyr2016.v4n1.88>
- ROS (Robot Operating System). Recuperado el 23 de Agosto de 2017 de [<http://www.ros.org/>]
- RVW (Robot Virtual Worlds). Recuperado el 23 de Agosto de 2017 de [<http://www.robotvirtualworlds.com/>]
- Secchi, H. (2008). *Una Introducción a los Robots Móviles*. Instituto de Automática -

INAUT- Universidad Nacional de San Juan, UNSJ, Argentina.

Nourbakhsh, I. R. & Siegwart, R. (2004). *Introduction to autonomous mobile robots*. Massachusetts: Cambridge.

Simulador 2D STDR. Recuperado el 16 de Septiembre de 2017 de [<http://stdr-simulator-ros-pkg.github.io/>]

Simulador 3D Gazebo. Recuperado el 16 de Septiembre de 2017 de [<http://gazebo.org/>].

Tikhanoff, V., Cangelosi, A., Fitzpatrick, P., Metta, G., Natale, L. & Nori, F. (2008). An open-source simulator for cognitive robotics research: the prototype of the iCub humanoid robot simulator. En *Proceedings of the 8th workshop on performance metrics for intelligent systems* (pp. 57-61). ACM.

Thiollent, M. (2005) Perspectivas da metodologia de pesquisa participativa e de pesquisa-ação na elaboração de projetos sociais e solidários. *Tecnologia e desenvolvimento social e solidário*. Porto Alegre: Editora UFRGS (Pp. 172-189).

Virtual Robotics Toolkit. Lego Mindstorms. Recuperado el 23 de Agosto de 2017 de [<https://www.virtualroboticstoolkit.com/>]

Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.

Vygotsky, L. S. (1997). *The collected works of LS Vygotsky: Problems of the theory and history of psychology* (Vol. 3). New York: Springer Science & Business Media. Premium press,

Vygotsky, L. S. (1998). *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Martins Fontes.

Xia, F., Yang, L. T., Wang, L. & Vinel, A. (2012). Internet of things. *International Journal of Communication Systems*, 25 (9), p. 1101-1101.

Walter, W. G. (1950). An Electromechanical Animal. *Dialectica*, 4 (3), 206-213.

Walter, W.G. (1950). An imitation of life. *Scientific American*, 182 (5), 42-45.

Walter, W.G. (1951). A machine that learns. *Scientific American* 185 (2), 60-63.