



### HormigaBot: Diseño de un Robot Educativo

### HormigaBot: Design of an Educational Robot

José Ben Hur Saravia Maradiaga<sup>a,\*</sup>, Yenny Aminda Eguigure Torres<sup>b</sup>  
Néstor Celestino Rodríguez Valenzuela<sup>c</sup>, Wilfredo Saucedo Alemán<sup>d</sup>

<sup>a</sup> bhs@upnfm.edu.hn. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Tegucigalpa, Honduras. <https://orcid.org/0000-0002-7177-202X>

<sup>b</sup> yeguigure@upnfm.edu.hn. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Tegucigalpa, Honduras. <https://orcid.org/0000-0002-1353-0970>

<sup>c</sup> nrodriguez@upnfm.edu.hn. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Tegucigalpa, Honduras. <https://orcid.org/0000-0003-1767-9841>

<sup>d</sup> wsauceda@upnfm.edu.hn. Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Tegucigalpa, Honduras. <https://orcid.org/0000-0002-9703-9651>

*La investigación que da origen al presente artículo ha sido financiada por el Fondo de Apoyo a la Investigación de la Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán, bajo el Proyecto FAI-009-2018 “HormigaBot, Robot Educativo para la Enseñanza y Aprendizaje de la Geometría para Niños de Educación Prebásica”*

---

#### Resumen

El desarrollo de sistemas robóticos de bajo costo, con aplicaciones lúdicas y que estén disponibles en el aula para estudiantes de educación prebásica, es la premisa de la que parte esta investigación. La primera etapa del proyecto HormigaBot se orienta al diseño de un robot que contribuya a desarrollar y fortalecer los conocimientos sobre elementos matemáticos y particularmente de geometría. En este estudio se ha utilizado la investigación tecnológica aplicando un diseño exploratorio y la técnica del prototipo. Dentro de los principales resultados obtenidos se incluyen: la descripción del proceso de diseño y elaboración de un robot semiautónomo para la enseñanza y aprendizaje de los elementos básicos de la geometría. La tecnología empleada se denomina de bajo costo, tomando como base la plataforma Arduino, controlada desde un dispositivo móvil usando el sistema operativo Android. La App desarrollada permite manipular de forma remota el robot para la enseñanza de los elementos de geometría.

*Palabras clave:* robots, diseño de robot, robótica educativa, enseñanza de la geometría

---

\* Autor para correspondencia

<https://doi.org/10.5377/paradigma.v29i47.14459>

Recibido 23 de noviembre de 2021 | Aceptado 24 de marzo de 2022

Disponible en línea 30 de junio de 2022

2022 Paradigma: Revista de Investigación Educativa | ISSN 1817 - 4221 | EISSN 2664 - 5033 | CC BY-NC-ND 4.0

### **Abstract**

The development of low-cost robotic systems, with playful applications that are available in the classroom for preschool education students, is the premise from which this research starts. The first stage of the HormigaBot project is aimed to the design of a robot that contributes to developing and strengthening knowledge about mathematical elements, particularly geometry ones. In this study, technological research has been used, by applying an exploratory design and the prototype technique. Among the main results include: the description of the design and development process of a semi-autonomous robot for teaching and learning the basic elements of geometry. The technology applied is called low-cost based, based on the Arduino platform controlled from a mobile device, by using an Android operating system. The App developed allows the user the remote manipulation of the robot to teach geometry elements.

*Keywords:* robots, robot design, educational robotics, geometry teaching

### **Introducción**

Esta investigación es parte de las actividades que se desarrolla en el proyecto educativo denominado “Ateneo de Robótica Educativa”, este proyecto es una propuesta integral sobre el conocimiento de la robótica educativa para crear entornos educativos enriquecidos, tecnológicos e innovadores, en las aulas tradicionales. El Ateneo de Robótica incluye: investigación, actividades de extensión y capacitación para la generación y fortalecimiento de capacidades en estudiantes y docentes dentro de la Universidad.

El diseño de robots educativos es una experiencia novedosa en la Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán (UPNFM), por lo cual el proceso de construcción del HormigaBot ofrece una experiencia que puede orientar una metodología sobre las etapas y estados que se establecen en la planificación, diseño, construcción e implementación de proyectos de robótica educativa. La experiencia de construcción del HormigaBot tiene como un mecanismo de integración de conocimientos científicos y técnicos, concreción de ideas sobre su actuación y aplicación de conocimientos para generar robots y explicar su funcionamiento. El proceso de diseño y operación del robot favorece el trabajo interdisciplinario, fomenta el trabajo en equipo y el aprendizaje colaborativo.

En esta etapa de desarrollo del proyecto, la investigación realizada se orientó al desarrollo de una estrategia para el diseño y desarrollo de robots semiautónomos para el estudio de temas específicos de matemáticas, particularmente conceptos geométricos tales como: superficies y volúmenes de figuras; el alcance del estudio se refiere a mediciones de objetos particulares. HormigaBot es el nombre del robot que se ha diseñado para la enseñanza de conceptos de geometría en educación prebásica. El HormigaBot es un recurso tecnológico de bajo costo, que funciona desde una aplicación móvil para el aprendizaje del concepto de espacio, la identificación de figuras geométricas, su representación, así como la concepción de espacio y conceptos geométricos.

Para poner en perspectiva la robótica en educación, se hace una revisión de los conceptos sobre la robótica, particularmente la robótica educativa, se hace una aproximación de la mecánica clásica a partir de las ecuaciones de Newton al modelo matemático para el diseño del robot. Se revisan los conceptos básicos del internet de las cosas (IoT) y el uso de hardware de bajo costo para construcción de robots para apoyo a procesos de enseñanza y aprendizaje. El abordaje incluyó la codificación en lenguajes de programación de la app y las interacciones con el robot. El proceso ha sido completado en su primera etapa con el diseño y elaboración de un robot para aprendizaje de geometría, estudios posteriores verificarán su producción en masa y su aplicación en otras áreas del conocimiento.

La investigación realizada incluye el diseño y elaborado un prototipo de un robot semiautónomo que apoye el proceso de construcción de conceptos básicos de geometría en educación prebásica. El proceso de diseño se realiza mediante un conjunto de descripciones para el modelado y simulación de un robot semiautónomo. La elaboración del prototipo se desarrolla mediante la aplicación de las leyes de movimiento desde la mecánica. En este sentido, la idea es plantear y evaluar las facilidades y dificultades en el camino de generación de dichas ecuaciones. La simulación incluye el desplazamiento del robot mediante su trayectoria para dibujar figuras geométricas.

### **Discusión Teórica**

En el sistema educativo hondureño, el Curricular Nacional de Educación Prebásica de Honduras, se define en los Estándares del Área de Desarrollo de la Comunicación y Representación, el objetivo “Desarrollo del lenguaje oral la expresión artística en base a su entorno social y natural, para desenvolverse en las diferentes etapas de aprendizaje de su vida” ([Secretaría de Educación, 2015, p. 105](#)). Temáticas referidas a la matemática y particularmente, a geometría, como las formas, tamaños, movimiento, memoria visual, direccionalidad, la recta, figuras geométricas: círculo, cuadrado, triángulo y rectángulo, entre otras. Estas temáticas se consideran que pueden ser abordadas en las instituciones educativas mediante la utilización de diferentes recursos del entorno. Específicamente el uso de recursos tecnológicos como los robots.

El desarrollo del HormigaBot permitió la revisión de elementos sobre robots, robótica, robótica educativa, el proceso de diseño de los robots, su infraestructura y su operación para poder concebir el mismo en el contexto educativo particular de la educación prebásica, en la enseñanza de elementos de geometría. De manera general, puede decirse que los robots son sistemas, es decir, tienen componentes que forman un todo. El modelo de “caja negra”, del cual no se sabe nada de su interior, pero se identifican las entradas y las salidas del sistema. La entrada son las órdenes del humano y la salida, son aquellos trabajos programados para que puedan ser realizados automáticamente ([González, 2002](#)).

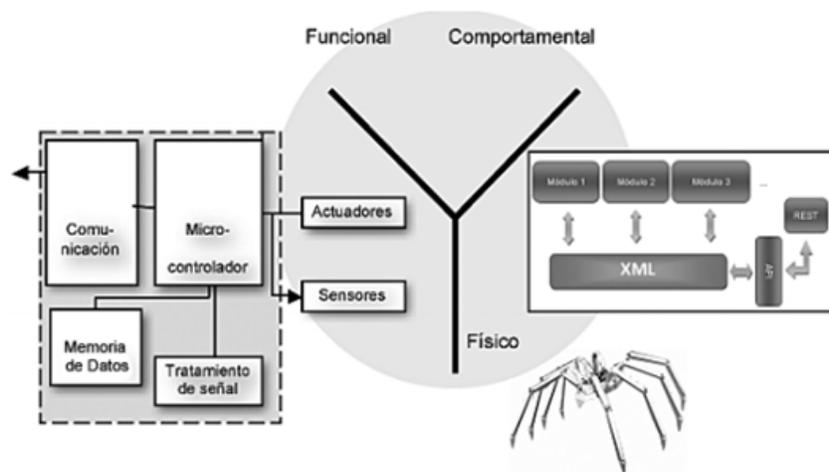
La definición de la robótica incluye el estudio de otros campos de conocimientos que se relacionan y complementan, como es el caso de la ingeniería eléctrica, mecánica, electrónica, las ciencias de la computación, matemáticas, física, entre otras ([Ruiz del Solar y Salazar, s.f.](#)). Cuando se emplea la robótica

como un recurso de enseñanza y aprendizaje, se establece la necesidad de aplicar la robótica en función de las capacidades y desempeños que se esperan fortalecer en los estudiantes que interactúan con ellos. La implementación de la robótica educativa en los niveles de la educación prebásica y básica pueden generar procesos para la adquisición de conocimientos nuevos partiendo de los contextos tecnológicos de aprendizaje (Resnick y Rosenbaum, 2013), lo que promueve los aprendizaje lúdicos fortaleciendo los principios como la interactividad, socialización, el trabajo colaborativo y competencias digitales que fortalezcan el pensamiento computacional, el pensamiento lógico y la programación (Bers et al., 2014).

La robótica no solo puede ayudar al docente a fomentar el pensamiento lógico-analítico en los estudiantes, sino que este tipo de capacidades son claves en la resolución de problemas (Moreno et al., 2012). Como recursos educativos la robótica permite un aprendizaje constructivista, cooperativo y por proyectos; fomenta el pensamiento creativo en la resolución de problemas, fomenta el aprendizaje transversal en un contexto multidisciplinar, entre otras competencias (Bravo Sánchez y Forero Guzmán, 2012). El papel de la robótica en el ámbito de la educación, ofrece es un espacio de diálogo entre el trabajo pedagógico y la aplicación de la tecnología al trabajo en el aula. Barrera (2015) define robótica pedagógica como una disciplina de aprendizaje, la cual proporciona diversos ambientes para la enseñanza, basando la participación de los estudiantes en el desarrollo de su pensamiento lógico, mediante la resolución de problemas. Entre los beneficios de utilizar elementos tecnológicos en el trabajo con los estudiantes, están; fomentar el aprendizaje e incrementar el desarrollo de diversas habilidades.

### Figura 1

Dominios de la arquitectura de un robot



Nota: Tomado de Vega et al. (2010).

En general, el término arquitectura de un robot se refiere a la identificación de los componentes que conforman un sistema, así como las interrelaciones existentes entre estos componentes. Dentro de un proyecto de robótica, los componentes pueden identificarse desde diferentes dominios: físico, funcional y comportamental, como se ilustra en la Figura 1.

Para determinar la arquitectura del robot en los dominios funcional, físico y comportamental, se obtiene una propuesta de implementación en términos de bloques, identificando sus funciones, la especificación de entradas y salidas, tamaño, consumo de potencia máximo y organización espacial en el robot. Este último aspecto es la base para la definición de especificaciones para el diseño de los actuadores del robot (Vega et al., 2010).

La arquitectura funcional del robot posee la definición bloques necesarios para que realizan las tareas del robot mediante la identificación de elementos electrónicos y electromecánicos requeridos para la implementación del robot en correspondencia a las tareas que los elementos realizan. La arquitectura funcional se refiere a los componentes del robot y las interrelaciones para una operatividad determinada. Es posible que, en la estructura funcional, los componentes mecánicos correspondan con varios modelos operativo o módulos físicos. Así, esta arquitectura identifica los componentes funcionales del robot y sus interrelaciones y desarrolla la estructura de la funcionalidad asignada a los componentes mecánicos, donde, posiblemente, un componente mecánico corresponda a varios modelos, o una operatividad que deba ser realizada por medio de varios módulos físicos (Vega et al., 2010).

La arquitectura física del sistema robótica incluye descripciones relativas de tamaño, la organización de los bloques para un determinado volumen asignado, la elección de materiales, el principio de funcionamiento y el diseño de los componentes físicos, tomando en cuenta los aspectos mecánicos del robot y las interrelaciones mecánicas de esos componentes. Las especificaciones de los bloques incluyen elementos como: las funciones, las señales de control, el tamaño, el consumo de potencia máximo y la organización espacial en el robot. La arquitectura física de un robot incluye el ambiente de operación impuesto por la aplicación. A partir de la misma, se puede establecer las restricciones para la utilización del robot o el uso de a partir de ciertos fenómenos físicos que determinan los mecanismos de actuación, la captura y el almacenamiento de energía (Vega et al., 2010).

Dentro de la arquitectura comportamental es definida a partir de elementos como el diseño y operación del robot. Elementos como el ambiente y aplicación para la cual se construye el robot forman parte de las estrategias para tomar decisiones sobre la arquitectura del robot. En el caso del HormigaBot, la arquitectura incluye la interfaz con el usuario y la forma de reaccionar el robot ante determinados eventos, la interacción entre hardware y software; así y el sistema operativo. La arquitectura utilizada para la construcción del robot es Arduino.

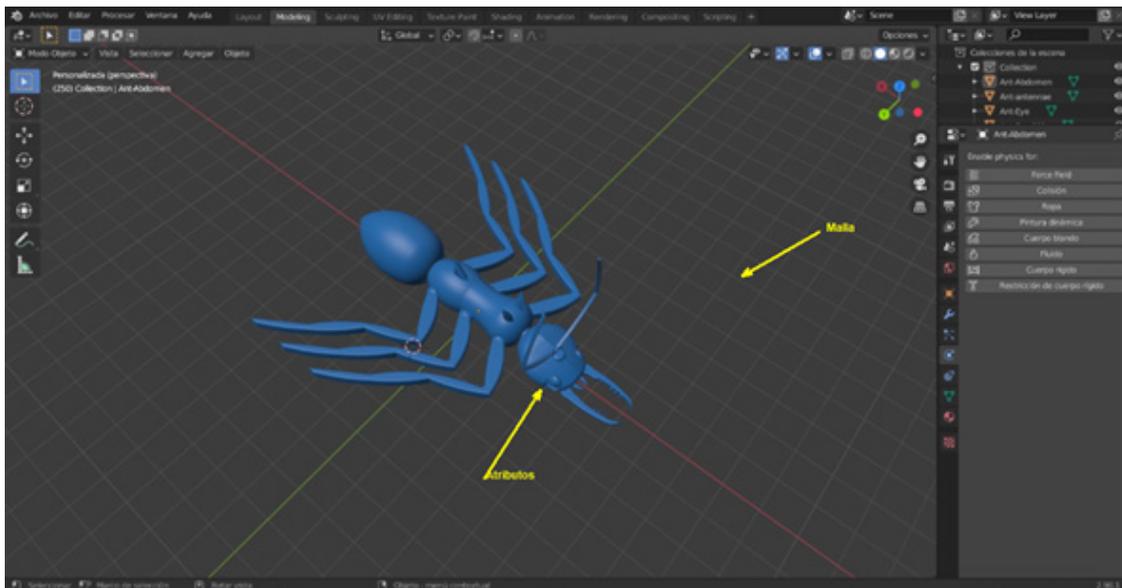
El software de Arduino posee dos elementos: a) el entorno de desarrollo (IDE) basado en el entorno de procesamiento y la estructura del lenguaje de programación cableada. b) el cargador de arranque, que es ejecutado de forma automática dentro del microcontrolador en cuanto este se enciende e incluye los algoritmos de control de posicionamiento y librerías de control de motores (Franco et al., 2018).

Para construir el HormigaBot se utilizó el entorno de Arduino para programar la placa de desarrollo Wemos D1 Mini, el entorno de desarrollo integrado IDE, el editor de lenguaje C, y herramientas para compilación e implementación del código. Arduino entra en conexión con ESP8266 mediante un plug-in o extensión a la herramienta IDE. Además, para el desarrollo del HormigaBot se empleó el lenguaje de gráficos en 3D, para el diseño del modelo. De forma que el archivo del modelado contiene la información necesaria para ver o renderizar un objeto en tres dimensiones mediante dos clases de información: la geometría y los atributos del objeto (Moreno, Leiva, y López, 2016).

El robot posee una serie de sensores para su desplazamiento en un entorno. Los sensores son dispositivos formados por células sensibles que detecta variaciones en una magnitud física (luz, temperatura, sonido, tamaño, velocidad, color, etc.) u otras alteraciones de su entorno, convirtiéndolos en señales útiles para un sistema de medida o control (López, 2021, p. 4). En el HormigaBot se han incorporado sensores de recorrido y coordenadas, los cuales, vía conexión inalámbrica, capturaban el trazo de la figura que está dibujando o siguiendo.

## Figura 2

Diseño 3D del HormigaBot



La geometría hace referencia a la forma del objeto: esfera, cubo, cilindro, cono, dona, prisma, etc. Para el sistema computacional, la información de la geometría del modelo define las superficies del objeto como una lista de polígonos planos que comparten lados y vértices, el modelo se diseña sobre la malla, véase Figura 2. Para el diseño de la estructura física del robot, se procedió al diseño de las piezas del HormigaBot se utilizó el programa informático multiplataforma denominado Blender. Esta aplicación es dedicada especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales (Blender, 2021)

## Métodos y Materiales

La metodología utilizada en el estudio es la investigación tecnológica aplicada de estudio exploratorio, también conocido como estudio piloto, ya que son aquellos estudios que se investigan por primera vez o son muy poco investigado, se emplea también para identificar una problemática (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). La importancia de la investigación tecnológica radica en que los desarrollos tecnológicos pueden convertirse en innovaciones, que se aplican directamente a las empresas haciéndolas más productivas y competitivas, necesarias para el desarrollo de un país (Dean, 2021). Esta fase de la investigación, se desarrolló mediante la técnica del desarrollo de prototipos.

La investigación tecnológica es una actividad que, a través de la aplicación del método científico, está encaminada a descubrir nuevos conocimientos (investigación básica), a la que posteriormente se le buscan aplicaciones prácticas (investigación aplicada) para el diseño o mejoramiento de un producto, proceso industrial o maquinaria y equipo (Carmona, 2011). Por lo que, este tipo de investigaciones de carácter tecnológico, emplea los postulados de la investigación aplicada, como una estrategia para el mejoramiento de la práctica educativa utilizando tecnología, en este caso, robots, evidenciando una base de carácter lúdico tendiente a mejorar el aprendizaje significativo en el niño. Por tanto, en este estudio se trata de entender la subjetividad con que los niños perciben el conocimiento en todas sus formas y como los procesos de enseñanza y aprendizaje con robot educativo pueden ser fortalecidos.

La investigación está conformada por tres etapas: desarrollo de prototipo del robot, inserción del robot en el ambiente áulico y el laboratorio de producción de robots y guías de trabajo. La segunda y tercera etapa de la investigación no se describen en este documento.

La primera etapa de esta investigación, corresponde al prototipo del robot, se sitúa, en la UPNFM y en concreto en el Departamento de Educación Técnica Industrial durante el período académico del año 2019. Veintitrés estudiantes dentro del Proyecto de Extensión Universitaria y Vinculación Social (PREUVS) denominado “Ateneo de Robótica”, aprendieron sobre programación y construcción de robots como parte de su proceso de formación. En esta etapa se construyeron las referencias teóricas sobre robótica educativa, se elaboró el diseño y se realizó la construcción del prototipo. Las técnicas a utilizadas incluyeron: el prototipo, la observación, la simulación, el análisis profundo de los resultados, y las pruebas experimentales. Dentro de los instrumentos que se emplearon para la recolecta de datos se incluyen: las entrevistas, los grupos de discusión, los talleres, las fichas de observación, y las listas de cotejo.

Dado que, el estudio desarrollado corresponde a la investigación tecnología en su etapa de desarrollo de los prototipos para el aprendizaje de la geometría en educación prebásica, se requiere de otro momento (en una etapa posterior a este estudio) en el cual se pueda verificar mediante la manipulación del HormigaBot por parte de los niños la efectividad del recurso para estimular sus experiencias aprendizaje. El diseño de investigación es de tipo exploratorio, ya que lo que se pretende es conocer y estudiar más ampliamente sobre el proceso de diseño y construcción de robots con materiales de bajo costo y de esa forma no se conoce sobre la mejor estrategia para su producción (Hernández et al., 2014).

La segunda etapa de la investigación se orienta a la puesta del robot en el aula de clases, para ello se definen las actividades orientadas a la elaboración de experiencias y guías de ejercicios de geometría con los docentes y estudiantes de educación prebásica. En esta fase se debe hacer tanto el proceso de validación de conceptos geométricos y didáctico, guías de trabajo y orientaciones para su manipulación. Además, en esta etapa se concretan las acciones relativas a la determinación de requerimientos técnicos, así como de elementos ergonómicos, de seguridad y operatividad del robot en el aula de clases de prebásica.

La tercera etapa de la investigación hace referencia al desarrollo de Laboratorios de producción de robots en masa con estudiantes universitarios (en PREUVS) y docentes del sistema educativo que adquieran y apliquen los conocimientos para construir robots. La producción en masa de robots va de la mano con la generación de guías metodológicas y de trabajo para el uso del robot en el aula de clases. Para este momento del proyecto, la participación de estudiantes, docentes y especialistas que propongan, revisen y validen las actividades del robot en los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos en diferentes áreas y niveles educativos, particularmente de geometría en prebásica.

## **Resultados**

Una vez que se ha completado el ensamblaje de todos los sistemas del HormigaBot, se procedió a realizar pruebas de funcionamiento. Estas incluyeron las verificaciones individuales de las funciones de comunicación del seguidor de línea vía bluetooth. Se consideró la variabilidad en la distancia de la lectura realizada por los sensores para efectuar las calibraciones para la puesta en marcha del robot. Para ello, el proceso de diseño y ensamblaje del robot incluyó una serie de pruebas para buscar elaborar un prototipo de robot que, desde la práctica, constituyera el mejor modelo para el HormigaBot como un artefacto que favorezca la enseñanza y aprendizaje de geometría para niños pequeños.

En el proceso de prototipado, se definieron algunos objetivos de diseño, entre ellos:

- Determinar las especificaciones y detalles técnicos del micro controlador base del robot.
- Establecer y ajustar los conceptos sobre el funcionamiento de sensores y actuadores en el HormigaBot.
- Identificar y obtención de características de elementos para el HormigaBot que fueron dadas por el fabricante del hardware.
- Configurar de variables internas del micro controlador.
- Interactuar y aprender sobre las herramientas de programación para robótica.
- Ensamblar las piezas del robot para crear el HormigaBot desde sus componentes físicos.
- Calibrar, los dispositivos y códigos para el funcionamiento del Hormigabot
- Realizar la corrección de errores del robot para su adecuado funcionamiento.
- Pruebas de funcionamiento del prototipo y sus elementos.

En el proceso de construcción del prototipo se realizaron ajustes y cambios al modelo inicial. Una de las premisas para ello fue asegurar no solo funcionamiento, sino también la exactitud y presentación estética adecuada. Para ello, dentro del proceso de diseño, se optó por un modelo flexible, que permita el cambio de piezas, corrección de errores y calibraciones tanto de hardware como de software.

Para algunos de los componentes, se estableció como estrategia el realizar los prototipos de cada subsistema con el objetivo de asegurar una mejor ejecución. Este proceso de prototipos de integración, permitió el diseño escalonado y progresivo del HormigaBot. De tal manera que, para cada subsistema del robot, en cada ensayo se mejoraba el modelo previo de forma que en el modelo siguientes tuviera como base el anterior. Los Subsistemas del robot son los diferentes componentes que de manera conjunta permite un artefacto tenga funcionalidades específicas que se integran como un todo coherente en la arquitectura del robot. Esta definición de subsistemas permitió ir de manera progresiva ampliando el diseño, el programa y el robot sumando nuevas funcionalidades. Este proceso favoreció de igual manera hacer los ajustes, cambios, adiciones y eliminaciones para optimizar el programa anterior y el subsistema anterior.

A nivel de hardware, se experimentó usando distintos sensores y actuadores. No hay un lenguaje propio de programación en Arduino, la programación del robot se hace en C++, tomando las librerías o core que Arduino pone a disposición de los pines de entrada, salida y comunicación. Incluso el IDE (entorno de desarrollo integrado) posee de forma preinstalada librerías para operaciones específicas que nos requieren de declararlas de forma explícita. Para ello, el proceso de realización del prototipo, se trabajó con subsistemas de integración que completaban las pruebas de diseño. A nivel de software, el código final está compuesto por varias librerías para el control de los actuadores, y otras han sido creadas, añadidas o modificadas en el lenguaje C ++ versión 11.

El prototipo final se integró para completar el diseño obtenido, generando un modelo y un programa final, el cual ha sido revisado detenidamente, para optimizarlo. En cada subsistema, se ha definido una cronología para la realización de la versión final del HormigaBot. De esta forma, se han eliminado en cada subsistema, las variables y partes que en su momento nos fueron útiles en el cumpliendo con una función vital para llegar al resultado final. Este proceso permitió la optimización y simplificación en el código, de forma que fuera posible obtener el mismo resultado consumiendo menor capacidad del procesador.

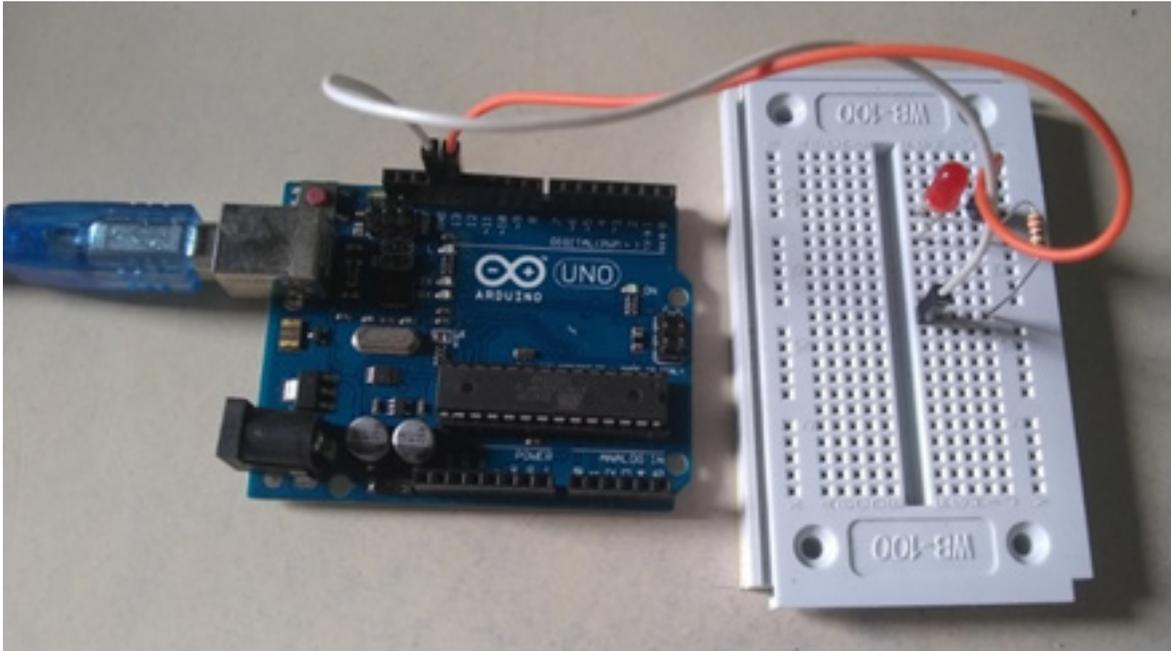
### **Subsistema 1**

El desarrollo del Subsistema 1 corresponde incluye el uso de LED intermitentes de 4 ciclos para el HormigaBot, consistió en la codificación de un programa sencillo para familiarizarse con el entorno de programación. El código consta de dos partes principales: 1) La declaración de los pines para encender el LED. 2) Los ciclos de repetición que decidimos que encienda el LED. La función principal del código es que el LED encienda y se apague un número determinado de veces y quede en espera de otra orden la placa Arduino, esto nos permitirá iniciar con el control para dibujar las figuras geométricas.

La elaboración del subsistema 1 permitió explorar las diferentes herramientas disponibles; así como, la exploración de la fisionomía y comportamiento de la placa Arduino. Para ello, se inició definiendo las entradas y salidas tanto en el plano físico como en el código. Este código obtenido se gestiona, desarrolla y modifica mediante el IDE de Arduino (véase Figura 3).

### Figura 3

Montaje del Subsistema 1 para el HormigaBot



En el subsistema se comprueba experimentalmente el correcto funcionamiento del código. Los cuatro ciclos se han probado previamente mediante un multímetro, de forma que se confirma que los pines se activan o desactivan según el tiempo que se les asigno en el código.

### Subsistema 2

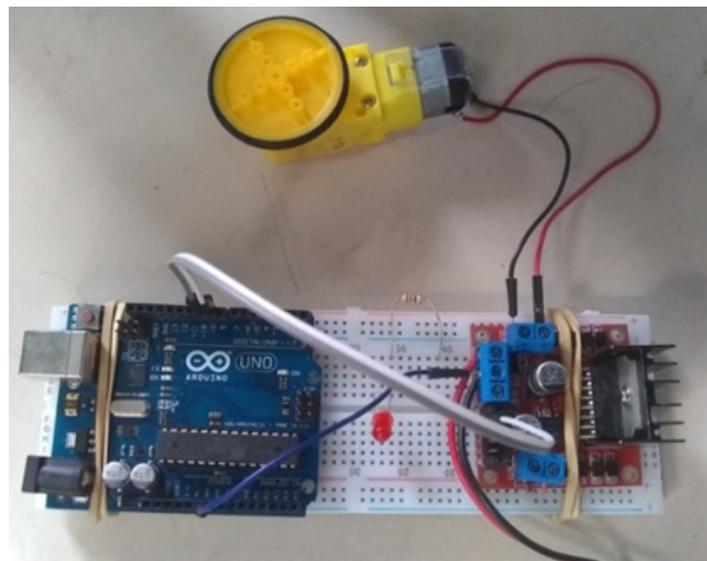
El desarrollo de este prototipo del subsistema 2 corresponde al control de velocidad giro de motor de corriente directa, el cual tiene como objetivo determinar la relación de respuesta de un motor de corriente directa con los ciclos de repetición del código anterior. Para su comprobación se crea un programa con las siguientes funcionalidades, basándose en el LED intermitente de 4 ciclos, los cuales se definen de la siguiente forma:

- Mantener una velocidad constante.
- Mantener el sentido de giro por 4 ocasiones.
- Cambiar el sentido de giro por 4 ocasiones.
- Detenerse al terminar los 4 ciclos completos.

El prototipo del subsistema 2 del HormigaBot (véase Figura 4), se inició definiendo las entradas y salidas tanto en el plano físico como en el código. Una vez escogidas, el código se gestiona, desarrolla y modifica mediante el IDE de Arduino. Posteriormente, se delimita el tiempo por cada ciclo, respondiendo a cada figura geométrica controlando el giro del motor. Para lograr modificar la velocidad del motor, se usará un control por PWM (modulación por ancho de pulso), controlando el tiempo en el que la señal se mantiene activa (alta) o inactiva (baja), y así podremos mover el motor según las especificaciones que se desean. De la prueba realizada, se puede concluir que, si se bloquea la rueda maestra, la segunda rueda irá frenando. Los resultados del prototipo del HormigaBot para este subsistema, aun cuando fueron prometedores hacen necesario de buscar otras alternativas para optimizar la locomoción.

#### Figura 4

*Subsistema 2 para el control de velocidad de giro del HormigaBot*



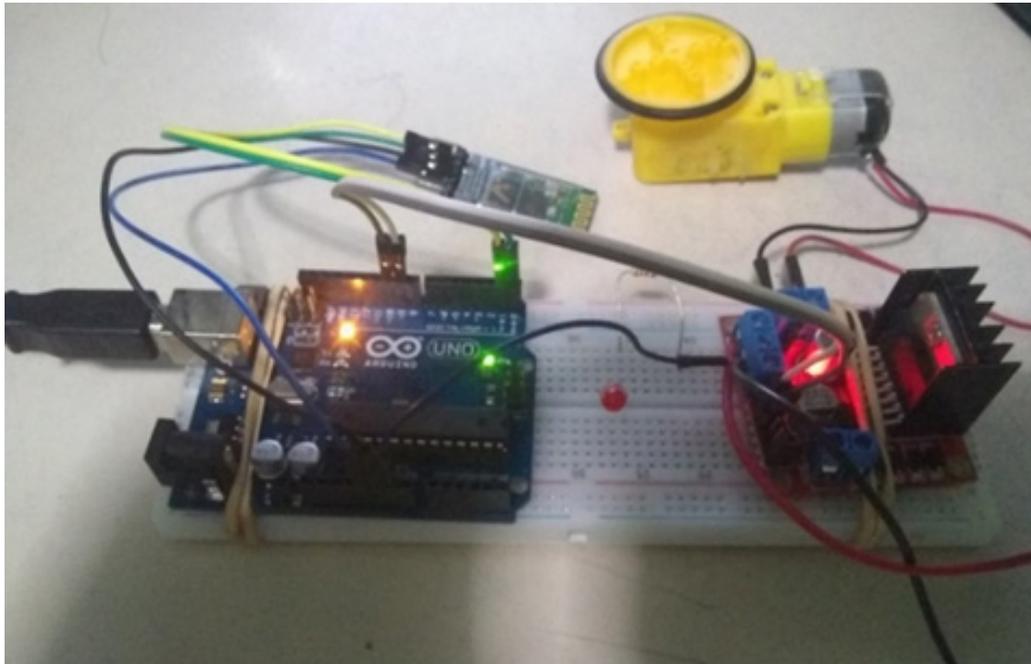
#### Subsistema 3

El subsistema 2 corresponde a la configuración de bluetooth que será el encargado de transmitir la información mediante radio frecuencia entre el robot y el dispositivo de control móvil. Durante esta prueba se desea configurar y comprobar el funcionamiento del módulo bluetooth del HormigaBot. Para ello, se identificó la necesidad de configurar y comprobar el funcionamiento del módulo bluetooth encargados de la transmisión de información entre el dispositivo móvil y el HormigaBot. El diseño del prototipo para este subsistema requiere de dos módulos bluetooth. Donde, uno corresponde al dispositivo móvil y el otro en el HormigaBot, para lo cual se ha usado el modelo HC-05. Los dos subsistemas previos funciones mecánicas del robot, que permiten establecer el trabajo de los sensores en desplazamiento y el control de la velocidad. En este subsistema, ya es posible hacer control del HormigaBot desde dispositivos no conectados de forma física.

La función de estos dispositivos es la de transmitir la información. La implementación se ha realizado de forma que se pueda conectar otros dispositivos que transmitan información al robot, como un joystick para controlar el movimiento o una botonera para enviar comandos (ver Figura 5).

### Figura 5

Subsistema 3 para la configuración de bluetooth del HormigaBot



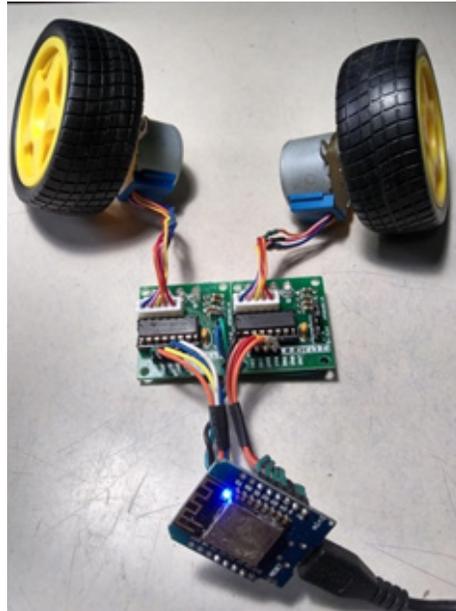
Para la transmisión y recepción de datos se emplean conectores de comunicación USART. RX es el pin receptor y TX el pin transmisor. Dado que la transmisión de datos es abierta, únicamente se debe averiguar a qué velocidad de transmisión de datos. Para la visualización por pantalla, se ha empleado un monitor serial. El proceso incluyó la realización de pruebas con varias velocidades medidas en Baudios (Bd). En este caso, la velocidad de transmisión es de 9600 Bd. Una vez ajustada la velocidad se comprueba que efectivamente se transmite información desde el dispositivo móvil al robot.

### Subsistema 4

El objetivo del subsistema 4 es el Control de Motor Steper en el HormigaBot para lograr que las dos ruedas giren a la misma velocidad y sentido dibujen figuras geométricas mediante diferentes órdenes transmitidas por el dispositivo móvil. Este subsistema del robot permite reducir el tamaño físico del micro controlador y simplificar los mecanismos de comunicación. Para este prototipo del HormigaBot se han remplazado la placa Arduino y el módulo Bluetooth HC- 05 por la placa de desarrollo Wemos D1 mini, los motores de CD por motores Steper (paso a paso) y en la etapa de fuerza el puente H L298N por el Driver ULN 2003.

**Figura 6**

*Subsistema 4 para el control de motor del HormigaBot*



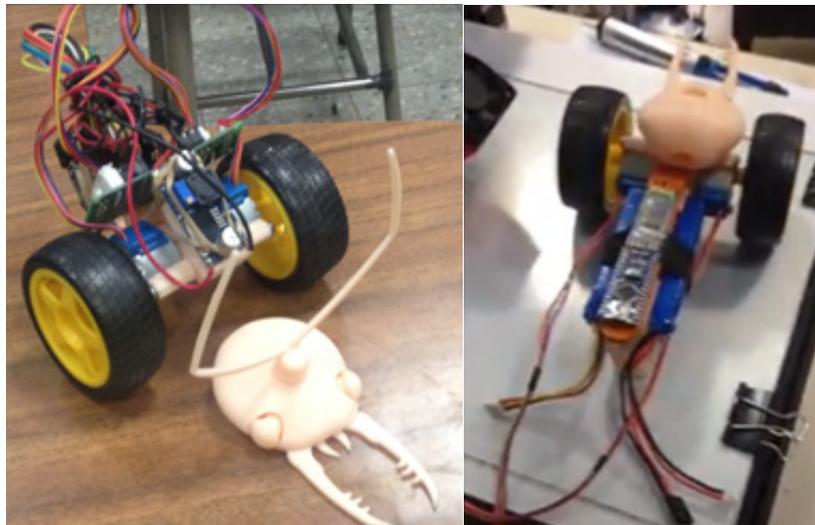
Como se muestra en la Figura 6, al conectar los dos motores con la misma secuencia de pasos, se confirma que los motores no se mueven exactamente a la misma velocidad, donde el porcentaje de error medio, desciende. Lo que permite definir la estructura electrónica y de código del HormigaBot.

### **Prototipo Final**

La etapa final en el proceso de construcción del prototipo incluyó la integración de los subsistemas como resultado de las pruebas y correcciones para el ensamblaje del HormigaBot. Las Figuras 7, 8 y 9 presentan los diferentes momentos del ensamblaje del robot.

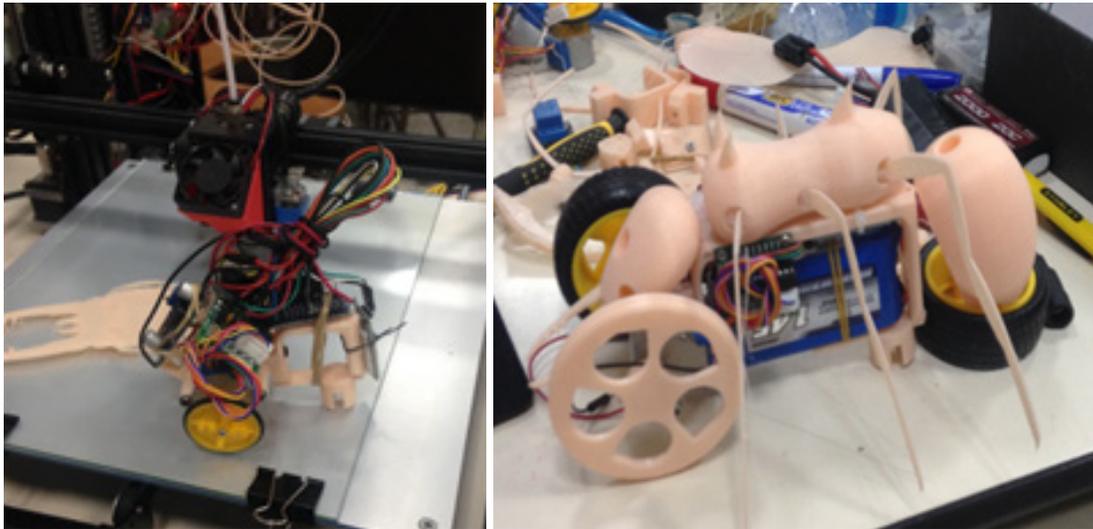
**Figura 7**

*Ensamblaje de la cabeza del HormigaBot*



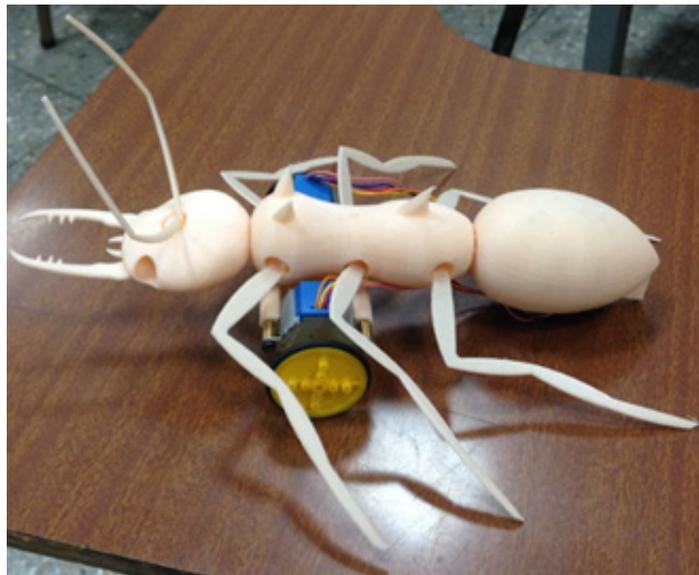
## Figura 8

*Impresión y diseño del HormigaBot*



## Figura 9

*Ensamblaje del prototipo final del HormigaBot*



Los diferentes ensayos realizados para la creación de un prototipo, permitieron establecer que el proceso no está exento de la aparición de problemas durante su desarrollo. Es así como, a lo largo de los diferentes ensayos se han ido encontrando diferentes incógnitas, imprevistos y problemas varios que ha sido necesario solventar y superar. Ente los más destacados se identifican los siguientes:

- Los errores de programación que incluyen: fallos de escritura, falta de librerías, no existencia de códigos, funciones, entre otros.
- La carencia de información sobre las fichas técnicas sobre los distintos elementos a utilizar.

- Información insuficiente de parte del proveedor, sobre aspectos técnicos de algunos de los componentes de los motores en construcción del robot.
- El poco acceso a los datos técnicos de los motores DC, lo cual implicó el desarrollo de varias pruebas para conocer el comportamiento de éstos.
- La presencia de fallos en algunos elementos del hardware, tales como: malas conexiones, elementos de motor atascados, cables con mala conexión, etc.
- La búsqueda e instalación de drivers muy concretos para la utilización de programas y periféricos.
- Los problemas de comunicación entre los periféricos, el microcontrolador y la computadora o el dispositivo móvil.
- La incompatibilidad entre versiones de programas de los diferentes componentes o dispositivos.

Los problemas encontrados se fueron superando cuando aparecían. Los cambios y ajustes implementados hicieron posible que el proceso de validación del prototipo se concretara. Dando lugar a la construcción de un robot semiautónomo para el aprendizaje de la geometría.

Los datos cualitativos y cuantitativos recolectados en las entrevistas, los grupos de discusión, los talleres, las fichas de observación, y las listas de cotejo sobre las experiencias de los estudiantes en PREUVS del ateneo de robótica fueron recabados, procesados y analizados. La información obtenida de este proceso permitió al equipo de trabajo organizarse, diseñar y construir el robot, programar su operación y funcionamiento. El proceso permitió valorar lo relativo a la robótica educativa en el aprendizaje de conceptos matemáticos, particularmente, de geometría en el nivel prebásico. Las evidencias vivenciales y resultados sobre las experiencias de los estudiantes fueron fundamentales para completar la primera fase del proceso de investigación tecnológica; sin embargo, los mismos son objeto de un tratamiento especial por lo cual no se presentan de forma detallada en el presente documento.

## **Conclusiones**

En virtud que el proceso de investigación se ha realizado por etapas, para poder determinar el potencial didáctico del robot en el aprendizaje de la matemática en el nivel de prebásica, se requiere completar las fases del estudio. En los estudios posteriores se podrán describir y detallar la aplicación del robot en el desarrollo de competencias geométricas en los niños educación prebásica.

Como resultado de la primera etapa de la investigación se ha podido crear una metodología para el diseño y elaboración del robot denominado HormigaBot. Los supuestos tecnológicos y pedagógicos que se han asumido desde la fundamentación teórica han hecho posible concretar el prototipo del HormigaBot. De modo que la investigación presenta información relevante para apoyar esfuerzos para fortalecer o mejorar los procesos de formación en la producción de robots con propósitos educativos, así como la validación de su efectividad y pertinencias en el aprendizaje de determinados conceptos y temáticas.

El diseño del HormigaBot permitió la elaboración de un prototipo móvil utilizando una placa de Arduino y mediante la elaboración del Hormiga en una impresora 3D. El robot cuenta con diferentes movimientos controlados de forma semiautónoma siguiendo patrones. El modelo matemático fue implementado y se validó en el mundo real programando una propuesta utilizando las librerías Arduino y el lenguaje C++, corroborando de esta manera la teoría con la práctica de forma didáctica.

En el desarrollo de cada actividad propuesta para el uso del HormigaBot se parte del rol integrador de la educación donde los estudiantes están en constante intercambio de conocimientos entregados desde diversas disciplinas y estableciendo su interrelación en el desarrollo de las actividades propuestas. Específicamente se identifica el conocimiento matemático de forma concreta, a través del juego y la manipulación de robots, que influirá de forma directa en la enseñanza y el aprendizaje.

La arquitectura general planteada, muestra un grado de flexibilidad que permite su adaptación a problemáticas como la operación a distancia de robots móviles. El sistema presentado puede ser utilizado como medio didáctico o de investigación al contar con una máquina de estados que facilita el incremento de sus capacidades/ funciones. El concepto modular de la arquitectura permite migrar la interfaz hardware con cierta facilidad a diferentes plataformas Arduino, aprovechando las diversas prestaciones de cada uno de ellas

El HormigaBot como un robot básico para la enseñanza y aprendizaje de conceptos sobre geometría mediante una implementación de tecnologías de comunicación inalámbrica (Bluetooth), encoders para la precisión en el movimiento y captura de las trazas, así, como microcontroladores para el gobierno completo del robot. Como se estableció en el desarrollo de los subsistemas del prototipo, el HormigaBot puede actuar como un seguidor de línea; es decir, una vez que el robot se pone en marcha, éste irá en busca de la primera línea como punto de referencia para seguir recorrido dibujados previamente. Esto se complementa con la incorporación de sensores de recorrido y coordenadas vía conexión inalámbrica logrando una captura bastante precisa del trazo de la figura que está recorriendo.

El proceso de diseño y elaboración de un robot educativo, como es el HormigaBot representa una línea de investigación importante en la búsqueda, utilización y producción de recursos educativos que contribuyan a la construcción de aprendizajes significativos. La investigación de la HormigaBot se ha completado en su primera etapa, por lo cual los resultados son aún preliminares; sin embargo, abre un amplio espectro de posibilidades para los procesos de enseñanza y aprendizaje de la robótica educativa, así como, la oportunidad de desarrollar estudios multidisciplinarios en tecnología aplicada a la educación.

## Referencias Bibliográficas

- Barrera, N.** (2015). Uso de la robótica educativa como estrategia didáctica en el aula. *Praxis & Saber*, 6(11), 215-234. doi: <https://doi.org/10.19053/22160159.3582>
- Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., y Sullivan, A.** (2014). Computational thinking and tinkering: *Exploration of an early childhood robotics curriculum. Computers and Education*, 72, 145-157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.020>.
- Blender.** (14 de Noviembre de 2021). *Features of Blender*. Obtenido de <http://www.blender.org>.
- Bravo Sánchez, F. Á., y Forero Guzmán, A.** (2012). La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 13(2), 120-136. doi: <https://doi.org/10.14201/eks.9002>
- Carmona, Y.** (2011). *Investigacion material y tecnológica*. Obtenido de <https://ohtheme.com/charla-investigacion-material-y-tecnologica-parte-1/>
- Dean, R.** (14 de Noviembre de 2021). *La investigacion tecnológica en las ciencias de la ingeniería y la innovación tecnológica*. Obtenido de <https://www.unrc.edu.ar/publicar/23/dossidos.html>
- Franco, O. O., Stewsubauste Carnero, L., y Huamaní, D. F.** (2018). *Diseño de un dispositivo a base de sensores de distancia para optimizar el recojo de basura en LAFIIS*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- González, V.** (2002). *Fundamentos de Robótica*. Obtenido de [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/portada.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/portada.htm)
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P.** (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). México: McGraw-Hill. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- López, E.** (11 de Noviembre de 2021). *Sensores. Elementos indispensables para el funcionamiento de un robot*. Obtenido de <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/EstelaDiazLopez.pdf>
- Moreno, I., Muñoz, L., Serracín, J. R., Quintero, J., Pittí Patiño, K., y Quiel, J.** (2012). La robótica educativa, una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias y las tecnologías. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 13(2), 74-90. e-ISSN: 1138-9737
- Moreno, N., Leiva, J., y López, E.** (2016). Robótica, modelado 3d y Realidad Aumentada en educación para el desarrollo de las inteligencias múltiples. *Aula de Encuentro*, 2(18), 158-183.
- Resnick, M., y Rosenbaum, E.** (2013). Designing for tinkerability. Design, Make, Play. En D. E. Margaret Honey, *Growing the Next Generation of STEM Innovators* (págs. 163-181). New York: Routledge. eBook ISBN9780203108352

**Ruiz del Solar, J., y Salazar, R.** (s.f.). *Introducción a la robótica. Curso EL63G, Universidad de Chile.*

Obtenido de <http://robotica.li2.uchile.cl/EL63G/capitulo1.pdf>

**Secretaría de Educación.** (2015). *El Diseño Curricular Nacional de Educación Prebásica para niños y niñas de 4 a 5 años* (Segunda ed.). Tegucigalpa: Secretaría de Educación.

**Vega, P., Vílchez, M., Villegas, M., y Alvarado, P.** (2010). Consideraciones de diseño para robots miniaturizados. *Tecnología en Marcha*, 23(5), 60-68. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835749.pdf>