	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 8</b>

21.1

<b>FECHA</b>	lunes, 9 de marzo de 2020
--------------	---------------------------

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Sede Fusagasugá
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ingeniería
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería de Sistemas

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Jaimes Pardo	Luisa Fernanda	1032477349

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 2 de 8</b>

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Gordillo Ochoa	Wilson Daniel

<b>TÍTULO DEL DOCUMENTO</b>
ESTUDIO PARA MODELAR MATEMATICAMENTE EL COMPORTAMIENTO DE UN ROBOT LEGO EV3 CON PYTHON

<b>SUBTÍTULO</b> (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

<b>TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:</b> Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO DE SISTEMAS

<b>AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO</b>	<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>
02/03/2020	34

<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS</b> (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
1. Robótica	Robotics
2. Aprendizaje automático	Machine learning
3. Regresiones	Regressions
4. Modelado de datos	Data modeling
5. Aprendizaje supervisado	Supervised learning
6. Comportamiento	Behavior



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 3 de 8</b>

## RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

La robótica es ampliamente estudiada en una gran cantidad de instituciones de educación ya que es una rama de las ciencias de la computación que es sumamente atractiva. Existen diversas plataformas que son utilizadas para diferentes fines como, por ejemplo, robots no tripulados, drones, humanoides entre otros. Cada uno de ellos representa un reto tecnológico debido a su paradigma de uso. Ninguno es mejor que el otro, simplemente son plataformas con fines diferentes. En este sentido, un robot lego es una plataforma versátil que permite crear un sinnúmero de modelos donde cada uno de estos permita la aplicación de diferentes fines educativos. Por citar alguno, está el caso del robot pendular el cual es construido con el bloque de programación, una rueda y un motor, todo esto del kit básico lego. Conociendo la matemática del motor, este modelo permite realizar prácticas de matemáticas básica, física y algunas otras más.

Finalmente, el robot lego EV3 es un equipo de bajo costo y de fácil adquisición, por lo cual se plantea con esta investigación implementar técnicas de aprendizaje autónomo, siendo este proyecto el primero de esta índole en el laboratorio de robótica de la facultad de ingeniería Arturo Narro Siller, de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, México.

Robotics is widely studied in a large number of educational institutions since it is a branch of computer science that is extremely attractive. There are several platforms that are used for different purposes such as, for example, unmanned robots, drones, humanoids among others. Each of them represents a technological challenge due to its paradigm of use. Neither is better than the other, they are simply platforms for different purposes. In this sense, a lego robot is a versatile platform that allows you to create endless models where each of these allows the application of different educational purposes. To name one, there is the case of the pendular robot which is built with the programming block, a wheel and an engine, all this from the basic lego kit. Knowing the mathematics of the engine, this model allows you to perform basic, physical and some other mathematics practices.

Finally, the lego EV3 robot is a low-cost and easy-to-acquire equipment, so it is proposed with this research to implement autonomous learning techniques, this project being the first of its kind in the robotics laboratory of the Arturo engineering faculty Narro Siller, from the Autonomous University of Tamaulipas, Tampico, Mexico.



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 4 de 8</b>

### AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 8</b>

autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

**SI**  **NO**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 6 de 8</b>

patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.


e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 7 de 8</b>



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

<b>Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)</b>	<b>Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)</b>
1. ESTUDIO PARA MODELAR.pdf	
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

<b>APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>FIRMA (autógrafa)</b>
Jaimes Pardo Luisa Fernanda	

21. 1-51.20



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. ESTUDIO PARA MODELAR.pdf	
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Jaimés Pardo Luisa Fernanda	

21. 1-51.20



ESTUDIO PARA MODELAR MATEMATICAMENTE EL COMPORTAMIENTO DEL  
ROBOT LEGO EV3 CON PYTHON

Investigador:

LUISA FERNANDA JAIMES PARDO

Directores:

PhD SALVADOR IBARRA MARTINEZ

MsC EDUARDO RODRIGUEZ DEL ANGEL

MsC WILSON DANIEL GORDILLO OCHOA



UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE TAMAULIPAS  
FACULTAD DE INGENIERIA "ARTURO NARRO SILLER"  
PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS  
TAMPICO, TAMAULIPAS, MEXICO

2020

ESTUDIO PARA MODELAR MATEMATICAMENTE EL COMPORTAMIENTO  
DEL ROBOT LEGO EV3 CON PYTHON

LUISA FERNANDA JAIMES PARDO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO DE SISTEMAS

Modalidad de grado:  
PASANTIA INTERNACIONAL

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE TAMAULIPAS  
FACULTAD DE INGENIERIA “ARTURO NARRO SILLER”  
PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS  
TAMPICO, TAMAULIPAS, MEXICO

2020

## Índice

Introducción.....	5
Justificación.....	7
Antecedentes de la investigación.....	8
Planteamiento del problema .....	11
Objetivos .....	12
Objetivo General .....	12
Objetivos Específicos .....	12
Diseño de la investigación.....	13
Descripción de la recolección de datos.....	13
Selección del modelo de regresión.....	13
Regresión lineal .....	14
Regresión polinomial .....	15
Generación de pruebas.....	15
Explicación del código programado .....	18
Alcances y limitaciones.....	19
Descripción del modelado de datos .....	20
Resultados.....	22
Resultados del estudio .....	22
Resultados modelo de regresión lineal.....	23
Resultados modelo de regresión cuadrática .....	23
Resultados modelo de regresión cubica .....	24
Análisis de los resultados.....	24
Resultados del proceso de investigación .....	26
Artículo científico .....	26
Ponencias.....	26
Participación en eventos académicos.....	28
Intercambio de experiencias .....	29
Conclusiones.....	31

Recomendaciones y trabajos futuros para la investigación.....	32
Bibliografía.....	33

### Índice de Ilustraciones

---

Ilustración 1. Robot educador versión kit retail.....	15
Ilustración 2. Robot educador versión kit educacional .....	16
Ilustración 3. Modelo adaptado .....	16
Ilustración 4. Pruebas realizadas en tablero .....	16
Ilustración 5. Primera prueba.....	17
Ilustración 6. Marcaciones primera prueba .....	17
Ilustración 7. Pruebas distancias largas.....	18
Ilustración 8. Últimas pruebas .....	18
Ilustración 9. Código programado en MicroPython .....	18
Ilustración 10. Estructura para programar código en Python .....	20
Ilustración 11. Gráfico de dispersión .....	21
Ilustración 12. Resultados modelo de regresión lineal .....	23
Ilustración 13. Resultados de modelo de regresión cuadrática.....	23
Ilustración 14. Resultados de modelo de regresión cubica .....	24
Ilustración 15. Resultados sobre entrenamiento .....	25
Imagen 1. Fotografías evidencias ponencia. Fuente: autoría propia.....	27
Imagen 2. Evidencia ponencia segundo coloquio internacional de posgrado Fuente: autoría propia .....	28
Imagen 3. Evidencia taller de introducción de la robótica educacional Fuente: Pagina en Facebook del capítulo ISA.....	28
Imagen 4. Video conferencia entre universidades. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, México. ....	29
Imagen 5. Evidencia sustentación de trabajo final de grado Universidad de Cundinamarca Fuente: Docente Esperanza Merchan .....	30

## Introducción

En los últimos años, el uso de tecnología en el sector educativo ha cobrado fuerza logrando, de esta manera, crear e implementar diversas herramientas que permiten realizar ciertas actividades de forma más ágil y atractiva para los estudiantes. Por ejemplo, utilizando un robot se puede llevar a la práctica la implementación de expresiones y funciones matemáticas, lo cual despierta un interés más notable en la mayoría de los alumnos. No obstante, la mayoría de las personas cree que utilizar un robot representa un reto a gran escala, lo cual no es del todo cierto. Hoy en día existen productos muy accesibles (desde un punto de vista económico) y que a pesar de que se requiere practicar, su uso no es tan complejo.

En este sentido, Lego Education es una plataforma tecnológica que es ampliamente utilizada en las principales instituciones educativas del mundo en diversos niveles académicos que van desde preescolar hasta universidades, siendo incluso utilizado por algunos investigadores. En gran medida, la buena aceptación de este producto se debe al lema que podemos observar en la página oficial del fabricante el cual argumenta que estos robots "permiten construir y ser programados mediante el uso de motores, sensores, engranajes, ruedas, ejes y otros componentes técnicos".

Por lo tanto, empleando un robot Lego se pueden poner en práctica conocimientos de materias como: matemáticas básicas, física, álgebra, trigonometría, por citar algunas cuantas, y otras de mayor nivel académico como lo son estadística, programación, automatización, inteligencia artificial y robótica. Todas bajo el mismo paradigma de programación, el cual es un entorno de programación denominado LEGO MINDSTORMS EV3, utilizando una programación por bloques de manera secuencial.

Diversos trabajos de investigación catalogan a LEGO MINDSTORMS Education EV3 como la mejor línea de productos de su rama y que ha tenido un gran auge en el campo de la robótica educacional debido a que es un kit equipado y adecuado para la creación de diversos prototipos, donde el límite en su infraestructura es la imaginación, sin embargo, derivado de su programación por bloques limita las funciones que se pueden crear con este robot.

Desde la creación de su antecesor el NXT 2.0 en 2009, se ha visto la necesidad de utilizar un nuevo lenguaje de programación que potencialice las características físicas del robot. Como resultado de esta problemática LEGO implementó su plataforma de programación con Python llamada MicroPython, la cual es un lenguaje de programación

simple e intuitivo cuyo propósito es optimizar los componentes técnicos del robot y darle al desarrollador mayor libertad a la hora de programar.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio para generar un modelo que caracterice el comportamiento del robot Lego EV3 en lenguaje Python manteniendo un enfoque simple. Dicho modelo enfatizara algunos de los aspectos matemáticos y estadísticos que se pueden estudiar a través del uso del robot. Además, el modelo obtenido se utilizará como un instrumento educativo para facilitar a los alumnos comprender la relación entre las matemáticas de nivel básico hasta las matemáticas de nivel profesional. Por otra parte, este estudio será insumo de una investigación realizada en el laboratorio de robótica de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, como prueba piloto de la implementación de técnicas de aprendizaje automático en robots de procesamiento de bajo nivel. Será un punto de partida para la navegación autónoma de este tipo de robots.

A lo largo de este trabajo se encontrará la información pertinente del componente Lego MindStorm, el código de programación utilizado para la maniobra de este y los pasos que se realizaron para la modelación de los datos programados en el lenguaje Python, la implementación de técnicas de aprendizaje autónomo de nivel básico, todo esto para entender la eficiencia de los motores, llevados a su máxima potencia y crear la posibilidad de implementar navegación autónoma en ellos.

Mencionado anteriormente este estudio es producto de un proceso de investigación internacional, llevado a cabo en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, Tamaulipas, México, específicamente en el laboratorio de robótica de la facultad de ingeniería “Arturo Narro Siller” donde convergen diversos equipos de trabajo investigativo dirigidos por el Dr. PhD Salvador Ibarra Martínez, quien consideró oportuno el desarrollo de esta iniciativa como insumo necesario para el avance de diversos estudios que se vienen desarrollando en su laboratorio. Este trabajo investigativo de acuerdo con la normatividad de la universidad de Cundinamarca se desarrolla en la modalidad de pasantía internacional. Los resultados de este estudio son:

La presentación de un artículo de investigación que está siendo evaluado para su posible publicación.

Ponencia en el Segundo Coloquio Internacional de Investigación en Posgrado.

## Justificación

La robótica es ampliamente estudiada en una gran cantidad de instituciones de educación ya que es una rama de las ciencias de la computación que es sumamente atractiva. Existen diversas plataformas que son utilizadas para diferentes fines como, por ejemplo, robots no tripulados, drones, humanoides entre otros. Cada uno de ellos representa un reto tecnológico debido a su paradigma de uso. Ninguno es mejor que el otro, simplemente son plataformas con fines diferentes. En este sentido, un robot lego es una plataforma versátil que permite crear un sinnúmero de modelos donde cada uno de estos permita la aplicación de diferentes fines educativos. Por citar alguno, está el caso del robot pendular el cual es construido con el bloque de programación, una rueda y un motor, todo esto del kit básico lego. Conociendo la matemática del motor, este modelo permite realizar prácticas de matemáticas básica, física y algunas otras más.

Por otra parte, la característica modular del robot permite crear y diseñar diversos prototipos para la enseñanza didáctica, dando la posibilidad de crear una amplia gama de proyectos, desde lo más simple (como por ejemplo un robot seguidor de líneas) hasta lo más complejo (como la simulación de un brazo articulado). Donde, además, la posibilidad de utilizar software de alto nivel facilita la recolección y procesamiento de información que se le puede dar a esta.

Finalmente, el robot lego EV3 es un equipo de bajo costo y de fácil adquisición, por lo cual se plantea con esta investigación implementar técnicas de aprendizaje autónomo, siendo este proyecto el primero de esta índole en el laboratorio de robótica de la facultad de ingeniería Arturo Narro Siller, de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, México

## **Antecedentes de la investigación**

En el presente estudio se han encontrado diversos trabajos de investigación que catalogan a LEGO MINDSTORMS Education EV3 una de las líneas de productos más utilizadas en el campo de la robótica educacional, “estos robots son ampliamente utilizados en las instituciones de educación con el objetivo de motivar a los alumnos para establecer una relación con la ciencia y tecnología a través de la robótica, estimulando la creatividad, colaboración y trabajo en equipo” (Tello-leal, Guerrero-Melendez & Saldivar-Alonso, 2013)

Esta herramienta es adecuada para la creación de diversos prototipos, la simplicidad de las partes del sistema permite un uso amigable de la herramienta y sus elementos pueden ser tratados por el usuario como cajas negras que recogen información, realizan ciertas acciones, haciendo siempre un gran énfasis en el aprendizaje de la programación y desarrollo del pensamiento algorítmico y computacional. (Suárez Zapata, et al., 2018)

Dentro del ámbito de la educación universitaria, la robótica constituye un objeto de estudio en sí misma, pero además puede ser utilizada para enseñar de una forma atractiva otras materias como programación, sistemas de tiempo real, sistemas empujados, sistemas de control, inteligencia artificial, etc. (Ayerbe, Pérez & Rivas, 2017). También en las universidades, los robots móviles y los sistemas autónomos sean un tópico de gran importancia que en los últimos años se ha incorporado en los programas educativos de Ingeniería y Ciencias Computacionales (Tello-leal et al., 2013)

Con esta finalidad, esto ha permitido la vinculación de diversas áreas del conocimiento, la cual contribuye al desarrollo y fortalecimiento de habilidades, así mismo a la construcción del conocimiento, ya que el lego al ser manipulado por los alumnos facilita la aprehensión de este, pasando de lo abstracto a lo concreto, teniendo como resultado el aprendizaje deseado a través del proceso “aprender haciendo” de acuerdo con Lourdes Lamoyi (2012)

Para ello se hace necesario tener en cuenta las bondades del robot Lego Ev3, dentro las cuales se resalta, la versatilidad de programación en el brick (centro de comandos) el cual puede arrancar un sistema operativo alternativo desde una tarjeta microSD, como por ejemplo ev3dev, que es un sistema operativo basado en Linux Debian. (Ayerbe et al., 2017).



Partiendo de la posibilidad de programar el robot con un lenguaje diferente a la programación por bloques, se desarrolló una guía completa de instalación y programación del robot Lego EV3 con MicroPython, la cual se encuentra en su página oficial. Lego. (2019).

Uno de los enfoques concretados a lo largo de esta investigación por el Mcs Eduardo Rodríguez del Ángel es la implementación de técnicas de aprendizaje autónomo, para generar una prueba piloto que, a futuro, permita la navegación autónoma de este tipo de robots, como lo menciona el siguiente trabajo La autonomía de los robots depende de hasta qué punto un robot se basa en el conocimiento previo o la información del entorno para lograr su cometido (Rodríguez Carrión, 2015).

Con a base a esto la investigación que se genera desea ser llevada a diferentes niveles, siento esta la primera fase la implementación de estas técnicas, donde el robot no es autónomo, como lo explica el siguiente trabajo No Autónomos: Son completamente dirigidos de forma remota por seres humanos. La inteligencia desarrollada por estos robots consiste en interpretar los comandos recibidos de los controladores humanos. (Rodríguez Carrión, 2015).

De esta manera existen diversos tipos de autonomía que puede llegar a tener un robot, dentro de los que se encuentran, no autónomos, semi – autónomos y autónomos.

Siendo el objetivo de los siguientes trabajos que se realizaran en el laboratorio lograr una semi – autonomía del robot así lo menciona (Rodríguez Carrión, 2015). en su trabajo, Pueden navegar por sí mismos, pero existe cierto grado de intervención del hombre. Un ejemplo de semi- autonomía se logra mediante el ajuste del entorno dónde todo está adaptado de tal manera que el robot pueda moverse con seguridad.

Como investigaciones referentes a este tipo de temáticas es común encontrar pruebas realizadas con el Robot NXC de la línea MindStorm de la empresa Lego, como es el trabajo de Robótica móvil con Lego MindStorm que tiene por objetivo analizar las posibilidades de estos robots para el aprendizaje y/o investigación practica sobre robots móviles autónomos. Este trabajo incluye un estudio de las técnicas y algoritmos necesarios para conseguir las funcionalidades principales que se quieren desarrollar sobre los MindStorm, además de su implementación. (Carrera, 2010).

Otro trabajo referente se titula Desarrollo de un prototipo de robot educacional tipo Segway con control remoto, Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo desarrollar una aplicación que permita controlar de forma remota un robot tipo segway construido con el kit educacional de Lego Mindstorms. La aplicación diseñada constará de un “modo remoto” que permite mover el robot en la dirección deseada y un “modo trayectoria” que permite al robot realizar trayectorias previamente conocidas. (Vizcaíno Espejo, 2018). Siendo este trabajo de los primeros en implementar el Robot EV3 de la línea MindStorm

## Planteamiento del problema

Utilizar un robot para poner a prueba fundamentos de otras áreas educativas representa múltiples retos, entre los que se puede distinguir uno en específico: dominar el uso de la plataforma tecnológica seleccionada. En este sentido, actualmente no existe información clara acerca del modelado matemático de los componentes del robot lego EV3, ni de la utilización de técnicas de aprendizaje autónomo para la navegación de este.

Como se puede apreciar, la información que se muestra en los antecedentes, las investigaciones realizadas con el robot lego (en cualquiera de sus versiones) se centran en explicar el objetivo de la propuesta como una herramienta para la educación, mas no vinculan directamente al robot y su operatividad dentro de un entorno. Es decir, no se explica a detalle cómo operar el robot desde una perspectiva matemática, no solamente potencializando sus capacidades, sino que lleva a otro nivel la enseñanza y desde esta perspectiva plantear la navegación autónoma del mismo.

Esto es un grave problema debido a que:

Limita el aprendizaje de este robot para principiantes que desean utilizar un lenguaje de programación abierto.

Demarca la capacidad física del robot, ya que no le permite desarrollar todo su potencial.

Impide la utilización de esta herramienta en escenarios de enseñanza de matemáticas aplicadas entre otras.

Delimita las funciones del robot, impidiendo una navegación autónoma.

Por tal motivo, es necesario contar con información detallada de cómo se utiliza cada uno de los componentes (i.e., sensores y actuadores) del robot para tener una visión clara de los alcances que se pueden lograr con el uso de estas tecnologías dentro del proceso de enseñanza aprendizaje en cualquier nivel educativo, de esta manera generar modelos que permitan en estos robots la navegación autónoma. Al ser este estudio insumo para investigaciones realizadas en el laboratorio de robótica, se busca generar pruebas para que, mediante la recolección de información del desplazamiento del robot, estas arrojen datos, los cuales al ser recopilados respondan a la pregunta de si ¿Es posible modelar el desplazamiento de un robot Lego EV3 utilizando técnicas de aprendizaje automático?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar un estudio para modelar matemáticamente el comportamiento de los motores de un Robot Lego EV3 en lenguaje de desarrollo Python.

### **Objetivos Específicos**

Identificar las limitantes del entorno de programación por default del robot lego EV3 en lo referente al componente motores.

Desarrollar un modelo computacional con Python

Realizar pruebas de funcionamiento

Generar y validar experimentos

## **Diseño de la investigación**

Uno de los objetivos de este proyecto busca responder a la pregunta de investigación que está relacionada con la generación de modelos matemáticos que logren explicar el comportamiento de los motores del robot lego EV3, para su desplazamiento utilizando técnicas de aprendizaje automático. Esta investigación es de tipo experimental cuantitativo, debido a que se tiene un control de las variables independientes para obtener un resultado concreto en las variables dependientes, las cuales son recolectadas, tabuladas, modeladas y analizadas.

### **Descripción de la recolección de datos**

Para la recolección de los datos correspondientes a este estudio, fue necesario realizar un cronograma de pruebas, donde sería medida la potencia de los motores, para esto se programó el robot Lego EV3 a su máxima velocidad, para determinar cuál sería la distancia recorrida; para lo cual se hizo uso de la guía Lego MindStorm para MicroPython. En los programas propuestos de la misma se utiliza una velocidad máxima de  $0.85_{\text{cm/s}}$ , la cual fue comprobada realizando pruebas de programación con valores superiores y encontrando que el resultado en la velocidad seguía siendo la de  $0.85_{\text{cm/s}}$ , haciendo caso omiso del valor asignado. Hallazgo que se obtuvo en el entorno de programación.

La prueba que se decidió llevar a cabo fue programar el robot a su máxima velocidad ( $0.85_{\text{cm/s}}$ ), en siete diferentes tiempos iniciando en 5 segundos y terminando en 35 segundos, con una frecuencia de 5 segundos, realizando 30 repeticiones por tiempo en línea recta, observando el comportamiento del robot, estos datos fueron recolectados en un documento en Excel. (Archivo Adjunto)

### **Selección del modelo de regresión**

Este modelo fue seleccionado por el MsC Eduardo Rodríguez del Ángel, quien argumenta en su curso de Fundamentos y construcción de modelos de predicción con Machine Learning, que hace parte del área de aprendizaje supervisado, dentro de las técnicas de aprendizaje automático. Siendo este proyecto una prueba piloto para lograr la navegación autónoma del robot.

El aprendizaje automático es el conjunto de técnicas que se centran en desarrollar soluciones de software que pueden modificar su comportamiento en respuesta a la exposición

de nuevos datos, de esta manera existen tres principales técnicas que componen el aprendizaje automático, como lo son el aprendizaje supervisado, el aprendizaje no supervisado y el aprendizaje reforzado.

En la investigación se trabajará con la primera etapa del aprendizaje supervisado, en el cual los algoritmos trabajan primeramente aprendiendo con un conjunto de datos de entrenamiento “etiquetados”, los cuales recibe para posteriormente trabajar con ellos, intentando asignarles correctamente una etiqueta que coincida con la que previamente tenía. El comportamiento del algoritmo se corrige en medida a cuántas veces fallo al momento de etiquetar los datos de prueba y posteriormente modifica su comportamiento para las próximas ejecuciones. Después de terminar de entrenar con los datos etiquetados, se somete al algoritmo a trabajar con un conjunto de datos nuevos para los que no se conoce la etiqueta.

Dentro de los conceptos de aprendizaje automático supervisado, se encuentran clasificación y regresión, un sistema de clasificación predice una categoría, mientras que una regresión predice un número, de esta manera lo define Andrés Gonzales en la página web de Cleverdata (<https://cleverdata.io/conceptos-basicos-machine-learning/>)

Por lo cual este tipo de modelado matemático es uno de los tipos de modelos científicos capaz de generar un esquema simplificado e idealizado de un objeto real construido por símbolos y operaciones, empleando un formalismo para explicar las relaciones entre las variables por medio de proposiciones de hechos, parámetros y entidades, lo que es en este momento la explicación del desplazamiento del robot lego EV3.

### **Regresión lineal**

Este algoritmo consiste en hallar una línea recta que mejor encaje en un conjunto de datos , para esto se puede utilizar métodos matemáticos como el de mínimos cuadrados, para minimizar la distancia vertical de todos los puntos a la línea recta por su grado de complejidad, lo hace fácil de implementar en computadoras de bajo procesamiento.

De esta manera describir cómo influye una variable dependiente sobre una variable independiente, realizando una predicción de los valores que tomara una de las dos variables, en un escenario ideal, se espera que todos los puntos en el diagrama de dispersión se alineen a una sola recta.

Para esta investigación la variable independiente o característica (**X**) es el tiempo y la variable dependiente u objetivo (**Y**) es la distancia, por medio del modelo de regresión se pretende modelar la relación entre estas variables.

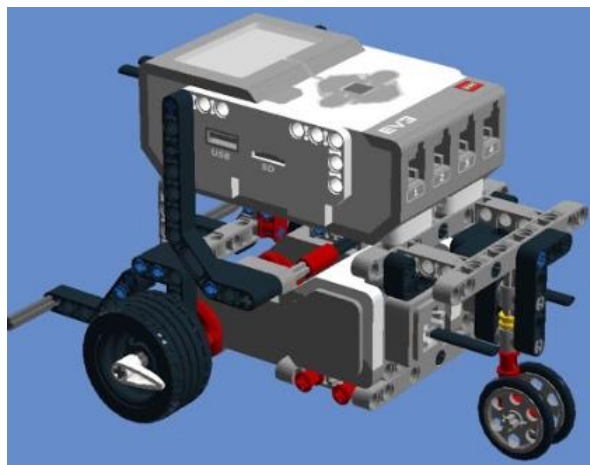
### **Regresión polinomial**

En el manejo de diversos datos estos no siempre se comportan de manera similar, por esto existen métodos que permiten disminuir la condición de linealidad, lo que permite generar una interpretación más precisa de los datos, modelando la relación entre la variable dependiente y la variable independiente como un polinomio de orden  $n$ .

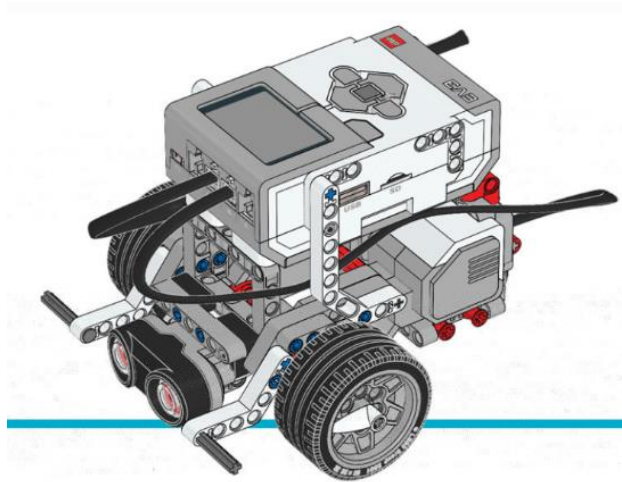
Para el caso de esta investigación el MsC Eduardo Rodríguez del Ángel determino realizar pruebas de regresión lineal, regresión cuadrática y regresión cubica, para analizar el comportamiento que presenten los datos recolectados.

### **Generación de pruebas**

Este proyecto inicio con la construcción de una modificación del Robot educador propuesto en la guía EV3-MicroPython, realizándole adaptaciones al kit retail (comercial) disponible para este proyecto, debido a limitaciones con las piezas. La principal diferencia es el diámetro de los neumáticos en el kit retail es de 43.2 mm y en el kit educativo son de 56mm. A pesar de su reducido tamaño, este robot contiene en el interior del motor un complejo sistema de reducción por tren de engranajes y un sensor de rotación

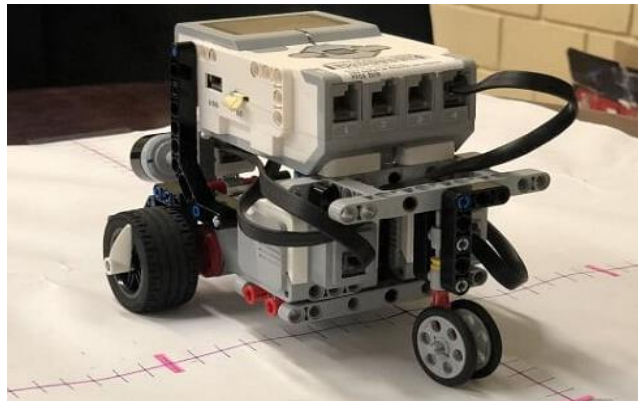


*Ilustración 1. Robot educador versión kit retail*

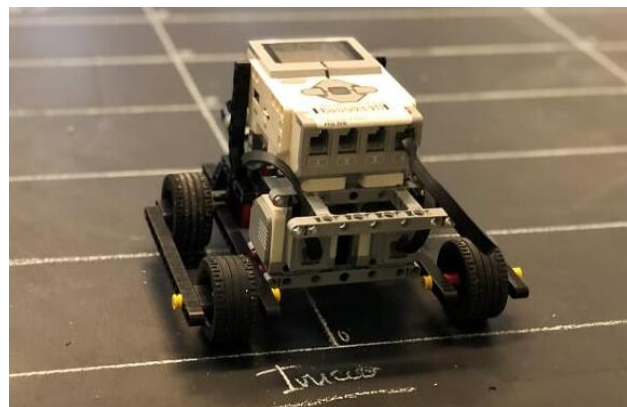


*Ilustración 2. Robot educador versión kit educacional*

Se modeló el comportamiento del robot teniendo en cuenta las características de los motores, utilizando el lenguaje MicroPython. Se realizaron pruebas de programación de diferentes códigos que brinda la guía EV3-MicroPython para observar el comportamiento del robot.



*Ilustración 3. Modelo adaptado*

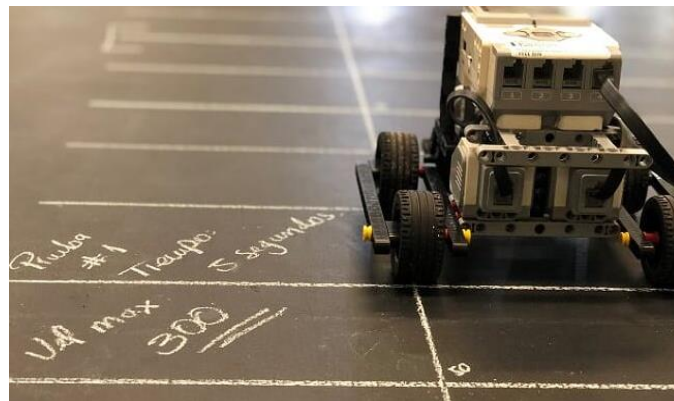


*Ilustración 4. Pruebas realizadas en tablero*

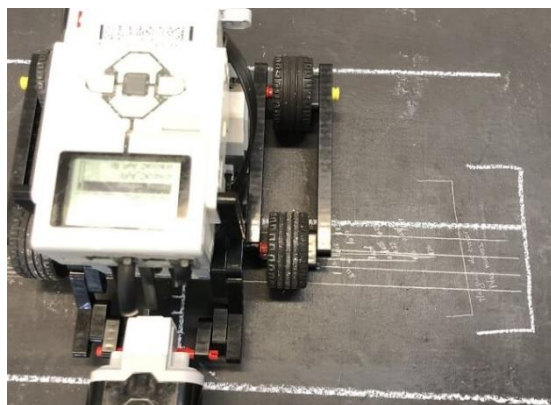


Para esto se adecuaron dos espacios donde se realizaron estas pruebas, el primero un tablero de color negro demarcado con distancias en centímetros, el segundo el piso de los nuevos laboratorios que de igual manera esta demarcado por centímetros.

La prueba que se decidió llevar a cabo fue programar el robot a su máxima velocidad en siete diferentes tiempos iniciando en 5 segundos y terminando en 35 segundos, con una frecuencia de 5 segundos, realizando 30 repeticiones por tiempo en línea recta, observando el comportamiento del robot.



*Ilustración 5. Primera prueba*



*Ilustración 6. Marcaciones primera prueba*

En la primera prueba realizada como se observa en la ilustración 5 y 6 se realizan las marcaciones de cada una de las pruebas, en el primer tiempo de 5 segundos, se denota la distancia recorrida y las variaciones de estas. De la prueba número 3 en adelante se realiza en un escenario más amplio como lo muestran las ilustraciones 7 y 8, donde se pueden observar las demarcaciones de distancia para cada uno de los tiempos.



Ilustración 7. Pruebas distancias largas

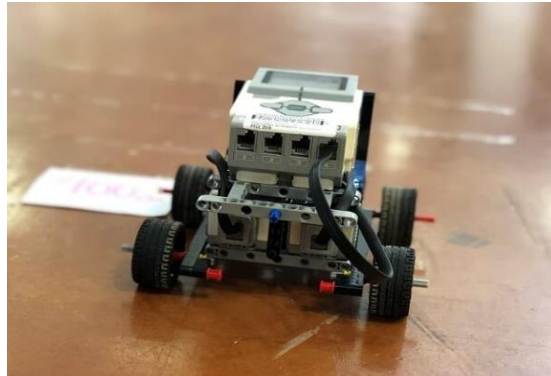


Ilustración 8. Últimas pruebas

Se recuerda que los datos obtenidos de esta fase se reflejan de manera detallada en el documento de Excel adjunto (*Regresion lineal\_RobotEV3.xlsb*)

### Explicación del código programado

Al momento de programar el robot se tuvieron en cuenta sus características físicas, el diámetro de los neumáticos y su pista de eje, luego de realizar pruebas de los diferentes códigos propuestos en la guía EV3-MicroPython, fue elegido el siguiente código:

---

```

1  #!/usr/bin/env pybricks – micropython
3  from pybricks import ev3brick as brick
4  from pybricks.ev3devices import (Motor, TouchSensor, Colorsensor,
5                                     InfraredSensor, UltrasonicSensor, GyroSensor)
6  from pybricks.parameters import (Port, Stop, Direction, Button, Color,
7                                     SoundFile, ImageFile, Align)
8  from pybricks.tools import print, wait, Stopwatch
9  from pybricks.robotics import DriveBase
11 # Write your program here
12 brick.sound.beep()
13 motor_der = Motor(Port.C)
14 motor_iz = Motor(Port.A)
15 wheel_diameter = 43.2
16 axle_diameter = 114
17 robot = DriveBase(motor_iz, motor_der, wheel_diameter, axle_track)
18 robot.drive_time(300, 0, 35000)
19 wait(5000)

```

Ilustración 9. Código programado en MicroPython

De la línea 1 a la 12 se realiza la inicialización de las librerías para EV3MicroPython que están incluidas en la extensión habilitada de Visual Studio Code, en la última línea se programa el sonido de beep emitido cuando el código es ejecutado desde el brick.

En la línea 13 y 14 del código se inicializan los motores derecho e izquierdo, asignando el puerto al cual están configurados, es importante tener en cuenta la configuración que se asignan ya que en el sistema operativo del Brick EV3 reconoce los dispositivos conectados, y al no reconocerlos generar un error en su ejecución.

Luego se determina el diámetro del neumático y su pista de eje, que es la distancia entre los centros de cada una de las ruedas, esto influirá en la rotación del robot, como se evidencia en la línea 15 y 16 del código.

La función *Drivebase* se compone de dos motores, con una rueda en cada uno de ellos, de los valores del diámetro de los neumáticos y la pista de eje, esta función se usa para que los motores se muevan a la velocidad correcta cuando se envía un comando al motor, por esto la variable robot es igualada como se observa en la línea 17.

Los parámetros de distancia, grados de rotación y tiempo en ese orden respectivamente se manejan en milímetros y milisegundos, como se observa en la línea 18, luego de esto se realiza una espera de 5 segundos después de terminar de recorrer la distancia esperada.

### **Alcances y limitaciones**

Un factor importante a lo largo del desarrollo de este proyecto fue el rendimiento que se obtenía dependía de la carga que tenían las baterías, en la versión comercial del kit MindStorm su almacenamiento eléctrico proviene de seis baterías AA de 1.2 voltios, estas deben ser cambiadas luego de 3 minutos de funcionamiento continuo, después de este tiempo la potencia de los motores se ve afectada en su rendimiento, variando en gran medida la distancia recorrida en el tiempo establecido así como demostrando que cada motor podía alcanzar diferentes potencias a pesar de la carga de las baterías.

Una limitante que se presentó en el diseño del robot es que después de 35 segundos no es posible seguir realizando recorridos de manera repetitiva ya que los motores son forzados en esta etapa y se presenta una desviación en el recorrido.

Dentro de los alcances de esta investigación fue el de seleccionar tres modelos de regresión que fueran representativos del conjunto de datos, que a futuro puedan ser programados en el robot Lego EV3, se decidió elegir modelos de regresión ya que estos hacen parte de los conceptos de aprendizaje automático en el área de aprendizaje supervisado.

### Descripción del modelado de datos

Para realizar la modelación de los datos obtenidos en las pruebas de rendimiento de los motores, se implementó la biblioteca *scikitlearn* de aprendizaje automático en Python, que fue programado en las libretas de Júpiter, la cual contiene herramientas simples y eficientes para minería de datos y análisis de datos. Para la implementación de los modelos de regresión programado en Python se formularon 13 pasos como lo ilustra la ilustración 10.

---

```

1  Import numpy, pandas, matplotlib
2  Import sklearn
3  DataFrame = ObtencionDatos()
4  X = DataFrame.data
5  Y = DataFrame.target
6  train_test_split(x,y)
7  ConstruccionModelo(X_train,Y_train)
8  prediccionUsandoModelo(X_train)
9  prediccionUsandoModelo(X_test)
10 Graficar Modelo
11 r2_score(Y_train,Y_train_hat)
12 r2_score(Y_test,Y_test_hat)
13 MostrarScore
14 Graficar
15 ObtenerCoef_
16 ObtenerIntercept_

```

---

*Ilustración 10. Estructura para programar código en Python*

En la línea 1 se importaron tres librerías especializadas. 1) *Numpy* la cual permite tener un mayor soporte para vectores y matrices. 2) *Pandas* que fue utilizada debido a las diferentes estructuras que permiten un mejor manejo de los datos y su principal función fue la de permitirle al programa acceder al archivo con formato “.csv” que contenía el conjunto de datos obtenidos por el robot durante la experimentación. 3) *Matplotlib* encargada de la generación de gráficos.

Se utiliza también la librería de *Sklearn* la cual contiene herramientas simples y eficientes para minería de datos y análisis de datos (línea 2). Primero iniciamos con la obtención de datos directo del archivo .csv en la línea 4. Posteriormente se realiza la preparación de los datos (línea 5), organizándolos de tal manera que solo exista un dígito de manera vertical y uno de manera horizontal.

En la línea 6 se divide el conjunto de datos en entrenamiento y prueba utilizando *sklearn.model-selection* importando la librería de *train\_test\_split*. El tamaño de la prueba se definió como 0.33 y el número de la semilla aleatoria se estableció en 100.

La construcción del modelo ocurrió en dos pasos: el primero es seleccionar el tipo de modelo y el segundo es la construcción del modelo, usando los datos de entrenamiento utilizando la función *fit*. Luego de construir el modelo se realizan las predicciones con los dos conjuntos diferentes de valores obteniendo  $Y_{train\_hat}$  y  $Y_{test\_hat}$ .

Después de obtener los valores se grafica el modelo, los datos de entrenamiento y los datos de validación utilizando la librería de *matplotlib.pyplot*. En la ilustración 16, se observa una línea recta roja que representa el modelo de regresión, los puntos azules representan los datos de entrenamiento y el conjunto de puntos naranjas representa los datos de prueba.

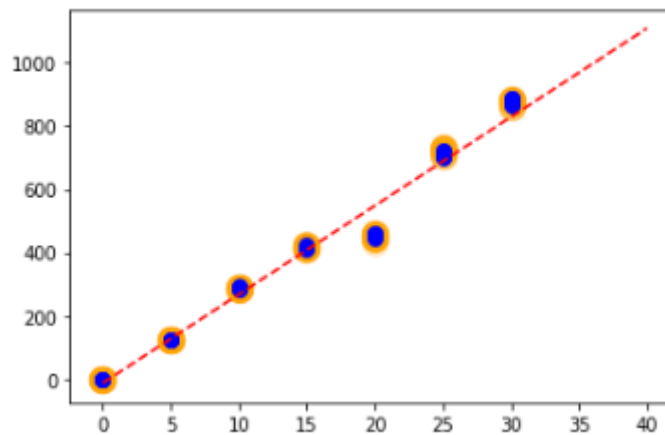


Ilustración 11. Gráfico de dispersión

En la línea 11 y 12 se implementó la métrica  $r2\_score$  para evaluar el desempeño del modelo de los datos de entrenamiento y los datos de prueba.

En la línea 15 y 16 se obtiene  $coef\_$  que es el coeficiente estimado para el problema de regresión lineal y  $intercept\_$  como el término independiente del modelo lineal los cuales nos permiten obtener la ecuación de la línea recta que responde al modelo.

## Resultados

### Resultados del estudio

Una vez obtenidos los resultados de cada una de las pruebas, se procede a graficar tres modelos de regresión, y analizar el comportamiento de estos, los cuales son comparados por la eficiencia registrada, determinando de esta manera cual es la respuesta frente al comportamiento de los motores del robot Lego EV3, y analizando estos modelos frente a datos conocidos y datos desconocidos.

El tamaño de la prueba fue definido como 0.33, ya que no existe una regla establecida que determine cual debe ser el tamaño de prueba, comúnmente se establece que debe ser entre el 20% y 40 %, la paquetería por defecto lo pone en el 25%. El número de la semilla aleatoria se estableció en 100, dado que la semilla aleatoria fija permite que los resultados sean reproducibles, esto permite que no esté fluctuando, se dejó fija en el proceso de experimentación, para que los resultados sean los mismos. Es un parámetro de control para poder hacer pruebas con los otros parámetros.

Luego de construido el modelo se realizaron dos predicciones diferentes:

1. Con los valores de entrenamiento ( $\hat{y}_{train}$ )
2. Con los valores de prueba ( $\hat{y}_{test}$ )

Estos dan respuesta a dos preguntas generadas a lo largo de la investigación, la primera es ¿qué tan bueno es el modelo ante datos previamente conocidos? y la segunda es ¿qué tan bueno es el modelo ante datos desconocidos?

En las gráficas de los modelos se verá una línea recta roja que representa el modelo, un conjunto de puntos azul que representan los datos de entrenamiento y un conjunto de puntos naranjas que representan los datos de prueba.

Luego es utilizada la métrica de  $R^2_{score}$  para evaluar el desempeño del modelo, calculando el porcentaje de variación de la variable de respuesta que en este caso es la distancia. Después de analizar las métricas de desempeño del conjunto de entrenamiento se determina la eficiencia del modelo ante datos conocidos, posteriormente se analiza la eficiencia del modelo frente a datos desconocidos.

### Resultados modelo de regresión lineal

Se determinó que la relación que existe entre la distancia y el tiempo da respuesta al modelo planteado, el desempeño de los datos de entrenamiento es de 0.973551, en una escala de desempeño de 0 – 1, lo cual evidencia lo eficiente que resulta ser este modelo frente a datos conocidos. De igual manera se evaluó el desempeño del modelo frente a datos desconocidos generando un desempeño de 0.979304, lo cual permite observar que el modelo también se desempeña bien frente a datos desconocidos.

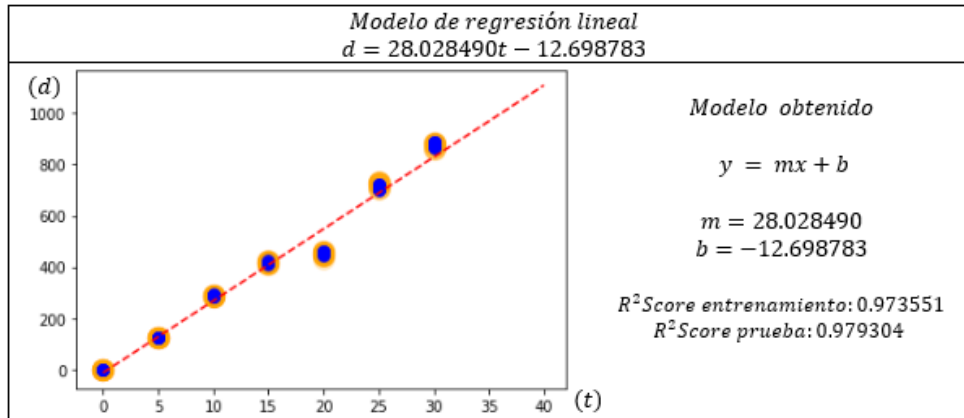


Ilustración 12. Resultados modelo de regresión lineal

### Resultados modelo de regresión cuadrática

Se determinó que la relación que existe entre la distancia y el tiempo da respuesta al modelo planteado, el desempeño de los datos de entrenamiento es de 0.978538, en una escala de desempeño de 0 – 1, lo cual evidencia lo eficiente que resulta ser este modelo frente a datos conocidos. De igual manera se evaluó el desempeño del modelo frente a datos desconocidos generando un desempeño de 0.986002, lo cual permite observar que el modelo cada vez va aprendiendo de esta manera se desempeña bien frente a datos desconocidos.

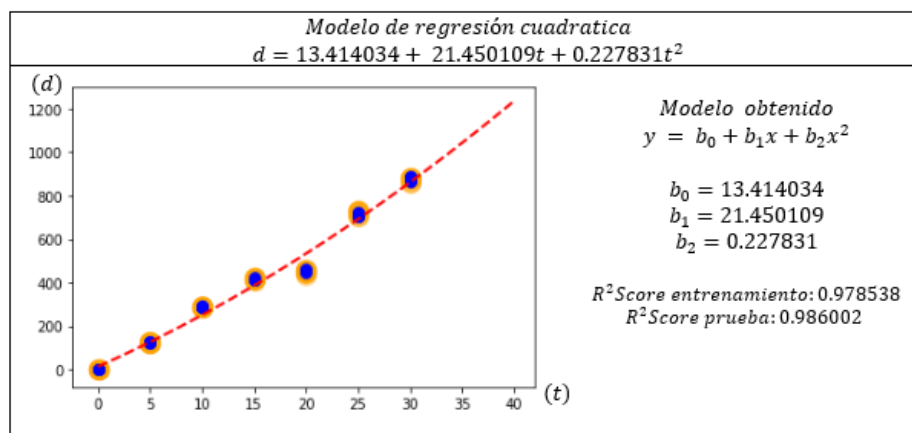


Ilustración 13. Resultados de modelo de regresión cuadrática

### Resultados modelo de regresión cubica

Se determinó que la relación que existe entre la distancia y el tiempo da respuesta al modelo planteado, por lo cual el desempeño de los datos cada vez se ajusta de mejor manera; el desempeño de los datos de entrenamiento es de 0.983868, en una escala de desempeño de 0 – 1, lo cual evidencia lo eficiente que resulta ser este modelo frente a datos conocidos. De igual manera se evaluó el desempeño del modelo frente a datos desconocidos generando un desempeño de 0.989142, lo cual permite observar que el modelo cada vez va aprendiendo, de esta manera se desempeña bien frente a datos desconocidos.

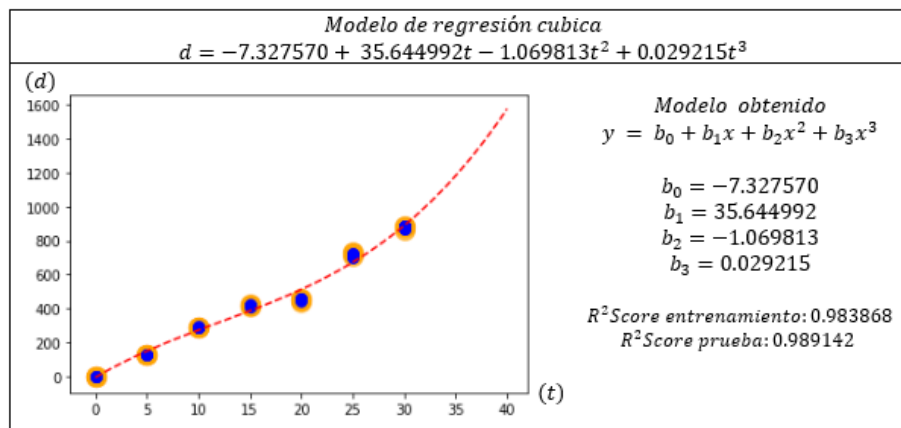


Ilustración 14. Resultados de modelo de regresión cubica

### Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos en cada uno de los modelos de regresión permitieron observar que, al aumentar el grado del modelo, este genera un modelo que se adapta mejor al conjunto de entrenamiento. Pero no siempre es lo mejor, porque se realizaron pruebas con modelos de grado 5, 7, 9 y 10 en donde se observa que en los intervalos donde no existen los datos, los modelos devuelven valores incongruentes con la realidad debido a que esos modelos sufrieron un sobreajuste para forzarse a alcanzar a todos los datos de entrada.



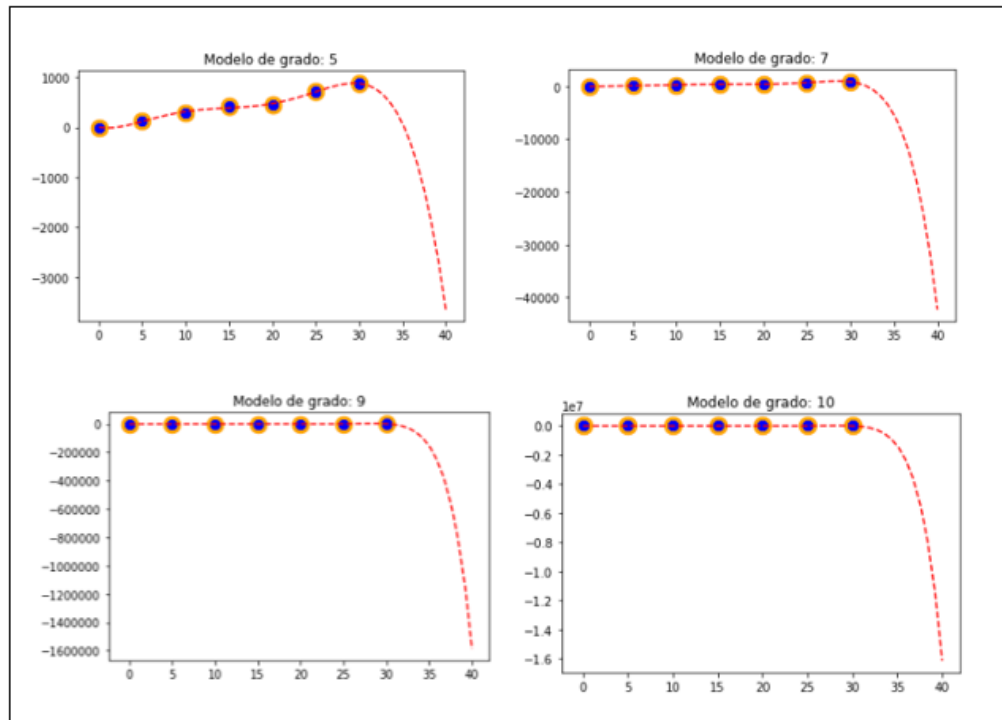


Ilustración 15. Resultados sobre entrenamiento

Se puede observar que a medida de que el modelo aumenta de grado, se genera un sobre entrenamiento, donde este se vuelve muy bueno para datos que ya conoce, este tipo de comportamientos son una de las principales causas al obtener malos resultados, ya que se tiende a ajustar los datos, al realizar entrenamientos con solo un conjunto de datos, el modelo fallará por falta de suficientes muestras (Underfitting), o al realizar entrenamientos con conjuntos de datos que tienen una característica única en común (Overfitting), el modelo fallará porque no tiene estrictamente los mismos valores de las muestras de entrenamiento.

Cuando se entrenan modelos computacionales con un conjunto de datos de entrada produce que el algoritmo sea capaz de generalizar un concepto, de tal manera que al consultar un grupo de datos desconocidos este pueda sintetizarlo, comprenderlo y devolver un resultado fiable por su capacidad de generalizar.

De esta manera se logra identificar un comportamiento congruente en los modelos de regresión lineal, regresión cuadrática y regresión cúbica.

Cabe resaltar que el comportamiento de los motores presentado de manera constante en los intervalos de tiempo de 15 segundos y 20 segundos presentan similitud en su comportamiento, esto se debe a factores como la potencia de las pilas, ya mencionadas anteriormente.

## **Resultados del proceso de investigación**

### **Artículo científico**

Como resultado del estudio realizado, fue redactado un artículo científico que se titula “Aplicaciones de regresiones para medir el rendimiento de los motores de un robot Lego EV3”, redactado bajo la dirección de Eduardo Rodríguez del Ángel Maestro en Ciencias de la Computación y candidato a Doctor en Ciencias de la Computación, y Dr. Salvador Ibarra Martínez, PhD en Tecnologías de la información con énfasis en Robótica Móvil de la Universidad de Girona, España, actualmente director del proyecto, jefe del laboratorio de robótica de la facultad de ingeniería Arturo Narro Siller, Coordinador del programa de Posgrado Maestría y Doctorado en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.

El artículo actualmente se encuentra en revisión para su posible publicación en el libro “Fronteras de Aplicación de las Ciencias Computacionales: Investigación con visión al futuro”, como se evidencia en la constancia emitida por el Dr. Salvador Ibarra Martínez

(Documento Adjunto)

### **Ponencias**

En el marco del desarrollo de este estudio, el poder socializar el conocimiento adquirido y desarrollado, para recibir retroalimentación del proceso investigativo, fue determinante para alcanzar los objetivos planteados.

El primer evento se llevó a cabo en el Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas (IEST) en el Foro de Proyecciones empresariales 2019, bajo el lema Ingenio: Capacidad para crear, en este evento se realiza la participación como colaboradora Directa del Maestro Eduardo Rodríguez del Ángel, en el taller denominado Programación de entornos de realidad virtual en Unity, realizado el 28 y 29 de octubre del 2019 (Adjunto anexo)

De igual forma se participó de las conferencias de este evento con temáticas de interés como son Emprendimiento en STEM dada por el MSc Javier Larragoiti, Ciencia y tecnología para el desarrollo de comunidades por Erick Becerra Ramírez, conferencias que sin duda alguna fortalecieron el piso científico para llevar a feliz término este proyecto.



*Imagen 1. Fotografías evidencias ponencia. Fuente: autoría propia*

El segundo evento en el cual se participó fue en el 5<sup>to</sup> concurso de diseño de prototipos electrónicos 2019, llevado a cabo en el laboratorio de robótica de la Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, el día 29 de noviembre de 2019. (Constancia documento anexo)

El último evento se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en la sala de conferencias durante el Segundo Coloquio Internacional de Investigación en Posgrado, en la modalidad Aspirantes a Maestría, en este evento se realizó la exposición de la investigación realizada frente a un panel de Doctores expertos en Ciencias de la Computación, quienes resultaron gratamente impresionados del trabajo realizado en un nivel de pregrado, realizado del 2 al 6 de Diciembre de 2019. (Constancia documento anexo)

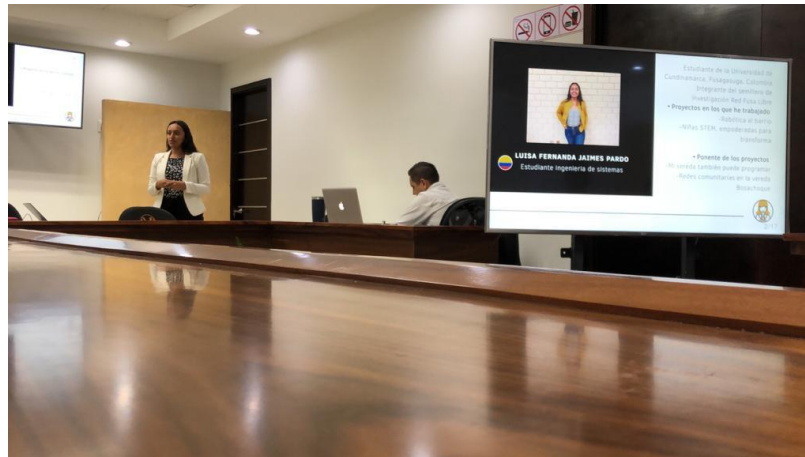


Imagen 2. Evidencia ponencia segundo coloquio internacional de posgrado Fuente: autoría propia

### Participación en eventos académicos

Durante los días 4 y 6 de Noviembre de 2019 se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, la cual tiene institucionalizado un evento denominado la semana de ingeniería, desarrollado anualmente, como característica particular se dedica un día para cada programa de pregrado, el día asignado para el programa de ingeniería de sistemas computacionales, se participó como tallerista del taller Introducción de la robótica educativa Python más Lego EV3, supervisado por el Dr. Salvador Ibarra Martínez y el Msc Eduardo Rodríguez del Ángel personas que ejercieron el rol de tutor del proceso investigativo.



Imagen 3. Evidencia taller de introducción de la robótica educativa Fuente: Pagina en Facebook del capitulo ISA

### **Intercambio de experiencias**

Como semillero activa del semillero de investigación Red Fusa Libre (RFL) y cumpliendo con los lineamientos de intercambio de experiencias académicas enmarcados por la pasantía internacional, se planeó llevar a cabo escenarios que permitieran dar a conocer las experiencias significativas que el semillero a desarrollados en las temáticas de Redes Digitales Comunitarias y Robótica Educativa.

### ***Redes comunitarias***

El semillero RFL fue el organizador y anfitrión de la segunda cumbre latinoamericana de Redes Comunitarias Colombia 2019, llevada a cabo los días 24 al 28 septiembre 2019, en las instalaciones de la Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia. Aprovechando el desarrollo de este evento tan significativo se planeó una jornada de intercambio de experiencias entre redes comunitarias en nuestro continente. Para lo cual se desarrolló una actividad bajo la modalidad de video conferencia Colombia – México, donde fueron participes con sus testimonios los compañeros Hiure Querioz (Colectivo Coolab, Brasil), Nicolas Pace (Altermundi, Argentina), Adrián López Angulo (Redes AC, México), y el anfitrión del evento Wilson Daniel Gordillo Ochoa (Líder del colectivo Red Fusa Libre), Roberto de la Cruz (Telecomunicaciones Indígenas Comunitarias, México).

Por parte de México un grupo aproximado de 30 estudiantes que interactuaron durante esta jornada.



*Imagen 4. Video conferencia entre universidades. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tampico, México.*

*Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia.*

### ***Robótica educativa***

Como semillerista la autora del presente documento fue miembro activo del proyecto “Desarrollo de habilidades STEM acercando el pensamiento computacional a niñas en situación de vulnerabilidad del municipio de Fusagasugá”, proyecto avalado institucionalmente por convocatoria interna.

El desarrollo de actividades de este proyecto estuvo enmarcado en educación STEM y robótica educativa, proceso que dio origen al interés personal de

llevar a cabo la pasantía internacional, de tal manera, se socializo el momento de la sustentación del trabajo final como opción de grado, desarrollado por las compañeras Bibiana Sánchez y Tatiana Casallas, integrantes del semillero, este proyecto estuvo bajo la dirección de la Ingeniera Eva Patricia Vásquez, docente del programa de ingeniería de sistemas de la Universidad de Cundinamarca, Colombia. Esta socialización fue compartida en vivo al equipo de trabajo del laboratorio de robótica conformado por estudiantes de maestría de la Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, en la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.



*Imagen 5. Evidencia sustentación de trabajo final de grado Universidad de Cundinamarca Fuente: Docente Esperanza Merchan*

## Conclusiones

Se desarrollo un modelo computacional que permite evidenciar la relación entre la distancia y el tiempo por medio de pruebas realizadas en el desplazamiento del robot, de esta manera se logra modelar el comportamiento de los motores del robot Lego EV3, la generación de estos modelos de regresión indica un punto de partida en la aplicación de técnicas de aprendizaje autónomo en herramientas de procesamiento de bajo nivel como lo es el bloque central de comandos del robot Lego EV3.

Dentro de las limitantes encontradas en el entorno de programación por defecto se muestra que esta programación protege los motores ante el uso de periodos prolongados de tiempo, cuando el robot fue programado con MicroPython los motores podían ir a su máxima velocidad, pero ante periodos prolongados de tiempo esto producía una fatiga al actuador del motor, se evidencio al momento de la prueba de tiempo de 35 segundos, lo que produjo una desviación en el trayecto y disminución en su velocidad, impidiendo realizar pruebas con tiempos superiores.

En las pruebas realizadas en el funcionamiento del robot, se determinan las características y capacidades físicas del mismo, validando de esta manera cada uno de los tiempos ejecutados y las distancias recorridas, ...

Al validar los experimentos se evidencia el comportamiento que tiene no solamente los motores, si no el comportamiento de los datos recolectados de los mismo, en la generación de los modelos se puede observar como estos se comportan frente a datos de entrenamiento y datos de prueba, el desempeño de los datos cada vez se ajusta de mejor manera a los modelos planteados. La aplicación de técnicas de aprendizaje automático como lo son el aprendizaje supervisado resulta ser efectivas para comprender el comportamiento de estos.

Esta experiencia investigativa definitivamente permitió a la autora, en su rol de estudiante de pregrado de ingeniería, fortalecer y ampliar la panorámica de posibilidades, para relacionar de manera directa las ciencias básicas con la ingeniería aplicada.

### **Recomendaciones y trabajos futuros para la investigación**

Al realizar este tipo de modelos con nivel de complejidad básica, se busca en un trabajo futuro programar este algoritmo en el ladrillo de comando central del robot Lego EV3, de esta manera permitir una navegación guiada en su desplazamiento, esta investigación funciona como una prueba de factibilidad que genera un punto de partida para trabajos de investigación con el robot Lego EV3 y la aplicación de técnicas avanzadas de aprendizaje automático.

Dentro de las recomendaciones que se proponen a trabajos futuros es generar un modelo que guíe el movimiento del robot, por medio del tiempo, ocupando el modelo ya planteado se despeja el tiempo y con eso se crea un parámetro para desplazarse.



## Bibliografía

- Jović, N., Cvjetković, V., & Matijević, M. (2015). Remote control of LEGO Mindstorms NXT motors programmed in Python.
- Hussain, Z., & Siyab Khan, M. (2018). Introducing Python Programming for Engineering Scholars. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 18(12).
- Jovic, N. D., & Matijevic, M. S. (2017). LEGO Web laboratory at University of Kragujevac. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, April, 1359–1362. Recuperado de: <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2017.7943024>
- Tello-leal, E., Guerrero-Melendez, T. Y., & Saldivar-Alonso, V. P. (2013). Revisión De La Plataforma Robotica Para Las Aplicaciones Educativas Y De Investigacion. *Revista S&T*, 11(26), 9–27 Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=411534395004%5CnC%26mo>
- Diseño, I. A. L., Antonio, J., Esteban, M., & Rodrigo, L. D. S. (2006). Introducción al diseño de microrobots móviles. 1–173.
- Toledo, A. P. F. (n.d.). Robótica con Lego. Recuperado de: [http://www2.elo.utfsm.cl/~cursoselo/cipfi2006-1/robotica\\_lego/robotica\\_lego.pdf](http://www2.elo.utfsm.cl/~cursoselo/cipfi2006-1/robotica_lego/robotica_lego.pdf)
- Nqc, D. (n.d.). Guía del programador de NQC.
- Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Departamento de Investigación Educativa., L. B. (2011). Perspectivas docentes. *Perspectivas Docentes*, ISSN-e 0188-3313, No. 47, 2011, Págs. 12-17, 47, 12–17. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6349209>
- Lego. (2019). Getting started with EV3 MicroPython. 59. Recuperado de: <file:///Users/ruargh/Google>

[Drive/Data/Unisa/2019/HRCOS82/research/ev3micropythonv100-71d3f28c59a1e766e92a59ff8500818e.pdf](https://drive.google.com/file/d/1d3f28c59a1e766e92a59ff8500818e/view)

Othman, Z., Abdullah, N. A., Chin, K. Y., Shahrin, F. F. W., Ahmad, S. S. S., & Kasmin, F. (2018). Comparison on Cloud Image Classification for Thrash Collecting LEGO Mindstorms EV3 Robot. *International Journal of Human and Technology Interaction*, 2(1), 29–34.

Rodriguez, A., Ibarrola, J., Cano, J., (2015) Sistema movil autónomo para el seguimiento de objetivos basado en Lego MindStorm. 1 - 163

Shuying, Z., Wenjun, T., Shiguang, W., & Chongshuang, G. (2008). Research on robotic education based on LEGO bricks

Jović, N., Cvjetković, V., & Matijević, M. (2015). Remote control of LEGO Mindstorms NXT motors programmed in Python

Cortés, J. A. (2009). CÓDIGO ABIERTO EN LA ENSEÑANZA DE LA PROGRAMACIÓN Y LA ROBÓTICA- Experiencia Open source in the teaching of programming and robotics - NXT MindStorms Lego Experience.

Rodríguez Carrión, Á. L. (2015). Sistema móvil autónomo para seguimiento de objetivo basado en Lego Mindstorm.