

**UNIVERSIDAD VALLE DEL MOMBOY**  
**VICERRECTORADO ACADÉMICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN**



**DESARROLLO DE UN ROBOT HUMANOIDE DESDE LA**  
**PERSPECTIVA DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (BRAZO)**

**Presentado por:**

**BR. ROSIMAR JOSELYN BARRIOS MALDONADO**

**TRUJILLO, 2025**

**UNIVERSIDAD VALLE DEL MOMBOY**  
**VICERRECTORADO ACADÉMICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN**



**DESARROLLO DE UN ROBOT HUMANOIDE DESDE LA**  
**PERSPECTIVA DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (BRAZO)**

**Trabajo presentado como requisito para optar al**  
**título de Ingeniero en Computación**

**Presentado por:**

**BR. ROSIMAR JOSELYN BARRIOS MALDONADO C.I: 30.976.217**

**Tutor:**

**MSC. EDGARDO PAOLINI**

**TRUJILLO, 2025**

## DEDICATORIA

Se lo dedico a Dios, que es el pilar fundamental de mi vida, quien ha guiado cada una de mis decisiones y siempre me acompaña, quien en cada oración me transmite lo mucho que puedo lograr si pongo amor y constancia en todo lo que hago.

A mis abuelitos Anterito y Palmenia, quienes siempre creyeron en mí, dando todo su cariño y apoyo en cada escalón que avanzaba en mi vida. Desde el cielo junto con mi abuelito Benedicto, sé que fueron partícipes del proyecto dándome fortaleza y protección para seguir adelante.

A mi mamá Emilia, que siempre está conmigo en cada desafío de mi vida, celebra cada uno de los logros, entiende mis limitaciones y retos con paciencia; quien me abrazó y me animo cuando sentía que todo era demasiado para mí, y con su ejemplo ha guiado mi vida con los mejores valores; un gracias queda pequeño para expresar lo agradecida que estoy por tenerte como mi mamá, eres la mejor.

A mi papá José Luis, que siempre me ha apoyado y ha creído en mi capacidad aún más que yo misma, quien me enseñó a luchar y trabajar por lo que se quiere; y que la honestidad, la responsabilidad y el respeto son pilares importantes en la vida; también estoy sumamente agradecida por su amor y dedicación, por ser un gran padre y estar siempre presente en mi vida.

A mi segunda mamá Yani, que desde que nací me ha cuidado y me ha dado todo su amor, y hasta el sol de hoy está presente en cada paso de mi vida; gracias por cada abrazo, consejo y por su compañía.

A mi hermana Rosemily, mi compañera fiel, quien siempre se ha preocupado por mí a pesar de su aparente indiferencia, ha sido mi inspiración y ejemplo para luchar siempre en esta vida enfrentando con valentía las adversidades y así lograr todas mis metas.

Se lo dedico a todos los que siempre estuvieron presentes, mi familia, amigos, profesores, compañeros y personas allegadas que pusieron su granito de arena para lograr esta ansiada meta, infinitas gracias.

*Rosimar Barrios*

## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias primeramente a Dios, por todas las bendiciones que me ha dado tanto en sabiduría, entendimiento, fortaleza y oportunidades para crecer y lograr este proyecto. Por guiar el camino en cada desafío que se presentaba, y siempre recordarnos que con él nada es imposible.

Gracias a mis padres por su apoyo incondicional, su sacrificio, su confianza y fe en que podía lograr esto y más. Gracias por ser el pilar de mi vida y ser mi mayor ejemplo a seguir. Cada paso importante en mi vida es gracias a ustedes.

Gracias a mis compañeros tesisistas y amigos: Cristian quien me ha impulsado a seguir adelante a pesar de las adversidades, compartiendo tantas enseñanzas en este largo camino, y siempre me ha apoyado incondicionalmente en todas mis decisiones; Javier, quien me ha alentado y apoyado en todo momento, y que con su compañía y anécdotas nos mantuvo alegres hasta en los momentos más estresantes. Encontrarlos a ustedes en esta etapa de mi vida ha sido una bendición, gracias.

Gracias a las mamás de mis compañeros, Yaritza y Leonor, quienes también me ofrecieron su apoyo y amor como otra hija más, gracias por su preocupación, confianza y sacrificio.

Gracias a la Universidad Valle del Momboy, por brindarme la oportunidad de aprender en un entorno con profesores tan capacitados y con un amor por enseñar; gracias por permitirme vivir esta experiencia y conocer tantas personas maravillosas que siempre tendré en mi corazón.

Gracias al profesor Ing. Edgardo Paolini por asesorarnos y guiarnos en este camino con paciencia y dedicación, por enseñarnos no solo sus conocimientos profesionales sino también que con esfuerzo y perseverancia se pudo lograr todo, por sacar lo mejor de nosotros e impulsarnos a más; y también mi agradecimiento al profesor Ing. Edgar Omaña por brindarnos

sus conocimientos con esmero y ayudarnos en cada desafío que se nos presentaba. Estoy muy agradecida con ellos, los aprecio y admiro mucho.

Gracias a todos de corazón y un Dios se lo pague.

*Rosimar Barrios*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTOS .....	5
ÍNDICE GENERAL .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	13
ÍNDICE DE FIGURAS .....	14
ÍNDICE DE ANEXOS .....	16
VEREDICTO .....	17
RESUMEN .....	18
ABSTRACT .....	20
INTRODUCCIÓN .....	21
CAPÍTULO I EL PROBLEMA .....	24
1.1 Planteamiento del Problema .....	24
1.2 Formulación del Problema .....	29
1.2.1 Problema General .....	29
1.2.2 Problemas Específicos .....	29
1.3 Objetivos de la Investigación .....	30
1.3.1 Objetivo General .....	30
1.3.2 Objetivos Específicos .....	30
1.4 Justificación del Estudio .....	30
1.4.1 Justificación Teórica .....	30
1.4.2 Justificación Metodológica y Tecnológica .....	31
1.4.3 Justificación Práctica .....	31

1.4.4 Justificación Social .....	32
1.5 Alcances y Limitaciones .....	32
1.5.1 Alcances .....	32
1.5.2 Limitaciones .....	33
1.6 Vinculación con el Proyecto Institucional de Desarrollo Humano Sustentable .....	34
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>36</b>
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	36
2.1.1 Antecedentes Nacionales .....	36
2.1.2 Antecedentes Internacionales .....	37
2.2 Bases Teóricas .....	38
2.2.1 Bases Teóricas de la Variable Innovación Social .....	39
2.2.1.1 Definición de Innovación Social .....	39
2.2.1.2 Principios de la Innovación Social .....	39
2.2.1.2.1 Creatividad .....	39
2.2.1.2.2 Participación .....	40
2.2.1.2.3 Inclusividad .....	40
2.2.1.2.4 Impacto Social .....	40
2.2.1.2.5 Sostenibilidad .....	41
2.2.2 Bases Teóricas de la Variable Brazo Robótico .....	41
2.2.2.1 Definición de Robot .....	41
2.2.2.2 Definición de Robótica .....	42
2.2.2.3 Clasificación de los Robots Según su Generación .....	43
2.2.2.3.1 Primera Generación .....	43
2.2.2.3.2 Segunda Generación .....	43
2.2.2.3.3 Tercera Generación .....	43

2.2.2.3.4 Cuarta Generación .....	43
2.2.2.3.5 Quinta Generación .....	43
2.2.2.4 Robótica Social .....	43
2.2.2.5 Robótica Humanoide .....	44
2.2.2.6 Características de los Robots Humanoides .....	45
2.2.2.6.1 Interacción Humano-Robot .....	47
2.2.2.7 Brazo Robótico .....	47
2.2.2.8 Brazo Robótico Humanoide .....	48
2.2.2.9 Grados de Libertad .....	49
2.2.2.10 Partes de un Brazo Robótico .....	49
2.2.2.10.1 Articulaciones .....	50
2.2.2.10.2 Mecanismos de Transmisión .....	50
2.2.2.10.3 Actuadores .....	51
2.2.2.10.4 Sensores .....	52
2.2.2.10.5 Controladores .....	53
2.2.2.11 Cinemática del Robot .....	55
2.2.2.11.1 Cinemática Directa .....	56
2.2.2.11.2 Cinemática Inversa .....	56
2.2.2.12 Dinámica del Robot .....	56
2.2.2.13 Lógica de Programación .....	57
2.2.2.14 Diseño y Modelado 3D .....	57
2.2.2.15 Impresión 3D .....	58
2.2.2.16 Simulación 3D .....	59
2.3 Sistema de Variables .....	59
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO .....	61

3.1 Tipo y Diseño de Investigación .....	61
3.2 Población y Muestra .....	62
3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	63
3.4 Validez y Confiabilidad .....	64
3.4.1 Validez .....	64
3.4.2 Confiabilidad .....	64
3.5 Procedimiento Metodológico .....	65
3.6 Técnicas de Análisis de Datos .....	66
CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	67
4.1 Presentación y Análisis de Resultados .....	67
4.1.1 Objetivo Específico 1. Desarrollar la lógica de programación que permitirá al brazo robótico humanoide realizar sus movimientos básicos y precisos .....	67
4.1.1.1 Indicador Principios de Cinemática. ....	67
4.1.1.1.1 Ítem Sistema de Coordenadas y Casos de Cinemática. ....	68
4.1.1.1.2 Ítem Métodos para el Cálculo de Cinemática. ....	69
4.1.1.2 Indicador Lógica de Programación: lenguaje, librerías, y algoritmos. ....	70
4.1.1.2.1 Ítem Lenguaje de Programación para el Control del Brazo Robótico. ....	71
4.1.1.2.2 Ítem Librerías para la Percepción Visual y el Cálculo Cinemático. ....	71
4.1.1.2.3 Ítem Algoritmos y Flujo Lógico de la Programación. ....	74
4.1.2 Objetivo Específico 2. Diseñar la estructura y funcionamiento de un brazo robótico que cumpla con las características humanoides para que este sea similar a un brazo humano .....	75
4.1.2.1 Indicador Características Físicas y Funcionales de los Robots Humanoides. ....	76
4.1.2.1.1 Ítem Características Físicas de los Brazos Robóticos Humanoides. ....	76
4.1.2.1.2 Ítem Características Funcionales de los Brazos Robóticos Humanoides. ....	78

4.1.2.2 Indicador Partes de un Brazo Robótico: articulaciones, mecanismos de transmisión, actuadores y controladores .....	81
4.1.2.2.1 Ítem Articulaciones del Brazo Robótico Humanoide.....	81
4.1.2.2.2 Ítem Mecanismos de Transmisión de Movimientos para el Brazo Robótico Humanoide.....	83
4.1.2.2.3 Ítem Actuadores del Brazo Robótico Humanoide.....	85
4.1.2.2.4 Ítem Controladores para el funcionamiento del Brazo Robótico Humanoide.....	86
4.1.3 Objetivo Específico 3. Identificar los principios de la innovación social requeridos en la Universidad Valle del Momboy para implementarlos en el desarrollo de un brazo robótico .....	87
4.1.3.1 Indicador Creatividad e Inclusividad.....	87
4.1.3.2 Indicador Sostenibilidad e Impacto Social.....	89
4.2 Discusión de Hallazgos .....	91
4.2.1 Justificación y Relación de los Hallazgos del Primer Objetivo con los Antecedentes y las Bases Teóricas de la Investigación .....	91
4.2.2 Justificación y Relación de los Hallazgos del Segundo Objetivo con los Antecedentes y las Bases Teóricas de la Investigación .....	97
4.2.3 Justificación y Relación de los Hallazgos del Tercer Objetivo con los Antecedentes y las Bases Teóricas de la Investigación .....	104
4.2.4 Posibles Limitaciones en la Aplicación de los Hallazgos .....	105
4.3 Vinculación con Objetivos Institucionales del DHS .....	106
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	109
5.1 Conclusiones.....	109
5.2 Recomendaciones .....	112
5.3 Líneas Futuras de Investigación.....	113
CAPÍTULO VI LA PROPUESTA .....	116

6.1 Introducción .....	116
6.2 Fundamentación Teórica y Conceptual de la Propuesta .....	116
6.3 Objetivos de la Propuesta .....	117
6.3.1 Objetivo General .....	117
6.3.2 Objetivos Específicos .....	117
6.4 Descripción de la Propuesta .....	118
6.5 Factibilidad de la Propuesta .....	118
6.6 Evaluación e Implementación de la Propuesta .....	119
6.7 Conclusión del Capítulo .....	121
REFERENCIAS .....	122
ANEXOS .....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de Variables.....	60
<b>Tabla 2</b> Criterios de Decisión para la Confiabilidad de un Instrumento .....	65
<b>Tabla 3</b> Revisión Documental e Ítems del Indicador Principios de Cinemática .....	67
<b>Tabla 4</b> Revisión Documental e Ítems del Indicador Lógica de Programación.....	70
<b>Tabla 5</b> Revisión Documental e Ítems del Indicador Características de los Robots Humanoides	76
<b>Tabla 6</b> Revisión Documental e Ítems del Indicador Partes de un Brazo Robótico .....	81
<b>Tabla 7</b> Ítems del Indicador Creatividad e Inclusividad.....	87
<b>Tabla 8</b> Ítems del Indicador Sostenibilidad e Impacto Social .....	89
<b>Tabla 9</b> Plan de Implementación de la Propuesta .....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Leyes de la Robótica por Isaac Asimov .....	42
<b>Figura 2</b> Planos Anatómicos del ser Humano .....	46
<b>Figura 3</b> Partes de un Sistema Robótico General.....	49
<b>Figura 4</b> Tipos de Articulaciones Robóticas.....	50
<b>Figura 5</b> Microcontrolador ESP32 DEVKIT V1 de 30 Pines.....	54
<b>Figura 6</b> Microordenador Raspberry PI 5.....	55
<b>Figura 7</b> Relación de la Cinemática Directa e Inversa.....	56
<b>Figura 8</b> Funcionamiento de una Impresora 3D.....	59
<b>Figura 9</b> Tamaño de Muestra Según Calculadora Online Jotform Inc. (s.f.).....	63
<b>Figura 10</b> Vector representado en un plano cartesiano tridimensional.....	68
<b>Figura 11</b> Landmarks del cuerpo detectados por OpenPose.....	72
<b>Figura 12</b> Landmarks de pose detectados por Mediapipe.....	73
<b>Figura 13</b> Algoritmo General de la Programación de un Brazo Robótico.....	75
<b>Figura 14</b> Movimientos de la Articulación del Hombro.....	77
<b>Figura 15</b> Sistema de Interacción Humano-Robot por Teleoperación.....	78
<b>Figura 16</b> Sistema de Interacción Humano-Robot por Imitación.....	80
<b>Figura 17</b> Articulación de Tipo Tornillo.....	82
<b>Figura 18</b> Articulación de Tipo Rotación.....	82
<b>Figura 19</b> Articulación de Tipo Esférica.....	83
<b>Figura 20</b> Mecanismo de Tornillo-Tuerca.....	84
<b>Figura 21</b> Mecanismo de Tornillo Sinfin.....	84
<b>Figura 22</b> Mecanismo de Tren de Engranajes.....	85
<b>Figura 23</b> Gráfico de Resultados del Ítem 1 del Indicador Creatividad e Inclusividad.....	88
<b>Figura 24</b> Gráfico de Resultados del Ítem 2 del Indicador Creatividad e Inclusividad.....	88
<b>Figura 25</b> Gráfico de Resultados del Ítem 3 del Indicador Sostenibilidad e Impacto Social.....	90
<b>Figura 26</b> Gráfico de Resultados del Ítem 4 del Indicador Sostenibilidad e Impacto Social.....	90
<b>Figura 27</b> Diagramas de los Vectores Móviles y de Referencia que Representan el Cuerpo.....	92

<b>Figura 28</b> Cuatro Cuadrantes del Plano Cartesiano .....	93
<b>Figura 29</b> Gráfica 3D de los Puntos del Cuerpo Identificados por Mediapipe Holistic .....	94
<b>Figura 30</b> Diagrama de Flujo General del Algoritmo de la Programación del Brazo Robótico ..	96
<b>Figura 31</b> Primer Prototipo de la Mano y Brazo Robótica .....	98
<b>Figura 32</b> Primeras Pruebas de la Interacción por Imitación .....	99
<b>Figura 33</b> Mecanismos de Transmisión de Movimientos Implementados en el Brazo Robótico .....	100
<b>Figura 34</b> Diagrama Eléctrico del Brazo Robótico Izquierdo .....	102
<b>Figura 35</b> Diagrama Eléctrico del Brazo Robótico Derecho .....	102
<b>Figura 36</b> Problemática de la Detección de Puntos del Cuerpo en el Eje Z por Mediapipe .....	105

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Validación de los Instrumentos por los Expertos (Primera) .....	130
<b>Anexo 2.</b> Validación de los Instrumentos por los Expertos (Segunda) .....	131
<b>Anexo 3.</b> Validación de los Instrumentos por los Expertos (Tercera) .....	132
<b>Anexo 4.</b> Instrumento de la Encuesta .....	133
<b>Anexo 5.</b> Estructura y Mecanismos de las Partes del Brazo Robótico Humanoide .....	134
<b>Anexo 6.</b> Estructura Final del Brazo Robótico Humanoide sin Ensamblar .....	135
<b>Anexo 7.</b> Estructura del Brazo Robótico Humanoide Ensamblado .....	136
<b>Anexo 8.</b> Presentación del Brazo Robótico siendo Parte del Robot Humanoide Completo “Zoé” .....	137
<b>Anexo 9</b> Carta de Aceptación del Tutor .....	138
<b>Anexo 10</b> Carta de Aprobación .....	139

## VEREDICTO



### VICERRECTORADO ACADÉMICO FACULTAD DE INGENIERÍA

#### VEREDICTO

Nosotros, Profe. Edgar Omaña, Profe. Héctor Antúnez, Profe. Edgardo Paolini designados como miembros del Jurado Examinador del Trabajo de Grado titulado **“DESARROLLO DE UN ROBOT HUMANOIDE DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (BRAZO)”** que presenta la bachiller: **Rosimar Joselyn Barrios Maldonado** portadora de la **C.I. N.º 30.976.217**; nos hemos reunido para revisar dicho trabajo y después de la presentación, defensa e interrogatorio correspondiente lo hemos calificado con: veinte ( **20** ) puntos, de acuerdo con las normas vigentes dictadas por el Consejo Universitario de la Universidad Valle del Mombay, referente a la evaluación de los Trabajos de Grado para optar al título de Ingeniero en computación.

En fe de lo cual firmamos en Carvajal a los once (11) días del mes de noviembre del dos mil veinticinco (2025).

Profe. Héctor Antúnez  
C.I.: 9.364.278  
**JURADO**

Profe. Edgardo Paolini  
C.I.: 13.897.564  
**TUTOR**

Profe. Edgar Omaña  
C.I. 11.896.440  
**PRESIDENTE DEL JURADO**



Profa. Yumary Valecillos  
C.I. 14.151.309  
**DECANO**

Profa. Walevska López  
C.I. 10.104.896  
**VICERRECTORA ACADEMICA**



## RESUMEN

La presente investigación tiene el objetivo principal de desarrollar un brazo robótico humanoide desde la perspectiva de la innovación social, el cual pueda interactuar con la comunidad y entorno de la Universidad Valle del Momboy. El proyecto tuvo una duración de 11 meses con limitaciones como la falta de información sobre robótica humanoide y las limitaciones de tiempo y recursos. Siguió un tipo de investigación proyectiva, un nivel de estudio descriptivo, y con un enfoque mixto. Como instrumentos de recolección de datos se aplicó una encuesta a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería con el fin de identificar el estado de la innovación social en la universidad, y una revisión documental para identificar los elementos, el procedimiento, y los mecanismos a implementar para el desarrollo del brazo robótico humanoide. Estos hallazgos permitieron saber que la inclusividad es un área de mejora, aunque la creatividad y la sostenibilidad son bases firmes de la universidad, por ello se ofrece este proyecto para fomentar ese desarrollo tecnológico en la institución. Además, se identificaron las características humanoides, mecanismos, y componentes ideales para el diseño del brazo robótico, como también se determinó las herramientas de visión artificial como el modelo Mediapipe Holistic y se programó un algoritmo eficiente para el funcionamiento del brazo robótico aplicando la cinemática inversa mediante el análisis geométrico para el cálculo de los movimientos. Se recomienda la creación de un equipo encargado del mantenimiento tanto del hardware como del software del brazo robótico. Dentro de todo el desarrollo se aseguró mantener este proyecto escalable, abierto a futuras mejoras como la implementación de más capacidades, funcionalidades y rangos de movimiento.

**Palabras clave:** brazo robótico humanoide, visión artificial, innovación social, cinemática inversa.

## ABSTRACT

The present research has the main objective of developing a humanoid robotic arm from the perspective of social innovation, which can interact with the community and environment of Valle del Momboy University. The project lasted 11 months with constraints such as lack of information on humanoid robotics and time and resource constraints. It followed a type of projective research, a level of descriptive study, and with a mixed approach. As data collection instruments, a survey was applied to students of the Faculty of Engineering in order to identify the state of social innovation at the university, and a documentary review to identify the elements, the procedure, and mechanisms to be implemented for the development of the humanoid robotic arm. These findings made it possible to know that inclusivity is an area for improvement, although creativity and sustainability are firm foundations of the university, so this project is offered to promote this technological development in the institution. In addition, the humanoid characteristics, mechanisms and components ideal for the design of the robotic arm were identified, as well as artificial vision tools such as the Mediapipe Holistic model and an efficient algorithm for the operation of the robotic arm was programmed by applying inverse kinematics through geometric analysis to the calculation of movements. It is recommended that a team be set up to maintain both the hardware and software of the robotic arm. Within the whole development it made sure to keep this project scalable, open for future improvements such as the implementation of more capabilities, functionalities and ranges of movement.

**Keywords:** humanoid robotic arm, artificial vision, social innovation, inverse kinematics.

## INTRODUCCIÓN

Como es de conocimiento de todos, la robótica ha sido un avance tecnológico muy relevante en los últimos años, permitiendo la optimización de procesos no solo en las industrias, sino también en los hogares, haciendo que cada día se mejore la calidad de vida de las personas. La robótica humanoide es uno de estos avances, que buscan acercar más la tecnología a lo que es el ser humano, permitiendo que exista una interacción robot-humano más natural y cómoda; además, se puede aplicar para ayudar a las personas independientemente de sus condiciones, como un asistente académico, un asistente médico, una compañía doméstica, un vigilante, entre todos los fines positivos posibles.

Esta área tecnológica es tan amplia y tan necesaria para conseguir ese bienestar común con un equilibrio con nuestro entorno, lo cual es logrado con estos avances aplicados desde la innovación social. La innovación social lo que busca es la creación de ideas, estrategias, proyectos novedosos, creativos y sostenibles, para mejorar la calidad de vida no solo de un individuo sino de la sociedad en conjunto. Es por ello, que la implementación y desarrollo de un brazo robótico humanoide desde esta perspectiva, con el fin de ser un asistente académico para la comunidad universitaria, es un incentivo a la generación de futuros proyectos que también engloben y fomenten este desarrollo tecnológico con la sostenibilidad y el bienestar de la sociedad.

La investigación sobre el desarrollo de un brazo robótico humanoide en la Universidad Valle del Momboy, es muy significativo ya que representa también una oportunidad de desarrollo tecnológico y sostenible de la región, pues se mantiene a largo plazo al brindar la opción de

escalar el brazo robótico humanoide a más, para abarcar otros temas de avance y añadir mayores capacidades que mejoren la calidad de interacción y asistencia a la comunidad universitaria.

Esta investigación comprende el estudio de los temas de la robótica humanoide centrada en los brazos robóticos, es por ello que se tiene tres objetivos. El primer objetivo engloba la programación de los brazos robóticos como el análisis cinemático, los mejores lenguajes para programar robótica, las herramientas de visión artificial para darle percepción del entorno, el análisis de estos datos obtenidos y las librerías para hacer estos cálculos cinemáticos por medio del análisis geométrico.

El segundo objetivo trata el diseño del brazo robótico similar al humano, por lo que toca los temas de las características físicas como el análisis de la anatomía general del brazo humano y sus ejes de movimiento; y de las características funcionales a seguir, como la implementación de una interacción por imitación; a su vez, abarca el estudio de las partes del brazo robótico como las articulaciones y sus respectivos mecanismos para cada movimiento, los actuadores como los servomotores, y los controladores que serán el cerebro del sistema. Por último, el tercer objetivo comprende el diagnóstico del estado de la innovación social de la Universidad Valle del Momboy, para identificar aquellos principios que requieren mejora y así implementar como solución el desarrollo del presente proyecto.

El cuerpo de esta investigación comprende seis (VI) capítulos que uno tras otro relata todo el proceso de desarrollo realizado, el primer capítulo (I) describe el problema identificado, los objetivos a cumplir, y las posibles limitaciones; el segundo capítulo (II), menciona los antecedentes en que se basó el proyecto y la teoría relacionada; el tercer capítulo (III), explica el tipo de investigación, el enfoque que se le está dando, los instrumentos para obtener los datos de la muestra y como será el procedimiento; el cuarto capítulo (IV), se muestra cada uno de los

resultados y se justifica las acciones y decisiones tomadas en base a ellos; el quinto capítulo (V), se concluye todos los hallazgos y se ofrecen ideas para escalar el proyecto a futuro; por último el sexto capítulo (VI), se presenta una propuesta específica para mejorar las capacidades del brazo robótico.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del Problema

En los últimos años las tecnologías han avanzado exponencialmente, sobre todo en el ámbito de la robótica que ha optimizado múltiples procesos. Esto podemos notarlo mayormente en las áreas industriales, donde la incorporación de diversos robots ha cambiado la manera de ejecutar las actividades dentro de las industrias impulsando a la eficiencia. La eficacia de los robots se evidencia en las tareas peligrosas, complejas repetitivas o prolongadas que ejecutan; permitiendo a los trabajadores industriales centrarse en tareas de más importancia y a su vez mejorar sus condiciones laborales.

La robótica no solo ha transformado el ámbito laboral de las personas sino también la forma en la que viven, puesto que estos avances han favorecido de igual manera a las áreas domésticas con la creación de robots de cocina como el Thermomix, o de robots de limpieza como el aspirador robótico autónomo, los cuales facilitan actividades cotidianas que pueden requerir mucho tiempo. También dentro del área de la salud, la robótica ha transformado las intervenciones quirúrgicas, cada vez buscando más formas de mejorar las condiciones de atención médica, como por ejemplo los exosqueletos robóticos que como dice SINC (2023) ayuda a los médicos a realizar mejores terapias a sus pacientes.

De hecho, específicamente la robótica humanoide, enfocada en la imitación del humano en el desarrollo de robots, no solo ha dado un paso más allá de la búsqueda de parecerse en comportamientos y manipulación de objetos, sino que también trajo consigo la capacidad del robot de percibir y movilizarse en entornos humanos; además de lograr una interacción robot-humano más natural y eficiente, dado que, si escucha y se expresa con voz y gestos, genera una

comunicación amigable y efectiva. Esto le permite a este campo de robots aplicarse en ambientes más cercanos al humano contribuyendo en áreas sociales como asistentes domésticos, asistentes médicos, apoyo emocional, apoyo educativo, robots de compañía, de entretenimiento, entre otros.

Un punto clave dentro de este contexto de transformación social por medio del campo robótico humanoide, son los brazos robóticos humanoides que se han convertido en una opción flexible e innovadora dentro de las múltiples actividades y procesos en los que se pueden aplicar. Todo gracias a su diseño que le permite ejecutar movimientos coordinados parecidos a los del brazo humano y también a sus algoritmos que le dan la inteligencia y las capacidades de destreza, precisión y fuerza específicas para cada movimiento según su entorno, ya que como dice Peña (2025b) los robots se adaptan a cada situación por medio de la programación avanzada permitiéndoles una interacción increíble con el resto de su entorno.

A partir de lo indicado, es evidente que todos estos avances de brazos robóticos humanoides tienen la finalidad de lograr un mayor bienestar en las vidas de las personas y la sociedad como tal, además como evidencia Peña (2025a) estos permiten una comprensión y una buena comunicación entre las personas en la actualidad donde las tecnologías son tan usadas. Esto implica un gran impacto en la innovación social pues esta busca lograr un desarrollo positivo e innovador dentro de la sociedad al mejorar la satisfacción de cada una de sus necesidades.

Los brazos robóticos humanoides han cambiado el modo en que todas las personas realizan sus actividades generando mayor eficiencia, incluyendo aquellas que tienen discapacidades para que puedan hacer fácilmente sus tareas cotidianas como limpiar, comer, escribir, cocinar, entre otras cosas que les permite interactuar e incluirse en la sociedad y tener mayor autonomía, en esto se refleja características de la innovación social como la inclusividad y

el impacto social positivo. Por ejemplo, están las prótesis robóticas de brazos que, acompañadas de inteligencia artificial, como menciona Peña (2024) están convirtiendo la vida de tantas personas al regresarles la funcionalidad, la confianza y la independencia, promoviendo un mundo donde las restricciones físicas se pueden superar con innovaciones robóticas sociales.

Asimismo, fomenta otros ámbitos como la educación, ya que los brazos robóticos humanoides promueven nuevas formas de enseñar gracias a la interacción robot-humano y a la relación de estos con las tecnologías actuales. De hecho, como explica Piñero et al. (2023) al aplicarse en la educación estos se adaptan a cada individuo lo que mejora y hace más óptimo el proceso de aprender significativamente. Esto no solo genera un aprendizaje óptimo e interesante, sino también desarrolla la creatividad y la participación, lo que es fundamental en la innovación social fomentando el desarrollo de una sociedad innovadora.

Sin embargo, en países más vulnerables y poco desarrollados del mundo, la implementación y desarrollo de brazos robóticos humanoides se ve más limitado, por lo que, estos tantos beneficios sociales e innovadores no son disfrutados en aquellas zonas, disminuyendo así el desarrollo social. Estas limitaciones se deben a varios factores como la poca o ninguna inversión en nuevas tecnologías o investigaciones, esto deja consecuencias como las que menciona Sandoval (2019) falta de empleos, mucha pobreza, migración y desigualdad. Otro de esos factores puede ser la falta de empresas o instituciones interesadas en proyectos innovadores en el campo de la robótica, los altos costos y la escasez de productos tecnológicos, la desigualdad de acceso a estos y las situaciones económicas, políticas y sociales que padecen estos países.

Venezuela entra en los casos mencionados pues en los últimos años ha estado altamente afectado los campos de la tecnología y las ciencias dentro del país por varios de los factores

anteriormente mencionados; la crisis social, económica y política del país que se vive actualmente ha afectado el desarrollo tecnológico y esto incluye la robótica, por ejemplo, esto que se vive ha provocado que muchos de los expertos venezolanos en esta área hayan migrado a otros países. Además, deja un impacto nocivo dentro del área científica y tecnológica, la cual es muy necesaria dentro de cada país para lograr un desarrollo innovador y sostenible en la sociedad. De hecho, esta problemática según Agostini (2025) impacta negativamente en todos los ámbitos del país y sus habitantes volviéndolo más vulnerable al atrasarse a los avances tecnológicos que hacen los demás países.

La robótica en Venezuela también se ve afectada por la falta de inversión en los proyectos de investigación científica y tecnológica, lo cual limita el acceso a productos y equipos tecnológicos y a espacios especializados en la robótica, además, promueve a una falta de información referente a los avances robóticos de la actualidad a nivel nacional y genera una desigualdad social donde las zonas con menos prioridad en el país no pueden acceder a los aprendizajes y los beneficios de las tecnologías disponibles. Esto lo evidencia Agostini (2025), quien menciona que en la última década los presupuestos y la inversión de Venezuela designados a las tecnologías han sido bastante deficientes lo que no permitirá superar las situaciones desfavorables del país.

A pesar de estas limitaciones, Venezuela cuenta con una sociedad bastante interesada en los avances tecnológicos del mundo, específicamente la robótica, puesto que han desarrollado proyectos propios con los pocos materiales y la muy limitada información a la que pueden acceder, un claro ejemplo es el proyecto de Ángel Sanguino, mencionado en el periódico digital ABC por Vinogradoff (2013), quien cuenta como este venezolano tras un accidente automovilístico en Caracas, le amputan su brazo izquierdo por lo que luego desarrolla él mismo

su propio brazo robótico. Esto refleja uno de los tantos beneficios de la implementación de la robótica en el país que, ante tantas dificultades, trae consigo múltiples soluciones para la sociedad cuidando de sus necesidades y promoviendo la innovación social, como lo evidencia Peña (2024) mencionando que esto crea un entorno sostenible en su presente y futuro que deja un impacto positivo en la vida de cada habitante.

Estas iniciativas a nivel local se ve recurrentemente en los principales estados de Venezuela, pero las limitaciones mencionadas anteriormente afectan en más medida al estado Trujillo pues la mayoría de las instituciones trujillanas con esta iniciativa no cuentan con el capital suficiente para invertir en equipos tecnológicos que ayuden al desarrollo de proyectos robóticos, además en el estado tampoco se encuentran proyectos de brazos robóticos humanoides que sirvan de antecedente para otras investigaciones, lo cual en parte no contribuye a que se logre en el estado una oportunidad de aprovechar los beneficios de la robótica para un desarrollo sostenible.

Sin embargo, a pesar de que los accesos a información y materiales son más limitados, el estado Trujillo a comparación de otros estados tiene una iniciativa perseverante en la robótica que se puede ver en los talleres sobre el tema realizados en algunas instituciones a niños y jóvenes, a partir de los cuales algunos jóvenes trujillanos han logrado desarrollar sus prototipos robóticos. De hecho, específicamente en el municipio San Rafael de Carvajal del estado Trujillo, se ubica la Universidad Valle del Momboy (UVM), la cual cuenta con un grupo estudiantil interesado en el estudio de la robótica, fomentado por la institución al brindar el aprendizaje de este tema y organizar Campeonatos de Robótica, el cual como se menciona en el sitio web de la UVM por Proyección Institucional (2023), este evento crea un espacio de aprendizaje que motiva a los jóvenes a investigar y atreverse al desarrollo de sus propios prototipos robóticos.

Por otra parte, la UVM no es inmune a los factores causantes de la falta de desarrollo en cuanto a la innovación social ya que también se enfrenta a las limitaciones de información de proyectos de brazos robóticos humanoides y a los altos costos de los equipos y productos tecnológicos para su desarrollo. Por ello el desarrollo de un prototipo de un brazo robótico humanoide, que pueda interactuar con el humano desde la perspectiva de los principios de la innovación social los cuales incluye la participación, la sostenibilidad, la creatividad, la inclusividad e impacto social, pueden hacer de este proyecto uno que logre apoyar a la comunidad universitaria a sus futuras investigaciones robóticas en búsqueda de ese desarrollo social sostenible que contribuya a la innovación social.

## **1.2 Formulación del Problema**

### ***1.2.1 Problema General***

¿Cómo desarrollar un brazo robótico humanoide basado en los principios de la innovación social en la Universidad Valle del Momboy?

### ***1.2.2 Problemas Específicos***

¿Cómo desarrollar la lógica de programación de un brazo robótico para que este ejecute movimientos básicos y precisos?

¿Cómo diseñar la estructura y funcionamiento de un brazo robótico que cumpla con las características humanoides para que sea similar a un brazo humano?

¿Cuáles son los principios de innovación social requeridos en la Universidad Valle del Momboy en los que se debe basar el desarrollo del brazo robótico?

### **1.3 Objetivos de la Investigación**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Desarrollar un brazo robótico humanoide basado en los principios de la innovación social en la Universidad Valle del Momboy.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

Desarrollar la lógica de programación que permitirá al brazo robótico humanoide realizar sus movimientos básicos y precisos.

Diseñar la estructura y funcionamiento de un brazo robótico que cumpla con las características humanoides para que este sea similar a un brazo humano.

Identificar los principios de la innovación social requeridos en la Universidad Valle del Momboy para implementarlos en el desarrollo de un brazo robótico.

### **1.4 Justificación del Estudio**

La ejecución de este proyecto de investigación se justifica en todos sus aspectos ya que puede traer muchos beneficios a la comunidad, pues este sirve como un asistente básico al responder a algunas solicitudes del humano y que a futuro puede escalar a convertirse en un robot humanoide más complejo e inspirar a otras creaciones. Todo esto enfocado a presentarse no solo como una solución social sino también como una oportunidad de desarrollo tecnológico que colabore al bienestar del mundo. A continuación, se detalla esta justificación:

#### ***1.4.1 Justificación Teórica***

En la teoría, este sustenta la idea de la aplicación tecnológica para un desarrollo social sostenible, por ello se busca explicar la importancia de avanzar tecnológicamente y cómo la robótica puede ser una herramienta que proporcione una solución a problemas sociales y no solo industriales. Por lo tanto, se fundamentará en las definiciones de Vargas-Merino (2021) y Mulgan

et al. (2007) para la innovación social y de Barrientos et al. (1997) y Siciliano et al. (2010) para la robótica, con la finalidad de relacionar estos temas.

#### ***1.4.2 Justificación Metodológica y Tecnológica***

Esta investigación ejecuta el desarrollo de un brazo robótico humanoide completo, comenzando desde las inspiraciones y antecedentes tomados en cuenta, el primer prototipo del proyecto que resalta la idea de funcionamiento mecánico del brazo, los primeros pasos de la lógica de reconocimiento de movimientos para la imitación de los mismos, el uso de la inteligencia artificial para su funcionamiento, hasta la creación final del brazo robótico que puede seguirse desarrollando a futuro para mejoras y nuevas funciones. Todo esto demuestra cómo se pueden lograr importantes avances tecnológicos a pesar de las pocas investigaciones disponibles y aprovechando los materiales a los que se tienen acceso, para ello metodológicamente se aplicará dos instrumentos el análisis documental y las encuestas que permitirán, además, evaluar la situación de innovación social presente en la comunidad universitaria.

#### ***1.4.3 Justificación Práctica***

En la práctica, trae beneficios como reforzar las capacidades de investigación y estudio de la robótica en la UVM, lo que inspira a soluciones tecnológicas para problemas sociales de la región. Este es un proyecto escalable que se aplicará como una herramienta de aprendizaje, para que los estudiantes puedan ver una interacción robot-humano básica y así interesarse por desarrollar sus capacidades en la robótica reconociendo la importancia de los avances tecnológicos.

#### ***1.4.4 Justificación Social***

En la parte social, esta comprende dos puntos primero el de la innovación social necesaria para crear soluciones sociales en pro del bienestar común y la robótica que permite optimizar procesos cotidianos, complejos o peligrosos con eficiencia, donde un brazo robótico concede una movilidad y manipulación. Por ello, este proyecto impactará positivamente en la comunidad universitaria de la UVM con el aprendizaje de tecnologías como soluciones sociales y con la demostración de una interacción robot-humano a partir del brazo robótico, que puede convertirse en un robot humanoide completo y avanzado destinado a diferentes fines como a asistentes de varios tipos, lo que contribuye con el desarrollo sostenible y el bienestar de la sociedad.

### **1.5 Alcances y Limitaciones**

#### ***1.5.1 Alcances***

La investigación se hará en la sede de Estovacuy de la Universidad Valle del Momboy, la cual se ubica en la Avenida Principal de Carvajal, municipio San Rafael de Carvajal, estado Trujillo, Venezuela. El periodo de estudio será de enero 2025 a noviembre 2025 donde se cumplirá con los objetivos establecidos. Esta investigación ofrece el desarrollo tecnológico de un prototipo funcional de un brazo robótico humanoide que pueda interactuar con el humano por sus movimientos, además este proyecto va relacionado con otros dos que juntos hacen parte de un robot humanoide casi completo con opciones de mejora a futuro y continuación de la investigación.

Este proyecto de investigación incluye todo el proceso de desarrollo, como se menciona va desde la especificación de los componentes empleados como servomotores con una fuerza de torque específica, la descripción del diseño estructural ejecutado para que la mecánica sea lo más

similar posible a la de un brazo humano, los conceptos tomados en cuenta para esto como las articulaciones y los planos anatómicos; hasta la programación de este brazo robótico, aplicando principios relacionados a la cinemática directa para conocer las coordenadas deseadas y con ello comprender hacia donde debe posicionarse a continuación. Todo esto bajo los principios de la innovación social que permitirá que este proyecto cumpla con los principios necesarios para ser una investigación base para crear nuevas soluciones sostenibles en la comunidad universitaria.

### ***1.5.2 Limitaciones***

Existen algunas limitaciones en la investigación, una de ellas es no se tiene acceso a componentes robóticos avanzados en el país solo en el extranjero por lo que sería un muy alto costo por el traslado junto con los precios de venta de estos componentes en otros países, tenerlos permitirían al brazo robótico realizar los movimientos más fluidos. Además, la gran mayoría de las fuentes de información referente a la robótica humanoide no se encuentra disponible en español y otras no son de acceso gratuito. De hecho, como se mencionó en el planteamiento del problema, no hay disponibilidad de proyectos relacionados a la robótica humanoide en el estado Trujillo, lo que dificulta el desarrollo del proyecto.

Asimismo, para la investigación hay un tiempo limitado, el cual afecta el proceso de investigación primero porque se busca probar el brazo robótico en un tiempo prolongado, el trabajo de motores, como actúa en diversas situaciones y así medir el impacto de su uso en la comunidad universitaria, segundo, porque al aplicar inteligencia artificial en su funcionamiento conlleva entrenar el robot con suficiente tiempo para tener resultados precisos, además, se dificulta añadir funcionalidades más completas al robot durante ese tiempo, aunque se puede continuar a futuro. Finalmente, la crisis económica, social y política del país reflejado en las

fallas eléctricas en las comunidades y la escasez de recursos, es una limitación constante que puede causar un retraso en la ejecución funcional del brazo robótico.

### **1.6 Vinculación con el Proyecto Institucional de Desarrollo Humano Sustentable**

Esta investigación busca dar un aporte significativo al desarrollo humano sustentable que se ve en el estado Trujillo, por lo que está vinculado a cada objetivo de los Proyectos de Investigación de la Universidad Valle del Momboy, esto se puede ver claramente en su relación con la visión de la ejecución de estos proyectos, donde al enfocarse en los temas de la robótica siendo un campo tecnológico de constante avance en la actualidad, se presenta un comienzo para obtener una solución innovadora ante problemas sociales y mejorar el bienestar de cada persona sin afectar su entorno ambiental ni económico, con esto se ve que cumple con la definición de desarrollo sustentable que como indica González (2009) este se trata del equilibrio entre el medio ambiente, la responsabilidad en el uso de recursos económicos y el bien de la sociedad.

De hecho, esta investigación se alinea con la misión de los Proyectos de Investigación UVM al cumplir con tres principios muy importantes de este, el primero es la Integración Académica donde esta investigación consigue combinar conocimientos de los decanatos de la universidad al tocar temas de ingeniería robótica, ética y análisis social para brindar una innovación sostenible. El segundo principio es la Vinculación Regional, donde al diagnosticar las limitaciones que padece el estado Trujillo, como la falta de proyectos robóticos humanoides, y las oportunidades, como el interés por la robótica, permiten enfocar esta investigación en la necesidad de proyectos de investigación robótica que impulsen al desarrollo sostenible del estado.

En cuanto al tercer principio, Innovación Sostenible, esta investigación toma en cuenta las dimensiones del desarrollo humano sustentable ya que al brindar una interacción básica robot-humano que ha futuro puede evolucionar a un asistente doméstico que cuide de ancianos o

discapacitados, o a un asistente médico que ayude en consultas rutinarias, mejorando el bienestar de quienes lo utilicen sin generar ningún daño ambiental y optimizando el uso de recursos. Esta investigación impulsa al desarrollo de otros prototipos de brazos robóticos que solventen muchas de las necesidades del estado Trujillo y mejorar el bienestar de la población promoviendo la sostenibilidad. Además, esto refuerza el compromiso de la UVM con los principios del desarrollo sustentable, impactando no solo en la región sino también en Venezuela y el mundo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

Los antecedentes en esta investigación permiten garantizar la validez del estudio ya que este paso es esencial para construir una base de estudio sólida por medio de conocimientos, experiencias, metodologías y resultados obtenidos de investigaciones anteriores, tal como menciona Carlino (2021) su función es relacionar estos estudios previos de temas similares con la investigación a ejecutar, todo con el fin de contextualizar y justificar la realización del proyecto.

##### ***2.1.1 Antecedentes Nacionales***

A nivel nacional, se considera el proyecto de Carrillo (2021) titulado “Diseño de interacción humano-robot para el aprendizaje de las tablas de multiplicación e implementación de los modelos de reconocimiento del habla”, su objetivo fue estudiar los robots sociales para crear una interacción robot-humano, usando una metodología de cuatro fases donde investigó los temas, realizó el diseño, aplicó lo hecho y realizó pruebas. Es de resaltar como logró una interacción natural con la voz entre niños y el robot para demostrar cómo se usa la robótica social como una buena solución a problemas de aprendizaje.

Este proyecto aporta la creación de un robot con una interacción útil para las personas, por lo tanto, su visión y elementos van a ayudar a la actual investigación a presentar una interacción robot-humano básica con un brazo robótico humanoide que además de funcionar también permita una comunicación natural donde este pueda imitar movimientos sencillos, reconocer ciertos gestos y responder a ellos para así crear una conexión con las personas.

### ***2.1.2 Antecedentes Internacionales***

A nivel internacional, primero se presenta el proyecto de Astudillo y Dueñas (2024) titulado “Diseño e Implementación de un Sistema de Escaneo Basado en Visión Artificial para la Imitación del Movimiento del Brazo Humano en el Robot Kuka Kr5-2 Arc Hw”, que tuvo el objetivo de aplicar una la imitación explícita como medio de interacción para controlar un robot industrial. Este destaca por el uso de la visión artificial empleando librerías como Mediapipe y OpenCV para la detección de movimientos del hombro y el codo, que posteriormente imitara el robot para ejecutar sus tareas, la posición final de las articulaciones del robot fue calculadas aplicando la cinemática inversa.

A pesar de que este proyecto se centra en la robótica industrial y no tanto en la social para la interacción natural entre humanos y robots, tiene un gran aporte para desarrollo del brazo robótico humanoide, y es que ofrece unas bases sólidas del uso de la visión artificial, la detección de puntos clave del cuerpo como el brazo, y la traducción de esa información para calcular los ángulos de las articulaciones del robot, destacando así lo ideal que es basar esta interacción en la imitación del movimiento humano.

El segundo proyecto tomado en cuenta es el de Hernández et al. (2023) titulado “Desarrollo de un prototipo de brazo robótico para robot social mediante aprendizaje basado en proyectos” que tuvo la finalidad de crear un brazo robótico que pueda interactuar con las personas. Se caracterizó por aplicar una metodología llamada Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y por describir la importancia de crear un buen diseño de interacción robot-humano para un robot social. Finalmente, aporta buena información de componentes necesarios como actuadores elegidos por su torque, las características humanoides como algunas medidas

anatómicas y los principios de cinemática directa e inversa para el cálculo de los movimientos, lo que puede ser de guía en el desarrollo del actual proyecto.

El último proyecto considerado es la investigación de Reynoso (2021) titulado “Diseño y control de una mano robótica para función motora de personas discapacitadas”, que tuvo como finalidad construir una mano robótica con impresiones 3D, aplicando una metodología de cinco fases donde se buscó referencias, se usó simulaciones y se aplicó el diseño del prototipo. Es interesante como va destinado a personas que sufrieron algún accidente y perdieron la mano, demostrando que la robótica se puede aplicar para mejorar el bienestar de aquellos que por sus condiciones no pueden vivir normalmente.

Por ello, este es una referencia pues además de demostrar con sus resultados que se puede lograr el objetivo de beneficiar a las personas de la sociedad en distintos ámbitos de sus vidas, también la mano robótica es un ejemplo de diseño mecánico, de electrónica y de programación siendo una guía para aplicar estrategias de cinemática, trabajar en Arduino y crear la mano que pertenecerá al brazo robótico humanoide.

## **2.2 Bases Teóricas**

Las siguientes bases teóricas van a permitir darle un contexto a las variables que comprende el problema, como explica Hernández et al. (2014) es muy necesario para tener un conocimiento, validar y entender teóricamente el problema de la investigación tomando en cuenta los puntos de vista de varios autores, lo cual será de ayuda a la hora de analizar los próximos resultados.

## ***2.2.1 Bases Teóricas de la Variable Innovación Social***

### ***2.2.1.1 Definición de Innovación Social.***

La innovación social es concretamente la búsqueda de ideas novedosas que sirvan para fines sociales, es decir, que colaboren en la satisfacción de las necesidades de las personas, en la solución a los problemas comunes y la búsqueda de un desarrollo que cumpla con los objetivos sociales y no perjudique al mundo (Mulgan et al., 2007). En efecto, la innovación social se centra en desarrollar procesos, estrategias, sistemas o tecnologías que traigan no solo un beneficio individual sino más que todo colectivo que enfrente las desigualdades, las deficiencias y las limitaciones sociales actuales.

Por otra parte, Vargas-Merino (2021) señala que la innovación social no solo incluye la creación de elementos tangibles para un beneficio social, sino también el desarrollo de comportamientos, actitudes y paradigmas que mejoren la sociedad o su cambio en caso de que la perjudiquen. De hecho, este surge de la necesidad de encontrar formas que mejoren las condiciones de vida de las personas, por lo que la innovación social comprende todo aquello que mejore el bienestar de la sociedad e incluya a todos los miembros de ella, de manera sostenible y que dejen un impacto positivo en el mundo.

### ***2.2.1.2 Principios de la Innovación Social.***

Según autores como Mulgan et al. (2007) y Vargas-Merino (2021) la innovación social se basa en cinco principios muy importantes ya que guían la creación de soluciones innovadoras para beneficios sociales, estos son:

#### ***2.2.1.2.1 Creatividad.***

Dentro de la innovación social la generación de ideas es un pilar para encontrar aquello que dará solución a las problemáticas determinadas, Mulgan et al. (2007) menciona como la

creatividad es esencial en este proceso pues una idea nunca es totalmente novedosa pero este principio surge de la inspiración en hechos y experiencias de otras personas, además, también explica como organizaciones aplican métodos para fomentar la creatividad en la generación de soluciones sociales.

#### ***2.2.1.2.2 Participación.***

Es importante la participación activa de todos para fomentar la innovación social, ya que como explica Mulgan et al. (2007) el desarrollo y el cambio que con lleva la innovación social viene caracterizado de que cada persona por sí misma, grupos y organizaciones se unan en la búsqueda del bienestar colectivo. De hecho, Vargas-Merino (2021) menciona como cada ciudadano tiene un compromiso con su comunidad por lo que considera un deber involucrarse en la innovación social.

#### ***2.2.1.2.3 Inclusividad.***

Este principio destaca la finalidad de la innovación social que no busca un beneficio para alguien en concreto, sino que busca una solución que incluya a todos, para solventar la problemática de cada individuo en búsqueda de una equidad sin desigualdades, además, tanto Mulgan et al. (2007) como Vargas-Merino (2021) coinciden en la idea de que la innovación social garantiza que las soluciones incluyan a todos sobre todo a aquellos que más lo necesiten.

#### ***2.2.1.2.4 Impacto Social.***

Es esencial que la innovación social genere un impacto positivo en la sociedad ya que de lo contrario no estaría cumpliendo con su objetivo de solventar las necesidades y problemáticas de las personas, Vargas-Merino (2021) destaca lo importante que es este impacto y propone realizar un monitoreo, pruebas o evaluaciones para verificar que la ejecución de la idea este generando resultados positivos donde se aplicó y vaya cumpliendo con los objetivos planteados.

#### ***2.2.1.2.5 Sostenibilidad.***

La innovación social busca soluciones sostenibles, es decir, soluciones responsables que no perjudiquen el ambiente, los recursos y la sociedad, este busca un equilibrio que va de la mano con la responsabilidad social la cual involucra un compromiso ético con el ambiente, la humanidad y el desarrollo económico. De hecho, Mulgan et al. (2007) menciona que es importante crear soluciones que sean sostenibles y funcionales para reduzcan los impactos negativos del ser humano y para que sigan siendo de gran ayuda a lo largo del tiempo.

### ***2.2.2 Bases Teóricas de la Variable Brazo Robótico***

#### ***2.2.2.1 Definición de Robot.***

Un robot es un artefacto que tiene la capacidad de moverse además de una programación hecha por el humano para realizar determinadas actividades él solo, por lo que puede hacer sus funciones en diferentes entornos (Zabala, 2007). Es decir, los robots al poder movilizarse y adaptarse a cualquier ambiente son muy útiles para realizar las tareas humanas desde las más simples a las riesgosas gracias a su mecanismo y la programación compleja que tienen.

De hecho, según Sánchez (2021) son máquinas autónomas que se centran para hacer las labores de los humanos, por ejemplo, actividades que sean peligrosas como en el ámbito industrial y repetitivas como en el ámbito doméstico. Esto refleja que la función principal de los robots no es más que optimizar los procesos de la realización de cada tarea de cualquier persona para mejorar sus condiciones y su ritmo de vida.

Otro punto importante lo dan Siciliano et al. (2010) quienes mencionan que un robot es un sistema con varios subsistemas capaz de percibir su entorno y realizar acciones en base a determinadas reglas. En otras palabras, cada uno de esos sistemas o mecanismos en conjunto

hacen un robot que puede realizar acciones siguiendo estrictamente tres normas (ver Figura 1) importantes que cuidan de la ética robótica y la integridad humana.

### Figura 1

*Leyes de la Robótica por Isaac Asimov*



Fuente: *Fundamentos de Robótica* por Sánchez (2021).

#### **2.2.2.2 Definición de Robótica.**

Existen muchas definiciones para la robótica, como la de Siciliano et al. (2010) que explica la robótica como una ciencia que relaciona la creación de mecanismos que incluyan la capacidad de percepción y la ejecución de acciones ambas de forma independiente. Por otra parte, Reyes (2011) la define como una ciencia multidisciplinaria pues combina muchos conocimientos para desarrollar sistemas que se apliquen en cualquier ámbito de la vida del ser humano. Mientras que Olier et al. (1999) mencionan que es el estudio de mecanismos funcionales y de la programación de la autonomía para la creación de robots.

En efecto, la robótica es una ciencia donde se aplican varios conocimientos de muchas áreas como las matemáticas, la electrónica, la programación, y muchos otros que se van añadiendo con los avances, todo con el fin de estudiar, diseñar, crear y aplicar robots dentro de la

sociedad con diversos objetivos como industriales, médicos, sociales, de aprendizaje, de servicio, comerciales, de entretenimiento, entre otros. De hecho, Sánchez (2021) menciona como la robótica nace de la necesidad de que las personas cuenten con máquinas que hagan sus tareas complejas.

### ***2.2.2.3 Clasificación de los Robots Según su Generación.***

Es muy común clasificar los robots por generación que da una vista de cómo ha evolucionado su desarrollo, la Universidad ORT Uruguay (s.f.) define estas generaciones así:

***2.2.2.3.1 Primera Generación.*** Son robots simples que repiten tareas, estos tienen una programación más sencilla y en general son manipuladores.

***2.2.2.3.2 Segunda Generación.*** Son robots que realizan movimientos más complejos y son llamados de aprendizaje porque tienen la capacidad de aprender de su entorno.

***2.2.2.3.3 Tercera Generación.*** Son robots que perciben mejor su entorno gracias a que empieza el uso de sensores más avanzados y toman decisiones complejas en base a su percepción para cumplir con sus tareas.

***2.2.2.3.4 Cuarta Generación.*** Son robots autónomos ya con la capacidad de analizar, aprender, aplicar la lógica y pueden entender a tiempo real.

***2.2.2.3.5 Quinta Generación.*** Es la actual generación que se caracteriza por incluir la inteligencia artificial y la interacción más natural entre robot-humano.

### ***2.2.2.4 Robótica Social.***

La robótica social es un campo de robótica que estudia y desarrolla robots destinados a fines sociales como la ayuda a las personas en sus actividades cotidianas, a mejorar sus capacidades de aprendizaje, a interactuar con las personas personalizándose a sus necesidades, a dar compañía o asistencia a discapacitados, ancianos o niños, entre otras funciones. Este va a

permitir un desarrollo relacionado a la sociedad y las tecnologías que traiga un bienestar para las personas y genere una inclusión social al no permitir que las condiciones de las personas sean una limitación en su vida. Según Gavilán (2020), la robótica social se centra en la capacidad de los robots de entretener, de interactuar, de atender, de comunicarse naturalmente con los humanos para aplicarse en el día a día de las personas, es decir, en ámbitos cotidianos no industriales.

Sin embargo, como menciona Olier et al. (1999), la robótica social, así como la industrial tienen el mismo sistema robótico con un diseño parecido, pero con ciertas diferencias ya que por su finalidad de uso requiere un mayor número de sensores avanzados, el uso de la inteligencia artificial con un entrenamiento avanzado, actuadores que permitan movimientos fluidos, un buen control de movimiento, fuerza y velocidad, además de que algunos necesitan visión artificial, habla y escucha.

Los robots sociales se caracterizan por emplear inteligencia artificial, por tomar decisiones, por reconocer personas y emociones, por comunicarse verbal o no verbalmente, y algunos por tener características físicas parecidas al humano para dar mayor confianza y eficiencia en la interacción como los robots humanoides. Además, Pérez et al. (2017) mencionan un punto muy importante, la responsabilidad que lleva integrar los robots a la sociedad, pues no solo tienen las características anteriormente dichas, sino también deben ser muy tolerantes, tener una capacidad de adaptación a cualquier ambiente y de aprendizaje rápido, ser intuitivos y sencillos de usar y sobre todo ser completamente seguros y cumplir con las normas sociales.

#### ***2.2.2.5 Robótica Humanoide.***

Un robot humanoide es una máquina que imita cualidades y comportamientos de los humanos, por lo que trabaja con sistemas más complejos y avanzados de sensores, servomotores,

controladores, entre otros; además, al ser parecidos a los humanos y realizar sus tareas básicas como ver, comunicarse, correr y mover objetos, son más aceptados en la sociedad (Reyes 2011). Efectivamente, por sus mecanismos complejos y su aceptación es que se aplican en diversas áreas ya sea para tareas repetitivas o peligrosas, permitiendo a las personas centrarse en actividades de mayor importancia y cuidar su vida.

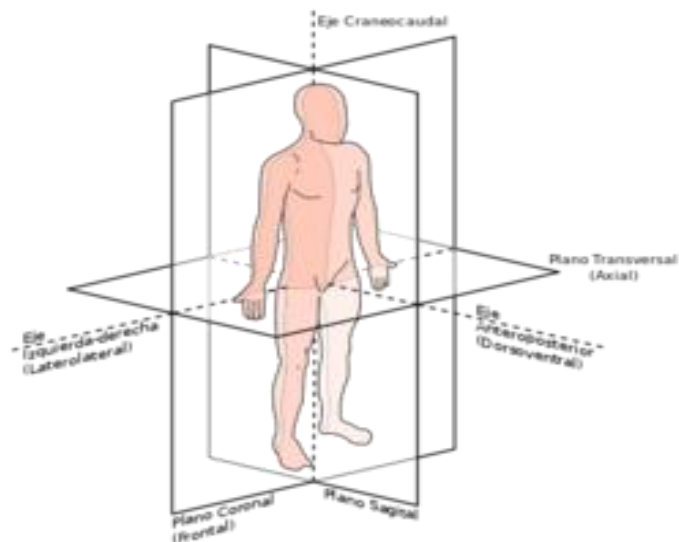
Los robots humanoides están hechos para realizar cualquier tarea que pueda hacer el ser humano y también tareas difíciles o riesgosas que representen un peligro para el humano, su uso cada vez es más complejo ya que integran la inteligencia artificial que le permite un aprendizaje automático. Por ejemplo, existen robots humanoides que bailan y corren a grandes velocidades, hay otros que están programados para cuidar de ancianos y discapacitados, hasta otros que puedan rescatar vidas en desastres naturales. De hecho, en un principio los robots humanoides se hicieron para crear prótesis robóticas para las personas, pero con el tiempo su función se expandió a áreas industriales, domésticas, sociales, gracias a la idea o la necesidad de optimizar las actividades humanas (EDS Robotics, 2021).

#### ***2.2.2.6 Características de los Robots Humanoides.***

Según Ortiz et al. (2020) como estos robots buscan parecerse lo más posible a un humano, generalmente deben contar con cabeza, torso, extremidades y capacidades de observar, percibir su entorno, escuchar y hablar. Estas características físicas de un robot humanoide de las que habla Ortiz et al. (2020) toman en cuenta los planos anatómicos del humano (ver Figura 2), sus ejes de movimiento, y también sus articulaciones funcionales para que los movimientos del robot sean parecidos a los de un humano común.

## Figura 2

### *Planos Anatómicos del ser Humano*



Fuente: *File: Human\_anatomy\_planes.svg* [Ilustración] por YassineMrabet (2008), de Wikimedia Commons. Licenciado bajo CC-BY-3.0.

Sin embargo, Yoshida (2019) afirma que para ser humanoides no es obligatorio tener el cuerpo humano completo, más bien lo importante son sus capacidades de análisis y entendimiento, de realizar tareas y de interactuar con las personas y su entorno. Además, este autor destaca tres características principales que debe tener un robot humanoide, las cuales son:

- El robot humanoide es útil, ya que sea cual sea su objetivo le sirve al ser humano para solventar alguna necesidad, ya sea de entretenimiento, medicinal, social, cultural, industrial, de aprendizaje, entre otros. Es decir, procura que el desarrollo de estos robots dé varios servicios a las personas.
- El robot humanoide es capaz de manejar objetos comunes y herramientas de los humanos, desde lápices, libros, pinzas, tijeras, presionar botones, hasta manejar máquinas complejas en las industrias u otros dispositivos.
- El robot humanoide es capaz de interactuar y trabajar con humanos en un mismo ambiente, pues tiene la capacidad de una interacción segura, de

reconocer espacios, personas y objetos, comprender su entorno, adaptarse, aplicar la lógica, lo cual cumple con el fin de que estos colaboren con los seres humanos de forma efectiva.

#### ***2.2.2.6.1 Interacción Humano-Robot.***

La interacción humano-robot (HRI) es una disciplina que analiza y diseña la interacción mutua verbal o no verbal entre humanos y robots, con el objetivo de lograr una relación armoniosa entre ellos y que los robots colaboren en tareas desde las sencillas hasta las más complicadas, este estudio conlleva muchos conocimientos como de ingeniería, robótica, psicología, sociología, entre otras (De Diego, 2023). En efecto, la HRI busca entender y volver exitosa esa relación, para ello es necesario comprender que el robot debe tener capacidades de comunicación eficiente, de adaptarse no solo a cualquier espacio sino también a los humanos y garantizar la seguridad de las personas donde su trabajo con los robots no represente un riesgo. De hecho, existen diversos mecanismos de interacción como la imitación, la comunicación explícita, y el control directo.

De hecho, según De Diego (2023), hay muchos desafíos a la hora de implementar esta interacción necesaria dentro del desarrollo robótico para fines sociales pues hay que tomar en cuenta factores como: los valores, la ética, la confianza y las necesidades emocionales de los humanos; además de crear robots flexibles a la hora de aplicarse en diversos ámbitos sociales, funcionalmente intuitivos para que las personas puedan entenderlo fácilmente y con comportamientos que cumplan las normas sociales para que sean aceptados.

#### ***2.2.2.7 Brazo Robótico.***

Esneca Business School (2022) define un brazo robótico como un dispositivo que se asemeja física y funcionalmente al de un brazo humano, el cual además de ser programable

también cuenta articulaciones que le permiten un movimiento fluido y flexible. De hecho, un brazo robótico es independiente ya que puede mostrarse como un sistema propio, pero también puede incluirse en un robot completo, como menciona Siciliano et al. (2010) los brazos robóticos son una parte esencial del robot ya que le da la capacidad de manipular objetos lo que le va a permitir la ejecución de muchas actividades humanas.

Anteriormente los brazos robóticos tenían un alcance de trabajo muy corto, por ejemplo, solo podían detectar un determinado objeto, pero hoy en día tienen múltiples aplicaciones gracias a la inclusión de la inteligencia artificial, de sensores avanzados, la capacidad de visión, volviéndose así más inteligentes. Es más, Esneca Business School (2022) afirma que actualmente los brazos robóticos además de manipular objetos, también se aplican en la soldadura precisa y el control de calidad de las industrias, en la investigación, en las cirugías y en la asistencia médica.

#### ***2.2.2.8 Brazo Robótico Humanoide.***

Existen brazos robóticos más complejos, como el brazo robótico humanoide el cual busca parecerse a un brazo humano en todos los sentidos por lo que tienen más articulaciones, usan más sensores que detectan mayormente los objetos de su entorno, más actuadores con mayor fuerza y torque, además de una programación más extensa y compleja, lo que los hace más precisos y con muchas posibilidades de movimiento.

Palacios (2024) habla de cómo los proyectos de estos brazos robóticos colaboran a la creación de prótesis avanzadas y son un elemento fundamental de la robótica social ya que gracias a su apariencia da esa confianza y naturalidad al interactuar con humanos, además, se pueden emplear como asistentes a discapacitados, para cuidados a los ancianos o para la educación. De hecho, como menciona este autor, estos brazos robóticos junto con la inteligencia artificial son el futuro que va a lograr un progreso innovador en el mundo.

### 2.2.2.9 Grados de Libertad.

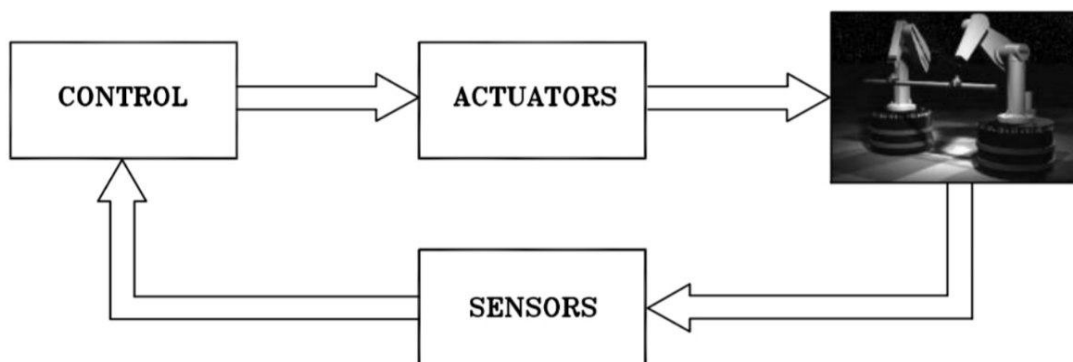
Los grados de libertad (GDL) son la cantidad de movimientos independientes que puede hacer un objeto en un plano, estos son necesarios en los robots para conocer la orientación y la posición en la que se encuentran sus partes, cada uno de esos movimientos pueden ser lineales o de rotación en los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (Ortiz et al, 2020). Por ello estos definen la capacidad de movimiento de un robot, mientras más grados de libertad tengan las articulaciones mayor cantidad de movimientos tiene. Asimismo, Rodríguez (s.f.) señala que los grados de libertad tienen mucha influencia en la funcionalidad de un brazo robótico, por lo que al diseñar uno es necesario tener en cuenta su finalidad para agregar los grados de libertad necesarios, ni más ni menos, ya que de lo contrario puede perjudicar la realización de las tareas para las que fue creado.

### 2.2.2.10 Partes de un Brazo Robótico.

Según Siciliano et al. (2010) un robot, incluyendo los brazos robóticos, en general se compone por: actuadores, sensores y controladores (ver Figura 3).

#### Figura 3

*Partes de un Sistema Robótico General.*



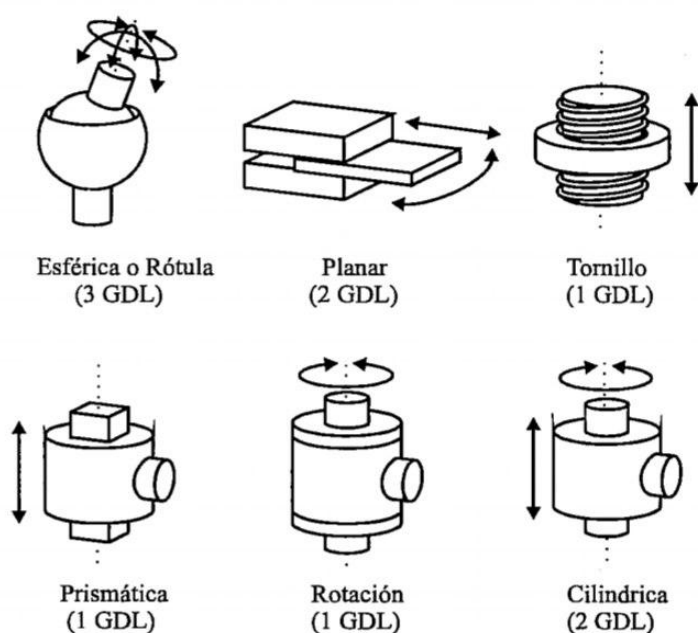
Fuente: *Robotics: Modelling, Planning and Control* por Siciliano et al. (2010).

### 2.2.2.10.1 Articulaciones.

En general, un robot está formado mediante eslabones o segmentos, según Barrientos et al. (1997) una articulación es la unión de dos de esos segmentos, y que permite sus movimientos, los cuales pueden ser de desplazamiento lineal, de rotación o de ambos, además, cada articulación tiene uno o más movimientos, es decir, grados de libertad que definen la posición y orientación del brazo robótico. Este autor menciona mediante una ilustración los tipos de articulaciones más comunes con sus grados de libertad, la cual se mostrará a continuación:

**Figura 4**

*Tipos de Articulaciones Robóticas.*



Fuente: *Fundamentos de Robótica* por Barrientos et al. (1997).

### 2.2.2.10.2 Mecanismos de Transmisión.

Los mecanismos de transmisión de movimientos según Sadi Transmisiones S.L. (s.f.) son aquellas mecánicas que reciben una entrada que impulsa a un movimiento final, el cual puede ser rotacional o lineal dependiendo del sistema, es decir, en la robótica este impulso es la corriente

eléctrica que enciende el mecanismo que transmite un movimiento resultante. Estos sistemas pueden ser por engranajes, poleas, correas, cadenas, tornillos, entre otros. Su uso es necesario para la ejecución de movimientos controlados en las articulaciones del robot, que permitan un mejor manejo y más seguro para el entorno donde se ejecute.

### ***2.2.2.10.3 Actuadores.***

Como dice su nombre los actuadores permiten que el robot actúe en un espacio, es decir estos se encargan de dar ese movimiento a las articulaciones del brazo robótico por medio de señales según lo que les indique los controladores (Barrientos et al, 1997). Hay muchos actuadores disponibles como los motores, pero elegir cual usar depende de las características requeridas por el robot como la fuerza, el torque, la velocidad, el peso, el costo, entre otros (Zabala, 2007). Algunos actuadores son: motores DC, servomotores, motores paso a paso.

#### ***2.2.2.10.3.1 Motores de Corriente Continua.***

Los motores de corriente continua (DC) son motores que transforman la energía eléctrica continua a energía mecánica, su funcionamiento consiste en unos imanes y una bobina de alambre, esta última gira y genera un campo magnético que junto con los imanes hacen que gire continuamente la bobina, además, en general tienen un sistema de engranajes que le da fuerza al motor (Zabala, 2007).

#### ***2.2.2.10.3.2 Servomotores.***

Los servomotores son dispositivos capaces de controlar su posición y su velocidad, están compuestos por un motor, un reductor de velocidad, un circuito eléctrico que ajusta la cantidad de corriente que envía al motor, un potenciómetro que mide el ángulo de posición del motor y un multiplicador de fuerza (Zabala, 2007). Estos dispositivos tienen una capacidad de rotación generalmente de 180°, pero también hay unos que giran los 360° completos. Este control lo

consiguen gracias a que su sensor detecta la posición actual del motor y envía esta información al circuito donde se compara si esa posición es a la que se quiere llegar, entonces manda corriente específica al motor para que corrija su posición lo que permite que sean muy precisos, por ello son los actuadores más usados en las articulaciones robóticas para dar movimiento.

#### ***2.2.2.10.3.3 Motores Paso a Paso.***

Los motores paso a paso (PAP) son motores que pueden mantenerse en posiciones específicas, es decir, no girar continuamente, lo cual le permite tener un control y ser precisos. Como describe Zabala (2007) estos se componen de su imán y varias bobinas, puede mantenerse en una posición gracias a que controla la cantidad de pulsos eléctricos para el motor, estos pulsos son los que hacen que el motor gire a una posición determinada. Hay dos tipos de motores PAP, los bipolares y los unipolares, cada uno con formas de controlarse distintas.

#### ***2.2.2.10.4 Sensores.***

Según Zabala (2007), los sensores son dispositivos que permitirán al robot percibir y conocer su entorno, es decir, estos dan la información necesaria de lo que los rodea para que tome decisiones y realice las determinadas tareas asignadas, esta información puede ser la distancia, los colores, la temperatura, el tacto, el sonido, entre muchos otros. De hecho, estos dispositivos le dan la autonomía al robot y son parte esencial para este interactúe con su entorno.

En general, Zabala (2007) también menciona que los sensores se pueden clasificar en: internos, que miden la información interna del robot necesaria para su funcionamiento y estabilidad como los sensores de velocidad, de voltaje, de posición y orientación, entre otros; en externos que permiten la percepción del entorno al permitir que haya una interacción y un conocimiento de lo que sucede alrededor, estos sensores pueden ser de temperatura, de luz, de colores, de sonidos, de distancia, entre otros.

#### ***2.2.2.10.5 Controladores.***

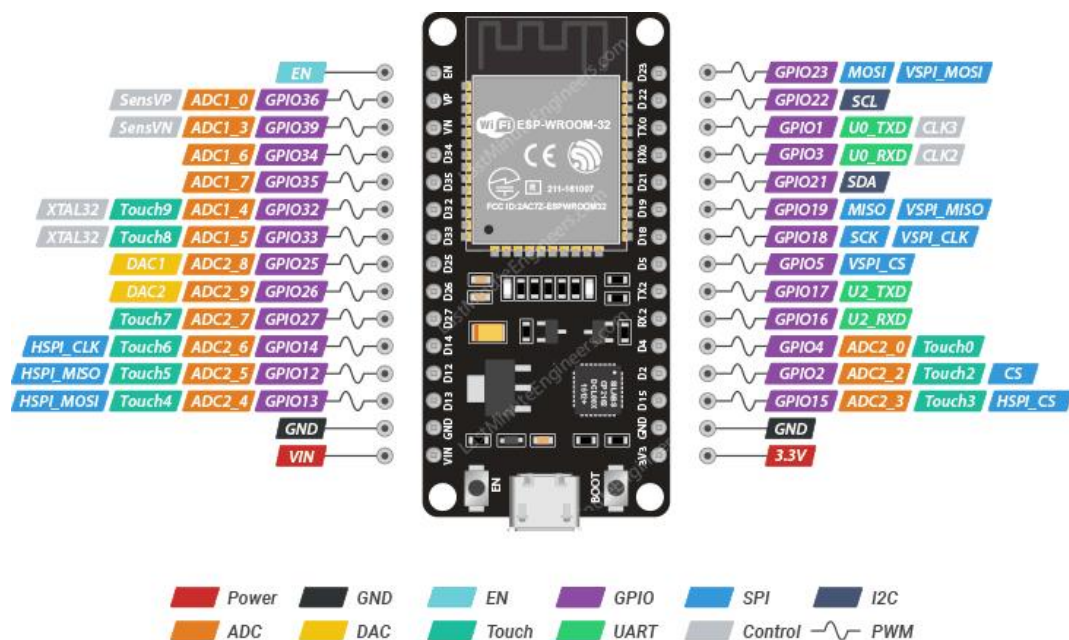
Los controladores son el cerebro del robot, pues estos se encargan a recibir y procesar la información dada por los sensores y en base a una programación determinada realizar los cálculos o las instrucciones a ejecutar los actuadores (Esneca Business School, 2023). En efecto, estos dispositivos tienen la función principal de procesar los datos de los sensores y decidir qué acciones realizar en base a esos datos, pero también se encarga de manejar los posibles errores que aparezcan en el proceso; la programación es la que realiza el humano indicando que cálculos se harán y las instrucciones que se deben seguir en “x” o “y” caso, esta respuesta se enviara a los actuadores, este proceso sería de forma general el funcionamiento de un robot.

##### ***2.2.2.10.5.1 Microcontrolador.***

Un microcontrolador es una placa pequeña con un circuito que incluye componentes para tener una funcionalidad parecida a una pequeña computadora, como CPU, entradas y salidas, un almacenamiento, aunque limitado; estas tienen un buen procesamiento y normalmente un bajo costo (Universidad Europea, 2024). En la robótica, estos controladores se usan para que manejen instrucciones específicas o aun robot que no solicite mucho procesamiento ni almacenamiento como robots educativos, prótesis sencillas y prototipos. Algunos de estos son: ESP32 (ver Figura 5), Arduino UNO, entre otros.

Figura 5

Microcontrolador ESP32 DEVKIT V1 de 30 Pines.



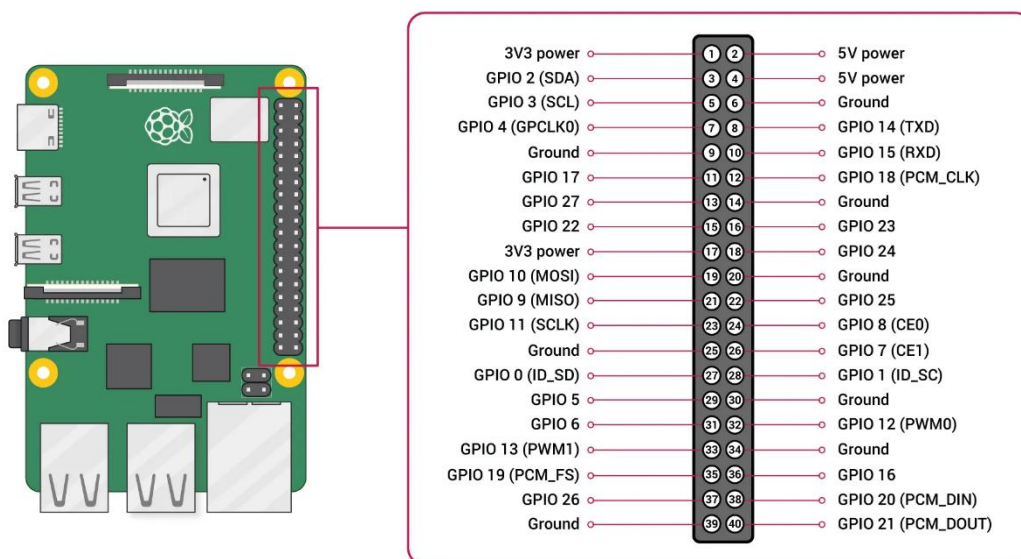
ESP32 Dev. Board Pinout



Fuente: *ESP32 Pinout Reference* por Last Minute Engineers (s.f.).

### 2.2.2.10.5.2 Microordenador.

Al igual que los microcontroladores, un microordenador es como una computadora pequeña, con la diferencia que este está compuesto por un microprocesador como un CPU que le da mayor capacidad de procesamiento para ejecutar programas complejos, también cuenta con entradas y salidas, memoria RAM, mayor almacenamiento, entre otros (Thompson, 2020). Su potencia y capacidades de procesamiento característico hacen que este controlador sea ideal para aplicarse en robots más complejos como para incluir la inteligencia artificial, o para manejar una visión artificial y procesar imágenes o videos. Algunos son: Raspberry PI 5 (ver Figura 6), NVIDIA Jetson Nano, entre otros.

**Figura 6***Microordenador Raspberry Pi 5.*

Fuente: *Raspberry Pi 5 GPIO Pinout* por Pinout.ai (s.f.).

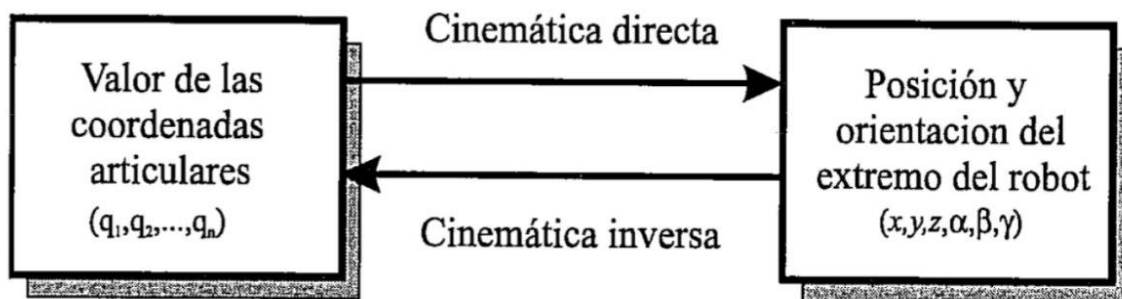
### **2.2.2.11 Cinemática del Robot.**

La cinemática estudia y analiza los movimientos de un robot en base a una referencia tomando en cuenta la posición, orientación, velocidad y aceleración de los movimientos de las articulaciones de este (Barrientos et al, 1997). Cabe aclarar que este no toma en cuenta la fuerza que da el movimiento. La cinemática es muy importante para programar el recorrido que debe seguir un robot, o también para reconocer su posición actual en el espacio y generar movimientos precisos.

Según Barrientos et al. (1997) hay dos formas de aplicar la cinemática según dos problemas, estas son la cinemática directa y la cinemática inversa (ver Figura 7).

**Figura 7**

*Relación de la Cinemática Directa e Inversa.*



Fuente: *Fundamentos de Robótica* por Barrientos et al. (1997).

#### ***2.2.2.11.1 Cinemática Directa.***

La cinemática directa se encarga analizar la posición del robot calculando la posición de su extremo final, tomando en cuenta las coordenadas de posición o los ángulos del resto de sus articulaciones. Su definición como tal es “encontrar una matriz homogénea de transformación T que relacione la posición y orientación del extremo del robot respecto del sistema de referencia fijo situado en la base del mismo.” (Barrientos et al., 1997, p. 94).

#### ***2.2.2.11.2 Cinemática Inversa.***

La cinemática inversa es un cálculo más complejo, ya que se encarga de analizar la posición del robot conociendo la localización final que se quiere como referencia y por medio de ella calcular la posición y orientación de las demás articulaciones desde la base hasta el extremo final. Específicamente, la cinemática inversa “resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas.” (Barrientos et al., 1997, p. 93).

#### ***2.2.2.12 Dinámica del Robot.***

La dinámica está encargada de estudiar la relación que hay entre los movimientos del robot y la fuerza que se aplica para originar esos movimientos, para ello se calculan modelos de

dinámica que incluye variables de fuerza y posición de las articulaciones o del extremo del robot, de velocidad, aceleración, masa y longitud (Barrientos et al., 1997). De hecho, se menciona que estos cálculos son sencillos hasta que se tienen 2 GDL, ya que si son más se vuelve muy complicado. Hay métodos para hallar el modelo dinámico, los dos más conocidos son: la formulación de Lagrange-Euler y la formulación de Newton-Euler.

#### ***2.2.2.13 Lógica de Programación.***

La lógica de programación según Ruiz (2021), es todo el proceso en el que se planifica y estructura la programación de determinado programa, esto para analizar que se quiere hacer, que posibles problemas pueden pasar y buscar soluciones, saber que herramientas usar, y el paso a paso para conseguir el resultado requerido. De hecho, este incluye el desarrollo de los algoritmos, la estructura de las instrucciones, los diagramas de flujo, el lenguaje de programación y las librerías a aplicar. Es de aclarar que los lenguajes de programación son instrucciones basadas en reglas específicas que permiten programar, como Python, C++, JavaScript. Por otra parte, las librerías son grupos de código específico para determinadas funcionalidades como puede ser para cálculo matemático, para diseños, para detección a tiempo real, entre otros.

#### ***2.2.2.14 Diseño y Modelado 3D.***

El diseño y modelado 3D es la creación digital de elementos, formas u objetos tridimensionales, realizado por medio de algún software específico para diseñar, crear, modificar elementos digitales bidimensionales o tridimensionales, como menciona Eman Ingeniería (2023) estos softwares CAD generalmente guardan estas creaciones en archivos STL. El modelado 3D a través de los años se ha convertido en una herramienta esencial en distintos campos desde el entretenimiento, la medicina y la ingeniería, ya que permite ver todo a detalle, hacer

simulaciones, y realizar diseños que necesariamente deben ser más realistas y complejos (Eman Ingeniería, 2023).

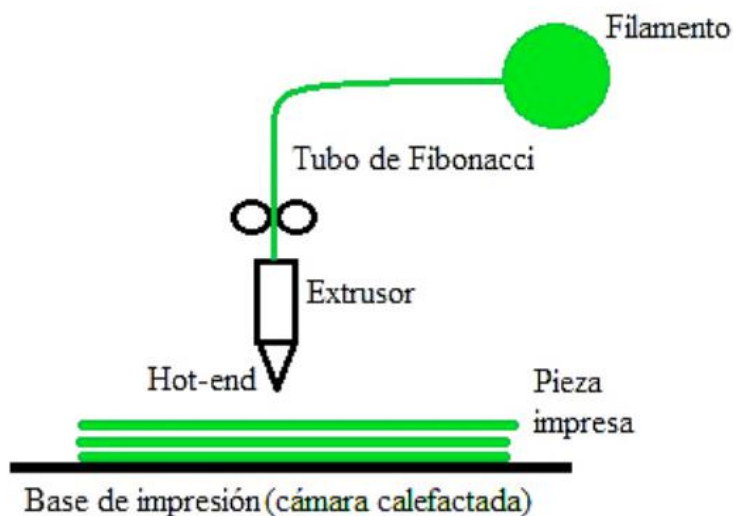
Además, existen dentro del modelado 3D diversas técnicas, en todas cada figura que se está formando tiene ciertos puntos y cada uno de ellos representan una coordenada desde un plano global X, Y, y Z; en la creación de los elementos tridimensionales se pueden mover estos puntos, hasta formar aristas y caras que poco a poco van dando detalle al objeto.

#### ***2.2.2.15 Impresión 3D.***

La impresión 3D se trata de hacer tangible el modelado 3D, es decir, traer físicamente la figura tridimensional modelada digitalmente por medio de un proceso de impresión; este surgió en la necesidad de ver y mostrar de forma tangible proyectos e ideas, de hecho, su gran beneficio de su uso es poder realizar prototipos o proyectos personalizados en menos tiempo. Como explica Cano y Serrano (2021) la aplicación de impresión 3D ha llegado a diversos campos lo que también trajo muchas técnicas de impresión 3D, una de ellas la de modelado por deposición fundida la cual divide el modelado digital en millones de capas y luego cada una de estas se va imprimiendo al dejar el material fundido en un plano, específicamente en las coordenadas establecidas en el diseño del modelado (ver Figura 9), este material es filamento generalmente de PLA.

**Figura 8**

*Funcionamiento de una Impresora 3D.*



Fuente: *Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas* por Cano y Serrano (2021).

### **2.2.2.16 Simulación 3D.**

La simulación 3D se trata de ver o probar como actúa el modelado 3D ya hecho, es como probar su funcionamiento para verificar que realice lo que se quiere antes de pasarlo a imprimir, y así evitar errores a la hora de aplicarlo y tener buenos resultados. De hecho, Meegle (2025), describe como la simulación 3D ayuda dentro de los procesos de las industrias para verificar el buen funcionamiento de sus sistemas y sus prototipos ante distintas situaciones.

## **2.3 Sistema de Variables**

Las variables de este proyecto es lo que se va a analizar, ya que permiten responder las preguntas de esta investigación. Como menciona Arias (2012) estas variables por medio de la operacionalización se le da una definición concreta para saber que indicadores se deben abarcar para cumplir con los objetivos planteados.

**Tabla 1***Operacionalización de Variables.*

<b>Objetivo General:</b> Desarrollar un brazo robótico humanoide basado en los principios de la innovación social en la Universidad Valle del Momboy.					
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>	<b>Ítems</b>
Desarrollar la lógica de programación que permitirá al brazo robótico humanoide realizar sus movimientos básicos y precisos.	Brazo Robótico	Programación del Brazo Robótico	-Principios de Cinemática -Lógica de Programación: lenguaje, librerías, y algoritmos	Revisión Documental  Artículos de programación de robots, librerías de detección y cálculo Software de Arduino	1-2  3-4-5
Diseñar la estructura y funcionamiento de un brazo robótico que cumpla con las características humanoides para que este sea similar a un brazo humano.		Diseño del Brazo Robótico	-Características Físicas y Funcionales de los Robots Humanoides -Partes de un Brazo Robótico: articulaciones, mecanismos de transmisión, actuadores y controladores	Revisión Documental  Artículos de interacción, articulaciones y mecanismos robóticos	1-2  3-4 5-6
Identificar los principios de la innovación social requeridos en la Universidad Valle del Momboy para implementarlos en el desarrollo de un brazo robótico.	Innovación Social	Principios de la Innovación Social	-Creatividad e Inclusividad -Sostenibilidad e Impacto Social	Encuesta  Cuestionario	1-2  3-4

Nota: Se describen las variables que abarcará cada objetivo específico con sus respectivos indicadores e ítems. Fuente: Elaboración Propia.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Tipo y Diseño de Investigación

Esta investigación propone el desarrollo de un brazo robótico que permita una interacción robot-humano como una solución y muestra de desarrollo tecnológico pues complementa conocimientos de diseño, programación, robótica social, que además de poder escalar también inspira futuros proyectos avanzados de robótica que solventen problemáticas. Por lo tanto, la investigación se considera de tipo proyectiva, definida por Hurtado (2000) como una investigación que con lo que proponga resuelva una necesidad del momento luego de una búsqueda profunda de información.

Además, el diseño de la investigación es no experimental el cual Arias (2012) define como el diseño donde se obtiene la información sin alterar las variables durante la investigación, por lo que, se considera este tipo de diseño ya que este proyecto se centra en la programación, diseño y funcionalidad del brazo robótico sin modificar estas variables lo cual no conlleva a una experimentación, de hecho, Hernández et al. (2014) menciona que el diseño no experimental busca ver el problema en su forma natural sin crear otras formas típicas de la experimentación.

Por otra parte, según Hurtado (2000) el nivel de estudio descriptivo trata de analizar y describir detalladamente el objetivo de la investigación desde una perspectiva específica, lo cual justifica que este sea el nivel de estudio de la investigación ya que se busca detallar los pasos, la estructura y cada parte del brazo robótico mostrando un completo análisis de todos los objetivos sin experimentar.

Finalmente, se opta por un enfoque mixto en la investigación ya que como menciona Hernández et al. (2014) este al poder abordar métodos cualitativos y cuantitativos permite tomar

en cuenta todos los puntos de vista añadiendo mayor integridad y valor a la investigación. El enfoque mixto va a tomar desde opiniones medibles del diseño y la estructura humanoide y de las necesidades sociales objetivas en las que se puede aplicar, hasta tener en cuenta distintas perspectivas no medibles de la funcionalidad y la programación del brazo robótico. Todo esto va a permitir no solo hacer un brazo robótico humanoide funcional sino también que este sea de utilidad para la población.

### 3.2 Población y Muestra

Según Arias (2012) la población es un grupo de individuos que comparten características específicas, además van a permitir realizar el estudio y son a los que van dirigido las conclusiones. Por ello, en la investigación se va a tomar como población los estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Valle del Momboy que son un total de doscientos ochenta y seis individuos. En cuanto a la muestra, Hernández et al. (2014) menciona que es un subconjunto de la población de quienes se obtendrá los datos para el estudio. Ahora como se tiene una población finita, según Arias (2012) para calcular el tamaño de esta muestra se usará la siguiente formula:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Para obtener el resultado total de la muestra se tomará como valores de  $Z$  un nivel de confianza del 90%, como  $e$  un margen de error de 10% y como  $p$  un valor de 0,5 ya que no se conoce esa proporción de características de interés. Se obtuvo como resultado una muestra total de cincuenta y cinco, el cual se corroboró en la calculadora de muestras de Jotform Inc. (s.f.) (ver Figura 9).

## Figura 9

*Tamaño de Muestra Según Calculadora Online Jotform Inc. (s.f.)*

The image shows a web-based sample size calculator interface. It features three input fields at the top: 'Tamaño de la población' (Population size) with the value 286, 'Nivel de confianza (%)' (Confidence level) with the value 90, and 'Margen de error (%)' (Margin of error) with the value 10. Below these fields, the calculated 'Tamaño de la muestra' (Sample size) is displayed as 55 in a large, bold font. At the bottom of the interface, there is a button labeled 'Comparta su resultado' (Share your result).

Fuente: *Calculadora de tamaño de la muestra* por Jotform Inc. (s.f.).

### 3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En cuanto a las técnicas e instrumentos, Arias (2012) define la técnica como la manera en que se recolectará la información y el instrumento es el recurso como tal con el que se obtendrán esos datos. Por lo tanto, teniendo en cuenta el enfoque mixto de la investigación se usa para el tercer objetivo como técnica una encuesta, la cual como menciona Hurtado (2000) en ella se recolectan los datos de un tema por medio de una serie de preguntas a una determinada muestra, además, como instrumento un cuestionario que según Hurtado (2000) este consiste en un conjunto de preguntas escritas relacionadas a un determinado objetivo, este instrumento va a seguir una escala de Likert con alternativas para saber el nivel de frecuencia y de acuerdo.

En este caso, el cuestionario para el tercer objetivo abordará la dimensión principios de la innovación social, de cada indicador habrá dos ítems, es decir, un total de ocho ítems para identificar el estado de cada una en la UVM y puede estar presente en el brazo robótico.

Continuando, para el primer y segundo objetivo se usa como técnica la revisión documental, la cual según Hernández et al. (2014) consiste en recolectar la información por medio de diversos documentos siempre y cuando estos sean auténticos, en este contexto como instrumento se usa artículos, libros y tesis aprobadas, relacionadas en este caso a la dimensión

diseño de brazo robótico y su programación, para realizar una mejor ejecución justificada de cada parte de estos dos objetivos.

### **3.4 Validez y Confiabilidad**

#### **3.4.1 Validez**

La validez de los instrumentos es necesaria ya que como menciona Hernández et al. (2014) asegura que efectivamente el instrumento mida la variable determinada, es por ello que, por medio de una revisión de expertos, incluido el tutor, se evalúa la claridad, la congruencia y la pertinencia de cada uno de los ítems de la encuesta y a su vez la credibilidad de los artículos empleados en la revisión documental, con el fin de garantizar la validez en la investigación al asegurar que estos instrumentos se alinean con los objetivos de la misma (ver Anexo 1, 2 y 3).

#### **3.4.2 Confiabilidad**

La confiabilidad según Hernández et al. (2014) es la medida en que un instrumento da los mismos resultados en cada individuo, lo cual es importante ya que como afirma Palella y Martins (2006) este asegura que los instrumentos estén libres de errores casuales. En el caso de la revisión documental esta confiabilidad se evalúa por medio de pruebas funcionales enfocadas en la programación y los mecanismos del brazo robótico. Por otra parte, para el cuestionario (ver Anexo 4) la confiabilidad se evalúa aplicando el Coeficiente Alfa de Cronbach que como mencionan Palella y Martins (2006) consiste en medir el nivel de confiabilidad en base a la estabilidad de los resultados; el valor de este coeficiente define su nivel por los criterios de decisión de confiabilidad (ver Tabla 2).

Según Cronbach (1951) este coeficiente se representa por la siguiente fórmula:

$$a = \frac{n}{n-1} \left( 1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right)$$

Luego de la aplicación de los instrumentos, con lo ya dicho se obtuvo el resultado de 0,67099762 en el cuestionario, lo cual, según Palella y Martins (2006) indica un nivel de confiabilidad alto (Ver Tabla 2) en la encuesta.

**Tabla 2**

*Criterios de Decisión para la Confiabilidad de un Instrumento*

<b>Rango</b>	<b>Confiabilidad</b>
0,81 – 1	Muy Alta
0,61 – 0,80	Alta
0,41 – 0,60	Media
0,21 – 0,40	Baja
0 – 0,20	Muy Baja

Nota: Estos rangos son empleados para indicar el nivel de confiabilidad del instrumento. Fuente: *Metodología de la investigación cuantitativa* por Palella y Martins (2006).

### 3.5 Procedimiento Metodológico

El procedimiento metodológico según Hurtado (2000), muestra punto por punto como se realizó exactamente la investigación lo cual permite que otros comprendan mejor las fases y el orden de desarrollo del proyecto:

1. Planteamiento del problema y objetivos; relacionado al brazo robótico humanoide basado en la innovación social.
2. Recopilación de datos; relacionado a los brazos robóticos humanoides como sus aplicaciones, diseño y programación, la interacción humano-robot y la tecnología social, según autores; además, sobre los principios de innovación social requeridos en el brazo robótico humanoide y las características humanoides, funcionalidades e interacciones deseadas, según la perspectiva de la población.

3. Determinación de elementos claves; como las características físicas humanoides, los movimientos básicos y las interacciones humano-robot a aplicar; y los componentes y materiales ideales a usar, analizado de los datos obtenidos.
4. Desarrollo del diseño y la programación; específicamente de la estructura del brazo robótico humanoide y de sus algoritmos aplicando un análisis cinemático, basado en lo analizado anteriormente.
5. Presentación del robot humanoide; donde se incluye el brazo robótico humanoide desarrollado luego de pruebas que verifican la confiabilidad del brazo robótico al cumplir con lo requerido.

### **3.6 Técnicas de Análisis de Datos**

El análisis de datos se refiere a la revisión de la información obtenida observando las tendencias y las opiniones que proporcionan los instrumentos, donde en este caso se evalúa como se perciben los principios de innovación social aplicados dentro del desarrollo del robot y como se recomienda realizar el diseño y la programación del brazo robótico humanoide, para llevarlo a cabo se aplica como técnicas la estadística descriptiva donde, como explica Hernández et al. (2014), para cada ítem se describe sus datos por medio de tablas y figuras; y el análisis detallado, el cual según Hernández et al. (2014) trata de sintetizar y describir lo que se comprende de los artículos y libros relacionado a los indicadores definidos. Este análisis de datos va a permitir dar con los resultados para el desarrollo del prototipo robótico siguiendo las necesidades y perspectivas de la población basado en la innovación social.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Presentación y Análisis de Resultados

En este proceso se analiza y se presenta los resultados obtenidos de los instrumentos aplicados en la Universidad Valle del Momboy, esto para poder interpretar y entender todos esos puntos de cada indicador que deben ser aplicados para el desarrollo eficiente del robot. Para ello, en los primeros dos objetivos específicos se usa el análisis detallado de los resultados obtenidos de la revisión documental relacionado a cada uno de los indicadores, y para el último objetivo la estadística descriptiva que muestra estos datos en tablas de frecuencia y gráficos de barras.

##### ***4.1.1 Objetivo Específico 1. Desarrollar la lógica de programación que permitirá al brazo robótico humanoide realizar sus movimientos básicos y precisos***

En el primer objetivo se presenta los resultados de la revisión de los lenguajes de programación y librerías posibles para la programación de un brazo robótico y se analizan los principios de la cinemática para el cálculo de movimientos y posiciones del brazo, lo cual es esencial para crear los algoritmos y las soluciones ideales para el funcionamiento del proyecto.

##### ***4.1.1.1 Indicador Principios de Cinemática.***

**Tabla 3**

*Revisión Documental e Ítems del Indicador Principios de Cinemática*

Ítems / Aspectos a Analizar	Revisión Documental
1 Sistema de Coordenadas y Casos de Cinemática	Barrientos, A., Peñín, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (1997). <i>Fundamentos de Robótica</i>
2 Métodos para el Cálculo de Cinemática	Legarreta, J. y Martínez, R. (s.f.). <i>TEMA 5: Modelado Geométrico Y Cinemático Del Robot</i>

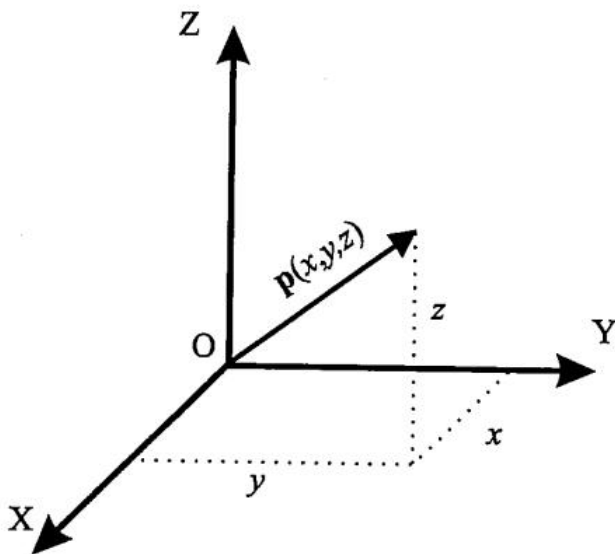
Nota: se muestra los ítems a analizar de las fuentes confiables. Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.1.1.1 Ítem Sistema de Coordenadas y Casos de Cinemática.

En el momento en el que un brazo robótico se encuentra en movimiento, es importante localizar la posición y orientación del mismo, para ello se busca algún método que retorne estos puntos que representan el brazo robótico en el espacio bidimensional (X, Y) o tridimensional (X, Y, Z), pues con esto se obtiene el sistema de coordenadas inicialmente necesario para el cálculo de sus movimientos (Barrientos et al., 1997). Este sistema de coordenadas se compone tanto de puntos cartesianos que forman vectores de referencia (es decir, aquellos vectores que no se mueven en el entorno y que tienen un mismo punto de encuentro X, Y y Z) como de vectores móviles (aquellos que representan cada eslabón del brazo robótico con un vector que si se mueve en el entorno) (ver Figura 10), donde la comparación y definición de este sistema de coordenadas cartesianas permiten los cálculos necesarios posteriores.

**Figura 10**

*Vector representado en un plano cartesiano tridimensional*



Fuente: *Fundamentos de Robótica* por Barrientos et al. (1997).

Estos cálculos posteriores se refieren a la cinemática del robot, la cual estudia y calcula los movimientos que hace el brazo robótico en relación con su sistema de coordenadas cartesianas, pues lo que quiere es conectar esa posición y orientación final del brazo robótico, representada en el sistema de coordenadas con sus ángulos articulares. Hay que tener en cuenta que un brazo robótico es una secuencia de eslabones uno tras otro unidos por una articulación que les da movimiento entre ellos, a esto se le llama cadena cinemática, donde solo hay dos situaciones disponibles: tener un sistema de coordenadas con los valores articulares y la longitud de los eslabones actuales del brazo robótico para calcular la posición del extremo final, lo cual es conocido como cinemática directa; o tener un sistema de coordenadas de la posición deseada del extremo final del brazo robótico para calcular los valores articulares que llevan a esa posición, lo cual es conocido como cinemática inversa.

#### ***4.1.1.1.2 Ítem Métodos para el Cálculo de Cinemática.***

En ambos casos de cinemática el cálculo se puede llevar a cabo de dos maneras, con un método no sistemático por medio del análisis geométrico o con un método sistemático por medio de transformaciones homogéneas, cada una con un procedimiento específico dependiendo del tipo de cinemática (Legarreta y Martínez, s.f.). En cuanto al método de transformaciones homogéneas estas buscan conseguir la posición final cambiando ligeramente el sistema de coordenadas, aquí se emplean coordenadas homogéneas que se diferencian de las cartesianas al agregar un valor a cada proyección del vector, con ellas se define un sistema de coordenadas homogéneas a cada eslabón del brazo robótico, con ello se aplica la matriz de transformación homogénea  $T$  que permite representar unitariamente tanto la posición como la orientación con relación al sistema de coordenadas homogéneas, este presenta cálculos complejos pero con resultados muy precisos.

Por otra parte, el método no sistemático puede incluir la aplicación de geometría analítica, trigonometría, y cálculo vectorial, para esto es necesario un buen análisis del espacio en que se encuentra el brazo robótico. Esto lo que hace es identificar los vectores de referencia y los móviles de la cadena cinemática que forman los eslabones, esta combinación de vectores permite además de saber la posición en el plano 3D también conocer la orientación de estos eslabones, para dividirlos en distintos planos donde se pueda aplicar trigonometría y así obtener los ángulos específicos para cada articulación, esto permite conocer y manejar los distintos movimientos del brazo robótico en el espacio 3D (Legarreta y Martínez, s.f.). Este método es más sencillo que el anterior, aunque un poco menos preciso.

#### **4.1.1.2 Indicador Lógica de Programación: lenguaje, librerías, y algoritmos.**

**Tabla 4**

*Revisión Documental e Ítems del Indicador Lógica de Programación*

<b>Ítems / Aspectos a Analizar</b>	<b>Revisión Documental</b>
3 Lenguaje de Programación para el Control del Brazo Robótico	CPP Reference. (s.f.). <i>C++ Programming Language</i> . Oracle Technology Network. (s.f.). <i>Java Documentation</i> . Python Software Foundation. (s.f.). <i>Python Documentation</i> .
4 Librerías para la Percepción Visual y el Cálculo Cinemático	Boesch, G. (2024). <i>The Complete Guide to OpenPose</i> . Google. (s.f.). <i>Holistic landmarks detection task guide</i> . Google. (s.f.). <i>MediaPipe Solutions guide</i> . Svitla. (2020). <i>Python libraries math, scipy, numpy, matplotlib</i> .
5 Algoritmos y Flujo Lógico de la Programación	Hernández, Ó. (2016). <i>Diseño y programación de un robot humanoide de bajo coste</i> . Pascual, F. (2021). <i>Diseño y construcción de un brazo robótico controlado mediante Arduino</i> .

Nota: se muestra los ítems a analizar de las fuentes confiables. Fuente: Elaboración Propia.

#### ***4.1.1.2.1 Ítem Lenguaje de Programación para el Control del Brazo Robótico.***

Dentro de la programación de un brazo robótico se requiere lenguajes que se encarguen tanto de la percepción y el cálculo cinemático, como de la comunicación con el hardware, que permita la acción y el control preciso de los actuadores; algunos de los lenguajes de programación buenos para aplicarlos para el manejo y control del brazo robótico son: Python, C++, Java, y muchos otros. El lenguaje de Python está basado en la Programación Orientada a Objetos (POO), siendo uno de los más sencillos de manejar gracias a su flexibilidad y su fácil sintaxis, aunque suele ser un poco más lento en tiempo de ejecución ya que es un lenguaje interpretado, pero cuenta con una gran variedad de librerías incluyendo aquellas que integran inteligencia artificial, además, al ser fácil de usar se puede hacer pruebas rápidas del brazo robótico (Python Software Foundation, s.f.).

En cuanto al lenguaje de Java, también está basado en la POO y se ejecuta en la Máquina Virtual de Java, además, a pesar de ser un lenguaje más complejo de manejar y que tiene un bajo rendimiento ya que consume mucha memoria y CPU, cuenta un buen soporte IDE y con una gran cantidad de librerías y APIs que, aunque son de paga, permiten realizar cálculos matemáticos avanzados e integrar visión artificial, control de voz, entre otras (Oracle Technology Network, s.f.). Por otro lado, C++ es uno de los lenguajes más eficientes, pues permite tener control del hardware, cuenta con librerías de control de movimientos, da respuestas a tiempo real ya que es un lenguaje compilado; sin embargo, a la vez es más complejo de usar y, además, es lento para la integración de inteligencia artificial (CPP Reference, s.f.).

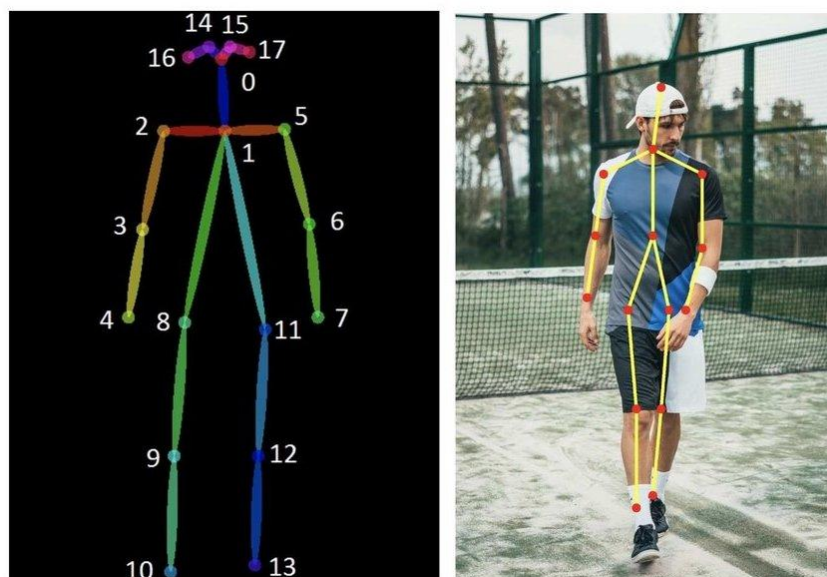
#### ***4.1.1.2.2 Ítem Librerías para la Percepción Visual y el Cálculo Cinemático.***

Como el brazo robótico va imitar al brazo humano necesita tener percepción de lo que pasa en su entorno, por lo tanto, es necesario elegir alguna librería de visión artificial que retorne

las coordenadas necesarias para empezar el cálculo cinemático. Está la opción de OpenPose, una librería que detecta la pose de una o más personas desde un plano 2D, también tiene la opción 3D, aunque es más compleja de configurar y solo soporta la detección de una persona. Esta librería funciona con una Red Neuronal Convolutiva que detecta diferentes características de la imagen que clasifica como partes del cuerpo identificadas y como la relación entre esas partes del cuerpo, es decir, identifica los puntos del cuerpo y los relaciona a la pose de la persona, estos puntos son de 6 de cada pie, 21 de cada mano, 71 del rostro, y 28 del cuerpo (ver Figura 11) (Boesch, 2024).

### Figura 11

*Landmarks del cuerpo detectados por OpenPose*



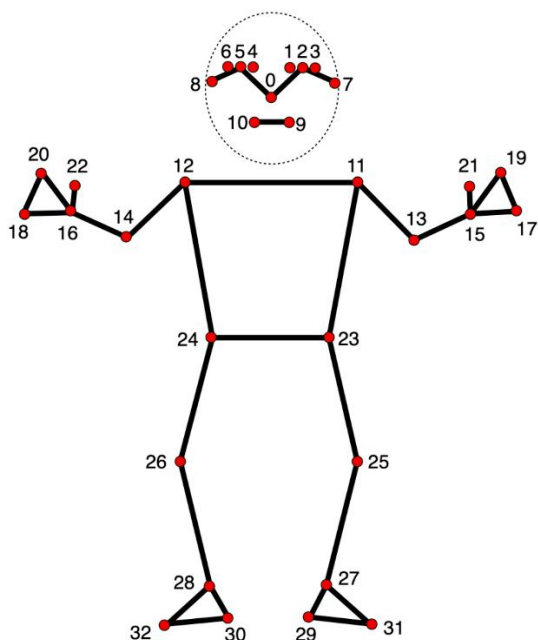
Fuente: *The Complete Guide to OpenPose* por Boesch (2024).

También se encuentra Mediapipe, la cual es una librería que funciona al aplicar aprendizaje automático e inteligencia artificial en una serie de modelos de visión artificial (Google, s.f.-b), los cuales van desde la detección de objetos, manos, poses, rostros, y uno que incluye todo en conjunto llamado Mediapipe Holistic que detecta un total de 543 puntos del cuerpo de los cuales

son 21 de cada mano, 33 de pose, y el resto del rostro (ver Figura 12) (Google, s.f.-a). Como son modelos preentrenados, para su detección divide la imagen en partes del cuerpo y de allí identifica los puntos clave en él, estos puntos contienen sus coordenadas 3D, donde la profundidad se mide por la cercanía a la cámara. A pesar de que esta librería también tiene un mayor consumo de recursos, sigue siendo más rápida que otras opciones y es compatible con C++, Python, JavaScript, entre otros.

### Figura 12

*Landmarks de pose detectados por Mediapipe*



Fuente: *Holistic landmarks detection task guide* por Google (s.f.-b).

Por otra parte, también es necesario emplear librerías que optimicen el cálculo cinemático permitiendo la ejecución de funciones trigonométricas y el cálculo de vectores; una de estas librerías es NumPy, la cual permite realizar cálculos numéricos con tiempo de ejecución más rápido ya que está implementado en C++, incluye el álgebra lineal como las operaciones y la manipulación de vectores y matrices, funciones trigonométricas, y cálculos matemáticos

avanzados (Svitla, 2020). Otra opción es la librería Math, la cual es muy ligera pues que se centra en funciones trigonométricas y operaciones aritméticas básicas que permiten hacer un análisis geométrico, pero no incluye cálculo vectorial, además, funciona en C++, Python, JavaScript, Java, entre otros (Svitla, 2020).

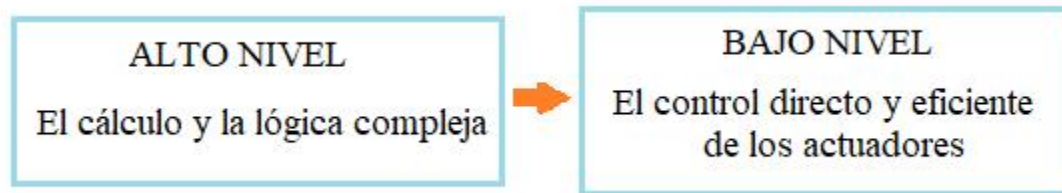
#### ***4.1.1.2.3 Ítem Algoritmos y Flujo Lógico de la Programación.***

En este punto es importante evaluar los distintos algoritmos empleados en otros proyectos de brazos robóticos, como el de Pascual (2021) y Hernández (2016), donde en ambos proyectos se resalta el uso de algoritmos de dos grupos de tareas para el manejo del brazo robótico, esto consiste en dividir la lógica en dos niveles (ver Figura 13). Uno de ellos es el nivel alto que representa la funcionalidad como tal de brazo robótico como sus cálculos, la imitación y su percepción; esto puede incluir la lógica del sistema de coordenadas, la elección del método cinemático para el cálculo de la posición, y la configuración de la percepción del entorno para el brazo robótico.

Continuando con el nivel bajo, este engloba la comunicación con el hardware del brazo robótico que puede ser por medio de comunicación serial, bluetooth o wifi; ya que su fin es enviar las señales correctas a tiempo real y con sus respectivos límites de seguridad. Este hardware incluye los sensores (en caso de tenerlos) y los actuadores del brazo robótico. Este se puede llevar a cabo en el entorno de desarrollo de Arduino IDE, el cual permite programar un microcontrolador usando el lenguaje C++, con dos funciones principales *setup()* que se ejecuta solo al encender el microcontrolador y *loop()* que es un bucle que se ejecuta constantemente hasta que se apague el microcontrolador, configurando y manejando dentro de él el hardware del brazo robótico.

**Figura 13**

*Algoritmo General de la Programación de un Brazo Robótico*



Fuente: Elaboración Propia.

***4.1.2 Objetivo Específico 2. Diseñar la estructura y funcionamiento de un brazo robótico que cumpla con las características humanoides para que este sea similar a un brazo humano***

Este segundo objetivo se presenta todas esas características físicas y funcionales que se debe tomar en cuenta en un brazo robótico humanoide para hacer este no solo parecido al humano sino también hecho para el humano, y a su vez, se analizan las diversas partes del brazo robótico como lo son sus articulaciones, sus posibles mecanismos, sus actuadores y los controladores, los cuales son tan importantes de evaluar para tomar las mejores decisiones de diseño y funcionamiento.

#### 4.1.2.1 Indicador Características Físicas y Funcionales de los Robots Humanoides.

**Tabla 5**

*Revisión Documental e Ítems del Indicador Características de los Robots Humanoides*

Ítems / Aspectos a Analizar	Revisión Documental
1 Características Físicas de los Brazos Robóticos Humanoides	Serrano, C. (2023). <i>Articulación de la muñeca (radiocarpiana)</i> . Serrano, C. (2023). <i>Articulación glenohumeral</i> . Vaskovic, J. (2023). <i>Codo y antebrazo</i> .
2 Características Funcionales de los Brazos Robóticos Humanoides	Jiménez, R., Espinosa, F., & Amaya, D. (2013). <i>Control de movimiento de un robot humanoide por medio de visión de máquina y réplica de movimientos humanos</i> . Nuño Ortega, E. (2004). <i>Teleoperación de Robots: Técnicas, Aplicaciones, Entorno Sensorial y Teleoperación Inteligente</i> . Sidorov, G., Kobozeva, I., Zimmerling, A., Chanona-Hernández, L., & Kolesnikova, O. (2014). <i>Modelo computacional del diálogo basado en reglas aplicado a un robot guía móvil</i> . SICK. (2022). <i>Seguridad en las aplicaciones de robots colaborativos</i> .

Nota: se muestra los ítems a analizar de las fuentes confiables. Fuente: Elaboración Propia.

##### 4.1.2.1.1 Ítem Características Físicas de los Brazos Robóticos Humanoides.

Las características físicas de un robot humanoide abarca un diseño basado en la anatomía del ser humano (Ortiz et al., 2020), para que sea lo más parecido posible; es por ello, que se analiza las articulaciones funcionales del humano con sus ejes de movimiento en cada plano anatómico (ver Figura 2). En el caso de un brazo robótico humanoide se estudia el hombro, el antebrazo, la muñeca y la mano con sus respectivos dedos.

Empezando por el hombro, esta articulación llamada glenohumeral se forma de la unión del hueso del húmero y el omoplato, y cuenta con muchos ligamentos para lograr sus movimientos. Tiene 3 grados de libertad (GDL) que incluyen: la abducción de 180° y la aducción

de 30° (en el plano frontal), la flexión de 180° y extensión de 90° (en el plano sagital), y la rotación interna y externa ambas de 90° (en el plano trasversal) (ver Figura 14); estos rangos de movimiento pueden variar según la persona y la posición del cuerpo (Serrano, 2023). Continuando con la articulación del codo, esta es la unión entre el hueso húmero con los huesos radial y cúbito que pertenecen al antebrazo; este tiene 2 GDL pues realiza movimientos de flexión y extensión con ayuda generalmente de los músculos del bíceps y el tríceps, y movimientos de rotación (pronación y supinación) (Vaskovic, 2023).

### Figura 14

*Movimientos de la Articulación del Hombro*



Fuente: *El Hombro* de Faes (2011).

El antebrazo se conforma también de músculos flexores y extensores, que ayudan a los movimientos de las articulaciones de la mano, tanto la muñeca como los dedos, pues los extensores permiten extender las falanges (huesos de los dedos de la mano), es decir, abrir la mano, y los flexores permiten flexionar las falanges, es decir, cerrar la mano; de hecho, también

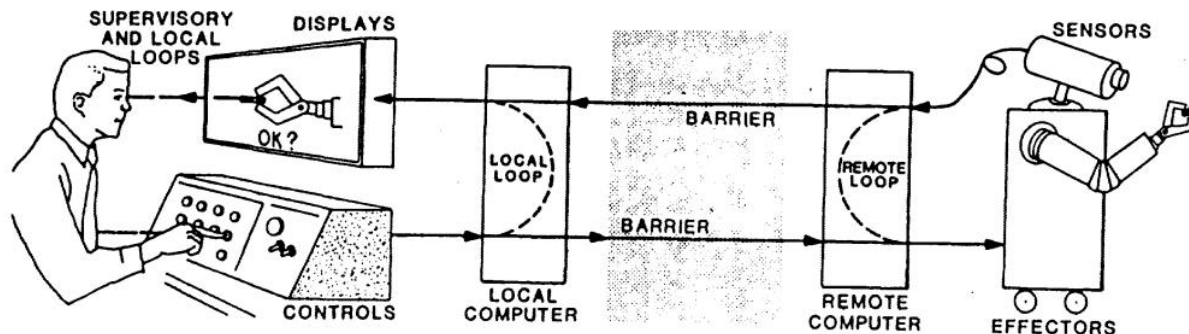
se involucran en la fuerza de agarre de la mano (Vaskovic, 2023). Ahora bien, la articulación de la muñeca también llamada radiocarpiana, tiene 2 GDL pues gracias a los flexores y extensores puede realizar movimientos de flexión a  $50^\circ$  y extensión a  $30^\circ$ , y de abducción y aducción lateral con un rango de movimiento de entre  $10^\circ$  a  $30^\circ$  (Serrano, 2023).

#### 4.1.2.1.2 Ítem Características Funcionales de los Brazos Robóticos Humanoides.

Como menciona Yoshida (2019), las características funcionales del robot humanoide incluye la interacción eficiente con el humano, donde mientras más natural sea esta comunicación mejor para una buena interacción, es por ello que hay diversos métodos de interacción que pueden funcionar para un brazo robótico. Uno de estos métodos es el control directo, mejor conocido como teleoperación, donde una persona por medio de un dispositivo, que puede ser un control remoto, una pantalla táctil, un teclado, entre otros; envía instrucciones o comandos al brazo robótico para que realice determinada acción o reciba cierta información (Nuño, 2004) (ver Figura 15). En la teleoperación, la persona que tiene el dispositivo de manejo se conoce como operador, lo cual facilita el control de los movimientos del brazo robótico, pero a su vez lo hace completamente dependiente del operador para funcionar.

**Figura 15**

*Sistema de Interacción Humano-Robot por Teleoperación*



Fuente: *Teleoperación de Robots: Técnicas, Aplicaciones, Entorno Sensorial y Teleoperación Inteligente* de Nuño (2004).

Asimismo, está el método por comunicación explícita que busca ser similar a la interacción natural de dos personas, esta consiste en usar la voz o el texto explícito como medio para dar las instrucciones al brazo robótico, esta entrada pasa por un proceso de reconocimiento, luego pasa por un proceso de interpretación donde busca saber que se le está queriendo indicar, y por último realiza las acciones indicadas, ya sea por movimientos o una respuesta hablada (Sidorov et al., 2014). Este tipo de interacción humano-robot es de las más complejas, ya que aplica muchos modelos de IA para los procesos de reconocimiento e interpretación.

Por último, existe el método por imitación de movimientos humanos, donde el robot (en este caso el brazo robótico) cuenta con algún sensor de percepción del entorno y con alguna herramienta de visión artificial que le permita ver los movimientos o gestos que hace la persona en el espacio, luego se detectan los puntos clave del cuerpo de la persona como sus articulaciones para analizar los movimientos realizados que serían las instrucciones que debe seguir el brazo robótico, por lo que este imita los movimientos o comportamientos realizados por la persona (Jiménez et al., 2013) (ver Figura 16).

Este es uno de los métodos más empleados por su naturalidad, aunque requiere de buenos modelos de visión artificial para obtener resultados precisos. El uso de la visión artificial le permite tener la capacidad de aprendizaje por imitación, es decir, el brazo robótico puede aprender determinados comportamientos viendo como los realiza una persona, este aprendizaje del robot es a través de un entrenamiento constante que puede llevar bastante tiempo (Gavilán, 2022) (ver Figura 16).

**Figura 16**

*Sistema de Interacción Humano-Robot por Imitación*



Fuente: *Control de movimiento de un robot humanoide por medio de visión de máquina y réplica de movimientos humanos* de Jiménez et al. (2013).

Por otra parte, otra característica funcional de los brazos robóticos mencionada por Yoshida (2019), es mantener la seguridad de interacción con los humanos, que este no represente ningún peligro para las personas, para ello hay dos partes claves de esta seguridad las cuales son seguridad de diseño y seguridad activa (SICK, 2022). Dentro de la seguridad de diseño se asegura dentro del desarrollo del brazo robótico que no tenga partes que puedan afectar a las personas, como bordes filosos y un diseño agradable. Asimismo, la seguridad activa que incluye establecer límites de movimientos y de la velocidad de los mismos, manejar los posibles errores y durante la aplicación del brazo robótico realizar monitoreos. Aunque no hay normas internacionales de seguridad para robots humanoides, si hay para robots industriales que colaboran con los humanos como la ISO/TS 15066:2016, la ISO 10218-1:2025 y la ISO 10218-2:2025 (SICK, 2022).

**4.1.2.2 Indicador Partes de un Brazo Robótico: articulaciones, mecanismos de transmisión, actuadores y controladores.**

**Tabla 6**

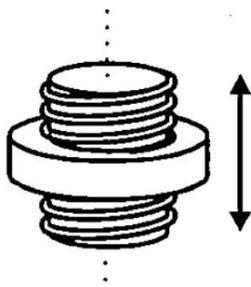
*Revisión Documental e Ítems del Indicador Partes de un Brazo Robótico*

Ítems / Aspectos a Analizar	Revisión Documental
3 Articulaciones del Brazo Robótico Humanoide	Barrientos, A., Peñín, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (1997). <i>Fundamentos de Robótica</i>
4 Mecanismos de Transmisión de Movimientos para el Brazo Robótico Humanoide	Pulido, A. (s.f.). <i>Mecanismos de transmisión del movimiento</i> . Sadi Transmisiones S.L. (s.f.). <i>Mecanismos de transmisión</i> .
5 Actuadores del Brazo Robótico Humanoide	Zabala, G. (2007). <i>Robótica</i> .
6 Controladores para el funcionamiento del Brazo Robótico Humanoide	Last Minute Engineers. (s.f.). <i>ESP32 Pinout Reference</i> . Raspberry Pi. (s.f.). <i>Software de Raspberry Pi</i> .

Nota: se muestra los ítems a analizar de las fuentes confiables. Fuente: Elaboración Propia.

**4.1.2.2.1 Ítem Articulaciones del Brazo Robótico Humanoide.**

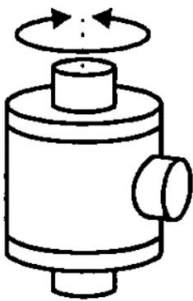
Hay diversas articulaciones robóticas unas con movimiento combinados o únicos de desplazamiento y de rotación, como menciona Barrientos et al. (1997) (ver Figura 4), una de ellas es la articulación tipo tornillo que tiene 1 GDL, esta consiste en un tornillo que se atornilla o gira en una base parecida a una tuerca, se trata de una articulación muy fuerte que produce un movimiento lineal a una velocidad estable (ver Figura 17).

**Figura 17***Articulación de Tipo Tornillo*

**Tornillo**  
(1 GDL)

Fuente: *Fundamentos de Robótica* por Barrientos et al. (1997).

También está la articulación de tipo rotación, la cual tiene 1 GDL, y produce un movimiento de giro en un mismo eje como cuando se gira la perilla de una puerta (ver Figura 18). Por último, otra de estas articulaciones es la esférica, que tienen hasta 3 GDL, pues permiten el movimiento a distintas direcciones desde un mismo punto, es de las articulaciones más complejas de controlar y emplear, pero también de las más eficientes (ver Figura 19).

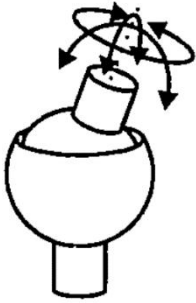
**Figura 18***Articulación de Tipo Rotación*

**Rotación**  
(1 GDL)

Fuente: *Fundamentos de Robótica* por Barrientos et al. (1997).

**Figura 19**

*Articulación de Tipo Esférica*



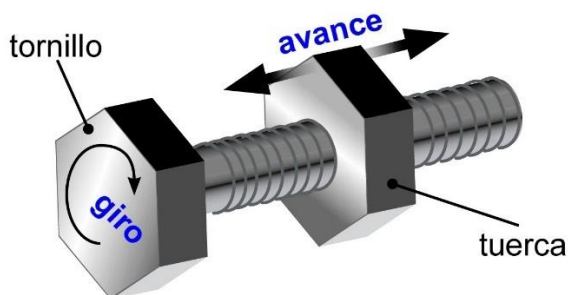
**Esférica o Rótula**  
(3 GDL)

Fuente: *Fundamentos de Robótica* por Barrientos et al. (1997).

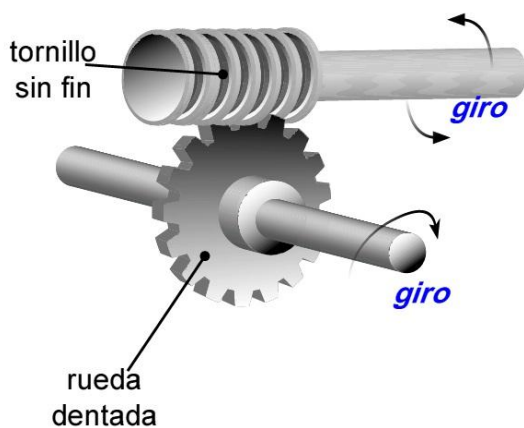
#### ***4.1.2.2 Ítem Mecanismos de Transmisión de Movimientos para el Brazo Robótico***

##### ***Humanoide.***

Teniendo en cuenta las articulaciones del brazo robótico, es importante identificar los mecanismos de transmisión ideales para el movimiento que se quiere generar, ya sea lineal o circular (Sadi Transmisiones S.L., s.f.). Uno de estos mecanismos es el de tornillo tuerca, que consiste en pasar un movimiento circular a lineal, pues el tornillo gira en el eje de la tuerca, dependiendo del tamaño y la cantidad de rosca es la velocidad con la que se da el movimiento, este está presente en elementos como: el gato mecánico, el compás, entre otros.

**Figura 20***Mecanismo de Tornillo-Tuerca*Fuente: *Mecanismos* por Lozano y Soria (2011).

Otro mecanismo es el tornillo sinfín, el cual consiste en un tornillo helicoidal y un engranaje helicoidal, la rosca del tornillo se va enroscando en los dientes del engranaje, donde para avanzar un solo diente el tornillo tiene que dar la vuelta completa (Pulido, s.f.). Este mecanismo de movimiento trae mucha fuerza de torque, y se ve en elementos como instrumentos musicales, juguetes, entre otros.

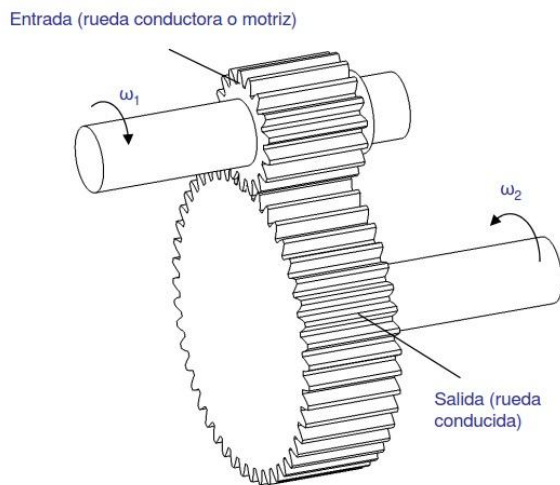
**Figura 21***Mecanismo de Tornillo Sinfín*Fuente: *Mecanismos* por Lozano y Soria (2011).

Asimismo, los engranajes son ruedas con una hilera de dientes en su extremo, estos dientes pueden ser rectos o helicoidales, el mecanismo del tren de engranajes consiste en que dos

o más engranajes se acoplan entre sí surgiendo un movimiento circular con mucha potencia con el que se puede aumentar o reducir la velocidad dependiendo de la cantidad de dientes y del tamaño de los engranajes (Pulido, s.f.). Otro mecanismo es el de transmisión por carrete, que consiste en una rueda como un carrete que enrolla y desenrolla una cuerda o hilo, lo cual tensa y afloja los extremos de la cuerda, lo que permite controlar movimientos bidireccionales; este está presente en elementos como el carrete de pesca y para tensar cables eléctricos.

### Figura 22

#### *Mecanismo de Tren de Engranajes*



Fuente: *Cinemática y Dinámica de Máquinas. VI.1 Introducción a los engranajes* por Sancibrián y De Juan (s.f.).

#### **4.1.2.2.3 Ítem Actuadores del Brazo Robótico Humanoide.**

Los actuadores que dan movimiento al brazo robótico, se diferencian entre sí principalmente por su fuerza de torque, velocidad, y control. Algunos de estos son: el motor DC, el cual consiste en una bobina de alambre que gira alrededor de unos imanes y esto crea un campo magnético que hace que gire continuamente (Zabala, 2007), su torque depende de su

velocidad pues si esta es baja el torque es alto y viceversa, además, no se tiene un control como tal del giro.

A diferencia de los motores DC, los motores paso a paso se componen de un imán y varias bobinas que permiten el giro activando esas bobinas una tras otra, estos sí pueden estar en una posición específica, por lo que hay más control de giro, aunque suelen ser más lentos (Zabala, 2007). Por otra parte, los servomotores se componen de un motor, un circuito eléctrico, y un potenciómetro; estos giran hasta que el potenciómetro detecta que llega a una determinada posición y envía una señal para detener el motor, generalmente tienen un rango de movimiento de hasta 180°, por lo que hay un control total de su posición y tienen una fuerza de torque alta.

#### ***4.1.2.2.4 Ítem Controladores para el funcionamiento del Brazo Robótico Humanoide.***

Para controlar el funcionamiento de un brazo robótico se pueden emplear tanto microcontroladores como microordenadores, todo depende del consumo de recursos que requiera el programa y los modelos de inteligencia artificial. En el caso de microcontrolador una de las mejores opciones para un brazo robótico es el ESP32 (ver Figura 5), pues tiene gran capacidad gracias a su procesador de dos núcleos que permite realizar varias tareas a la vez, estos pueden tener de hasta 38 pines que incluye pines I2C (Last Minute Engineers, s.f.), además, es compatible para ser programado en Arduino IDE.

Por otra parte, las opciones más recomendadas de microordenadores es el Raspberry Pi 5 (ver Figura 6), que cuenta con 8GB de memoria RAM y un procesador de cuatro núcleos, que le permite un gran procesamiento y buen rendimiento, lo que lo hace ideal para procesar modelos de IA complejos como los de visión artificial a tiempo real; en la memoria SSD que trae la Raspberry se instala su sistema operativo que se llama Raspberry Pi OS (Raspberry Pi, s.f.), el

cual es compatible con muchas herramientas y entornos de desarrollo para la programación del brazo robótico.

#### ***4.1.3 Objetivo Específico 3. Identificar los principios de la innovación social requeridos en la Universidad Valle del Momboy para implementarlos en el desarrollo de un brazo robótico***

En este último objetivo se analiza como dimensión los principios de la innovación social, los cuales permiten evaluar el estado de la creatividad, la inclusividad, el impacto social y la sostenibilidad dentro de la UVM, para fomentar estos principios en el desarrollo del brazo robótico, cosa que es muy necesaria para lograr ese enlazamiento entre el desarrollo tecnológico, social y sustentable dentro de los proyectos tecnológicos de la comunidad universitaria.

##### ***4.1.3.1 Indicador Creatividad e Inclusividad.***

**Tabla 7**

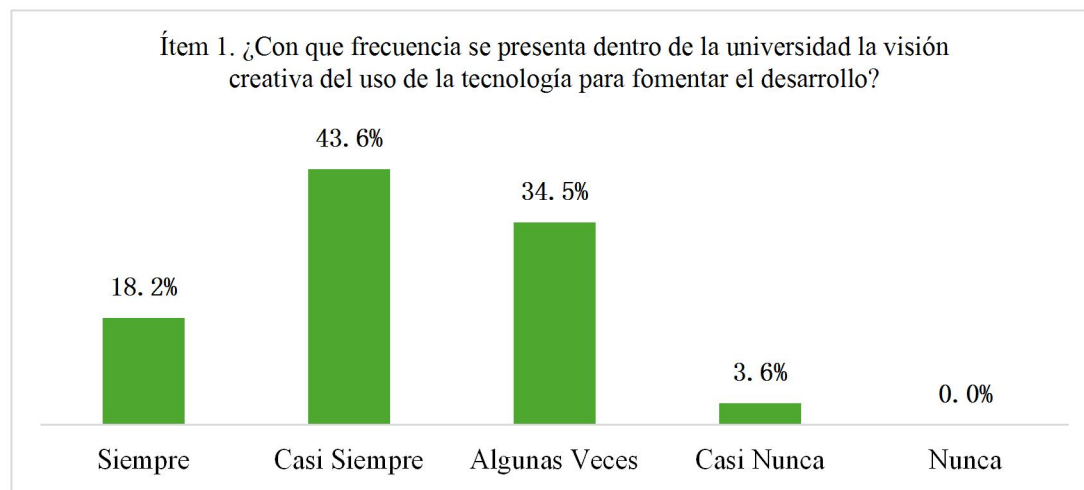
*Ítems del Indicador Creatividad e Inclusividad.*

Opciones	Ítem 1. ¿Con que frecuencia se presenta dentro de la universidad la visión creativa del uso de la tecnología para fomentar el desarrollo?		Ítem 2. ¿Con que frecuencia se fomenta a los miembros de la comunidad universitaria la inclusión de la innovación social en el desarrollo de tecnologías?	
	fi	%	fi	%
Siempre	10	18,2%	7	12,7%
Casi Siempre	24	43,6%	17	30,9%
Algunas Veces	19	34,5%	11	20%
Casi Nunca	2	3,6%	19	34,5%
Nunca	0	0%	1	1,8%
TOTAL	55	100%	55	100%

Nota: Se presenta la frecuencia absoluta y relativa porcentual de los ítems correspondientes al indicador de creatividad e inclusividad. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 23**

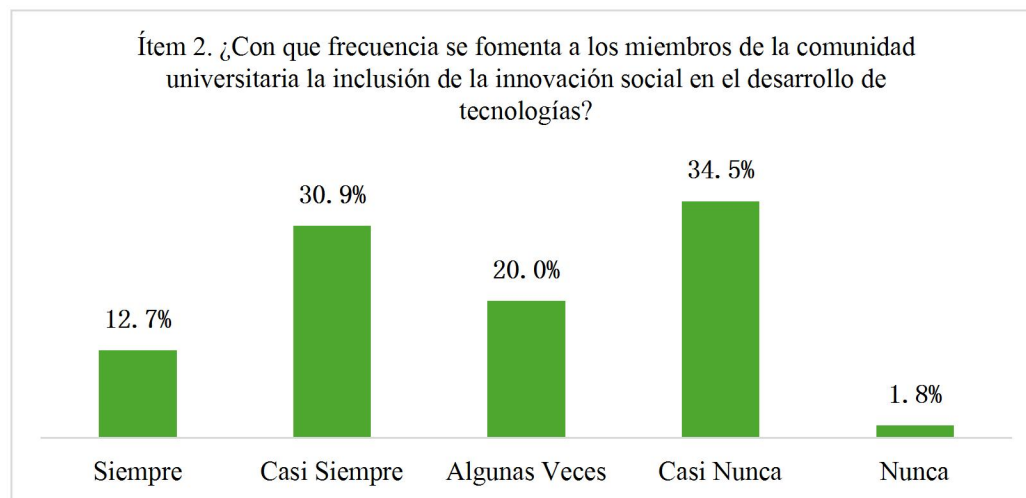
*Gráfico de Resultados del Ítem 1 del Indicador Creatividad e Inclusividad*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 24**

*Gráfico de Resultados del Ítem 2 del Indicador Creatividad e Inclusividad*



Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados muestran en el primer ítem enfocado en la visión creativa del uso de la tecnología (ver Tabla 7 y Figura 23), que la mayoría con un 43,6% mencionando que casi siempre y un 18,2% siempre indican que sí se presenta dentro de la universidad, sin embargo, el 34,5% de estudiantes que indican solo algunas veces y el 3,6% indican que casi nunca perciben

que se presente tanto. Esto muestra que sí se fomentan y se presentan esos pensamientos creativos, pero no se perciben constantemente dentro de la universidad.

En este segundo ítem (ver Tabla 7 y Figura 24) el 20% se dice que algunas veces se fomenta a los miembros de la comunidad universitaria la inclusión de la innovación social en el desarrollo de tecnologías; sin embargo, se ve algo interesante, pues el 34,5% de los encuestados dicen que casi nunca y el 1,8% que nunca se fomenta, pero el 30,9% dicen que casi siempre y el 12,7% que siempre se fomenta, esto indica opiniones divididas donde no toda la comunidad universitaria percibe ese fomento, quizás un grupo tiene mayor acceso a la inclusión de la innovación social a comparación de otros.

#### ***4.1.3.2 Indicador Sostenibilidad e Impacto Social.***

**Tabla 8**

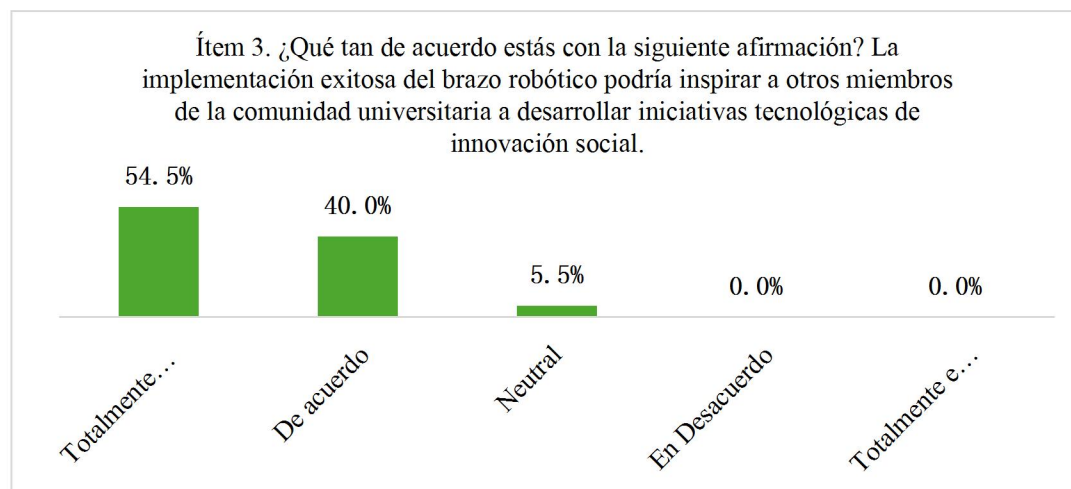
*Ítems del Indicador Sostenibilidad e Impacto Social*

Opciones	Ítem 3. ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? La implementación exitosa del brazo robótico podría inspirar a otros miembros de la comunidad universitaria a desarrollar iniciativas tecnológicas de innovación social.		Ítem 4. ¿Qué tan de acuerdo estás con la siguiente afirmación? El proyecto de un brazo robótico humanoide demuestra el compromiso de la universidad con la utilización de la tecnología para generar un impacto social positivo y sostenible.	
	fi	%	fi	%
Totalmente De acuerdo	30	54,5%	40	72,7%
De acuerdo	22	40%	11	20%
Neutral	3	5,5%	2	3,6%
En Desacuerdo	0	0%	2	3,6%
Totalmente en Desacuerdo	0	0%	0	0%
TOTAL	55	100%	55	100%

Nota: Se presenta la frecuencia absoluta y relativa porcentual de los ítems correspondientes al indicador de sostenibilidad e impacto social. Fuente: Elaboración Propia.

### Figura 25

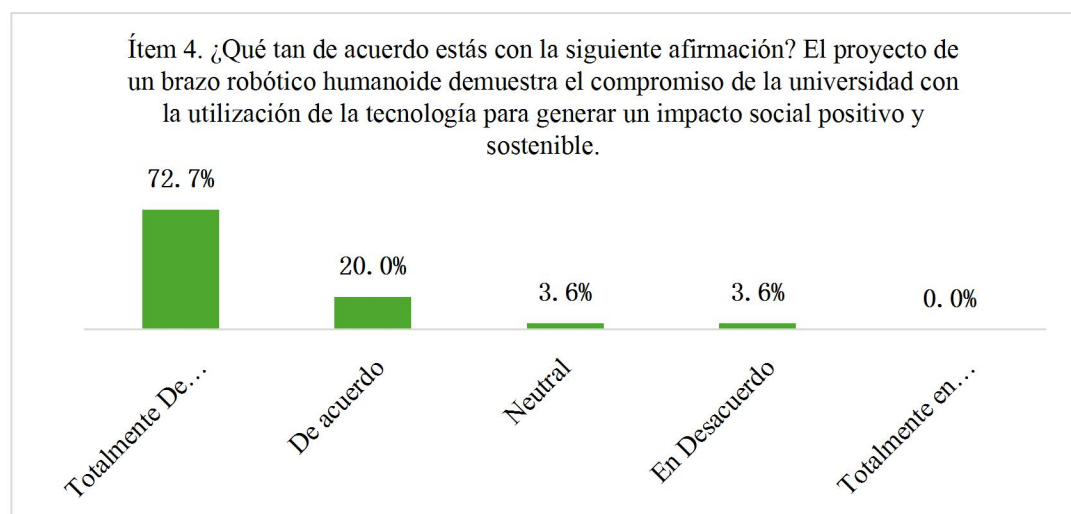
Gráfico de Resultados del Ítem 3 del Indicador Sostenibilidad e Impacto Social



Fuente: Elaboración Propia.

### Figura 26

Gráfico de Resultados del Ítem 4 del Indicador Sostenibilidad e Impacto Social



Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados para el tercer ítem (ver Tabla 8 y Figura 25) fueron muy buenos, ya que solo un 5,5% se mantuvo neutral, pero más de la mitad de los encuestados (54,5%) indican que están totalmente de acuerdo y el 40% que están de acuerdo, lo que sumando sería un 94,5% de

los estudiantes concuerdan con que este proyecto puede dejar como impacto inspirar a otros miembros de la comunidad universitaria a desarrollar iniciativas tecnológicas de innovación social. A su vez, el cuarto ítem (ver Tabla 8 y Figura 26) solo el 3,6% no estuvo de acuerdo con la afirmación y otro 3,6% se mantuvo neutral, sin embargo, el 72,2% de los estudiantes encuestados están totalmente de acuerdo y el 20% de acuerdo con que esta investigación es una evidencia del compromiso de la UVM con el uso de la tecnología para un beneficio social y sostenible.

## **4.2 Discusión de Hallazgos**

### ***4.2.1 Justificación y Relación de los Hallazgos del Primer Objetivo con los Antecedentes y las Bases Teóricas de la Investigación***

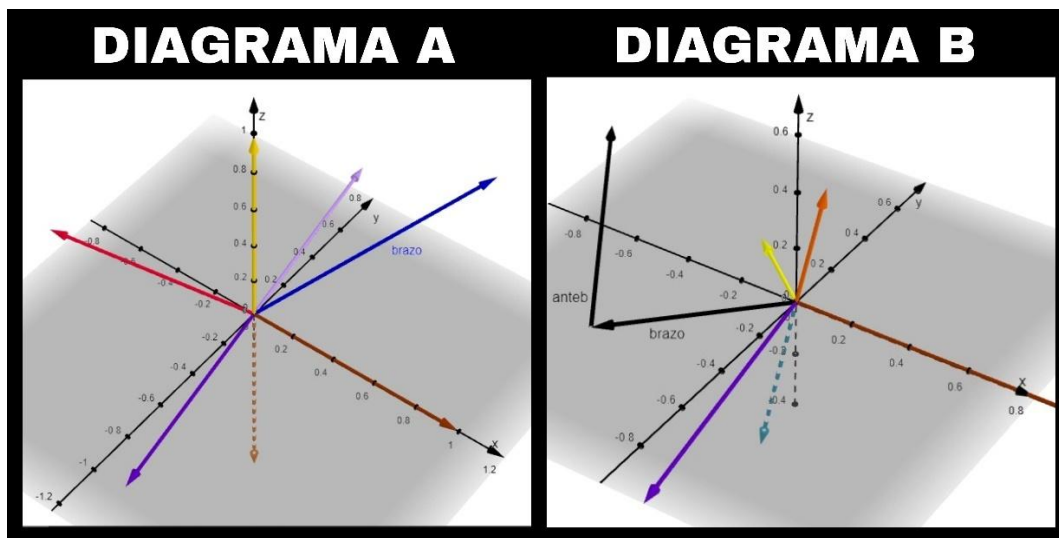
Los hallazgos presentados reflejan la amplitud que conlleva el desarrollo de un brazo robótico y todo lo que hay que tomar en consideración para que este sea lo más parecido posible al humano, no solo físicamente sino también en la forma en la que se relaciona con su entorno. Iniciando por el primer objetivo, en el análisis de resultados se resaltó la idea de que el brazo robótico tenga capacidades de percepción visual que le permita reconocer a las personas a su alrededor.

Es por ello que, por medio de la visión artificial, se busca obtener las coordenadas de la posición deseada para el brazo robótico y en base a ellas hallar los ángulos de cada articulación, desde la base (en este caso el hombro) hasta el extremo final (las manos), puesto que es una cadena de movimientos donde la posición resultante de uno depende de la posición de la articulación anterior, por tanto se aplicará para el cálculo de estos movimiento el principio de la cinemática inversa que explica el proceso de cálculo en este caso.

Como metodología para el cálculo de cinemática se aplicará el análisis geométrico que incluye el cálculo vectorial, pues de forma resumida se analiza lo siguiente: cada segmento del brazo será representado por vectores, estos vectores se clasificarán en referenciales (vector hombro a hombro, vector hombro a cadera, entre otros) y móviles (vector hombro a codo, vector codo a muñeca), donde los vectores móviles serán evaluados con respecto a los referenciales (ver Figura 27).

**Figura 27**

*Diagramas de los Vectores Móviles y de Referencia que Representan el Cuerpo*



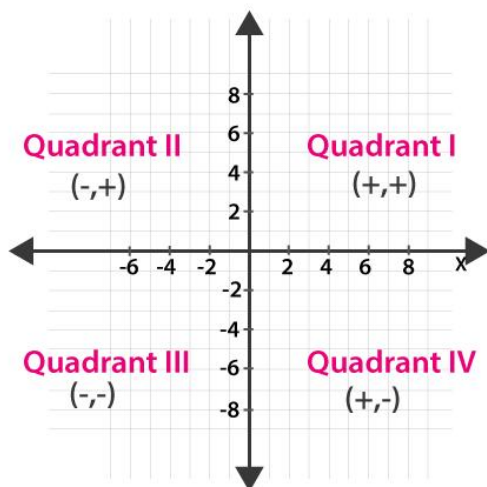
Fuente: Elaboración Propia.

Esta evaluación se llevará a cabo por medio de funciones trigonométricas, por ejemplo, la ley de cosenos para conocer la flexión existente entre el antebrazo y el bíceps, y la arcotangente de dos variables que permite conocer el ángulo entre el punto “x, y” dado y el eje “x positivo” tomando en cuenta los cuatro cuadrantes del plano cartesiano (ver Figura 28), por lo que el ángulo resultante puede ir de  $180^\circ$  a  $-180^\circ$ . Con estos ángulos obtenidos se aplicará una conversión proporcional, es decir, el rango de ángulos posibles que se puede recibir como resultado en la evaluación, convertirlo al rango permitido por los actuadores del brazo robótico;

con esta conversión se busca en el rango permitido el ángulo equivalente al ángulo obtenido en la evaluación, en programación esto se conoce como mapeo lineal.

### Figura 28

*Cuatro Cuadrantes del Plano Cartesiano*

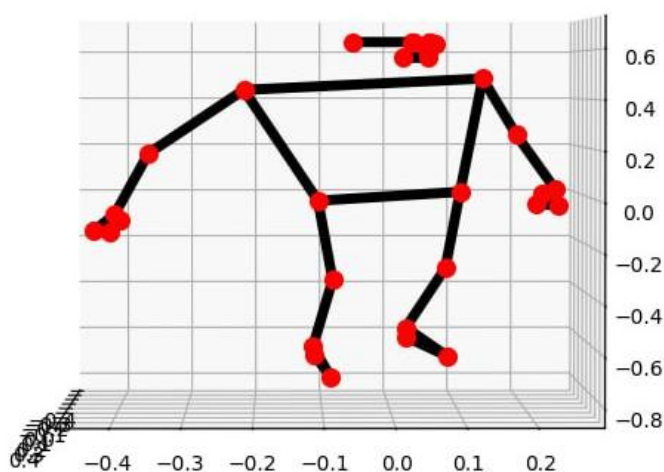


Fuente: *Coordinate Axes and Quadrants* de BYJU'S (s.f.).

Por otro lado, la percepción visual que se quiere para el brazo robótico requiere la capacidad de interpretar un espacio en 3D e identificar los puntos principales del cuerpo como cada articulación del brazo y otros como las caderas o el torso que sirven de referencia para los cálculos ya descritos. Es por ello, que se considera el uso de Mediapipe Solutions, específicamente el Mediapipe Holistic (ver Figura 29), ya que incluye los resultados de Mediapipe Pose (puntos del cuerpo) en el plano 3D (x, y, z) y los de Mediapipe Hands (puntos de ambas manos); junto con el uso de OpenCV para el procesamiento de video a tiempo real en la visión artificial. Además, este es un proyecto escalable, abierto a futuras mejoras y nuevas funcionalidades, por lo que Mediapipe al incluir modelos de detección de objetos, reconocimiento de gestos, segmentos entrenados y otras funciones, se convierte en la mejor opción para permitir esa escalabilidad.

**Figura 29**

*Gráfica 3D de los Puntos del Cuerpo Identificados por Mediapipe Holistic*



Fuente: Elaboración Propia.

De hecho, de todos los lenguajes con los que se puede trabajar Mediapipe, es Python el que tiene compatibilidad con casi todos los modelos disponibles, además de que es el lenguaje más práctico, flexible y de buen rendimiento para trabajar proyectos robóticos que incluyan modelos de IA, y cuenta con disponibilidad de muchas otras librerías que pueden servir para cualquier funcionalidad que requiera el proyecto, por ejemplo, también tiene compatibilidad con la librería NumPy que permite realizar los cálculos vectoriales y trigonométricos complejos para la cinemática. Tomando en cuenta el tiempo de desarrollo del brazo robótico, las posibles complicaciones y las ventajas de Python, hace de este el lenguaje ideal para trabajar la percepción visual de este proyecto.

Sin embargo, no es la mejor opción para manejar el control del hardware del brazo robótico, por lo que se considera el uso de un segundo lenguaje para esta función, de todas las opciones analizadas en la presentación de resultados, es C++ el ideal gracias a que permite un control más directo, rápido y eficiente, lo cual es necesario para las respuestas de movimiento a

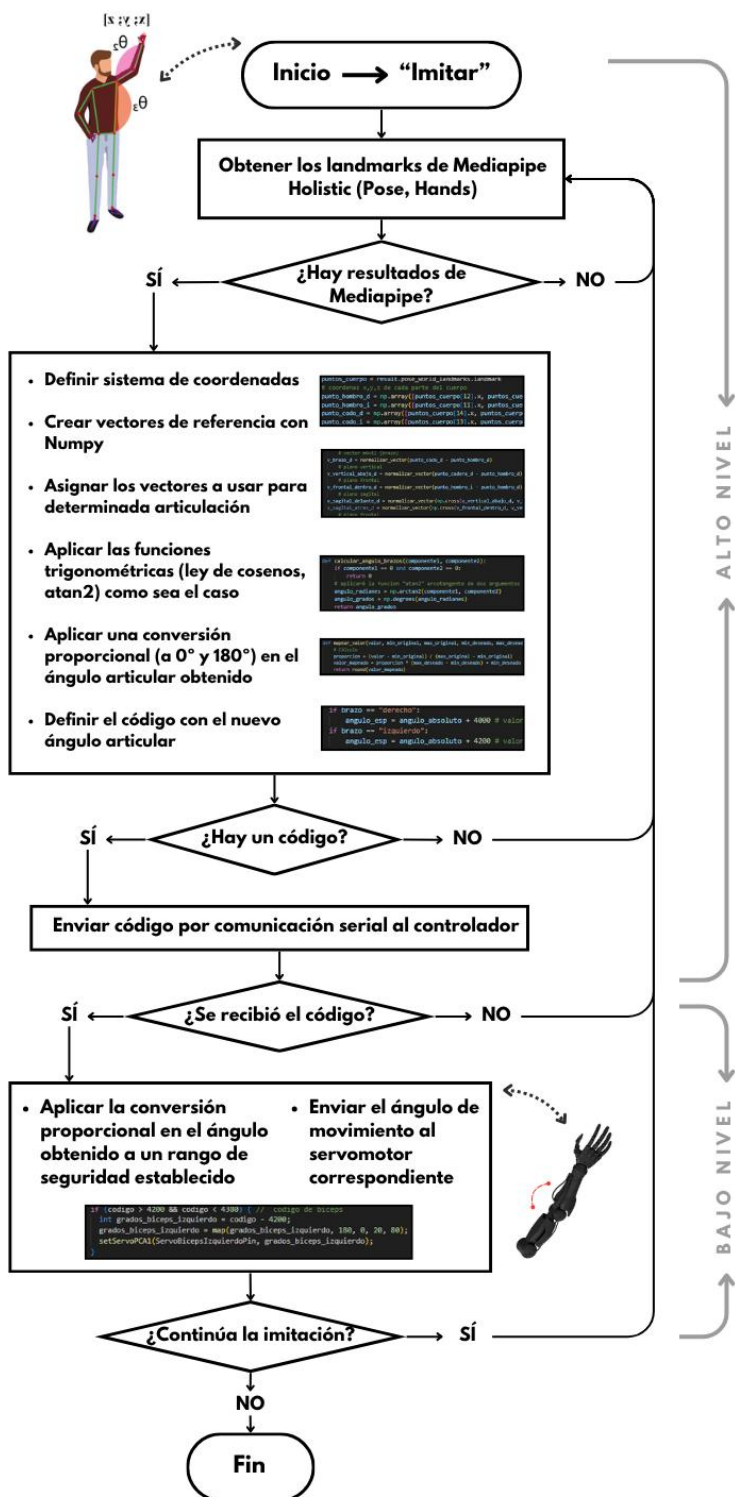
tiempo real que debe realizar el brazo robótico; además, Arduino IDE está hecho para ejecutarse en este lenguaje, lo que evitará problemas de compatibilidad y ofrecerá distintas librerías para el control de movimientos y de elementos específicos.

Considerando todo lo anterior, se seguirá el algoritmo de dos niveles analizado en la presentación de resultados, este consistirá en un alto nivel programado con Python donde se encuentra el procesamiento de video a tiempo real, también se ejecuta la visión artificial con Mediapipe Holistic, y allí se analiza cada punto recibido en coordenadas, con las que luego con NumPy comenzará el cálculo cinemático aplicando el análisis geométrico, y luego se enviará por comunicación serial el código al microcontrolador (ver Figura 30).

En el bajo nivel, programado con C++ se le indica al microcontrolador como manejar ese código, es decir, a que actuador enviará las señales, a cuanto le indicará que se mueva, cada cuanto enviará la señal, y si debe o no hacerlo dependiendo de respectivos límites de seguridad, en resumen, implica todo el manejo del hardware del brazo robótico (ver Figura 30). Este algoritmo optimiza el funcionamiento del brazo robótico, ya que al ser tareas separadas deja al alto nivel ejecutando la parte más pesada (los modelos de inteligencia artificial) y permite al microcontrolador en el bajo nivel centrarse en la ejecución de movimientos a tiempo real.

Figura 30

Diagrama de Flujo General del Algoritmo de la Programación del Brazo Robótico



Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados coinciden con hallazgos de antecedentes como el proyecto de Astudillo y Dueñas (2024), que refleja la eficiencia en el uso de la visión artificial para el escaneo de los movimientos del brazo de una persona para traducirlos al movimiento de un robot industrial, usando también Mediapipe para este proceso, relacionando cada articulación del brazo humano con una articulación del robot.

También, el proyecto de Astudillo y Dueñas (2024) valida en sus resultados la aplicación de la cinemática inversa para transformar esas coordenadas de posición que se escanea del humano a los ángulos de cada articulación del robot industrial, usando las relaciones trigonométricas. A su vez, el proyecto realizado por Reynoso (2021) confirma en sus resultados que C++ es el lenguaje ideal para el control de los actuadores del robot, pues en la programación de su mano robótica en Arduino IDE con C++ logró establecer la posición angular que necesitaba en las articulaciones y enviar las señales a tiempo real que indican el ángulo nuevo de la posición del actuador.

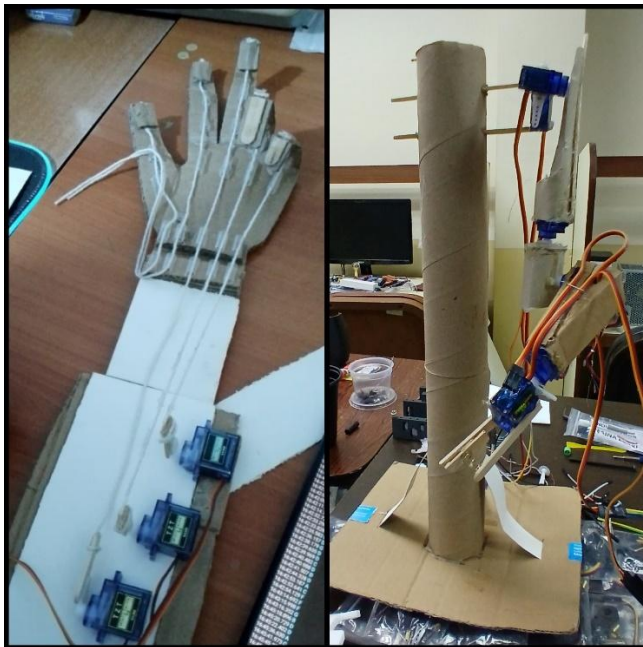
#### ***4.2.2 Justificación y Relación de los Hallazgos del Segundo Objetivo con los Antecedentes y las Bases Teóricas de la Investigación***

Continuando con el segundo objetivo, en el análisis de resultados se presentó de forma general la anatomía de un brazo humano rescatando los movimientos posibles de cada articulación, por lo que al buscar esta similitud con el humano se va a respetar el funcionamiento de estas articulaciones, pero con ciertas modificaciones convenientes para el diseño y la ejecución en un tiempo limitado. Comenzando por el hombro, esta es la articulación más compleja con tres ejes de movimiento: flexión-extensión, aducción-abducción, y rotación externa-interna, los cuales se van mantener en el diseño para garantizar un mayor rango de movimiento del brazo desde su base (ver Figura 31).

En cuanto a los movimientos del antebrazo, en la articulación del codo va a permanecer la flexión-extensión desde el bíceps, excluyendo el movimiento de rotación, ya que allí se ubica la unión entre el antebrazo y el húmero, y este punto requiere mayor rigidez en la estructura del brazo pues va a soportar el peso del antebrazo y la mano, lo que al agregar un eje la rotación podría debilitar este punto de unión (ver Figura 31). En la articulación de la muñeca se situará un movimiento de rotación, para compensar su falta en el antebrazo, y se excluirá su eje de movimiento de aducción-abducción que actualmente en el diseño no son necesarios, pero se mantiene la posibilidad de incluir el eje de movimiento de flexión-extensión para futuras mejoras del actual proyecto. Por último, en el diseño de la mano se mantiene el uso de cinco dedos, cada uno con la capacidad de movimiento de flexión-extensión (ver Figura 31).

### **Figura 31**

*Primer Prototipo de la Mano y Brazo Robótica*



Fuente: Elaboración Propia.

Por otra parte, también se presentó las funcionalidades que pueden acercar al brazo robótico más al humano, como la interacción con él. En este proyecto como se ha ido

mencionando se aplicará como medio de interacción principal la imitación explícita de la persona con una cámara como sensor del entorno y herramientas de visión artificial que puedan identificar a las personas y comprender el entorno (ver Figura 32), ya que para el desarrollo de un brazo robótico humanoide la imitación implicaría una interacción más natural e intuitiva para los usuarios. Sin embargo, se complementará con otros mecanismos de control secundarios como los comandos de voz con los que pueda activar funciones específicas y el control directo en caso de que no se pueda ejecutar la imitación ante ciertas circunstancias.

### **Figura 32**

#### *Primeras Pruebas de la Interacción por Imitación*



Fuente: Elaboración Propia.

Dentro del análisis de resultados se detalló los tipos de articulaciones posibles para el brazo robótico, de ellas se eligió la articulación de tipo tornillo para los movimientos lineales y la articulación de tipo rotación para los movimientos rotacionales. La articulación tipo tornillo se considera gracias a que ofrece mayor capacidad de carga, movimientos estables a la articulación

y permite aprovechar el torque generado por el actuador en mayor fuerza de movimiento lineal, los mecanismos elegidos para las articulaciones de este tipo son el tornillo sinfín (ver Figura 33), ya que tiene la capacidad de autobloquearse para que el actuador no ceda ante el peso; y el tornillo-tuerca (ver Figura 33), puesto que se puede controlar mejor la velocidad del movimiento dependiendo de la distancia del paso de rosca.

La articulación de tipo rotacional fue elegida gracias a su facilidad de empleo dentro del diseño y su estabilidad de movimiento rotacional, la cual permite soportar las cargas y mantener al brazo robótico estable, los mecanismos de transmisión considerados son el tren de engranajes ya que permiten transmitir el movimiento rotacional con mucha potencia, mayor fuerza de torque y a una velocidad controlada. Además, específicamente para el manejo de la articulación de los dedos de la mano robótica, se considera el mecanismo de carrete con hilos (ver Figura 33), puesto que transmite el movimiento dado por el actuador de forma controlada y puede hacerlo a distancia de la mano, además, tiene un mecanismo similar a la función de los tendones de la mano que permiten la flexión y extensión de los mismos dependiendo de la tensión que se ejerce en cada tendón.

### Figura 33

*Mecanismos de Transmisión de Movimientos Implementados en el Brazo Robótico*



Fuente: Elaboración Propia.

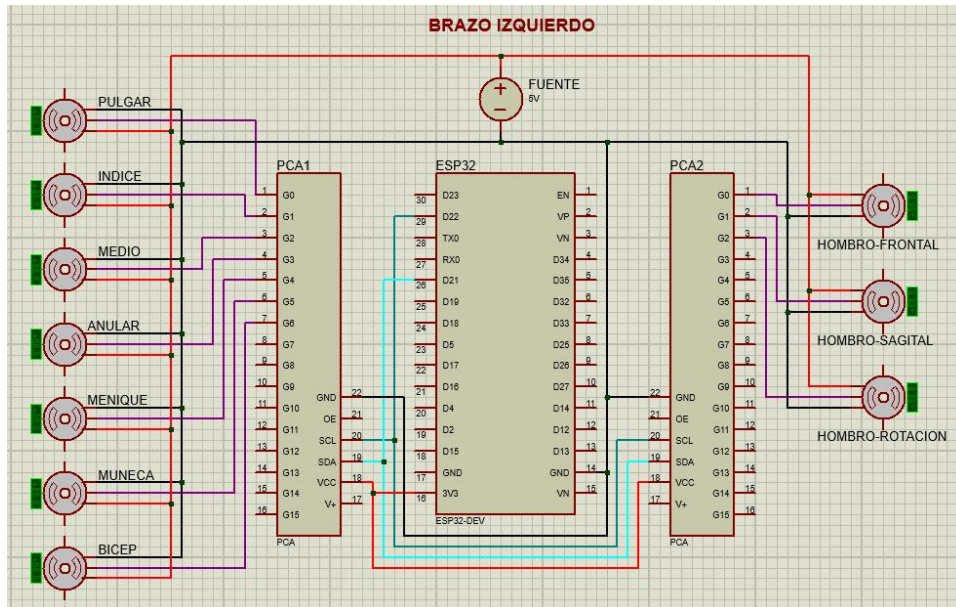
Con respecto a los actuadores para el brazo robótico, se eligen los servomotores porque a comparación de otros, estos son los que tienen mayor capacidad de un alto torque, necesario tomando en cuenta las cargas que llevará cada articulación. Además, en el brazo robótico se requiere mayor control del posicionamiento de las articulaciones, donde los motores DC necesitan un sensor que les indique la posición, y los motores paso a paso pierden ese control mientras mayor carga tengan; por lo tanto, el servomotor sigue siendo el ideal al contar con un potenciómetro, el cual al llegar a la posición deseada manda inmediatamente una señal para detener el motor.

De hecho, se busca para las articulaciones que soportaran mayor carga servomotores con alto torque de hasta 25 kgf\*cm, donde se considera usar los Hitec HS-805BB+; y para las cargas más livianas se requieren servomotores más pequeños, pero también potentes de hasta 10 kgf\*cm de torque, por lo que se toman en cuenta los MG996R.

En cuanto a los controladores, como ya se mencionó se trabajará con un algoritmo de dos niveles, para el control del nivel alto se considera el uso de un microordenador Raspberry Pi 5, pues gracias a su buen rendimiento y capacidad de procesamiento puede manejar los modelos de IA de Mediapipe Solutions y tiene compatibilidad con las herramientas de desarrollo de Python. Para el control del bajo nivel se considera el uso del microcontrolador ESP32 DEVKIT V1 principalmente por su capacidad de procesamiento de dos núcleos y su compatibilidad con Arduino IDE. Además, se considera por la inclusión de pines I2C (Inter-Integrated Circuit), ya que resuelve el problema de la limitación de los pines, pues los I2C son necesarios para integrar una placa expansora de servos (PCA9685) al brazo robótico por la gran cantidad de servomotores que incluye y que requieren un manejo eficiente (ver Figuras 34 y 35).

Figura 34

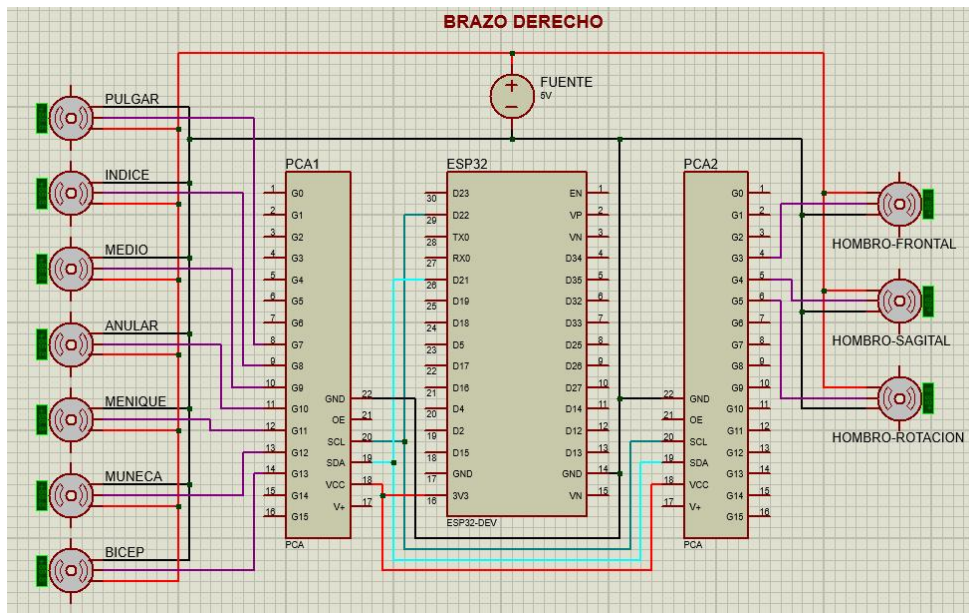
Diagrama Eléctrico del Brazo Robótico Izquierdo



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 35

Diagrama Eléctrico del Brazo Robótico Derecho



Fuente: Elaboración Propia.

Los hallazgos de este segundo objetivo se relacionan con los antecedentes, como el proyecto de Hernández et al. (2023) que destaca la importancia de analizar la anatomía humana para realizar un diseño funcional similar al del humano en la robótica humanoide. De hecho, el proyecto de Astudillo y Dueñas (2024) valida la interacción humano-robot por imitación, sus resultados señalan que este método permite una interacción sólida, más natural y que reduce los costos de la teleoperación. A su vez, el uso de la comunicación explícita como mecanismo secundario de interacción, es validado por el proyecto de Carrillo (2021) quien destaca en sus hallazgos que el uso de comandos de voz o modelos de habla permiten una interacción más fluida, a pesar de ser más complejos por el entrenamiento que requiere. La combinación de estos métodos permite que la interacción con el brazo robótico sea completa y cómoda para los usuarios.

Por otra parte, los resultados definidos sobre las partes de los brazos robóticos coinciden con los hallazgos de antecedentes como el proyecto de Reynoso (2021), que valida el uso del mecanismo de carrete con hilo para simular el funcionamiento de los tendones del cuerpo para dar movimiento a las manos. De hecho, el proyecto de Hernández et al. (2023) destaca la importancia de seleccionar los mecanismos ideales para lograr los movimientos fluidos y con un rango lo más completo posible, para lograr un equilibrio entre un diseño sin complicaciones y su similitud con el humano.

Asimismo, estos resultados tienen relación con la teoría mencionada, donde se destaca la división de tareas en la que el Raspberry Pi 5 gestiona la visión artificial y el cálculo cinemático, mientras que el bajo nivel es manejado por un microcontrolador ESP32. De hecho, el proyecto de Reynoso (2021) confirma la idea de dejarle al microcontrolador como única tarea el manejo del hardware, para evitar un consumo excesivo de recursos y mantener el control estable de los

actuadores. A su vez, el proyecto de Reynoso (2021) valida el uso de servomotores configurados en Arduino IDE para dar movimiento a las articulaciones del brazo robótico, pues se destaca un punto importante y es la capacidad de darle una posición angular inicial a los servomotores, además de que gracias a su alto torque da fluides y precisión en los movimientos.

#### ***4.2.3 Justificación y Relación de los Hallazgos del Tercer Objetivo con los Antecedentes y las Bases Teóricas de la Investigación***

Culminando con el tercer objetivo, los hallazgos obtenidos de los principios de creatividad e inclusividad de la innovación social, destaca que la creatividad se presenta dentro de la UVM y que para continuar fomentando este principio se destina también este proyecto a los estudiantes para que fortalezcan el pensamiento creativo, lo cual se relaciona con la teoría de Mulgan et al. (2007) que menciona como la creatividad surge de la inspiración por proyectos de otras personas. Sin embargo, no toda la comunidad universitaria percibe la inclusividad en los proyectos tecnológicos, por lo que la UVM ha de incluir más proyectos tecnológicos inclusivos siendo el brazo robótico uno de ellos, ya que se busca que este tenga accesibilidad equitativa para toda la comunidad universitaria.

A su vez, los resultados del principio de sostenibilidad e impacto social, se destaca la percepción positiva que tienen los estudiantes con el desarrollo de un brazo robótico humanoide, pues lo consideran un proyecto inspirador no solo para la comunidad universidad, sino también muy posiblemente para la sociedad, por lo que, el proyecto refleja el compromiso de la UVM con la sostenibilidad y promueve su posicionamiento como un ente del desarrollo tecnológico de la región. Esto se relaciona con la teoría de Vargas-Merino (2021), quien resalta que dentro de la innovación social las instituciones tienen el importante papel de promover proyectos que garanticen un impacto social positivo y sostenible.

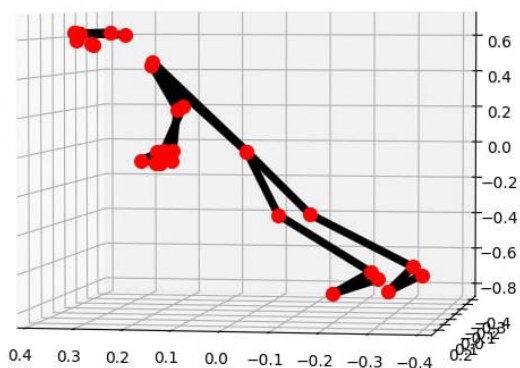
#### 4.2.4 Posibles Limitaciones en la Aplicación de los Hallazgos

La principal limitación de la aplicación de estos hallazgos es el uso de modelos preentrenados sin un entrenamiento personalizado, ya que estos modelos sí ayuda mucho a la implementación rápida de Mediapipe Solutions y de hecho cuenta con la posibilidad de entrenamiento, sin embargo, por cuestiones de tiempo no se podría realizar y realmente lo ideal sería realizar ese entrenamiento personalizado dentro del entorno y junto con las personas con las que comúnmente trabajará, para tener mejores resultados y mayor aceptación en su espacio de trabajo.

Asimismo, otra limitación es el posible grado de imprecisión que tiene Mediapipe Solutions, pues a pesar de dar respuestas a tiempo real, tiene cierta impresión al proporcionar coordenadas del posicionamiento del cuerpo, además, al definir su eje Z no como un eje de profundidad métrica, sino que está definido por el distanciamiento de la cámara (ver Figura 36), puede generar imprecisión en la detección de la pose de la persona en este plano tridimensional. Estas posibles imprecisiones pueden generar errores en el cálculo de los ángulos articulares, lo que a su vez provocaría errores en la ejecución de los movimientos del brazo robótico.

**Figura 36**

*Problemática de la Detección de Puntos del Cuerpo en el Eje Z por Mediapipe*



Fuente: Elaboración Propia.

Como es un proyecto en desarrollo, el brazo robótico podría tener errores en diseño o software a lo largo de su desarrollo y también dentro de las pruebas del proyecto pueden surgir problemas que también retrasarían la ejecución, por lo que de nuevo el tiempo será un limitante para perfeccionar o corregir estos inconvenientes que vayan surgiendo a lo largo del proyecto.

### **4.3 Vinculación con Objetivos Institucionales del DHS**

Un brazo robótico desarrollado desde la perspectiva de la innovación social representa un proyecto que se alinea con cada uno de los objetivos institucionales del desarrollo humano sustentable (DHS). El DHS es una base primordial de la Universidad Valle del Momboy, ya que promueve su compromiso con el estado Trujillo en búsqueda de una mejora social aprovechando las tecnologías y la innovación existente hoy en día. De hecho, este proyecto demuestra el compromiso de la UVM con sus valores institucionales y sostenibles desde tres perspectivas: social, económico y ambiental.

En lo social, la comunidad universitaria reconoció el impacto positivo y sostenible del proyecto, al promover la creación de nuevas investigaciones que involucren la innovación social para mejorar la calidad de vida de las personas. Además, este brazo robótico es parte de un robot humanoide destinado a convertirse en un asistente para los estudiantes y profesores de la institución, es por eso que se resalta la Interacción Humano-Robot, donde se prioriza la interacción por imitación ya que es uno de los métodos más naturales y cómodos para las personas comunicarse.

En lo económico, dentro del proyecto se eligió como principales mecanismos de interacción la imitación y se realizó un diseño óptimo para la reducción de costos sin comprometer el funcionamiento ideal del brazo robótico. Además, al posicionar a la UVM como un ente de desarrollo tecnológico, se abren puertas a futuras inversiones y alianzas estratégicas

para la escalabilidad del proyecto. En cuanto a lo ambiental, esta investigación tiene la prioridad de ser responsable, funcional y escalable a lo largo del tiempo, ya que involucra y evalúa la sostenibilidad de la innovación social dentro de la UVM, buscando impactos positivos, asegurando el uso eficiente de los recursos y promoviendo proyectos que continúen aplicando estos valores institucionales.

A su vez, estos resultados obtenidos fortalecen los proyectos institucionales del DHS pues con la implementación de tecnología avanzada como la integración de visión artificial, el cálculo cinemático aplicando matemática avanzada, la programación de un algoritmo de dos niveles complementando dos lenguajes de programación, y el diseño mecánico y escalable del brazo robótico; demuestra que es posible desarrollar tecnología avanzada considerando no solo la eficiencia técnica y funcional, sino también su impacto social, accesibilidad y sostenibilidad, lo cual enriquece y eleva la formación de los estudiantes en relación al desarrollo sustentable.

Además, las limitaciones ya mencionadas del estado Trujillo con respecto al desarrollo tecnológico requiere iniciativas que extiendan el acceso a tecnologías avanzadas; siendo el brazo robótico humanoide una iniciativa para solucionar este contexto regional, demostrado por el 94,5% de estudiantes que ven el proyecto como un modelo de inspiración para futuras iniciativas que impacten positivamente en la región trujillana.

Como recomendaciones para fortalecer la vinculación con el DHS en base a los resultados obtenidos, se propone dentro de la UVM expandir este proyecto para que se añadan mejoras al diseño y funcionamiento del brazo robótico, así como la integración de la locomoción al robot humanoide completo. También se puede abrir un grupo de investigación destinado a la robótica social con el fin de continuar la integración de tecnologías avanzadas en el DHS, y a su vez, dar un espacio de laboratorio capacitado, para que este grupo de investigación y los

estudiantes de distintas carreras interesados en participar, colaboren en estos proyectos. Por último, se propone crear alianzas o convenios con instituciones, empresas tecnológicas y organizaciones comunitarias del estado Trujillo para amplificar el impacto del proyecto del robot humanoide.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

En conclusión, se presenta los principales resultados obtenidos de la presente investigación en cada uno de sus objetivos que responde a la pregunta general de la investigación.

Empezando por el primer objetivo:

1. La implementación del cálculo cinemático mediante el análisis geométrico y cálculo vectorial demostró ser un enfoque efectivo, con el uso de vectores referenciales y móviles para formar el sistema de coordenadas para el cálculo de las funciones articulares, y aplicando las funciones trigonométricas como la arcotangente de dos términos que permitió determinar con mayor precisión la orientación de cada segmento del brazo robótico en el espacio tridimensional. Sí es cierto que aplicando el cálculo cinemático por medio de las transformaciones homogéneas hubiese dado resultados más precisos, pero se consideró la complejidad del cálculo y el tiempo limitado.
2. De todos los hallazgos de visión artificial analizados fue el modelo de Mediapipe Holistic la solución más óptima para proyectos de robótica humanoide con recursos limitados. Al trabajar con ella fue de gran ayuda gracias a su capacidad de detectar 33 puntos de pose en coordenadas tridimensionales a tiempo real, su facilidad de uso y su compatibilidad con Python. A pesar de que su detección del eje Z se base en la distancia con la cámara, de que tenga un grado mínimo de imprecisión y de que no detecte los puntos de la mano en coordenadas tridimensionales; se encontró la manera de

trabajarlo buscando la mayor precisión posible, aplicando filtros dentro de la programación y evitando la producción de errores e imprecisión por saltos de coordenadas erróneas.

3. La aplicación de un algoritmo de dos niveles, permitió aprovechar las ventajas de cada lenguaje y una separación de tareas eficiente. El nivel alto mediante Python se encargó del procesamiento de la percepción visual y cálculo cinemático, se presentaron muchas versiones de prueba y error hasta encontrar el cálculo más preciso de los ángulos articulares. El bajo nivel mediante C++ en Arduino IDE para control de hardware del brazo robótico a tiempo real, donde por medio de la comunicación serial se recibieron los códigos de movimiento, y se incluyeron filtros para evitar señales de movimientos no deseados.

Por otra parte, se concluye del segundo objetivo:

1. La implementación de una interacción por imitación se validó que es la aproximación más natural e intuitiva entre el robot y las personas, esta interacción se complementó con otros mecanismos como el control directo y comandos de voz para proporcionar versatilidad operacional.
2. La decisión de equilibrar dentro del diseño la funcionalidad y la similitud humanoide tomando en cuenta la limitación de tiempo, de ciertos recursos, y la complejidad de algunos movimientos fue muy acertada, pues se logró un amplio rango de movimientos desde la base del brazo robótico gracias a que se mantuvo sus tres principales movimientos, e implementando la rotación del

antebrazo en la muñeca aseguró que no se excluyera por completo este movimiento.

3. La estructura hecha por impresión 3D con el filamento PLA, permite la adaptación del diseño, la ejecución rápida y contribuye a la sostenibilidad; a pesar de que su resistencia se vea afectada por la calidad de la pieza y del filamento.
4. El uso de articulaciones de tipo tornillo y de tipo rotación, con mecanismos de transmisión de movimiento como tornillo sinfín y tornillo-tuerca para el hombro y el codo, como el tren de engranajes para la muñeca, y como el carrete con hilos para los dedos; demostró ser estructuralmente sólido para soportar las cargas del brazo robótico (ver Anexo 5, 6 y 7).
5. Para dar movimiento, el uso de los servomotores MG996R funcionó muy bien para la flexión y extensión de los dedos, donde como hilos el usó de nylon que demostró ser resistente; y el uso de servomotores Hitec HS-805BB+ fue ideal para soportar las cargas del brazo robótico, aunque para lograr un amplio rango de movimiento se modificó este servomotor al extender su potenciómetro, para posicionarlo en el eje de movimiento de la articulación y así su giro es equivalente al rango completo de la articulación.

Por último, se concluye en el tercer objetivo:

1. Este proyecto demostró que es posible desarrollar tecnología avanzada en situaciones con ciertas limitaciones cuando se prioriza la creatividad, la inclusividad en el acceso, el impacto social positivo y la sostenibilidad a largo plazo.

2. Para fomentar la iniciativa de proyectos que continúen involucrando estos principios de innovación social, sobre todo la inclusividad que según los resultados es el punto débil de la universidad, se ha de crear oportunidades como este tipo de proyectos para inspirar a los estudiantes de la comunidad universitaria a perseverar y promover el desarrollo tecnológico (ver Anexo 8).

En fin, el brazo robótico humanoide desarrollado representa un proyecto escalable que se convierte en un punto de partida para futuras mejoras e implementaciones más complejas, donde se quiere dar la oportunidad de ser continuado, perfeccionado y adaptado a diferentes fines que busquen el desarrollo tecnológico con el bienestar común. En esta investigación se presenta todo su desarrollo y proceso que incluye su diseño y su programación tanto con los errores y desafíos encontrados como con aquellas soluciones implementadas, para que sea un antecedente valioso para proyectos afines.

## **5.2 Recomendaciones**

Con base en los hallazgos, conclusiones y limitaciones identificadas en el desarrollo del brazo robótico humanoide, se presentan las siguientes recomendaciones para mejorar la implementación del proyecto. Se recomienda a corto plazo establecer un equipo encargado de realizar un protocolo de mantenimiento preventivo del brazo robótico humanoide, esto para verificar cosas como: la lubricación de los mecanismos de tornillo y rodamientos, verificar su nivel de desgaste, ver el estado de los engranajes y los carretes con hilos, verificar que los hilos no requieran un reemplazo, ver el estado de los servomotores para verificar si funcionan correctamente o requieren un reemplazo, y por supuesto el estado de los cables de señal y de corriente para verificar que no haya alguno cortado, sin recubrimiento, o haciendo un mal contacto.

También, se recomienda incluir en ese protocolo la ejecución de pruebas regulares del software del brazo robótico, el cual consistiría en verificar que cada uno de sus funcionamientos continúen correctamente como: las librerías de visión artificial sigan vigentes para evitar errores de detección, y pruebas específicas que verifiquen la ejecución de movimientos con los límites de seguridad ya establecidos, para asegurar la interacción segura, confiable y natural entre el brazo robótico y las personas.

Por último, se recomienda a mediano y largo plazo incluir al brazo robótico humanoide dentro de la institución como una herramienta didáctica y demostrativa dentro de las actividades académicas, ya que, como se ha expresado en los resultados, los principios como la creatividad y la inclusividad son parte fundamental para inspirar a los estudiantes a ejecutar proyectos afines. Es por ello que, si el brazo robótico humanoide se muestra e interactúa en talleres, en los laboratorios, las clases, y eventos de la UVM, fortalecería la capacidad e interés de los estudiantes por nuevas iniciativas tecnológicas y a su vez, demostraría el compromiso de la UVM con el impacto social positivo por medio de un desarrollo tecnológico sostenible.

### **5.3 Líneas Futuras de Investigación**

Las limitaciones, los hallazgos, y la escalabilidad del brazo robótico humanoide, da la oportunidad de futuras investigaciones que continúen escalando el actual proyecto, mejorando funcionalidades y diseños, o también para expandir nuevas ideas de investigaciones afines, por lo que se proponen las siguientes:

- Ejecutar un entrenamiento personalizado con los modelos de Mediapipe, para adaptarlos al entorno específico de la UVM como las diferentes condiciones de iluminación, el reconocimiento de diferentes tipos de cuerpo, edades y vestimentas, y se optimiza el cálculo desde los diferentes ángulos que perciba

la cámara, lo cual ayudaría a solucionar los problemas de detección del eje Z y reduciría el grado de imprecisión existente.

- Mejorar el diseño para incluir todos los ejes de movimientos anatómicos de la muñeca, es decir, incluir la flexión-extensión y la aducción-abducción, esto para ampliar los rangos de movimientos posibles por la mano robótica. Además, modificar la ubicación del actuador de la rotación de la muñeca, ya que su ubicación actual dificulta el reemplazo del servomotor a largo plazo.
- La implementación de sensores para que la mano robótica tenga la capacidad de fuerza de agarre para manipular objetos ya sean frágiles o no, o también para dar un contacto más seguro con las personas como el saludo de un apretón de manos. Estos sensores pueden ser los llamados fuerza-par de seis ejes, los sensores FSR (Force-Sensing Resistors), o los sensores táctiles; en general todos estos son fáciles de integrar al microcontrolador ESP32 del brazo robótico humanoide y le proporcionará información de la fuerza de agarre a tiempo real, entre otras capacidades dependiendo del sensor elegido.
- La integración del análisis dinámico, pues este permite el cálculo de las fuerzas, torques y aceleraciones de los movimientos del brazo robótico, lo que le ayudará a aplicar la fuerza apropiada, realizar movimientos más fluidos, y ejecutar tareas complejas.
- La integración de otros mecanismos de interacción además de la imitación, como combinar los comandos de voz ya existentes con la percepción de gestos y reacciones a movimientos corporales específicos. De hecho, se podría

combinar con la realidad aumentada para visualizar los datos del brazo robótico.

## **CAPÍTULO VI**

### **LA PROPUESTA**

#### **6.1 Introducción**

El desarrollo del brazo robótico humanoide presentado en esta investigación ha demostrado la viabilidad técnica y funcional de crear un sistema de interacción natural mediante la imitación de movimientos. Sin embargo, durante las pruebas realizadas y el análisis de los hallazgos, se identificó una limitación, y es la falta de fuerza de agarre que le permita al brazo robótico manipular objetos de manera segura para convertirse en un asistente completo de la comunidad universitaria. Es por ello que se propone la integración de sensores de fuerza y táctiles al brazo robótico humanoide, lo cual no solo mejorará significativamente la capacidad de manipulación de objetos, sino que también enriquecerá la interacción humano-robot al permitir un contacto físico seguro y controlado.

#### **6.2 Fundamentación Teórica y Conceptual de la Propuesta**

La integración de sensores al brazo robótico humanoide se fundamenta en principios robóticos que destacan la importancia de la capacidad sensorial en la manipulación efectiva y segura de objetos, como señala Flesher et al. (2021) señala en su investigación sobre interfaces cerebro-computadora bidireccionales que la integración de sensores táctiles en brazos robóticos mejora significativamente el desempeño en sus capacidades de interacción y manipulación, lo cual valida la importancia de añadir sensores al brazo robótico humanoide desarrollado.

De hecho, Artal-Sevil et al. (2018) en su proyecto destaca que el control de fuerza de agarre es fundamental para la manipulación segura de objetos con diferentes características físicas, y son los sensores los que con su capacidad de percepción permiten implementar este control. También, menciona que existen diversos tipos de sensores que se pueden aplicar en el

brazo robótico, como los Sensores FSR (Force-Sensing Resistors) que varían su resistencia eléctrica en función de la presión aplicada sobre su superficie, pueden servir para detectar la fuerza de agarre en los dedos de la mano robótica, o los Sensores Táctiles Capacitivos que detectan cambios en la capacitancia cuando un objeto se acerca o entra en contacto con su superficie, estos se pueden aplicar para detectar el contacto inicial con los objetos.

Por último, esta propuesta de integrar sensores al brazo robótico se complementa perfectamente con el sistema de visión artificial ya implementado, puesto que, mientras la visión proporciona información sobre la posición y orientación de objetos, los sensores táctiles ajustan y confirman el contacto para permitir capacidades seguras de interacción y manipulación.

### **6.3 Objetivos de la Propuesta**

#### ***6.3.1 Objetivo General***

Integrar sensores de fuerza y táctiles al brazo robótico humanoide para mejorar su capacidad de manipulación de objetos y enriquecer la interacción segura con las personas de la comunidad universitaria.

#### ***6.3.2 Objetivos Específicos***

Desarrollar algoritmos de procesamiento de las señales sensoriales en el microcontrolador ESP32, que permitan la lectura, conversión y control de los datos obtenidos por los sensores en tiempo real.

Diseñar nuevas falanges de los dedos de la mano robótica para detectar la fuerza de agarre aplicada sobre los objetos manipulados o las interacciones dadas.

Identificar y validar los sensores de fuerza implementados dentro del brazo robótico, para que cumplan con el funcionamiento requerido.

#### **6.4 Descripción de la Propuesta**

Esta propuesta incluye la integración de sensores táctiles o sensores FSL en puntos estratégicos de la mano robótica como en las puntas de los dedos y la palma, también el desarrollo del algoritmo de configuración de los sensores y su control de fuerza para diferentes tipos de objetos, además, la ejecución de determinados tipos de agarre, lo cual se incorporará todo al sistema existente. Todas las actividades de la propuesta se implementarán en fases, cada una de una duración aproximada de dos semanas:

1. Modificación del diseño de la mano robótica y la adquisición de los sensores a implementar.
2. Instalación y conexión de los sensores y el nuevo diseño.
3. Desarrollo de la programación a integrar y los algoritmos para el control de los sensores.
4. Pruebas con objetos de diferentes características y de interacción segura, para hacer ajustes y mantener un monitoreo de comportamiento.

#### **6.5 Factibilidad de la Propuesta**

Esta propuesta es factible ya que se basa en la estructura ya existente del brazo robótico, solo que con unos pequeños cambios en diseño de la mano robótica mediante impresión 3D, lo cual ya se domina en el proyecto, para integrar los sensores de los que también se cuenta con la información y documentación disponible para trabajarlos. En cuanto al sistema eléctrico ya existente, el microcontrolador ESP32 cuenta con suficientes pines ADC para conectar los sensores propuestos, y su procesador de dos núcleos permite gestionar la lectura de sensores sin comprometer el control de los servomotores. Por otro lado, económicamente el presupuesto es bajo pues solo se incluye los sensores, capacitores, material para soldadura, y el filamento PLA

necesario. Además, el tiempo de implementación propuesto son de aproximadamente 9 semanas, donde se puede ejecutar de manera paralela a otras actividades o propuestas.

### **6.6 Evaluación e Implementación de la Propuesta**

Para la implementación de la propuesta, se presenta un plan con un tiempo de ejecución factible de 9 semanas, con actividades bien organizadas que pueden realizar eficientemente el equipo designado al cuidado del robot humanoide “Zoé” en supervisión del tutor encargado, con unos indicadores de éxito precisos y alcanzables que aseguran el logro de la propuesta (ver Tabla 9).

**Tabla 9***Plan de Implementación de la Propuesta*

<b>Semana</b>	<b>Fase</b>	<b>Descripción de la Actividad</b>	<b>Indicadores de Éxito</b>
1-2	Modificación del diseño de la mano robótica y adquisición de los sensores	Definir los sensores a usar, adquirirlos junto con los componentes electrónicos necesarios. Modificar las falanges de los dedos robóticos donde colocar los sensores	-Precisión de detección de fuerza mayor al 80%
3-4	Instalación y conexión de los sensores y el nuevo diseño	Instalar las piezas de impresión de las falanges, y los sensores en puntas de dedos y palma, así como su conexión con el sistema electrónico	-Tiempo rápido de respuesta menor a 500 milisegundos -Estabilidad de la lectura de los sensores en condiciones estables
5-7	Desarrollo de la programación y los algoritmos para el control de los sensores	Realizar e integrar la programación, que incluye las funciones de lectura y filtrado de sensores, y los algoritmos de control de fuerza de agarre con sus respectivos límites de seguridad	-Capacidad de manipular al menos 5 tipos diferentes de objetos
8-9	Pruebas con objetos de diferentes características y de interacción segura	Hacer ajustes por medio de las pruebas y mantener un monitoreo de comportamiento	-Completar exitosamente más del el 80% de sus tareas de agarre -Todas las interacciones físicas con personas deben completarse sin causar incomodidad o dolor -Aceptación por al menos el 85% de los usuarios

Nota: Se muestra el plan de implementación que describe las actividades con sus determinados indicadores de éxito. Fuente: Elaboración Propia.

## **6.7 Conclusión del Capítulo**

La propuesta de integración de sensores de fuerza y táctiles al brazo robótico humanoide representa la escalabilidad existente en esta investigación, en el que puede haber muchas más mejoras y la integración de más capacidades para el brazo robótico; además, es factible gracias a la estructura ya existente y las capacidades de los componentes elegidos para el proyecto. La implementación de sensores transformará al brazo robótico en un sistema más completo, capaz de manipular objetos con seguridad y precisión, y de interactuar de manera más natural con las personas, lo que fortalece significativamente el objetivo del robot humanoide de servir como asistente para la comunidad universitaria.

Asimismo, esta propuesta continúa fomentando los principios de innovación social identificados en la investigación, como la creatividad al implementar soluciones tecnológicas avanzadas, la inclusividad al mejorar la accesibilidad del sistema, la sostenibilidad al utilizar componentes accesibles, e impacto social positivo al posicionar a la UVM como referente del desarrollo tecnológico regional.

## REFERENCIAS

- Agostini, M. (2025, 21 de febrero). Deficiencia actuales del desarrollo tecnológico y científico en Venezuela. *Aporrea*. <https://www.aporrea.org/tecno/a338775.html>
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica* (6ª ed.). Episteme.
- Artal-Sevil, J., Acón, A., Montañés, J., & Domínguez, J. (2018). Diseño de un Brazo Robótico de bajo coste controlado por Sensores EMG Superficiales. *Libro de Actas TAAE 2018*, 576–581.
- Astudillo, E. y Dueñas, V. (2024). *Diseño e implementación de un sistema de escaneo basado en visión artificial para la imitación del movimiento del brazo humano en el robot KUKA KR5-2 ARC HW* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28515>
- Barrientos, A., Peñín, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (1997). *Fundamentos de Robótica* (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Boesch, G. (2024, 15 de octubre). The Complete Guide to OpenPose. *Viso.ai*. Recuperado el 11 de junio de 2025, de <https://viso.ai/deep-learning/openpose/>
- BYJU'S. (s.f). Coordinate Axes and Quadrants [Diagrama]. <https://cdn1.byjus.com/wp-content/uploads/2020/03/Coordinate-Geometry-Class-9-Notes-Chapter-3-1.png>
- Cano, A. y Serrano, A. (2021). Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas. *Nereis Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, 13(), 227-238. [https://doi.org/10.46583/nereis\\_2021.13.809](https://doi.org/10.46583/nereis_2021.13.809)
- Carlino, P. (2021). *Antecedentes y marco teórico en los proyectos de investigación: aportes para construir este apartado* [Material de cátedra]. Universidad Pedagógica Nacional de Argentina. <https://www.aacademica.org/paula.carlino/274>
- Carrillo, G. (2021). *Diseño de interacción humano robot para el aprendizaje de las tablas de multiplicación e implementación de los modelos de reconocimiento del habla* [Trabajo de grado, Universidad de Los Andes]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27502.95042>
- CPP Reference. (s.f). C++ Programming Language. Recuperado el 10 de junio de 2025, de <https://devdocs.io/cpp/>

- Cronbach, L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.
- De Diego, M. (2023, 5 de diciembre). La evolución de los HRIs (Human-robot interaction). Más ágiles y adaptables a diferentes escenarios. *Cartif*. <https://blog.cartif.es/evolucion-hris-human-robot-interaction-agiles-adaptables-escenarios/>
- EDS Robotics. (2021, 24 de septiembre). ¿Qué es un robot humanoide? Significado y ejemplos. <https://www.edsrobotics.com/blog/robots-humanoides/>
- Eman Ingeniería. (2023, 25 de octubre). Modelado 3D: presente y futuro de la tecnología. Gavilán <https://emaningenieria.com/disenyo-y-modelado-3d-presente-y-futuro-de-la-tecnologia/>
- Esneca Business School. (2022, 7 de noviembre). ¿Qué es un brazo robótico y para qué sirve?. <https://www.esneca.lat/blog/brazo-robotico-aplicaciones-funciones/>
- Esneca Business School. (2023, 5 de septiembre). ¿Cuáles son las partes de un robot?. <https://www.esneca.lat/blog/partes-robot-caracteristicas/>
- Faes, M. (2011). *El Hombro* [Documento PDF]. <https://www.amicivirtual.com.ar/Anatomia/09CinturaEscapHombro.pdf>
- Flesher, S., Downey, J., Weiss, J., Hughes, C., Herrera, A., Tyler-Kabara, E., Boninger, M., Collinger, J., & Gaunt, R. (2021). A brain-computer interface that evokes tactile sensations improves robotic arm control. *Science*, 372(6554), 831-836. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abd0380>
- Gavilán, I. (2020, 16 de septiembre). ¿Qué es un robot social?. *Ignacio Gavilán*. <https://ignaciogavilan.com/que-es-un-robot-social/>
- Gavilán, I. (2022, 29 de septiembre). Imitation learning: robots que aprenden a partir de demostraciones. *Ignacio Gavilán*. <https://ignaciogavilan.com/imitation-learning-robots-que-aprenden-a-partir-de-demostraciones/>
- González, F. (2009). Desarrollo humano sustentable local. *Polis*, 8(22), 53-66.
- Google. (s.f.-a). Holistic landmarks detection task guide. *Google AI for Developers*. Recuperado el 11 de junio de 2025, de [https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/holistic\\_landmarker](https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/holistic_landmarker)
- Google. (s.f.-b). MediaPipe Solutions guide. *Google AI for Developers*. Recuperado el 11 de junio de 2025, de <https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/guide>

- Hernández, J., Ríos, C., Cerón, C., & Espinoza, M. (2023). Desarrollo de un prototipo de brazo robótico para robot social mediante Aprendizaje Basado en Proyectos. *Tecnología Educativa Revista CONAIC*, 10(3), 31-35. <https://terc.mx/index.php/terc/article/view/351>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Hernández Ramírez, Ó. (2016). *Diseño y programación de un robot humanoide de bajo coste* [Tesis de maestría, Universidad de Alicante]. Repository University of Alicante. <https://rua.ua.es/server/api/core/bitstreams/f59d322c-3c44-4f5a-a100-96e40987d358/content>
- Hurtado, J. (2000). (3ª ed.). *Metodología de la Investigación Holística*. Fundación Sypal.
- Jiménez, R., Espinosa, F., & Amaya, D. (2013). Control de movimiento de un robot humanoide por medio de visión de máquina y réplica de movimientos humanos. *INGE CUC*, 9(2), 44-51.
- Jotform Inc. (s.f.). Calculadora de tamaño de muestra. Recuperado el 17 de abril de 2025, de <https://www.jotform.com/es/sample-size-calculator/>
- Last Minute Engineers. (s.f.). *ESP32 Pinout Reference*. <https://lastminuteengineers.com/esp32-pinout-reference/>
- Legarreta, J. y Martínez, R. (s.f.). *TEMA 5: MODELADO GEOMÉTRICO Y CINEMÁTICO DEL ROBOT* [Diapositivas de PowerPoint]. OpenCourseWare. [https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/50445/mod\\_resource/content/8/T5%20CINEMATICA%20OCW\\_Revision.pdf](https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/50445/mod_resource/content/8/T5%20CINEMATICA%20OCW_Revision.pdf)
- Lozano, J., & Soria, F. (2011, 14 de octubre). Mecanismos [Mapa Conceptual]. *Mestre a Casa*.
- Meegle. (2025, 9 de febrero). 3D Modeling And Simulation. [https://www.meegle.com/en\\_us/topics/digital-twin/3d-modeling-and-simulation](https://www.meegle.com/en_us/topics/digital-twin/3d-modeling-and-simulation)
- Mulgan, G., Tucker, S., Ali, R., & Sanders, B. (2007). *Social innovation: What it is, why it matters and how it can be accelerated*.
- Nuño Ortega, E. (2004). *Teleoperación de Robots: Técnicas, Aplicaciones, Entorno Sensorial y Teleoperación Inteligente* [Reporte de Trabajo de Investigación, Universidad de Cataluña]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/570/IOC-DT-P-2004-05.pdf>

- Olier Caparroso, I., Avilés, O., & Hernández Bello, J. (1999). Una introducción a la robótica industrial. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 8(0), 53–67. <https://doi.org/10.18359/rcin.1410>
- Oracle Technology Network. (s.f.). Java Documentation. Recuperado el 10 de junio de 2025, de <https://docs.oracle.com/en/java/>
- Ortiz Morales, G., Garrido Vázquez, J., Hernández Cadena, A., Magaña, J., Gómez, J., & León de la O, D. (2020). Acercamiento a la robótica: Robot humanoide. *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital*, 12(4), 289-299.
- Palacios, N. (2024). REVOLUCIONANDO EL MOVIMIENTO: LOS BRAZOS ROBÓTICOS. *+Ciencia*, (35), 16-19. <https://publicaciones.anahuac.mx/index.php/masciencia/article/view/2439>
- Parella Stracuzzi, S. y Martins Pestana, F. (2006). *Metodología de la Investigación Cuantitativa* (2ª ed.). FEDUPEL.
- Pascual Griñán, F. (2021). *Diseño y construcción de un brazo robótico controlado mediante Arduino* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/174666>
- Peña García, P. (2024, 26 de septiembre). Avances en Prótesis Robóticas de Brazo. *ROBOTICA10*. <https://robotica10.com/robotica/brazo-protesis-robotica/>
- Peña García, P. (2024, 5 de diciembre). Avances y Retos de la Robótica en Venezuela. *ROBOTICA10*. <https://robotica10.com/robotica/robotica-en-venezuela/>
- Peña García, P. (2025a, 16 de febrero). El impacto social de la robótica en la sociedad actual. *ROBOTICA10*. <https://robotica10.com/robotica/impacto-social-de-la-robotica/>
- Peña García, P. (2025b, 16 de febrero). Revolución en el Mundo de la Robótica. *ROBOTICA10*. <https://robotica10.com/robotica/mundo-robotica/>
- Pérez Vidal, A., Castro-González, Á., Alonso-Martín, F., Castillo, J., & Salichs, M. (2017). Evolución de la robótica social y nuevas tendencias. *Acta de las XXXVIII Jornadas de Automática*, 836-843.
- Pinout.ai. (s.f.). *Raspberry Pi 5 GPIO Pinout* [Diagrama]. <https://pinout-ai.s3.eu-west-2.amazonaws.com/raspberry-pi-5-gpio-pinout-diagram.webp>

- Piñero Virués, R., Rodríguez González, C. A., Reyes Rebollo, M., & Fernández Batanero, J. (2023). La robótica como medio de aprendizaje: Estudio de caso. *Perfiles Educativos*, 45(182), 119-133. <https://doi.org/10.22201/issue.24486167e.2023.182.60274>.
- Proyección Institucional. (2023, 22 de noviembre). *Campeonato de Robótica UVM 2023 revela talentos*. Universidad Valle del Momboy. <https://uvm.edu.ve/campeonato-de-robotica-uvm-2023-revela-talentos/>
- Pulido, A. (s.f.). Mecanismos de transmisión del movimiento. *Aprendemos Tecnología*. <https://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transmision-del-movimiento/>
- Python Software Foundation. (s.f.). Python Documentation. Recuperado el 10 de junio de 2025, de <https://docs.python.org/es/3.13/index.html>
- Raspberry Pi. (s.f.). *Software de Raspberry Pi*. <https://raspberrypi.cl/software-de-raspberry/>
- Reyes Cortés, F. (2011). *Robótica. Control de robots manipuladores* (1ª ed.). Alfaomega.
- Reynoso, J. (2021). *Diseño y control de una mano robótica para función motora de personas discapacitadas* [Trabajo de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10242>
- Rodríguez, M. (s.f.). ¿Sabes en robótica la diferencia entre grados de libertad y grados de movilidad?. *INESEM Business School*. <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/diferencia-robotica-grados-libertad-movilidad-3>
- Ruíz, B. (2021, 1 de noviembre). Aprende a mejorar tu lógica de programación. *OpenWebinars*. <https://openwebinars.net/blog/aprende-mejorar-tu-logica-de-programacion/>
- Sadi Transmisiones S.L. (s.f.). Mecanismos de transmisión. <https://saditransmisiones.com/mecanismos-de-transmision/>
- Sánchez Jiménez, J. (2021). *Fundamentos de Robótica* (1ª ed.). IC Editorial.
- Sancibrián, R., & De Juan, A. (s.f.). *Cinemática y Dinámica de Máquinas. VI.1 Introducción a los engranajes* [Diapositivas de PowerPoint]. OpenCourseWare. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1876/course/section/1524/Tema%20VI%201%20Teoria.pdf>
- Sandoval Villalbazo, A. (2019, 17 de junio). Faltan oportunidades en 73% de países, por baja inversión en investigación. *IBERO*. <https://ibero.mx/prensa/faltan-oportunidades-en-73-de-paises-por-baja-inversion-en-investigacion?form=MG0AV3>

- Serrano, C. (2023, 30 de octubre). *Articulación de la muñeca (radiocarpiana)*. Kenhub. <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/articulacion-de-la-muneca-radiocarpiana>
- Serrano, C. (2023, 23 de noviembre). *Articulación glenohumeral*. Kenhub. <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/articulacion-glenohumeral>
- Sidorov, G., Kobozeva, I., Zimmerling, A., Chanona-Hernández, L., & Kolesnikova, O. (2014). Modelo computacional del diálogo basado en reglas aplicado a un robot guía móvil. *Polibits*, 50(), 35-42.
- Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2010). *Robotics: Modelling, Planning and Control*. Springer.
- SICK. (2022, 7 de junio). Seguridad en las aplicaciones de robots colaborativos. Recuperado el 15 de junio de 2025, de <https://www.sick.com/es/es/sick-sensor-blog/seguridad-en-las-aplicaciones-de-robots-colaborativos/w/blog-safety-collaborative-robot-applications>
- SINC. (2023, 9 de mayo). Diseñan un exoesqueleto robótico para rehabilitación de niños con distrofia muscular de Duchenne. *SINC Ciencia Contada en Español*. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Disenan-un-exoesqueleto-robotico-para-rehabilitacion-de-ninos-con-distrofia-muscular-de-Duchenne>
- Svitla. (2020, 16 de marzo). Python libraries math, scipy, numpy, matplotlib. Recuperado el 11 de junio de 2025, de <https://svitla.com/blog/python-libraries-math-scipy-numpy-matplotlib/>
- Thompson, T. (2020). Microcomputer. *AccessScience*. <https://doi.org/10.1036/1097-8542.422500>
- Universidad Europea. (2024, 6 de mayo). Microcontrolador: ¿Qué es y para qué sirve?. <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-microcontrolador/>
- Universidad ORT Uruguay. (s.f.). Qué es la robótica y cuáles son sus principales usos. <https://fi.ort.edu.uy/blog/que-es-la-robotica-y-cuales-son-sus-usos>
- Vargas-Merino, J. (2021). Innovación social: ¿Nueva cara de la responsabilidad social? conceptualización crítica desde la perspectiva universitaria. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 27(2), 435-450.
- Vaskovic, J. (2023, 28 de noviembre). *Codo y antebrazo*. Kenhub. <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/codo-y-antebrazo>

- Vinogradoff, L. (2013, 21 de julio). Un venezolano se fabrica su propio brazo. *ABC*.  
<https://www.abc.es/sociedad/20130721/abci-venezolano-brazo-discapacidad-201307201713.html>
- YassineMrabet. (2008, 7 de junio). *File:Human anatomy planes.svg* [Diagrama].  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human\\_anatomy\\_planes.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_anatomy_planes.svg)
- Yoshida, E. (2019). Robots that look like humans: A brief look into humanoid robotics. *Metode Science Studies Journal*, 9( ), 143-151. <https://doi.org/10.7203/metode.9.11405>
- Zabala, G. (2007). *Robótica* (1ª ed.). Gradi S.A.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Validación de los Instrumentos por los Expertos (Primera)

### TABLA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Por favor lea cuidadosamente cada uno de los Ítems que contiene el instrumento, luego según su criterio marque con una "X" en el formato la casilla correspondiente, suministrando si es necesaria, la información que soporte su opinión.

**Fecha:** 22/05/25

**Nombre del Experto:** Cristina Vieras

**Aspectos a Evaluar:**

Ítem	Claridad				Congruencia				Pertinencia				Observación
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1	X				X				X				
2	X				X				X				
3	X				X				X				
4	X				X				X				
5	X				X				X				
6	X				X				X				
7	X				X				X				
8		X				X				X			
9	X				X				X				
10		X				X				X			
11	X				X				X				
12	X				X				X				
13	X				X				X				
14	X				X				X				
15	X				X				X				

**A: Excelente**

**B: Bueno**

**C: Regular**

**D: Deficiente**

**Observaciones Generales:** \_\_\_\_\_

#### Estudios realizados

**Experto:**

**Pregrado:** Lcda. Administración de Empresas

**Apellidos y Nombres:** Cristina Vieras

**Especialización:** Gerencia de RRHH

**Firma:**



**Maestría:** Docencia para la Educación Superior

**Administración de Empresas**

**Doctorado:** Cursante en DHS

## Anexo 2. Validación de los Instrumentos por los Expertos (Segunda)

### TABLA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Por favor lea cuidadosamente cada uno de los Ítems que contiene el instrumento, luego según su criterio marque con una "X" en el formato la casilla correspondiente, suministrando si es necesaria, la información que soporte su opinión.

Fecha: 9/6/2025

Nombre del Experto: Yerson González

Aspectos a Evaluar:

Ítem	Claridad				Congruencia				Pertinencia				Observación
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1	X				X				X				
2	X				X				X				
3	X				X				X				
4	X				X				X				
5	X				X				X				
6	X				X				X				
7	X				X				X				
8	X				X				X				
9	X				X				X				
10	X				X				X				
11	X				X				X				
12	X				X				X				
13	X				X				X				
14	X				X				X				
15	X				X				X				

A: Excelente

B: Bueno

C: Regular

D: Deficiente

Observaciones Generales: \_\_\_\_\_

#### Estudios realizados

Experto:

Apellidos y Nombres: Yerson González

Firma:



Pregrado: Ing de Computación

Especialización: Gestión Pública

Maestría: \_\_\_\_\_

Doctorado: \_\_\_\_\_

### Anexo 3. Validación de los Instrumentos por los Expertos (Tercera)

#### TABLA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Por favor lea cuidadosamente cada uno de los Ítems que contiene el instrumento, luego según su criterio marque con una "X" en el formato la casilla correspondiente, suministrando si es necesaria, la información que soporte su opinión.

**Fecha:** 20/09/2025

**Nombre del Experto:** Edgar Omaña

**Aspectos a Evaluar:**

Ítem	Claridad				Congruencia				Pertinencia				Observación
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1	x				x				x				
2	x				x				x				
3	x				x				x				
4	x				x				x				
5	x				x				x				
6	x				x				x				
7	x				x				x				
8	x				x				x				
9	x				x				x				
10	x				x				x				
11	x				x				x				
12	x				x				x				
13	x				x				x				
14	x				x				x				
15	x				x				x				

**A: Excelente**

**B: Bueno**

**C: Regular**

**D: Deficiente**

Observaciones Generales:

Experto:

Apellidos y Nombres: Omaña Edgar

Firma:



Estudios Realizados:

Pregrado: Ing. en mantenimiento

Especialización: energía eléctrica

Maestría: energía eléctrica

Doctorado:

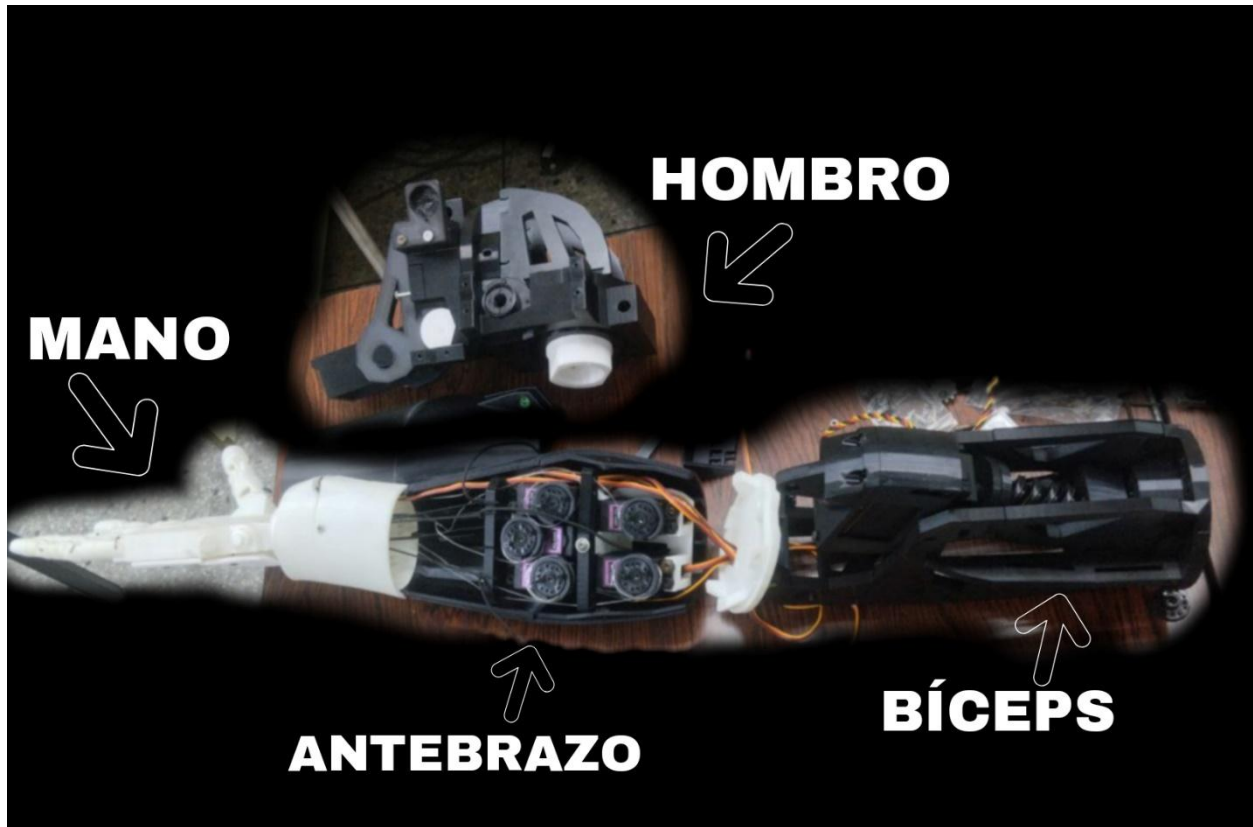
## Anexo 4. Instrumento de la Encuesta

Estudiante	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4	TOTAL
1	5	1	3	2	11
2	5	5	4	5	19
3	4	4	4	4	16
4	4	4	4	4	16
5	4	3	5	5	17
6	3	4	4	5	16
7	2	3	4	2	11
8	4	3	5	4	16
9	3	2	4	4	13
10	4	2	4	4	14
11	3	2	4	4	13
12	3	3	4	3	13
13	4	3	5	5	17
14	4	2	4	5	15
15	3	2	4	5	14
16	2	4	4	4	14
17	4	3	4	5	16
18	5	3	5	5	18
19	3	3	4	5	15
20	3	2	4	5	14
21	5	4	5	5	19
22	5	5	5	5	20
23	3	2	5	5	15
24	3	2	4	5	14
25	3	2	4	5	14
26	4	4	5	5	18
27	3	2	4	5	14
28	3	3	4	5	15
29	4	4	5	4	17
30	4	4	5	5	18
31	4	4	5	5	18
32	5	4	5	5	19
33	4	5	5	5	19
34	5	5	4	4	18
35	4	5	4	5	18
36	3	4	5	5	17
37	3	3	5	5	16
38	4	4	5	5	18
39	4	4	3	4	15
40	4	4	5	5	18
41	4	4	5	5	18
42	5	5	3	3	16
43	5	4	5	5	19
44	4	4	5	4	17
45	5	5	5	5	20
46	3	3	4	5	15
47	3	2	5	5	15
48	3	2	5	5	15
49	3	2	5	5	15
50	3	2	5	5	15
51	4	2	5	5	16
52	4	2	5	5	16
53	4	2	5	5	16
54	4	2	5	5	16
55	4	2	5	5	16

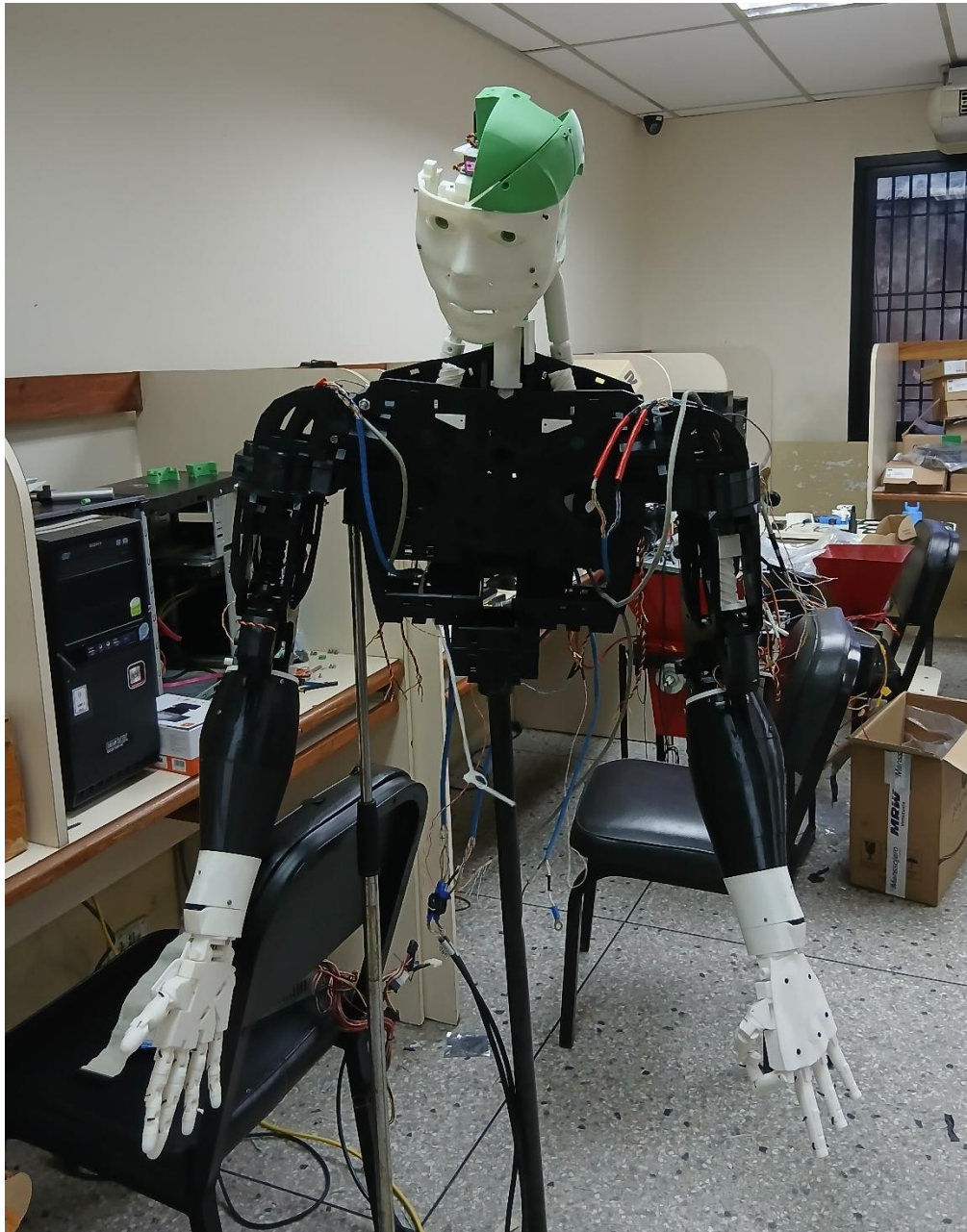
Anexo 5. Estructura y Mecanismos de las Partes del Brazo Robótico Humanoide



**Anexo 6.** *Estructura Final del Brazo Robótico Humanoide sin Ensamblar*



**Anexo 7. Estructura del Brazo Robótico Humanoide Ensamblado**



**Anexo 8.** *Presentación del Brazo Robótico siendo Parte del Robot Humanoide Completo “Zoé”*



**Anexo 9 Carta de Aceptación del Tutor**

**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD VALLE DEL MOMBOY  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA EN COMPUTACIÓN**

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

San Rafael de Carvajal, octubre 2025  
Ciudadana: Ing. Yumary Valecillos  
Directora Del CIDIFI  
Presente-

Por medio de la presente, hago de su conocimiento, que ante la solicitud realizada por la Bachiller Rosimar Joselyn Barrios Maldonado del Liceo U.E.P. Rafael Rangel C.I. 30.976.217, acepto el compromiso de Tutor en el desarrollo de su trabajo de investigación titulado : **DESARROLLO DE UN ROBOT HUMANOIDE DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (BRAZO)** para optar al título universitario de **INGENIERO EN COMPUTACIÓN**; hasta su presentación y evaluación.

Atentamente,

Msc| Edgardo José Paolini Quiroz  
C.I. 13.897.564

**Anexo 10 Carta de Aprobación**

UNIVERSIDAD VALLE DEL MOMBOY  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi Carácter de Tutor del Trabajo Especial del Grado Titulado: **DESARROLLO DE UN ROBOT HUMANOIDE DESDE LA PERSPECTIVA DE LA INNOVACIÓN SOCIAL (BRAZO)** realizada por el Bachiller Rosimar Joselyn Barrios Maldonado del Liceo U.E.P. Rafael Rangel C.I. 30.976.217, para optar por el título de **Ingeniero en Computación**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido ante la presentación pública y la evaluación por parte del jurado que se asigne.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Edgardo Quiroz", is written over a faint circular stamp.

MSC. EDGARDO JOSÉ PAOLINI QUIROZ

C.I. 13.897.564

los 31 días del mes de octubre de 2025