

**Validación en un Ambiente Real de Robot Social CASTOR para el Uso en  
Terapias con Niños con Autismo**

**Estudiante  
Paola Camila Castro Rojas**

**Trabajo Dirigido**

**Tutor  
Prof. Dr. Carlos Andrés Cifuentes  
Cotutor  
Profa. Dra. Marcela Múnera**



**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO  
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO  
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ D.C  
2020**

## Agradecimientos

Gracias al apoyo financiero brindado por la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido y el Fondo Newton fue posible llevar a cabo el presente proyecto (Grant: IAPP1/100126). Agradezco a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y a la Universidad del Rosario por darme la formación profesional y brindarme tantas oportunidades de crecimiento personal.

Para empezar quiero agradecer a mi tutor, el ingeniero Carlos A. Cifuentes, y a mi co-tutora, la ingeniera Marcela C. Múnera, por su constante acompañamiento, apoyo y guía a lo largo del desarrollo de este proyecto. A los integrantes del grupo del proyecto CASTOR ya que sin el trabajo de cada uno esto no habría sido posible, en especial a María J. Pinto, quien desde un inicio me brindó su ayuda y apoyo, siendo parte de momentos claves del proyecto. Agradezco también a los profesionales de la clínica Howard Gardner, a los pacientes y sus familiares por siempre estar dispuestos a colaborar en el desarrollo de este trabajo.

Quiero agradecer a mi familia porque sin ellos no habría llegado hasta donde estoy en este momento, a mis padres Gustavo A. Castro y Ruth Y. Rojas, y mi hermano Daniel E. Castro, por darme su apoyo incondicional, por su comprensión, por su paciencia y su amor. Por todas los momentos difíciles durante la carrera en los que estuvieron junto a mí y las veces que hicieron todo lo posible por verme bien.

Por último quiero agradecer a mis amigos, por su compañía y apoyo, y a todas aquellas personas que han sido parte de este proceso y que me han ayudado de diferentes formas a culminarlo.

## Resumen

El trastorno del espectro autista (TEA) es un desorden que se presenta con frecuencia dentro de la población mundial. Las principales deficiencias presentadas con esta condición están relacionadas tanto a las habilidades sociales como a las habilidades comunicativas. En Colombia la detección del autismo no se realiza de forma temprana, generando así una problemática, ya que el diagnosticar de manera tardía este desorden genera limitaciones en el desarrollo de la persona, principalmente en sus habilidades sociales. La detección tardía dificulta el tratamiento de los déficits asociados al TEA. Sin embargo, ya sea detectado en etapas tempranas o no, la única manera de promover dichas habilidades es a través de un programa de rehabilitación, con la que se busca promover la mejora de estas por medio de terapias.

En las últimas décadas, se ha empezado a implementar el uso de robots de asistencia social en las terapias para niños con TEA, presentando beneficios en captar la atención de los pacientes y mostrando avances favorables en habilidades sociales y de comunicación. Sin embargo, comercialmente no existe una gran cantidad de robots creados específicamente para TEA y los existentes no son accequibles tanto para pacientes como para los profesionales que tratan esta condición. Por lo cual, se utilizan robots comerciales que no son hechos para este fin, siendo demasiado frágiles para este tipo de uso y limitando la interacción. Por esta razón, se creó el robot CASTOR un robot resistente y de bajo costo pensado para intervenir en terapias para niños con TEA.

El objetivo de este trabajo se centra en la validación del robot CASTOR para su uso en terapias de autismo. Este se divide en dos partes principales: un estudio de propiocepción y el diseño de un programa terapéutico asistido por robot. El estudio de propiocepción es un estudio a corto plazo que se realizó para evaluar el desempeño de los niños con TEA en relación a la interacción física con el robot. El diseño del programa terapéutico asistido por robot cuenta con la evaluación de una mayor cantidad de criterios y se realizó en base a los hallazgos obtenidos en estudios previos realizados por el grupo de investigación del proyecto CASTOR (CompliAnt Soft Robotics).

A lo largo del documento se presenta el desarrollo e implementación de un estudio a corto plazo, así como se explica el proceso que se realizó para el diseño de un programa terapéutico asistido por robot, que se integrará en los servicios de la clínica próximamente. En el primer estudio se contó con la participación de 35 niños con TEA divididos en dos grupos diferentes: se les permitía tener contacto físico con el robot o no. Se realizó sólo una sesión por cada niño y se evaluó el desempeño de estos en la sesión de la terapia. Por otro lado, en el desarrollo del diseño de un programa terapéutico asistido por robot, donde se involucraron los investigadores del proyecto CASTOR y los directivos de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner. Se realizó una metodología para establecer los parámetros a evaluar y la manera de realizar dicha evaluación, con el objetivo de diseñar un programa terapéutico asistido por robot.

Del estudio se encontró que no hubo diferencias significativas de las variables medidas y del desempeño de los niños entre los dos grupos, a excepción de la variable correspondiente a la interacción física, con la cual se obtuvo un *p-valor* del 0.014. A pesar de no encontrarse diferencias significativas, en general el desempeño de los niños tuvo un nivel alto, lo que quiere decir que el robot no genera una distracción para el niño. Sin embargo, es pertinente realizar más estudios subsecuentes para poder encontrar resultados más sólidos de la influencia del robot en la población con TEA con la cual se está trabajando. Por esta razón se realizó diseño de un programa terapéutico asistido por robot, teniendo como resultado un protocolo revisado

y aceptado por los directivos de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner.

*Palabras clave: Interacción física, Interacción social, Propiocepción, Teoría de la mente, Robot social, TEA*

# Índice general

Agradecimientos . . . . .	I
Resumen . . . . .	III
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Proyecto CASTOR . . . . .	2
1.2.1. Estructura mecánica . . . . .	3
1.2.2. Apariencia física . . . . .	5
1.2.3. Interfaz de cámaras . . . . .	9
1.3. Objetivos del proyecto . . . . .	10
1.3.1. Objetivo general . . . . .	10
1.3.2. Objetivos específicos . . . . .	10
1.4. Contribuciones . . . . .	10
1.5. Organización del documento . . . . .	10
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>12</b>
2.1. Trastorno del espectro autista . . . . .	12
2.2. Robótica social en autismo . . . . .	15
2.2.1. Robot Ono . . . . .	18
2.2.2. Robot Kaspar . . . . .	19
2.2.3. Robot Probo . . . . .	21
2.2.4. Robot Charlie . . . . .	23
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>25</b>
3.1. Estudio Propiocepción . . . . .	25
3.1.1. Participantes . . . . .	26
3.1.2. Organización del espacio experimental . . . . .	26
3.1.3. Procedimiento experimental . . . . .	27
3.1.4. Variables . . . . .	28
3.1.5. Análisis estadístico . . . . .	29
3.2. Diseño de un programa terapéutico asistido por robot . . . . .	29
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>32</b>
4.1. Estudio Propiocepción . . . . .	32
4.1.1. Variables medidas por los terapeutas . . . . .	33
4.1.2. Variables medidas por los investigadores . . . . .	37
4.2. Diseño de un programa terapéutico asistido por robot . . . . .	41

4.2.1. Definición de los niveles de funcionalidad . . . . .	41
4.2.2. Definición de los criterios . . . . .	42
4.2.3. Definición de las actividades . . . . .	43
4.2.4. Redacción del Protocolo final . . . . .	47
4.2.5. Programación de Telegram . . . . .	47
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>0</b>
<b>6. TRABAJOS FUTUROS</b>	<b>2</b>
<b>7. ANEXOS</b>	<b>3</b>
7.1. Protocolo estudio propiocepción . . . . .	3
7.2. Comentarios acerca de las actividades del programa terapéutico asistido por robot	13
7.3. Protocolo del programa terapéutico asistido por robot . . . . .	17
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO</b>	<b>33</b>

# Índice de figuras

1.1.	Estructura mecánica de todo el robot CASTOR. . . . .	3
1.2.	Esquema de la estructura abrazable del robot CASTOR . . . . .	3
1.3.	Estructura mecánica y de actuación de los brazos del robot CASTOR. . . . .	4
1.4.	Estructura del cuello del robot CASTOR. . . . .	4
1.5.	Expresiones faciales que posee el robot CASTOR . . . . .	4
1.6.	Recopilación de la percepción de terapeutas y padres sobre el rol del robot . . .	5
1.7.	Proceso de construcción de un robot con materiales reciclados . . . . .	6
1.8.	Diseños de robots realizados con materiales reciclados . . . . .	6
1.9.	Imágenes de robots mostradas a los niños. <b>A.</b> Robot Kaspar <b>B.</b> Robot Nao <b>C.</b> Robot Pleo <b>D.</b> Robot Romibo . . . . .	7
1.10.	Bocetos más votados . . . . .	8
1.11.	Apariencias finales del robot . . . . .	8
1.12.	Votación de la apariencia más acogida por la comunidad . . . . .	9
1.13.	Reconocimiento facial utilizado en estudios previos de CASTOR . . . . .	9
2.1.	Robot Kismet [39] . . . . .	17
2.2.	Robot Ono [46]. . . . .	19
2.3.	Robot Kaspar [50]. . . . .	19
2.4.	Robot Probo [54] . . . . .	21
2.5.	Probogotchi [56]. . . . .	22
2.6.	Robot Charlie [45]. . . . .	23
3.1.	Organización del espacio experimental en la clínica . . . . .	27
3.2.	Niños interactuando con el robot CASTOR durante las terapias de propiocepción	27
3.3.	Pasos generales del proceso de diseño de un programa terapéutico asistido por robot . . . . .	29
3.4.	Actividades de la primera reunión entre los directivos de la clínica y el grupo de investigación . . . . .	30
3.5.	Secuencia de la segunda reunión entre los directivos de la clínica y el grupo de investigación . . . . .	30
4.1.	Variables evaluadas por los terapeutas . . . . .	35
4.2.	Rendimiento identificando las partes del cuerpo . . . . .	39
4.3.	Comportamiento provocado y espontáneo en el grupo control . . . . .	40
4.4.	Comportamiento provocado y espontáneo en el grupo de estudio . . . . .	41

4.5. Fases de las que está compuesto el programa terapéutico asistido por robot diseñado . . . . .	44
4.6. Interfaz de telegram para manejar el robot CASTOR . . . . .	48
4.7. El robot CASTOR ejecutando la acción de saludar . . . . .	49
4.8. El robot CASTOR mostrando una expresión de felicidad cuando el niño hace bien la actividad . . . . .	50

# Índice de tablas

2.1. Robots sociales utilizados en tratamiento del autismo . . . . .	18
4.1. Edad y sexo de los participantes del grupo control . . . . .	32
4.2. Edad y sexo de los participantes del grupo de estudio . . . . .	33
4.3. Variables evaluadas por los terapeutas con su correspondiente p valor de la prueba U de Mann Whitney y el porcentaje de incremento en el nivel alto . . .	34
4.4. Desempeño del grupo control identificando las partes del cuerpo . . . . .	38
4.5. Desempeño del grupo de estudio identificando las partes del cuerpo . . . . .	38
4.6. Desempeño de los niños en la identificación de las partes del cuerpo . . . . .	39
4.7. Criterios a evaluar durante las terapias en todos los niveles . . . . .	42
4.8. Especificaciones de los componentes de los criterios según el nivel de funcionalidad	43

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se encuentra la motivación para realizar este proyecto, la descripción del grupo de investigación con el cual se encuentra vinculado el proyecto, además de otros trabajos realizados por el mismo. Adicionalmente, se estipulan los objetivos planteados, junto con las contribuciones y una breve descripción de lo que se encontrará a lo largo del documento, seccionado por capítulos.

### 1.1 Motivación

El trastorno del espectro autista (TEA) hace parte de los trastornos generalizados del desarrollo y se caracteriza por presentar tres síntomas generales: déficit en la interacción social, problemas en la comunicación (tanto verbal como no verbal) y, rasgos conductuales repetitivos y restringidos [1]-[4]. Esta condición neurobiológica está dada por una alteración en el sistema nervioso central (SNC), tiene una aparición temprana y permanencia en la vida de las personas afectadas por esta condición. Además se observan patrones de comportamiento que afectan las actividades cotidianas del niño [1][5][6]. El deterioro de la socialización tiene como consecuencia la incapacidad de reconocer e identificar aspectos relevantes del lenguaje corporal y rasgos faciales, generando a su vez dificultades para establecer contacto visual e, identificar y percibir las emociones en otras personas [7][8]. Es por esto que es un tema crucial la identificación y el tratamiento temprano de este desorden.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), a nivel mundial el TEA afecta a uno de cada 160 niños [9]. En Colombia, la Liga Colombiana de autismo estima que 1 de cada 110 niños padece TEA [10]. Con estas cifras se puede afirmar que se trata de un trastorno que se presenta con frecuencia en la población. Aunque para su diagnóstico se cuenta con una serie de criterios contemplados en el Manual de diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales (DSM-IV) [11], en Colombia no se cuenta con una claridad en la manera de identificar el autismo y no se tienen guías que estén reconocidas [3]. Además de esto, para acceder a los tratamientos pertinentes las familias tienen que recurrir a medidas legales, como los son las tutelas, ya que no son terapias que se incluyan en el plan de beneficios en salud (PBS) [3][12]. Dichas circunstancias entorpecen el oportuno diagnóstico y tratamiento de la patología, propiciando mayores complicaciones debido a que las deficiencias en las habilidades sociales derivan en agresión [13]. Por lo tanto entre más tarde se trate el TEA, más dificultades se presentarán a la hora de mejorar las habilidades de la persona y por consiguiente su calidad de vida.

Las terapias tratan de disminuir las deficiencias presentadas en el ámbito social y en la comunicación. Una de las formas de trabajar las habilidades sociales es por medio de la atención conjunta [6], así como por medio de la interacción física [14]. El autismo es una patología muy amplia que se asocia a una serie de discapacidades y comportamientos propios de cada individuo [3][15]. Esto quiere decir que a pesar de compartir unas características generales, dos individuos pueden no tener deficiencias justamente en las mismas habilidades. Por esta razón, las terapias pueden ser similares pero no serán necesariamente iguales. Es decir, las terapias comúnmente realizadas para personas con TEA se centran en el trabajo de los déficits que esta abarca [16]. Algunas de las terapias comprenden la terapia ocupacional, psicología y terapia del lenguaje, trabajando habilidades como la imitación, comunicación y seguimiento de instrucciones [17]. Sin embargo, las actividades realizadas se ajustan a las necesidades de cada individuo.

Uno de los descubrimientos más relevantes en la última década es que las terapias que involucran a un robot social muestran una mayor cantidad de avances y un mejor rendimiento de los niños [18]. Un robot social es un dispositivo que es capaz de interactuar con las personas, con habilidades sociales y de comunicación [19]. Esto aplica para diferentes ámbitos ya que se puede hacer uso de la robótica social en diferentes escenarios con el fin de tratar diversas patologías [19]. Estos robots proporcionan un gran apoyo emocional a las personas con las que interactúan, además aumentan los estímulos de las terapias generando una mayor motivación en los pacientes[18].

Los robots de asistencia social comerciales utilizados en el tratamiento del autismo, exhiben una gran fragilidad a la hora de interactuar con los niños. El presente estudio busca evaluar y validar el robot social CASTOR de bajo costo, fabricado bajo el concepto de ser resistente a interacciones físicas de parte de los niños con TEA, para su uso durante terapias llevadas a cabo en la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner en la ciudad de Bogotá, Colombia.

## 1.2 Proyecto CASTOR

El proyecto CASTOR (CompliAnt Soft Robotics) del grupo GiBiome, de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y de la Universidad del Rosario, ha venido trabajando fuertemente desde el año 2018 en la creación de un robot social. La población objetivo del proyecto son los niños con TEA y el objetivo principal ha sido proporcionar una herramienta para que pueda ser utilizada durante las terapias para niños con autismo y, sea un apoyo para ellos y los profesionales involucrados en este proceso.

El proyecto ha contado con el apoyo y financiamiento por parte de la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido y por el Fondo Newton (Grant: IAPP1/100126). Además se ha trabajado en conjunto con la universidad de Plymouth en el Reino Unido, la empresa Fieldworks Robotics, la empresa Tejido de sueños y la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner. El proyecto se ha basado en trabajos interdisciplinarios, lo que ha contribuido al correcto avance del mismo de una forma encaminada, sin perderse del objetivo y manteniendo claridad en los procesos que lo componen.

El objetivo principal del proyecto CASTOR es desarrollar un robot propio, de bajo costo y que además sea resistente a la interacción física por parte de los niños con TEA con los que tenga contacto. Esto con el fin de proveer una herramienta con la que niños y terapeutas cuenten con herramientas para potencializar su trabajo y maximizar los resultados terapéuticos.

Este objetivo se logra a través de tres componentes, los cuales son la estructura mecánica del robot, la apariencia física del mismo y el sistema de cámaras que se ha utilizado en los estudios del proyecto. A continuación se profundizará en cada uno de estos componentes.

### 1.2.1. Estructura mecánica

Para el diseño y el desarrollo mecánico y de control del robot, el grupo de investigación contó con la colaboración de la empresa Fieldworks Robotics y la Universidad de Plymouth del Reino Unido, con el fin de garantizar los requerimientos para tener una alta resistencia a la interacción física. En la figura 1.1 se observa la estructura de todo el robot.

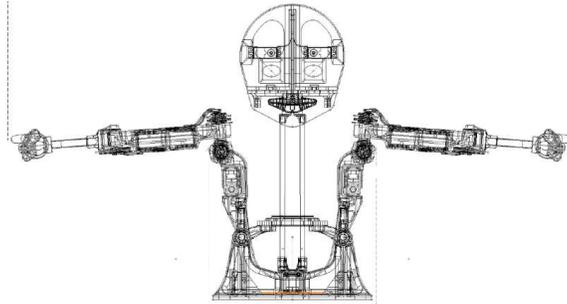


Figura 1.1: Estructura mecánica de todo el robot CASTOR.

El robot CASTOR cuenta con nueve grados de libertad. La estructura mecánica tiene en sus juntas un sistema llamado *actuadores elásticos en serie* lo que absorbe la energía al momento de un impacto o una interacción física fuerte y le permite ser abrasable con el fin de evitar daño, como se muestra en la figura 1.2. Esto lo hace por medio de unos pistones neumáticos pasivos y proporcionando dos grados de libertad pasivos. En la figura 1.3 se observa la estructura mecánica y de actuación de los brazos del robot, donde se observa la ubicación de los motores, las articulaciones y cómo estos dos elementos se encuentran unidos por medio de un material elástico. De esta manera, los brazos permiten una deformación al momento que se da una interacción física.

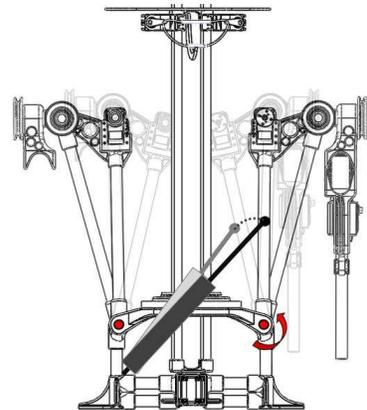


Figura 1.2: Esquema de la estructura abrazable del robot CASTOR

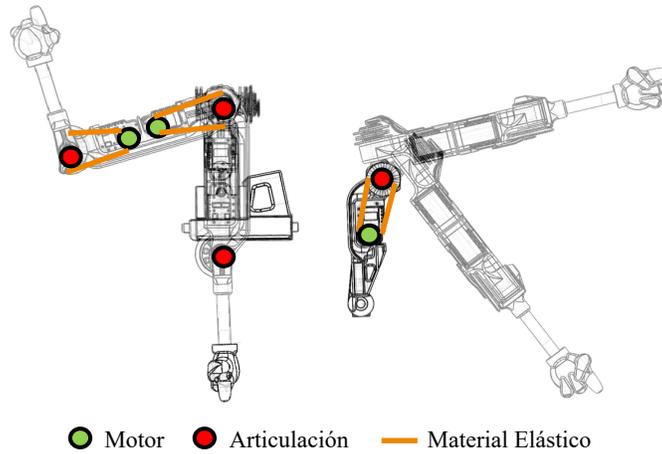


Figura 1.3: Estructura mecánica y de actuación de los brazos del robot CASTOR.

Cada brazo cuenta con tres grados de libertad, dos de estos permiten los movimientos de abducción y aducción, y un grado de libertad permite la flexo-extensión de los hombros. Dichos movimientos también pueden observarse en la figura 1.3. El cuello de CASTOR contiene un grado de libertad adicional, implementando un arreglo de cuatro barras de aluminio que trabaja como un resorte torsional que transmite el movimiento del motor a la cabeza del robot, lo que se observa en la figura 1.4. Esto también provee protección al robot de interacciones físicas fuertes desacoplando los movimientos de la cabeza del motor. Adicionalmente, la cara del robot cuenta con 5 grados de libertad, los cuales están divididos en las cejas (2 cada una) y la boca (3), permitiendo así generar expresiones faciales de cuatro emociones básicas: felicidad, tristeza, sorpresa e ira, según lo encontrado en la literatura [8]. Estas expresiones se muestran en la figura 1.5.

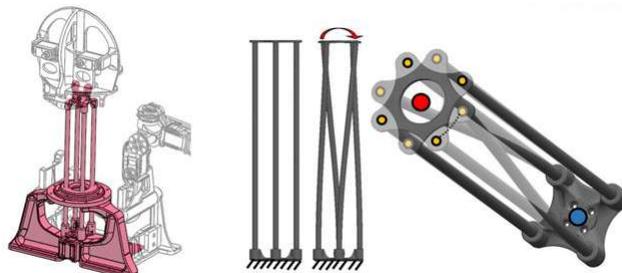


Figura 1.4: Estructura del cuello del robot CASTOR.

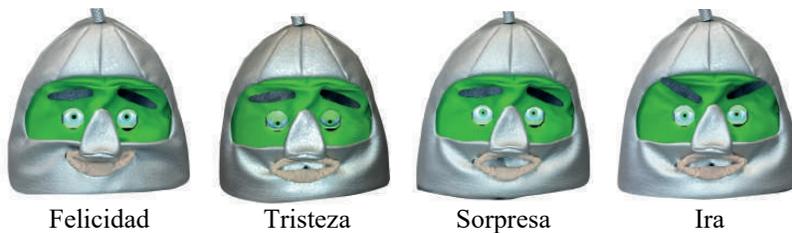


Figura 1.5: Expresiones faciales que posee el robot CASTOR

### 1.2.2. Apariencia física

El aspecto físico que tome el robot es importante para que así la tecnología sea aceptada por la comunidad, por lo cual se implementó un proceso de diseño participativo. En este proceso se tomó en cuenta la perspectiva de los acudientes, los profesionales de la salud que trabajan en la clínica y de los niños. Esta metodología no solamente ayuda a conocer las preferencias de las personas a las cuales va dirigida la tecnología, sino también a «entender y conocer el contexto» y generar un lazo de confianza entre los investigadores del proyecto y la comunidad con la que se está trabajando [20]. Este proceso contó con varias etapas: Sensibilización, identificación de la necesidad de la población, intervención y validación y rectificación.

Con las etapas de *sensibilización e identificación de la necesidad de la población* permitió un acercamiento del proyecto hacia la comunidad, dándoles a conocer información del mismo como el objetivo. Adicionalmente, el grupo de investigación tuvo la oportunidad de conocer más acerca de la comunidad, sus necesidades, su percepción acerca de los robots y de cómo estos pueden ayudar a los niños [20]. En la figura 1.6 se encuentra la información recopilada de la percepción de terapeutas y padres sobre las áreas en las que el robot podría jugar un papel importante. Se observa que el aspecto principal para terapeutas y padres son las habilidades motoras y las funciones de la vida diaria. Además ambos grupos concuerdan con ubicar la comunicación entre los tres aspectos más importantes.

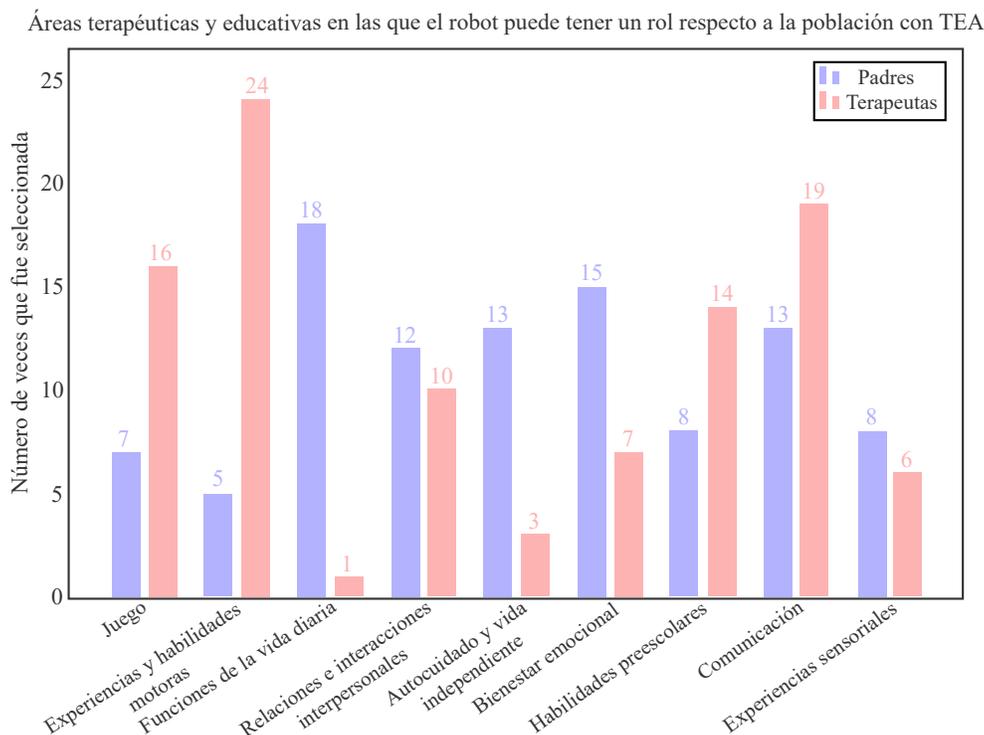


Figura 1.6: Recopilación de la percepción de terapeutas y padres sobre el rol del robot

Para la fase de *identificación de la necesidad de la población* también se llevó a cabo actividades lúdicas como la construcción por grupos de un robot con material reciclado como

se puede observar en las figuras 1.7 y 1.8. Así, se tuvo más claridad sobre las percepciones de la comunidad, siendo esto información de alta importancia para el proyecto y su desarrollo [20].



Figura 1.7: Proceso de construcción de un robot con materiales reciclados

En la etapa de *intervención*, en la cual se involucró directamente a los niños con TEA y con ayuda de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner se diseñó actividades acordes para conocer las preferencias de los niños frente a diferentes aspectos de los robots. En la etapa de *validación y rectificación*, se realizó un cuestionario con el fin de rectificar y validar la información recogida con las etapas anteriores. Las preguntas comprendían temas como el papel del robot en las intervenciones y el aspecto físico del mismo [20].



Figura 1.8: Diseños de robots realizados con materiales reciclados

De este trabajo de diseño participativo fue posible sacar algunas conclusiones sobre las preferencias de la comunidad respecto a las características del robot. Acerca del aspecto físico

del robot se encontró que los niños preferían aspectos entre un animal fantástico y un aspecto tipo dibujo animado. Los niños suelen verse muy interesados cuando los terapeutas les hablan acerca de dinosaurios o dragones y esto se vio reflejado al observar que el robot que más les llamó la atención fue Pleo, seguido de el robot Romibo. Los robots que menos les interesó fueron Kaspar y Nao [20]. Estos robots se pueden ver en la figura 1.9. En el capítulo 4 se profundiza un poco más en los robots aquí mencionados.

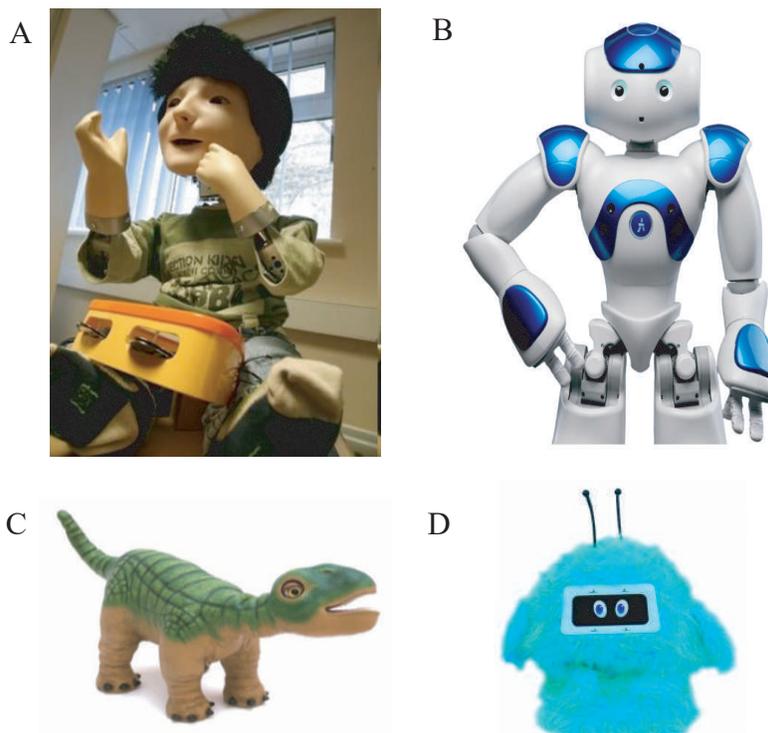


Figura 1.9: Imágenes de robots mostradas a los niños. **A.** Robot Kaspar **B.** Robot Nao **C.** Robot Pleo **D.** Robot Romibo

Entre los otros aspectos a resaltar se encuentra que los terapeutas querían una apariencia amigable, con apariencia de bebé para que los niños lo vieran como un semejante, colores primarios, nada de estampados, accesorios, que sea abrazable y suave, con sus extremidades superiores activas, entre otros. En conjunto con la empresa Tejido de sueños, la cual está enfocada en el diseño inclusivo, y con la información reunida de todas las actividades previas, se realizaron 61 bocetos, de cinco categorías diferentes: persona caricaturizada, criatura fantástica, robot tradicional, apariencia animal y futuristas o indeterminados. Con un proceso de encuestas y actividades diseñadas para poder tener en cuenta la opinión de los niños, se llegó a los nueve bocetos más votados. Estos se pueden observar en la figura 1.10 y en los recuadros rojos se encuentran encerradas las tres apariencias de preferencia entre la comunidad TEA. Con ayuda de la empresa Tejido de sueños se fabricó los atuendos del robot, correspondientes a las tres apariencias. En la figura 1.11 se observan los tres diferentes atuendos del robot, junto con los bocetos respectivos de cada uno.

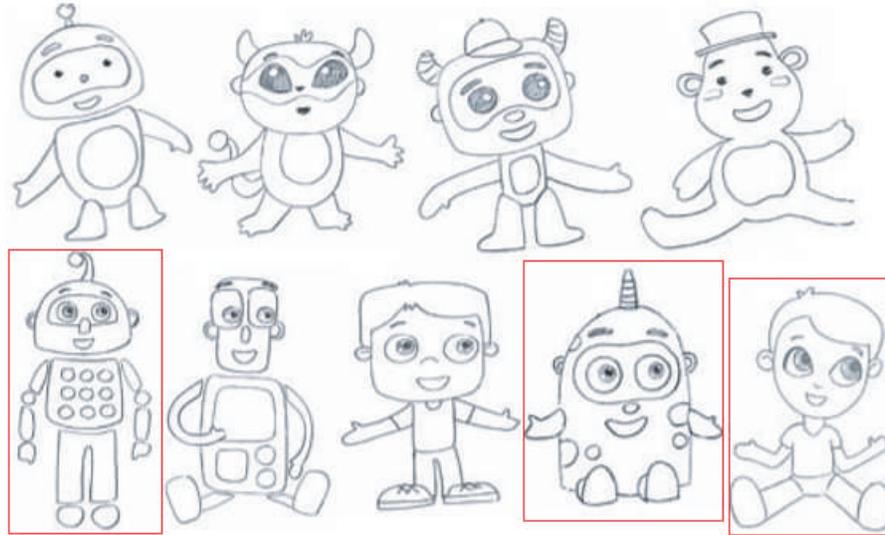


Figura 1.10: Bocetos más votados



Figura 1.11: Apariencias finales del robot

Con este proceso de diseño participativo se logró integrar a la comunidad de manera activa durante el proceso del proyecto, además de mostrarles cómo sus opiniones fueron tomadas en cuenta. Por esto se ha hecho participe a la comunidad de todos los avances que ha tenido el proyecto en base a las actividades de las cuales han hecho parte. Se mostró las apariencias finales del robot por medio de un póster con la imagen de la figura 1.11 y se realizó una actividad para conocer la apariencia de preferencia. Para esto se les proporcionó stickers de tres colores diferentes para cada grupo de la comunidad: padres o acudientes, profesionales de la salud y niños. Cada individuo ubicó su sticker en la apariencia que más le gustó, obteniendo mayor cantidad de votos la apariencia del robot como se observa en la figura 1.12. Esta apariencia fue la utilizada para el desarrollo del estudio realizado.



Figura 1.12: Votación de la apariencia más acogida por la comunidad

### 1.2.3. Interfaz de cámaras

En estudios anteriores del estudio CASTOR se contó con un programa de reconocimiento facial, como se observa en la figura 1.13, el cual permitió saber con más precisión cuál era el foco de atención del niño durante el desarrollo de la terapia, facilitando así la evaluación del desempeño de las intervenciones en presencia del robot. Con este sistema de cámaras es posible medir la atención compartida de los niños durante las sesiones de terapia. Uno de los hallazgos más importantes de estos estudios previos, y que sirve como una base sólida para los trabajos subsiguientes del proyecto, fue observar que la terapia tuvo una mejor ejecución en los casos en los que el terapeuta y el robot intervenían en partes iguales (50/50) durante la terapia [21].



Figura 1.13: Reconocimiento facial utilizado en estudios previos de CASTOR

## 1.3 Objetivos del proyecto

### 1.3.1. Objetivo general

Evaluar el desempeño de un robot social CASTOR, durante terapias para niños con autismo.

### 1.3.2. Objetivos específicos

1. Realizar una revisión del estado del arte de estudios relacionados con el uso de robots sociales en terapias para niños con TEA y la interacción de los niños con los robots sociales.
2. Evaluar el desempeño del robot CASTOR cuando existe interacción física con los niños con TEA por medio de un estudio de propiocepción.
3. Procesar y analizar el efecto del robot en un estudio de propiocepción en los niños con TEA.
4. Realizar el diseño de un programa terapéutico asistido por robot para ser implementado más adelante en la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner.

## 1.4 Contribuciones

Este proyecto tiene como objetivo principal validar el robot social CASTOR para uso en terapias con niños con autismo. El robot CASTOR se creó bajo el concepto de resistir la interacción física con los niños. Por esta razón se evaluó el desempeño del robot en un ambiente real en el que se propiciara el acercamiento del robot con niños con TEA.

Adicionalmente se realizó de manera interdisciplinar, junto con los profesionales de la clínica con la cual se desarrolló el proyecto, el diseño de terapias más acordes a los niveles de funcionalidad de los niños y teniendo una serie de criterios a evaluar. Se desarrolló y ejecutó el protocolo de un primer estudio a corto plazo, cuyos resultados sirvieron como punto de partida para realizar el diseño de un programa terapéutico asistido por robot. Este responde a las necesidades de la población y se integrará más adelante a los servicios de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner.

## 1.5 Organización del documento

En esta sección se encuentra resumido el contenido que se encuentra en cada uno de los capítulos que componen el presente documento.

- Capítulo 2: Este capítulo contiene el estado del arte realizado para este proyecto con el fin de reunir la información necesaria para el mismo. Se encuentra información para entender de mejor manera el trastorno del espectro autista y las implicaciones que este tiene en el desarrollo de las personas que lo padecen. De igual forma se encuentra información sobre la robótica social empleada a dicha condición.

- Capitulo 3: En este capítulo se encuentra la metodología que se llevó a cabo durante la ejecución de un estudio para trabajar propiocepción en niños con TEA, el cual fue un estudio a corto plazo. Incluyendo criterios de exclusión e inclusión, las variables a medir y la organización del espacio experimental. De igual forma, se encuentra el proceso con el que se diseñó un programa terapéutico asistido por robot, con el fin de ser implementado a futuro.
- Capitulo 4: El capítulo reúne los resultados y hallazgos del estudio a corto plazo, mostrando el correspondiente análisis estadístico de las variables que se evaluaron. Adicionalmente se encuentran los resultados finales del diseño de un programa terapéutico asistido por robot.
- Capítulos 5 y 6: En estos capítulos se encuentran las conclusiones relacionadas a los resultados encontrados en el estudio a corto plazo. Además de esto, también se encuentran los estudios futuros planteados, siendo este trabajo una base sólida para continuar avanzando en el desarrollo de tecnología para intervenciones en niños con TEA.

## Capítulo 2

# ESTADO DEL ARTE

Este capítulo contiene una introducción a ciertos conceptos necesarios para desarrollar el presente trabajo de grado. Se encuentra un repaso de la historia del autismo y una breve explicación científica de este. Se menciona de manera breve la teoría de la mente y la relación entre la interacción física con las habilidades sociales. Adicionalmente se trata la robótica social y su participación en los tratamientos del TEA.

### 2.1 Trastorno del espectro autista

El autismo como concepto ha pasado por muchos cambios a lo largo de los años. La palabra tiene la raíz griega *autos*, la cual significa *propio* o *a sí mismo*. Esta palabra se usó desde un inicio para referirse a cualquier persona que se mostrara retraída e incluso se utilizó para referirse a las personas que sufrían de esquizofrenia. Alrededor del año 1911 se asociaba la palabra con la pérdida del contacto con la realidad, rasgo particular de la esquizofrenia [16]. En el año 1925, la psiquiatra Grunya Sukhareva detalló las características de un grupo de seis niños bajo el nombre de *psicopatía esquizoide en niños*, estableciendo que se trataba de un trastorno con algunas similitudes a la esquizofrenia y al mismo tiempo difiriendo de ella. Ya en el año 1938, se asoció por primera vez la palabra *autista* con casos descritos en conferencias dadas por Hans Asperger [22].

Más adelante en 1943, el psiquiatra Leo Kanner define lo que es el autismo infantil precoz en su publicación *Perturbaciones autistas del contacto afectivo*[16]. Dicha publicación la realizó unos años después de recibir en su consultorio el caso de Donald Triplett (el primer niño con autismo que Kanner atendió) y en esta propuso el concepto de soledad autista refiriéndose tanto a la dificultad para relacionarse con otros, la cual es una conducta notable en los primeros años, así como a la alteración del lenguaje [16][22]. Luego, en el año 1944, Asperger publicó su trabajo *“Los psicópatas autistas en la infancia”* [22], donde describía niños en buen estado intelectual entre los 4 y los 5 años, con signos de trastorno del pensamiento. Finalmente, el psiquiatra Israel Kolvin diferenció la esquizofrenia del autismo en el año 1971 [16].

El TEA hace parte de los trastornos generalizados del desarrollo, caracterizados por tres rasgos principales que se presentan comunmente [2]. (i) Déficit en las habilidades sociales, afectando aspectos de la comunicación no verbal como el contacto visual, las expresiones faciales y la atención compartida. Esto deriva en retraimiento y dificultades para relacionarse con sus semejantes [1]. (ii) Problemas en la comunicación, afectando tanto el lenguaje comprensivo como el hablado [1][2], generando rasgos como el lenguaje estereotipado, palabras repetitivas,

problemas en la capacidad de seguir ordenes simples e incluso se puede presentar carencia de lenguaje. (iii) Actividades e intereses repetitivos y restringidos. Esto también incluye los rasgos estereotipados [1][23] que se refiere a cualquier actividad que lleve a cabo la persona de manera iterativa y que le genera placer.

El autismo ha sido un tema de interés para estudios e investigaciones científicas desde su descubrimiento, sin embargo, aún no es claro cuáles son exactamente las causas que lo generan [5][4]. Todavía hay mucha confusión alrededor de este tema, de tal manera que incluso hay quienes piensan que los hábitos alimenticios de los padres están relacionados con las causas del TEA [24]. Hoy en día se sabe que se trata de una alteración del neurodesarrollo donde una disfunción presente en el sistema nervioso central (SNC) genera los síntomas característicos de este trastorno y la intensidad del mismo [1][6]. La variabilidad de las conductas de los niños con TEA está dada por las redes neuronales y cómo éstas están afectadas [6]. Además de esto, por medio de imágenes diagnósticas se ha podido detectar algunas anormalidades anatómicas en ciertas partes del cerebro, como la amígdala y el cerebelo [25][26].

Las regiones mencionadas están relacionadas a las zonas del cerebro encargadas de las emociones y la parte social. Por un lado la amígdala hace parte del “cerebro emocional” y está involucrada en los procesos de reconocimiento de emociones y el contacto visual [25][27], además de ser una parte importante para la memoria declarativa y en la respuesta ante una situación de miedo [28]. El cerebelo está involucrado en una amplia variedad de procesos como son la memoria, las emociones y la información y respuesta sensorial [28][26].

También es importante mencionar las neuronas espejo. Estas se encuentran en la corteza motora y tienen respuesta tanto sensorial (visual, auditiva, etc.) como motora [5]. Este tipo de neuronas cumplen un papel importante tanto en la detección de la intención del movimiento de otros como en la comprensión de una acción. Esta última se realiza por la representación motora que se crea en las neuronas al momento de observar cierta acción. Es necesario aclarar que las neuronas espejo codifican las acciones motoras, cuando es la misma persona la que realiza dichas opciones, y crean representaciones motoras cuando la persona observa los movimientos de los otros [29]. Estos procesos derivan en la capacidad de imitación, donde este tipo de neuronas son muy importantes y es por esto que reciben el nombre de “espejo” [5][29]. Por esta razón también se involucran de manera importante en los procesos de aprendizaje que se llevan a cabo a partir de la imitación [5].

Los procesos de imitación pueden darse de forma incidental y automática, y de manera indirecta e intencional. A su vez pueden ser procesos de imitación simétricos, es decir que se copia de manera exacta la acción que se observa, o asimétricos, dando complementariedad a las acciones observadas con acciones contrarias [30]. Debido a la presencia de neuronas espejo en el área de broca, se piensa que estas también son importantes en la adquisición de lenguaje, sobre todo por la imitación de los movimientos de la boca, asociándolos a la vez con los sonidos emitidos, poniendo en marcha la respuesta bimodal que tienen estas neuronas [5][30]. De manera adicional también se involucran en los procesos del lenguaje no verbal, ya que se involucran los gestos de las demás personas [30].

Las neuronas en espejo también se han encontrado en zonas del cerebro, responsables de la expresión emocional, por lo cual también estas neuronas se asocian con la empatía al comprender lo que sienten los demás [5] y estar involucrado el contagio emocional [30]. Teniendo en cuenta la cantidad de procesos en los que se encuentran involucradas las neuronas espejo, se plantea que en personas con TEA el funcionamiento de estas debe sufrir algún tipo de anormalidad y por medio de resonancia magnética se ha logrado observar que sí hay una

menor actividad en individuos con autismo, en comparación con personas neurotípicas. Dicho esto, es posible asociar la baja actividad de dichas neuronas con algunos rasgos del TEA como lo son el déficit en habilidades sociales, y la inhabilidad de percibir a los demás como seres semejantes, con intenciones y motivaciones. Esto último hace referencia a la teoría de la mente [5]

Un aspecto importante al hablar de TEA es la teoría de la mente o ToM por sus siglas en inglés (Theory of Mind). Esta, como se dijo anteriormente, implica la deducción del comportamiento de los demás basándose en sus estados mentales, intenciones y motivaciones [31]. Las personas con autismo presentan dificultad al realizar este tipo de predicciones [32], por lo que se sabe que hay irregularidades en este proceso cognitivo. Al rededor de los cuatro años de edad, el niño ya desarrolla la capacidad de hacer conjeturas falsas que ayudan a la predicción de los comportamientos de sus semejantes [32][31]. Este comportamiento le permite al niño empezar a entender que los estados mentales no necesariamente tienen que coincidir con la realidad y que son más creencias subjetivas [32]. El correcto desarrollo de la capacidad de ToM es clave para las interacciones y habilidades sociales del niño[32].

Es importante mencionar la relación que existe entre el contacto físico y las habilidades sociales. La importancia del contacto físico se ve desde el inicio de la vida, donde el recién nacido adquiere información a través del contacto *piel con piel* y esta es a su vez la primera forma de comunicación [33]. En los primeros años de vida la principal comunicación del bebé, donde empieza a entender las emociones y a crear lazos fuertes, es con su madre [33][34]. Estas son las bases para la comunicación verbal y no verbal e incluso después de adquirir un lenguaje verbal, la información que brinda el contacto físico es importante para mejorar los procesos de comunicación. Este tipo de cercanía física tiene una importante influencia en la parte neuronal y de comportamientos sociales [33][34].

Existen dos tipos de contacto, según la neuropsicología. Un tipo de contacto, el discriminativo, recopila la información no visual ni auditiva de los objetos con los que interacciona el individuo, es decir las características táctiles de estos [33]. Por otro lado, por medio del contacto afectivo se reúne la información relacionada a la emociones, la parte afectiva, la parte relacional y las características sociales [34]. Como se dijo anteriormente, el contacto físico es un medio para comunicar principalmente emociones, tanto positivas como negativas. Este tipo de comunicación alimenta las relaciones sociales y así mismo mejora la cognición social [33].

De esta forma, el contacto interpersonal influye en las habilidades sociales, la comunicación y, en las representaciones subjetivas de las sensaciones, emociones y estados mentales de los otros [33][34]. La cercanía física con los semejantes es la que le permite al ser humano estimar de manera correcta la distancia interpersonal como algo notable tanto social como emocionalmente [33]. Estas características son justamente las que se ven alteradas en las personas con TEA, los cuales muestran desde muy temprana edad cierto rechazo al contacto físico.

La atención conjunta, es otro aspecto importante que se ve alterado en las personas con TEA [3]. Esta habilidad se empieza a manifestar en la mayoría de los niños antes de los 6 meses de edad. La atención conjunta, también conocida como atención compartida o JA por sus siglas en inglés (Joint Attention), es la capacidad que tiene un individuo de prestar atención al mismo objeto o acontecimiento que su interlocutor, implicando una coordinación social y con el fin de aprender del ambiente [6][35][36]. Desde muy temprana edad, una evidencia de que el niño tiene buena atención compartida es por medio del contacto visual que este

tiene con los padres [3]. Se cree que la habilidad de la atención compartida está fuertemente relacionada con la teoría de la mente, dándose el desarrollo de esta última después de que se ha empezado a expresar la atención compartida, al rededor de los 30 y 36 meses de edad [6].

La respuesta a la atención compartida es la facultad de interpretar gestos por parte de otra persona, como una mirada o el señalar con el dedo, y dirigir la mirada hacia la dirección indicada por el otro [6]. Esto se puede dar con puntos cercanos como los dibujos de un cuento, donde si la persona le señala el dibujo al niño se espera que este mire lo que se le acaba de indicar, o con puntos más lejanos trabajando la capacidad de seguir la línea de la mirada del interlocutor al señalar algo con el dedo [6]. Esta habilidad de atención conjunta está involucrada en muchos procesos típicos y diarios, como el solicitar ayuda para alcanzar un juguete, involucrando contacto visual y el uso de gestos para llevar a cabo la comunicación con otra persona [6]. La alteración de esta competencia en el autismo genera problemas en la adquisición de información social vital para un correcto desarrollo socio-cognitivo, así como tampoco se da un desarrollo de interacciones afectivas recíprocas y termina afectando también la comunicación social de la persona [6].

Teniendo en cuenta que el autismo no tiene una causa biológica conocida, este no tiene tratamientos para prevenirlo o erradicarlo [16]. A diferencia de esto, la manera de intervenir es por medio de programas terapéuticos, así como lo son las terapias psicológicas debido a que se ha encontrado que los niños con TEA suelen tener predisposición por desarrollar otros desordenes como la ansiedad, déficit de atención, hiperactividad, entre otros. Esto puede impactar de manera negativa en la parte social y emocional, siendo crucial reducir el impacto de estos desórdenes [37].

Se hace uso del análisis conductual aplicado (ABA) para realizar las intervenciones terapéuticas en el tratamiento del TEA [16][17]. El ABA se implementa para pacientes con autismo, reduciendo el comportamiento atípico y mejorando las habilidades sociales y comunicativas [18]. Dichos tratamientos terapéuticos se trabajan con grupos interdisciplinarios y tratan de abarcar varios aspectos, por lo que puede incluir terapias dirigidas también a los padres [16][17]. Las intervenciones realizadas incluyen terapias en el lenguaje, terapia ocupacional, psicología, entre otros, garantizando la mejora en el aprendizaje y algunos aspectos como la imitación, comunicación, habilidades sociales, seguimiento de instrucciones, imitación, reconocimiento de emociones y toda serie de actividades que trabajen las habilidades en las cuales se presentan deficiencias [16][24][17].

## 2.2 Robótica social en autismo

Para esta sección se realizó una búsqueda de artículos en la base de datos Scopus y en el buscador de la Universidad del Rosario CRAI, donde se encontró resultados en las bases de datos Scopus, ScienceDirect, EBSCO y Springer Nature. Con esta búsqueda se buscaba responder preguntas de investigación como “¿Qué son los robots sociales?”, “¿Cómo se han utilizados los robots sociales en intervenciones en autismo?”, “¿Qué estudios se han realizado con robots sociales en terapias para niños con TEA?”, “¿Qué estudios se han realizado con robots sociales en terapias para niños con TEA, enfocados en la interacción física?” y “¿Qué estudios se han realizado con robots sociales en terapias para niños con TEA, enfocados en la interacción social?”. Se encontró un total de 41 artículos que daban respuesta a estas preguntas, encontrando 7 en la base de datos Scopus y los 34 restantes en la base de datos de la Universidad del Rosario CRAI. Para esto se implementaron diferentes ecuaciones de

búsqueda, como las siguientes:

- (robots) AND (ASD)
- ("social robots") AND (ASD)
- ("social robots") AND (autism)
- ("social robots") AND (ASD) OR (autism) AND (touch)
- ("social robots") AND (ASD) AND (tactile)
- ("social robots") AND (ASD) AND (interaction)
- ("social robots") AND (ASD) AND ("social interaction")
- ("social robots") AND (ASD) AND ("physical interaction")
- ("social robots") AND (ASD) AND (tactile)
- (autism) OR (ASD) AND ("physical interaction") AND ("social interaction")

Según la CIF (Clasificación internacional del Funcionamiento, de la discapacidad y de la salud) es necesario tener en cuenta diferentes factores cuando se evalúa a personas con algún tipo de disfunción. Un factor ambiental es la sociedad en la que se encuentra la persona, siendo esta la que realmente genera las discapacidades de las personas [19]. Tener presente los factores que se encuentran involucrados en el desarrollo de una persona es de suma importancia a la hora de buscar soluciones a diferentes discapacidades.

En rehabilitación se busca que las soluciones planteadas brinden autonomía e independencia a la persona a la que van dirigidas, teniendo en cuenta las necesidades de esta. Es aquí donde se puede empezar a hablar de las *tecnologías de asistencia*, lo cual se refiere a «cualquier elemento, pieza o producto» que ayude a mejorar o mantener las funcionalidades en la vida diaria de una persona con discapacidad, según la legislación de estados unidos [19][38]. Esta tecnología puede obtenerse al modificar algún objeto o un producto fabricado desde un inicio para una necesidad específica.

Parte de las tecnologías de asistencia son los *robots de asistencia social* (RAS) o SAR por sus siglas en inglés (Social Assistive Robots). Los robots sociales de asistencia son una combinación entre robots de asistencia y robots sociales. Los primeros inicialmente fueron pensados para proveer asistencia a los usuarios, como su nombre lo indica. Los robots sociales, por su parte, tienen comportamientos sociales, como el expresar y/o reconocer emociones, o tener la capacidad de mantener una conversación, generando así una interacción humano-robot al brindar la capacidad de crear relaciones de interacción [19][39]. De esta manera, los robots de asistencia social son la combinación entre estos dos tipos de tecnología, no solo proveen asistencia para los usuarios sino que también tienen rasgos y características sociales, lo que permite la existencia de procesos de aprendizaje y rehabilitación [19].

Teniendo en cuenta que la idea principal de los robots sociales es promover la interacción con el usuario, también es importante su aspecto físico y que cuenten con algo de autonomía para que las interacciones sean más naturales [39]. El aspecto de los robots tiene que ser amigable y además llamativo, para captar la atención, sobre todo, de los niños con discapacidades complejas, debido a que ellos son una población de gran interés para el uso de los RAS. Los

niños con discapacidades como el TEA tienen dificultades para involucrarse en actividades de juego, procesos que les ayudan a aprender y adquirir ciertas habilidades sociales. Es por esto que se necesita de una mayor motivación y enganche con objetos llamativos, como juguetes, en comparación con los niños neurotípicos a la hora de incentivar el juego [19].

La idea del uso de RAS en niños con TEA es involucrarlos en actividades a modo de juego, manteniendo su atención e interés, mientras tienen un progreso en sus procesos de rehabilitación y mejoran sus habilidades. Es necesario aclarar que la idea de este tipo de robots no es reemplazar a los terapeutas y profesionales de la salud, sino jugar un papel complementario con estos y convertirse en una herramienta útil para ellos y los pacientes [19].

Una gran variedad de robots han venido siendo utilizados desde finales del siglo pasado, observándose una mejora y avance en estos al pasar de los años. En 1990, el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) fabricó uno de los primeros ejemplares en esta rama, llamado Kismet. Esta cabeza robótica contaba con la capacidad de realizar gestos faciales expresando emociones, así como también con la capacidad de reconocerlas [39]. En la figura 2.1 se muestra una foto de este robot.

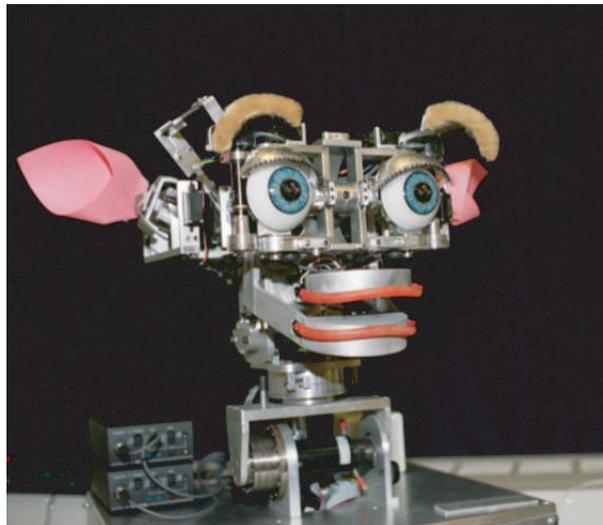


Figura 2.1: Robot Kismet [39]

Como se mencionó anteriormente, el aspecto de los robots sociales es de suma importancia y en el área del trabajo con TEA se encuentran diferentes aspectos. La apariencia física de los robots puede dividirse en tres grupos principales: humanoide, animal y aspecto de máquina [40]. A pesar de que la robótica social fue un tema que despertó mucho interés y en la que se empezó a trabajar, comercialmente no había muchos robots pensados para utilizarlos en TEA. Por esto en investigación se empezó a desarrollar tecnología propia para este enfoque [40]. En la tabla 2.1 se observan algunos robots utilizados en autismo y sus principales características. Algunos de estos robots y estudios realizados con estos serán explicados a continuación.

Tabla 2.1: Robots sociales utilizados en tratamiento del autismo

<i>Nombre</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Aspecto</i>	<i>Imagen</i>
Kaspar [41]	15	Humanoide	
Nao [42]	25	Humanoide	
Probo [43]	20	Animal/Fantástico	
Milo o Zeno [44]	15	Humanoide	
Charlie [45]	4	Fantástico	
Ono[46]	13	Fantástico	

### 2.2.1. Robot Ono

Este robot es uno de los utilizados en autismo y cuenta con un concepto *open source*. Esto quiere decir que es un robot que cuenta con un software y un hardware libre, lo que permite a las personas armar uno de estos robots con el concepto *DIY* (Do it yourself), lo que significa “Hágalo usted mismo” [46]. Es decir, este robot puede armarse y programarse de manera libre, además porque cuenta con una plataforma para programación por bloques para facilitar dicha característica. El robot cuenta con 13 grados de libertad y algunos de estos le permiten generar expresiones faciales [46]. En la figura 2.2 se observa el aspecto de este robot.



Figura 2.2: Robot Ono [46].

### 2.2.2. Robot Kaspar

EL robot Kaspar es un robot desarrollado con fines investigativos por el grupo de investigación de la Universidad de Hertfordshire, Reino Unido. Buscaba proveer las características de un robot social, generando aceptación por parte de las personas [47]. Cuenta con una apariencia humana como se observa en la figura 2.3. Este robot tiene el tamaño y aspecto de un niño de unos 3 años, además cuenta con una gran variedad de expresiones corporales. El dorso del robot cuenta con un grado de libertad, cada brazo contiene otros tres grados de libertad, la cabeza cuenta con 8 grados de libertad, teniendo así un total de 15 grados de libertad [19][48][41]. Además, la cara de Kaspar tiene la capacidad de realizar expresiones faciales para demostrar emociones gracias a la movilidad que tienen sus ojos y boca [49].



Figura 2.3: Robot Kaspar [50].

Este robot se ha usado en varios estudios enfocados en la conciencia de su propio cuerpo, aprendizaje cognitivo, reconocimiento de emociones y el juego asistido [41][51][49]. Este es un robot utilizado para investigación, así que es importante tener en cuenta que todos los estudios realizados forman parte también de un proceso continuo del robot, en el que en los últimos estudios se evidencia la permanencia de ciertas características que al ser implementadas en estudios previos mostraron resultados favorables, así como también se observa esto en el planteamiento de las actividades que conforman los estudios.

En un estudio enfocado en el aprendizaje cognitivo y conciencia corporal, gracias a los sensores táctiles con los que contaba el robot Kaspar, en partes estratégicas como los cachetes, el torso, brazos y manos, lograron que el robot reaccionara a las diferentes interacciones físicas de parte de los niños. En el momento en el que las interacciones eran bruscas, Kaspar se tapaba la cara, expresaba dolor y mostraba una expresión de tristeza. En este estudio concluyeron que este tipo de interacción con el robot ayudó a mejorar estos comportamientos rudos de los niños, que incluso intentaban calmar a Kaspar [41]. Resultados que también se observaron en un estudio enfocado al juego asistido, en el cual Kaspar también reaccionaba a la interacción de los niños. Este estudio además contó con una fase de familiarización para que los niños conocieran el robot y se sintieran cómodos con este [49].

Más adelante en un estudio longitudinal de propiocepción, se mantuvo el uso de los sensores en las partes mencionadas anteriormente, sólo que esta vez usaron sensores de fuerza. Esto para poder registrar las interacciones físicas de los niños con el robot. En este ya se empleó una fase de familiarización para que los niños se acostumbraran al investigador que llevó a cabo el estudio, antes de empezar el experimento. También contó con una fase de pre y post test para poder medir el avance de los niños. Las actividades de este estudio trabajaron la identificación de las partes del cuerpo de diferentes maneras. Con este estudio observaron varias particularidades en el transcurso de las sesiones, como que el interés de los niños en el robot no disminuyó y por el contrario su interés por la persona que lo acompañaba incrementó. También encontraron que disminuyó la imitación física, pero cuando se trataba de una coreografía su desempeño aumentó, además de la utilidad del robot para el aprendizaje de los niños. Sin embargo, se menciona que la muestra del estudio fue pequeña (8 niños) por lo que es un limitante para poder establecer que los resultados encontrados representan a toda la población con autismo [51].

Usando este robot también se realizó un estudio para trabajar las habilidades de percepción visual. En este estudio trabajaron en habilidades como la teoría de la mente (ToM), utilizando juegos como *Yo veo*. También implementaron un pre-test y un post-test para evaluar el desempeño de los niños. En este caso utilizaron tres actividades para aplicar en este post test. Uno de estos consistía en llenar una caja de dulces vacía con lapices, preguntarle al niño qué creía que había en la caja, con lo cual el niño naturalmente respondería que los dulces, luego mostrarle los lapices, cerrar la caja y volver a hacerle la pregunta al niño. Encontraron que la mayoría de los niños lograron engancharse a las actividades con el robot, sin embargo que la población que más se vería beneficiada por el uso de un robot social, específicamente en las actividades realizadas en este estudio, serían los niños con síntomas de autismo de moderado a alto [52].

### 2.2.3. Robot Probo

El robot Probo fue diseñado pensando en los problemas emocionales que genera en las personas la hospitalización y en la ayuda que brinda la terapia asistida por animales. Este robot tiene un aspecto entre animal y criatura fantástica, o caricatura, además de tener una apariencia abrazable como se puede observar en la figura 2.4. El aspecto del robot tiene una razón de ser, por el lado de las características físicas existe toda una historia creada que explica su origen, y por otro lado el color verde se debe a que encontraron que este color transmite tranquilidad [53][54]. Este robot posee 20 grados de libertad, los cuales se reparten entre su cabeza, ojos(incluidos los parpados), cejas, orejas, boca y la trompa. Este es capaz de realizar expresiones faciales expresando emociones y se comunica con los niños con una voz neutra [53].



Figura 2.4: Robot Probo [54]

Uno de los estudios que se revisó, donde fue utilizado el robot Probo, está enfocado en la interacción con los niños para trabajar las habilidades sociales. Este consistía en que los niños hicieran una ensalada de frutas con Probo. En este caso el estudio contó con una muestra de 35 participantes, niños con TEA de entre 5 y 7 años. Este estudio contó con una fase de familiarización donde el niño podía interactuar libremente con Probo por 5 minutos. Además, durante la actividad el investigador primero le mostraba al niño qué hacer para que luego este lo hiciera solo, ayudado por el investigador si era necesario. En este se alternaba la participación del robot y del acompañante adulto con el que tenía que interactuar el niño y la idea era que el niño logrará identificar qué frutas le gustaban a la persona que lo acompañaba o al robot, dependiendo el caso. Esto por medio de expresiones y sonidos de gusto o disgusto. En este estudio lograron comprobar que los niños realizaban mejor las actividades al estar acompañados del robot, además de expresar más habilidades sociales con este [43].

En la figura 2.5 se observa otra versión del robot Probo. Este es una combinación entre un

peluche de Probo y el concepto de tamagotchi. El tamagotchi es un juguete en el cual se tiene una mascota virtual a la cual hay que cuidar como si fuera real, por ejemplo alimentándola [55]. La idea de este otro estudio era proporcionarle el Probogotchi a un niño con TEA para que lo utilizara en la casa. La niña con TEA que participó del estudio, tiene un hermano neurotípico el cual expresa que le gustaría que la hermana fuera más cercana a él y menos agresiva. La idea del estudio es mejorar las habilidades sociales por medio de la interacción física. La manera en la que funciona Probogotchi es siendo la interfaz de un juego de video que guarda el concepto del tamagotchi, donde hay que alimentar y cuidar la versión digital de Probo. En este caso en vez de usar teclados o mouse, la niña tiene que interactuar directamente con Probogotchi para poder realizar alguna acción en el juego. En este estudio demostraron que efectivamente hubo una mejora en las habilidades sociales de las niña con TEA, sobre todo hacia su hermano [56].



Figura 2.5: Probogotchi [56].

Otro estudio en el que se hizo uso del robot Probo, estuvo centrado en las habilidades sociales y habilidades para el juego. En este estudio se realizó una actividad de doctor y paciente, donde el niño jugaba el rol de doctor y el rol de paciente lo tomaba en algunas ocasiones el robot Probo y en otras el acompañante del niño. La idea de este juego colaborativo era hacer que el niño curara al paciente enfermo por medio del uso de las herramientas correctas para ello. Para esto, se le indicaba al niño cuál era la herramienta que necesitaba y se le pedía que la buscara dentro de una variedad de objetos. La idea era observar si el niño seleccionaba el objeto correcto. Se realizaron dos grupos diferentes, uno que contaba con la participación del robot y el otro sin la participación de este. Encontraron que los niños que contaban con el robot como compañero de juegos, realizaban mejor la actividad que los niños que tenían solamente al adulto como compañero de juegos [57].

#### 2.2.4. Robot Charlie

Este es un robot de bajo costo, para investigación y desarrollado en la Universidad de Carolina del sur, Estados Unidos, con un aspecto entre animal y criatura fantástica, como se puede observar en la figura 2.6 [19][45]. Este robot tiene cuatro grados de libertad, dos en cada uno de los brazos, y una cámara en la cabeza para poder observar la cara de la persona que se encuentre al frente, ya que el robot cuenta con un sistema de *reconocimiento facial*. La idea de este robot es que pueda estar al alcance de padres y maestros para que pueda ser utilizado en intervenciones tempranas en los niños con autismo [45].



Figura 2.6: Robot Charlie [45].

Este robot se utilizó en terapias para niños con TEA, compuestas por varias actividades. Una de ellas estaba acompañada de música infantil durante la cual el robot hacía movimientos con sus brazos, acorde a la canción, pidiéndole al niño que imitara sus movimientos. Con esta actividad demostraron que la música resultó bastante efectiva al captar la atención de los participantes y lograron realizar la imitación. Además pudieron observar que parte del enganche de los niños viene dado también por las reacciones del robot. También se realizaba una actividad en la que se alentaba al niño a ponerle un sombrero al robot y preguntarle si le gustaba. Cuando el robot decía que no, los niños mostraban sorpresa y los llevaba a tener que ponerle otro accesorio al robot y volver a preguntar si le gustaba. Eso propiciaba que el niño compartiera sus reacciones, y lo que estaba sucediendo, con la persona que lo acompañaba. Así se notó un incremento en el establecimiento de contacto visual, interacción social y el esfuerzo de los niños por comunicarse [58].

Con el estado del arte se logró tener claridad en la manera de involucrar a los robots sociales en terapias para niños con TEA. Adicionalmente fue posible encontrar características en común entre los robots para promover la atención y la interacción de parte de los niños hacia los robots. También fue posible evidenciar diferentes actividades implementadas para

involucrar la participación del robot a manera de herramienta de apoyo, trabajando diferentes habilidades en los niños con TEA.

## Capítulo 3

# METODOLOGÍA

En este capítulo se presentará la metodología que fue llevada a cabo para desarrollar el estudio a corto plazo de propiocepción y la metodología para diseñar la terapia que va a conformar el estudio longitudinal. Para empezar, en base a la búsqueda bibliográfica realizada con anterioridad, sobre las terapias y actividades llevadas a cabo con diferentes robots de asistencia social, fue posible diseñar las actividades de cada uno de los estudios. El estudio a corto plazo tomó lugar en las dos sedes de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner, así como también se hará con el programa terapéutico asistido por robot .

### 3.1 Estudio Propiocepción

Este estudio a corto plazo buscaba introducir el robot a los niños de ambas sedes de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner, además de observar su desempeño en terapias con ayuda del robot, que trabajaran la conciencia corporal. El estudio se centró en el contacto físico de los niños con el robot, para evaluar también si este fomentaba este tipo de comportamiento en ellos. Esto teniendo en cuenta que el robot CASTOR está diseñado para permitir a los niños explorarlo, brindándoles seguridad a la hora de hacerlo y sin que este sufra daño.

Se planteó una terapia de propiocepción y luego se diseñó el protocolo donde se explica detalladamente las actividades que conforman la terapia junto con el papel del robot y de los terapeutas en cada una de ellas. Este contó con el aval de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner y adicionalmente fue enviado al comité de ética de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. El protocolo se le presentó a los padres y/o acudientes de los niños, los cuales procedieron a leerlo informándose de todo el procedimiento del estudio. Además de esto, el protocolo contó con un consentimiento informado para que el padre, y/o acudiente de cada niño, diera la autorización para su participación en el estudio. En el apartado de anexos se encuentra el protocolo realizado para este estudio junto con el consentimiento informado.

Como hipótesis inicial del estudio, se planteó la posibilidad de que al permitirles a niños con TEA la interacción física con el robot, esto tendría un impacto positivo en el desempeño durante las terapias de propiocepción, observando una mejora. Así, las condiciones experimentales fueron iguales para ambos grupos, con el fin de garantizar resultados confiables.

### 3.1.1. Participantes

En este estudio participaron 35 niños diagnosticados con TEA. Para el estudio se conformaron dos grupos: un grupo control, que contó con la participación de 14 niños y 3 niñas, y un grupo de estudio que contó con la participación de 14 niños y 4 niñas. Los profesionales de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner fueron los que ayudaron a ubicar a los niños, en cada uno de los grupos mencionados anteriormente, de manera aleatoria pero manteniendo la homogeneidad de los grupos. Esto se logró teniendo en cuenta los niveles de funcionalidad de cada uno de ellos.

En el grupo control a los niños no se les permitió tener una interacción física con el robot. Así, el terapeuta tenía que estar pendiente durante la terapia para frenar al niño en caso de que tuviera intención de tocar al robot CASTOR y así impedir la interacción física. Por su parte, en el grupo de estudio no había ningún tipo de restricción en cuanto a la interacción física. Es decir, a los niños que conformaban el grupo de estudio se les dio total libertad de tocar al robot CASTOR si querían hacerlo y en el momento que quisieran hacerlo.

**Criterios de inclusión** Los participantes del estudio serán niños que estén diagnosticados con TEA, cuyas edades se encuentren entre los 2 y los 10 años de edad y que tengan la autorización por parte de sus padres y/o acudientes por medio de la firma del consentimiento informado.

**Criterios de exclusión** Entre los criterios de exclusión para este estudio se encuentran niños que presenten algún déficit de audición y/o visión, que presenten algún movimiento ocular anormal y que presenten comorbilidades tales como Síndrome de X Frágil o Síndrome de Down.

### 3.1.2. Organización del espacio experimental

Como se mencionó anteriormente, el estudio se llevó a cabo en la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner. Antes de empezar con el estudio, en ambas sedes de la clínica se acondicionó el espacio donde se iban a llevar a cabo las terapias. Se destinó un consultorio para funcionar como el área experimental donde van a estar el niño, el terapeuta y el robot durante el desarrollo de las sesiones. Un consultorio contiguo funcionó como el cuarto de control, donde se encontraban los investigadores fuera del alcance visual de los niños y terapeutas, observando la terapia y controlando el robot acorde a la ejecución de la terapia. En la figura 3.1 se observa dicha organización.

Garantizar un espacio que funcione como cuarto de control es fundamental ya que el robot CASTOR no es autónomo. Este maneja el estilo *Mago de Oz*, lo que significa que necesita ser manejado por una persona mientras que el niño piensa que el robot se mueve por cuenta propia. Para mantener esta ilusión de autonomía ante los niños, es importante que los investigadores, o la persona que se encargará de manejar al robot, cuente con un espacio donde pueda observar la terapia sin ser visto por los participantes del estudio.

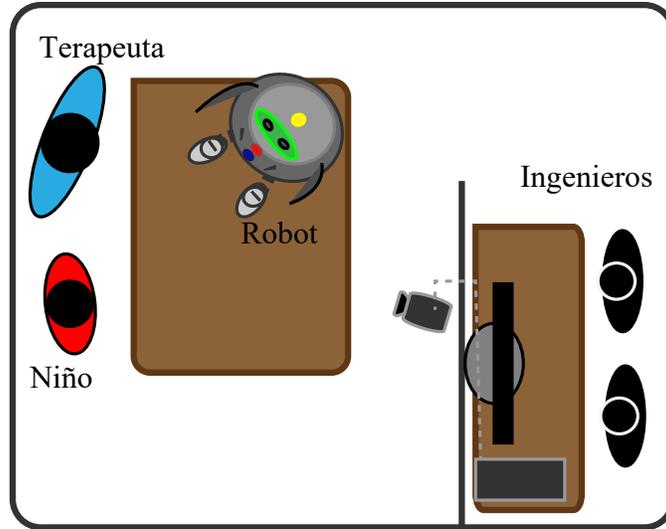


Figura 3.1: Organización del espacio experimental en la clínica

### 3.1.3. Procedimiento experimental

En este procedimiento ambos grupos estuvieron bajo las mismas condiciones experimentales y desarrollaron exactamente la misma terapia. La única diferencia recae en que el grupo control no tenía permitido tocar el robot mientras que el grupo de estudio tenía total libertad de tocarlo. Por cada niño que hizo parte del estudio, se realizó solamente una sesión de las terapias. La terapia está compuesta por dos partes, la primera consiste en una etapa de familiarización para que el niño conozca el robot. Para esto, el robot se programó para hacer algunas preguntas como “¿Cuál es tu nombre?”, “¿Cuál es tu animal favorito?” y “¿Cuál es tu color favorito?”. Esto con el fin de intentar fomentar y establecer una conversación entre el robot y el niño. En la figura 3.2 se observa a los niños interactuando con el robot.



Figura 3.2: Niños interactuando con el robot CASTOR durante las terapias de propiocepción

La segunda parte que conforma este estudio fue la terapia en sí. El robot empieza diciendole al niño “Vamos a jugar”, seguido de esto el robot empieza a señalarse partes del cuerpo junto

con el nombre de la parte que se está señalando. Después de esto, el robot le pide al niño que indique dónde está esa parte en su cuerpo. Por ejemplo, el robot se señala la cabeza, dice “Esta es mi cabeza” y después le pregunta al niño “¿Dónde está tu cabeza?”. Si el niño respondía de manera correcta, el robot le decía “Muy bien”. En el caso contrario el robot volvía a indicar la parte del cuerpo diciendo algo como “Vamos a tocar nuestras cabezas”, con el fin de alentar al niño a que responda de manera correcta. El robot CASTOR fue programado para indicar cuatro partes diferentes del cuerpo: cabeza, ojos, nariz y boca.

Al niño se le daban tres oportunidades para responder de manera correcta y luego de estas tres oportunidades el robot pasaba a mostrar otra parte del cuerpo. Para cada una de las partes el niño contaba con las tres oportunidades para responder correctamente dónde está esa parte del cuerpo. El robot señala de manera aleatoria las partes del cuerpo. La terapia termina cuando el robot haya señalado las cuatro partes para las que fue programado y, el niño haya terminado de responder. Por último el robot se despedía del niño o la niña con las frases “Chao amigo” o “Chao amiga”.

### 3.1.4. Variables

En el protocolo diseñado para este estudio, se estableció que el tipo de variables a medir, durante las sesiones, serían de carácter cuantitativo. Algunas de estas variables fueron medidas durante las sesiones por parte de los terapeutas según el desempeño de cada uno de los niños y otras fueron medidas por los investigadores del proyecto CASTOR con ayuda de los videos tomados durante las sesiones. Estas variables darán la información necesaria para poder conocer el rendimiento de los niños durante la terapias.

**Variables medidas por los investigadores:** Las mediciones que pueden ser obtenidas por medio de los videos, grabados durante las sesiones, son las siguientes:

- Interacción espontánea: Esta medida se refiere a la cantidad de veces en las que el niño toca el robot sin ninguna razón específica ni aparente.
- Interacción provocada: Esta medida se refiere a la cantidad de veces en las que el niño tiene interacción física con el robot porque el terapeuta le indica que lo haga.
- Desempeño de la actividad: Esta medida estima la cantidad de veces que el niño identifica de manera correcta las partes del cuerpo que le fueron indicadas por el robot durante la terapia.

**Variables medidas por el terapeuta:** Estas variables fueron evaluadas por los terapeutas del 1 al 3, donde 1 significa bajo, 2 significa medio y 3 significa alto. Las variables son las siguientes:

- Contacto visual: Si el niño realiza contacto visual con el robot.
- Respuesta emocional: Si el niño mostraba algún tipo de respuesta emocional durante las terapias, provocado por el robot.
- Interacción social con el robot: Si el niño muestra algún tipo de intención comunicativa hacia el robot.

- Interacción física: Si el niño toca el robot.
- Interés en el robot: Si el niño se muestra interesado en el robot.
- Mantener contacto visual: Si el niño hace contacto visual con el robot y lo mantiene por un tiempo prolongado durante la terapia.

### 3.1.5. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos, se hizo uso del software SPSS (IBM-SPSS Inc., Armonk, NY, USA). Por la naturaleza de los datos se aplicó la prueba estadística U de Mann Whitney con el fin de encontrar si existen diferencias significativas entre ambos grupos en en cada una de las variables evaluadas y por lo tanto en el desempeño de la actividad.

## 3.2 Diseño de un programa terapéutico asistido por robot

En la figura 3.3 se muestran los pasos generales llevados a cabo en el diseño del estudio a largo plazo, partiendo de una revisión bibliográfica de terapias en TEA que involucraran robots sociales y enfocadas al desarrollo de las habilidades sociales. En base a esta búsqueda se realizó un primer protocolo, con la primera propuesta de actividades para las terapias y ser presentado a los directivos de la clínica.

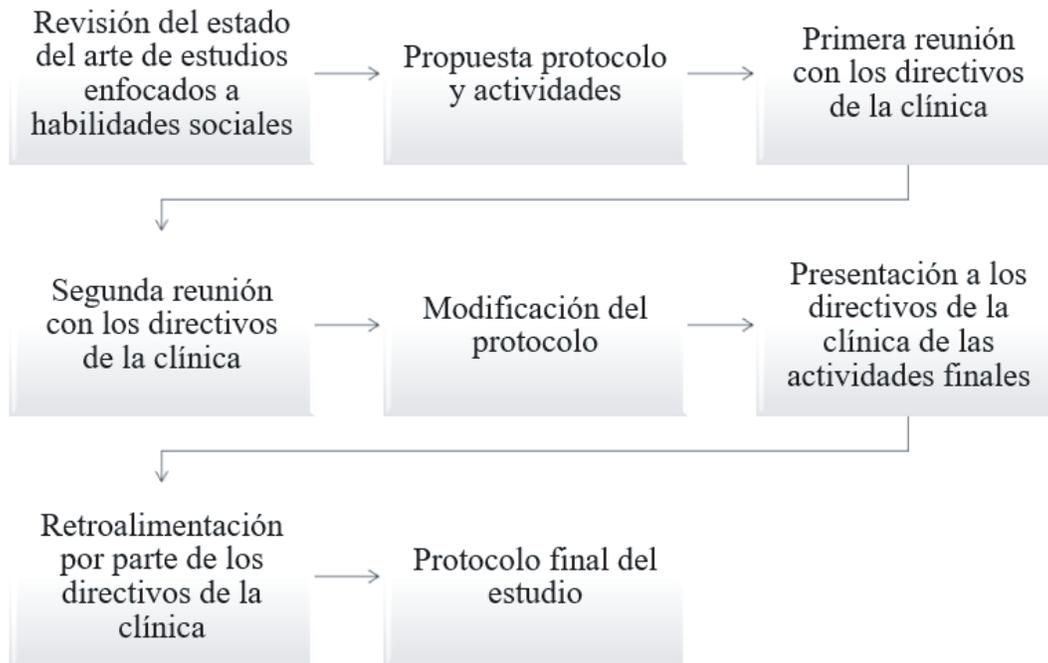


Figura 3.3: Pasos generales del proceso de diseño de un programa terapéutico asistido por robot



Figura 3.4: Actividades de la primera reunión entre los directivos de la clínica y el grupo de investigación

Durante la primera reunión también se llevó a cabo una serie de pasos que se muestran en la figura 3.4. Inicialmente se procedió a explicar, a los directivos, los hallazgos de los estudios previos y las actividades propuestas, junto con la idea de una modalidad semi personalizada de las terapias. De esta manera, se definió que se va a realizar una división del grupo de participantes en cuatro niveles de funcionalidad. Es necesario tener en cuenta que los profesionales de la clínica realizarán una evaluación inicial de los niños y por medio de la calificación de ciertos criterios, ubicarán a los niños en el nivel más adecuado. Adicionalmente, se fijó que la participación del robot y el terapeuta durante la terapia sería equitativo con el fin de obtener los mejores resultados.

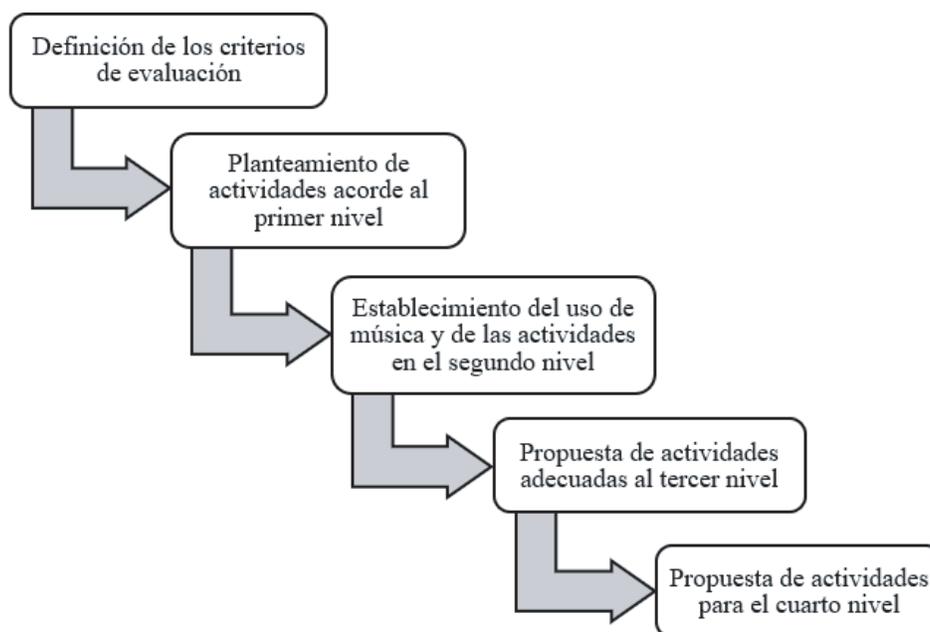


Figura 3.5: Secuencia de la segunda reunión entre los directivos de la clínica y el grupo de investigación

La figura 3.5 muestra el proceso que se llevó a cabo en la segunda reunión con los directivos de la clínica, partiendo de lo establecido en la reunión previa. Como punto de partida se estableció los criterios a evaluar en todos los niveles por igual, con el fin de garantizar una correcta evaluación de las terapias. Seguido de esto, se dialogó las modalidades y actividades más acordes para cada nivel.

También es necesario recalcar que la idea del proyecto es brindar una herramienta que pueda ser utilizada por los terapeutas en las terapias, la cual en este caso corresponde al robot CASTOR. Para esto se pensó en la necesidad de realizar una interfaz amigable con el usuario para el manejo del robot, con el fin de que lo pueda utilizar la persona que así

lo requiera sin necesidad de tener todo el tiempo al lado a los ingenieros del proyecto. Esta interfaz se realizó en la plataforma *Telegram*, una plataforma cuya descarga se puede hacer de manera gratuita en cualquier dispositivo móvil. Así, en el momento en el que estaba terminada la propuesta de las actividades y la interfaz mencionada, se realizó un video para cada uno de los niveles mostrando las acciones del robot CASTOR dentro de las rutinas de las sesiones de terapia. Al momento de realizar la grabación de estos videos, en paralelo se grabó la interfaz para que así se pudiera mostrar el funcionamiento de esta. Dichos videos se enviaron a los directivos del centro de rehabilitación junto con un documento donde se explicaban con detalle las actividades. De esta manera se recogió las opiniones de estos y se realizaron los ajustes pertinentes en las actividades propuestas.

## Capítulo 4

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se encuentran contenidos los hallazgos obtenidos del primer estudio, enfocado al trabajo de la conciencia corporal. De igual forma se encuentra el protocolo final del programa terapéutico asistido por robot.

### 4.1 Estudio Propiocepción

En este estudio participaron 35 niños diagnosticados con TEA (28 niños y 7 niñas). Los niños fueron distribuidos de manera aleatoria y homogénea entre el grupo control y el grupo de estudio. En las tablas 4.1 y 4.2 se encuentran las edades de los participantes junto con el sexo de cada uno (F-Femenino y M-Masculino), para el grupo control y el grupo estudio respectivamente.

Tabla 4.1: Edad y sexo de los participantes del grupo control

<i>Num</i>	<i>Edad</i>	<i>Sexo</i>
1	12	M
2	10	M
3	9	M
4	10	M
5	13	M
6	6	M
7	9	M
8	13	M
9	12	M
10	8	M
11	6	F
12	5	M
13	8	F
14	6	M
15	6	F
16	5	M
17	8	M

Tabla 4.2: Edad y sexo de los participantes del grupo de estudio

<i>Num</i>	<i>Edad</i>	<i>Sexo</i>
1	12	M
2	6	M
3	6	M
4	8	M
5	6	F
6	5	M
7	6	M
8	11	F
9	10	M
10	13	M
11	7	M
12	6	M
13	5	F
14	8	M
15	6	F
16	4	M
17	6	M
18	8	M

En esta parte se encuentran los resultados de todas las variables evaluadas durante el estudio con su respectiva parte estadística. También se presenta la estadística descriptiva, donde en color azul se encuentran los resultados correspondientes al grupo control y en color verde los resultados del grupo de estudio se encuentran.

#### 4.1.1. Variables medidas por los terapeutas

En esta parte se encuentran los resultados de todas las variables evaluadas por los terapeutas, las cuales son:

- Contacto Visual
- Respuesta emocional
- Interacción social
- Interacción física
- Muestra interés en el robot
- Mantiene contacto visual

Se aplicó la prueba de normalidad a las variables dando como resultado que estas no presentan distribución normal. Con lo anterior se tomó la decisión de aplicar la prueba estadística U de Mann Whitney para comprobar la existencia de diferencias significativas entre los grupos. La hipótesis nula planteada para cada una de las variables fue la siguiente:

- $H_0$ : La variable no presenta diferencias significativas entre el grupo control y el grupo de estudio.
- $H_1$ : La variable presenta diferencias significativas entre el grupo control y el grupo de estudio.

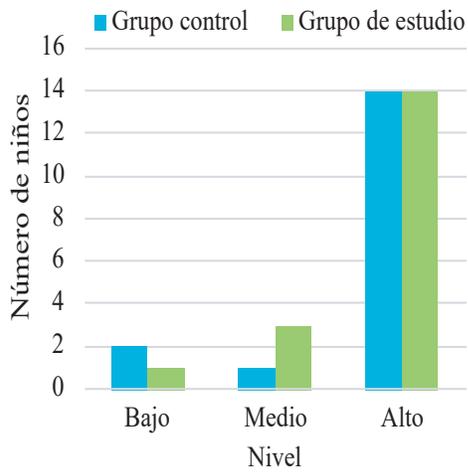
Tabla 4.3: Variables evaluadas por los terapeutas con su correspondiente p valor de la prueba U de Mann Whitney y el porcentaje de incremento en el nivel alto

<i>Variables</i>	<i>p valor</i>	<i>Incremento del nivel alto</i>
Contacto visual	0,831	0 %
Respuesta emocional	0,099	41,7 %
Interacción social	0,790	9,1 %
Interacción física	0,014	58,3 %
Muestra interés en el robot	0,247	23,08 %
Mantiene contacto visual	0,544	15,38 %

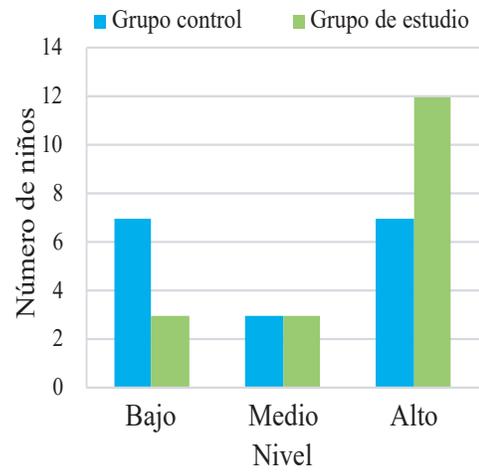
En la tabla 4.3 están contenidos los resultados de esta prueba además del porcentaje de incremento presentado en el nivel alto para cada una de las variables. Este último se evidencia en los gráficos de barras, correspondientes a la estadística descriptiva de las variables, lo cual se puede observar en la figura 4.1. Al observar las gráficas 4.1b y 4.1d, correspondiente a las variables de respuesta emocional e interacción física, aparentemente se evidencia una diferencia considerable entre el grupo control y el grupo estudio. Por otro lado en las gráficas 4.1a, 4.1c, 4.1e y 4.1f, a simple vista se observa que no hay mayor diferencia entre ambos grupos de estudio. Sin embargo, es por medio del respectivo análisis estadístico que se puede afirmar la existencia, o no, de diferencias significativas entre los grupos en cada una de las variables.

Con base en la tabla 4.3, se tiene que la prueba estadística para la variable de contacto visual arrojó un p-valor de 0,831. Al ser este valor mayor al 0,05 se acepta la hipótesis nula, es decir, la variable no presenta diferencias significativas entre los dos grupos de estudio. En la gráfica 4.1a se observa que la misma cantidad de niños obtuvo un nivel alto en esta variable para ambos grupos, por lo cual en la tabla 4.3 no hay valor de incremento. Esto significa que no es necesario que exista una interacción física para que los niños se muestren interesados en el robot e intenten establecer contacto visual con éste. Este es un resultado positivo ya que nos muestra que no es necesario involucrar al niño en actividades que impliquen un contacto físico con el robot para llamar su atención.

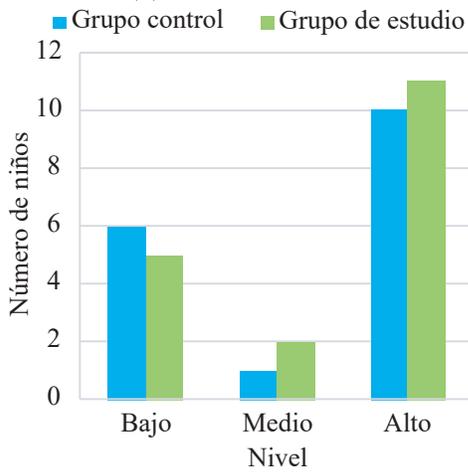
Lo anterior concuerda con la revisión de literatura en estudios realizados con el robot Probo, donde se llevó a cabo actividades en las cuales el contacto físico no era el objetivo principal. En estos se obtuvo un elevado contacto visual con el robot e interés en el mismo [43]. De igual manera, en estudios realizados con el robot Kaspar donde se involucra más la interacción física, los niños también exhiben un alto nivel de contacto visual con el robot [51]. Con esto es posible desligar la interacción física del comportamiento de realizar contacto visual.



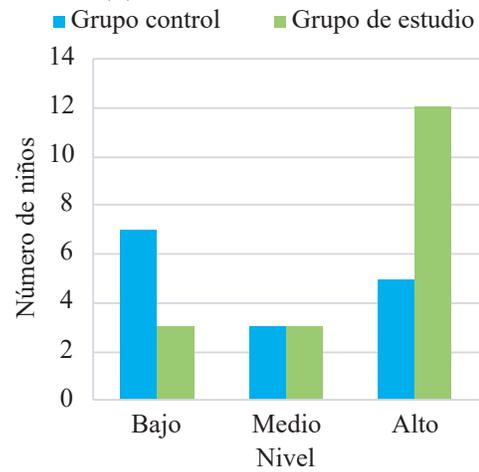
(a) Contacto visual



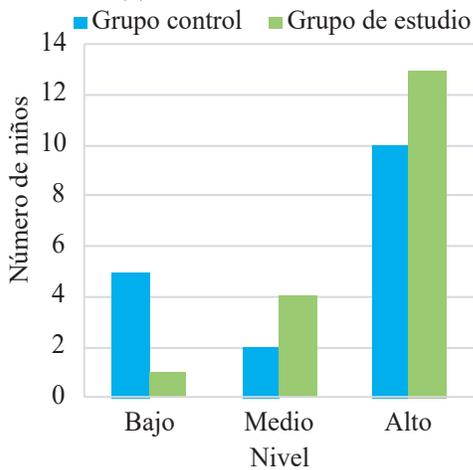
(b) Respuesta Emocional



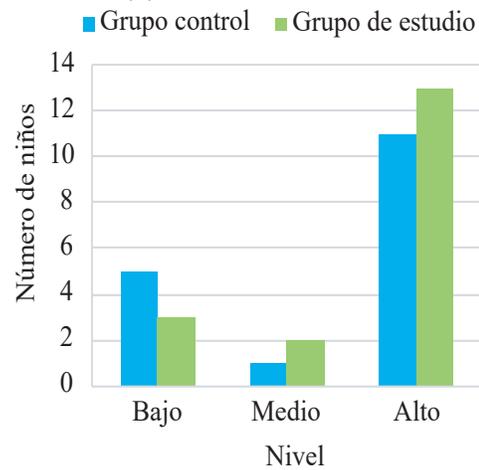
(c) Interacción Social



(d) Interacción Física



(e) Muestra interés en el robot



(f) Mantiene el contacto visual

Figura 4.1: Variables evaluadas por los terapeutas

Para la variable correspondiente a la respuesta emocional se obtuvo un p-valor del 0,099 como se observa en la tabla 4.3. Este valor es mayor al 0,05 por lo que se afirma que se acepta la hipótesis nula, es decir que la variable no presenta diferencias significativas entre los dos grupos de estudio. En la figura 4.1b la variable muestra una aparente diferencia entre los grupos, por esto y debido al valor obtenido se calculó el porcentaje de incremento en la clasificación de alto nivel de desempeño, dando como resultado un valor del 41.7%. En este caso, aunque estadísticamente no presenta diferencias significativas, el porcentaje de incremento es considerablemente bueno y se cree que si se tratara de un estudio a largo plazo, sería posible demostrar una diferencia significativa de manera estadística.

Este es un resultado favorable y demuestra que al permitir la interacción física los niños pueden llegar a desarrollar empatía con el robot. Esto concuerda con lo encontrado en estudios realizados con Kaspar, en los cuales las actividades realizadas estaban centradas en propiciar el contacto físico con el robot. Los resultados evidenciaron actitudes en los niños que mostraban el desarrollo de emociones y empatía con Kaspar [41][49]. Esta respuesta emocional sería de gran utilidad en terapias de reconocimiento de emociones e incluso en actividades enfocadas a la teoría de la mente (ToM).

Con base en la tabla 4.3, se tiene que el resultado de la prueba estadística para la variable de interacción social fue un p-valor del 0,790. De esta manera, siendo un valor mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula, asegurando que no hay diferencias significativas entre los grupos. En la tabla también se encuentra que el porcentaje de incremento en el nivel alto corresponde al 9,1. Al evaluar esta variable se tenía en cuenta la intención comunicativa de parte de los niños hacia el robot, con lo que se puede decir que el robot despierta este interés en los niños sin necesidad de realizar un contacto físico. Este hallazgo exhibe una favorabilidad al momento de trabajar las habilidades de comunicación ya que algunos niños pueden ser más renuentes a establecer contacto físico desde un inicio y esto no afectaría el desarrollo de las actividades.

Se ha demostrado en estudios con Kaspar y Probo, una mejora en las interacciones sociales (más propiamente en la intención comunicativa) de los niños a través de la interacción física [41][56]. Otros estudios enfocados en generar actividades de juego compartido, donde la interacción física no es el principal objetivo, ha mostrado avances en otras habilidades sociales como el contacto visual pero no se mencionan las habilidades en comunicación [43][57]. Además de esto, es necesario tener en cuenta que en los estudios [41][56] la interacción social contaba con una retroalimentación de dicha acción.

Por un lado Kaspar reacciona a la manera en que lo toca el niño y, en caso de ser esta una interacción fuerte, la reacción sería emitir alguna frase como “ouch, eso dolió” generando de esta manera una respuesta del niño de preguntarle qué le pasaba [41]. Por otro lado, en el estudio con Probo utilizaron el dispositivo Probogotchi, en el cual dependiendo de la interacción con el peluche de probo, se daba una respuesta en el videojuego [56]. Este tipo de reacción a la interacción física puede ser la que lleve a un mayor desempeño de habilidades de comunicación, debido a que existe un estímulo que impulsa al niño a tener este comportamiento. Sin embargo, no hay un estudio que compare este comportamiento entre la ausencia y la existencia del contacto físico.

Por otro lado, se tiene que el p-valor obtenido para la variable de interacción física es de 0,014 siendo este menor al 0,05, como se observa en la tabla 4.3. De esta manera, se afirma que la hipótesis nula se rechaza indicando que la variable sí presenta diferencias significativas entre ambos grupos de estudio. Este resultado demuestra que el robot fomenta la interacción física en los niños con TEA. También es importante mencionar que durante las terapias se

observó que en el grupo control hubo niños con intención de tocar el robot e incluso algunos lo lograron, a pesar del esfuerzo del terapeuta para que esto no ocurriera. Esto se evidencia en la figura 4.1d donde se encuentran ciertas calificaciones de nivel alto en la variable de interacción física.

El p-valor de las variables correspondientes a la muestra de interés en el robot y a mantener el contacto visual con este, es de 0,247 y 0,544 respectivamente. Estas son cifras por encima de 0,05, lo que significa que se acepta la hipótesis nula indicando que ninguna de estas variables presenta diferencias significativas entre los grupos del estudio. Observando las figuras 4.1e y 4.1f no se evidencia mucha diferencia entre los grupos, sin embargo se calculó el porcentaje de incremento y los resultados se registraron en la tabla 4.3. En la muestra de interés hubo un incremento del 28,03 % y mantener contacto visual aumentó en un 15,38 %. Estos resultados reafirman que la interacción física no es esencial para hacer que el niño se sienta interesado en el robot. Esto se puede usar de manera favorable en actividades con niños que muestren mayor rechazo a establecer contacto físico, permitiendo que avance en otras habilidades hasta que se sienta cómodo de propiciar o permitir la interacción física.

Como se mencionó anteriormente, en estudios con Kaspar y Probo, los niños han mostrado un claro interés en el robot y han establecido contacto visual con este [51][43] sin importar si se trata de estudios donde existe o no interacción física entre el niño y el robot. Se ha considerado que este comportamiento puede ser atribuido a la novedad que exhibe el robot para los niños. Sin embargo, en dichos estudios longitudinales aunque se ha observado una disminución del contacto visual este sigue siendo mayor en comparación al del terapeuta.

#### **4.1.2. Variables medidas por los investigadores**

En esta parte se encuentran los resultados correspondientes a las medidas realizadas por los investigadores. Estos corresponden al desempeño en la terapia, en cuanto a la identificación de las partes del cuerpo señaladas, y a la interacción física espontánea y provocada para cada uno de los grupos. Estos resultados se obtuvieron por medio de la observación de los videos grabados de las terapias. El desempeño se evaluó utilizando una escala de puntuación de 1 a 5, donde 1 equivale a un desempeño muy bajo y 5 representa un nivel muy alto en el desempeño. Es necesario aclarar que esta escala es diferente a la utilizada en las variables medidas por los terapeutas, la cual fue de 1 a 3.

Observando los videos, se calificó individualmente el rendimiento de cada niño. Para esto se asignó una puntuación a la identificando de cada una de las partes del cuerpo señaladas por el robot. Si el niño identificaba la parte señalada de manera inmediata se asignaba un valor de 5. Si el niño identificaba la parte del cuerpo en la segunda oportunidad que se le daba para esto, recibía un puntaje de 4. Se calificaba como 3 el caso en el que el niño identificara la parte señalada en el tercer intento. En caso de que realizara la identificación en la tercera oportunidad, recibiendo mucha ayuda del terapeuta, se calificaba con 2. Por el contrario, si el niño no identificaba correctamente dicha parte y además no se evidenciaba que estuviera entendiendo la actividad, se le asignaba un valor de 1.

Una vez calificado el rendimiento de cada parte, se realiza un promedio para hallar la calificación de la variable de identificación. Una vez calificado cada niño de manera individual, se halló el promedio de calificación para cada grupo, como se observa en las tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4: Desempeño del grupo control identificando las partes del cuerpo

<i>Participante</i>	<i>Cabeza</i>	<i>Ojos</i>	<i>Nariz</i>	<i>Boca</i>	<i>Identificación</i>
1	4	5	4	5	5
2	1	1	1	1	1
3	4	5	4	5	5
4	1	3	4	2	3
5	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1
7	5	5	5	5	5
8	1	1	1	1	1
9	3	3	3	5	3
10	4	4	4	5	5
11	5	5	5	5	5
12	2	3	4	4	4
13	4	4	4	4	5
14	4	4	4	4	5
15	5	5	5	5	5
16	5	5	5	5	5
17	4	5	5	5	5
PROM	3,3	3,5	3,5	3,8	3,8

Tabla 4.5: Desempeño del grupo de estudio identificando las partes del cuerpo

<i>Participante</i>	<i>Cabeza</i>	<i>Ojos</i>	<i>Nariz</i>	<i>Boca</i>	<i>Identificación</i>
1	3	5	5	5	5
2	5	5	4	5	5
3	5	3	3	3	3
4	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5
6	5	5	5	5	5
7	5	3	3	4	4
8	5	4	5	5	5
9	5	5	5	5	5
10	5	4	3	5	4
11	1	3	1	1	1
12	4	4	4	5	5
13	3	1	1	1	1
14	1	1	4	1	1
15	5	5	5	5	5
16	2	2	4	4	3
17	5	5	5	5	5
18	4	5	5	5	5
PROM	4,1	3,9	4,0	4,1	4,0

La representación gráfica de los resultados contenidos en las tablas 4.4 y 4.5 se encuentra en la figura 4.2. Es posible observar con estos resultados que en promedio hubo un buen desempeño al momento de ejecutar las actividades de propiocepción tanto en el grupo control como en el grupo de estudio.

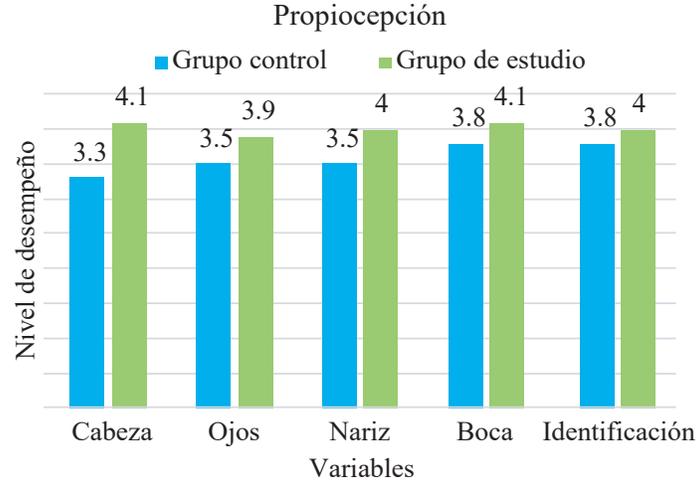


Figura 4.2: Rendimiento identificando las partes del cuerpo

Sin embargo, es necesario hallar los valores estadísticos de los resultados de desempeño. Así como se hizo con las variables calificadas por lo terapeutas, se aplicó la prueba de normalidad, encontrando que las variables no tienen distribución normal. Nuevamente se decidió aplicar la prueba estadística U de Mann Whitney a cada una de las variables, obteniendo los resultados registrados en la tabla 4.6. Se planteó la siguiente hipótesis nula:

- $H_0$ : La variable no presenta diferencias significativas entre el grupo control y el grupo de estudio.
- $H_1$ : La variable presenta diferencias significativas entre el grupo control y el grupo de estudio.

Tabla 4.6: Desempeño de los niños en la identificación de las partes del cuerpo

<i>Variables</i>	<i>p valor</i>
Cabeza	0,086
Ojos	0,517
Nariz	0,313
Boca	0,442
Identificación	0,764

Teniendo en cuenta que todos los valores contenidos en la tabla 4.6 son mayores a 0,05, se corrobora que el desempeño en la identificación de las partes del cuerpo no presenta diferencias

significativas. Teniendo en cuenta, que el desempeño para ambos grupos es alto con o sin interacción física con el robot. Este resultado es contrario a los hallazgos de un estudio con Kaspar enfocado a trabajar la conciencia corporal de los niños [51]. En dicho estudio existe una diferencia significativa entre los niños que tuvieron un desempeño alto y los que tuvieron un desempeño bajo.

Además, el resultado puede deberse a que el tamaño de la muestra del estudio es pequeña y no se contó con una evaluación a largo plazo de los efectos de la implementación de las terapias con el robot. Por otro lado, además de no mostrar diferencias significativas se evidencia un alto rendimiento en la identificación de las partes del cuerpo. Con esto es posible afirmar que no se necesita de un contacto físico entre el robot y el niño para que éste último logre desempeñar de manera correcta las actividades de conciencia corporal. Además de esto, los resultados son favorables ya que se evidencia que la presencia del robot no supone una distracción para el niño o un elemento que afecte de manera negativa al desempeño de este.

Como se mencionó anteriormente, los investigadores también evaluaron la interacción física de los grupos del estudio. A diferencia de la variable evaluada por los terapeutas, estos resultados se hallaron observando los videos de las terapias y teniendo en cuenta la cantidad de veces en que el niño tocó al robot. Adicionalmente se evaluó la interacción espontánea y provocada. La primera de estas se refiere al momento en que el niño se acercaba a tocar al robot por elección propia y sin ninguna razón aparente. Por otro lado, se considera interacción provocada cuando el niño sigue la instrucción del terapeuta, o del padre, de realizar contacto físico con el robot.

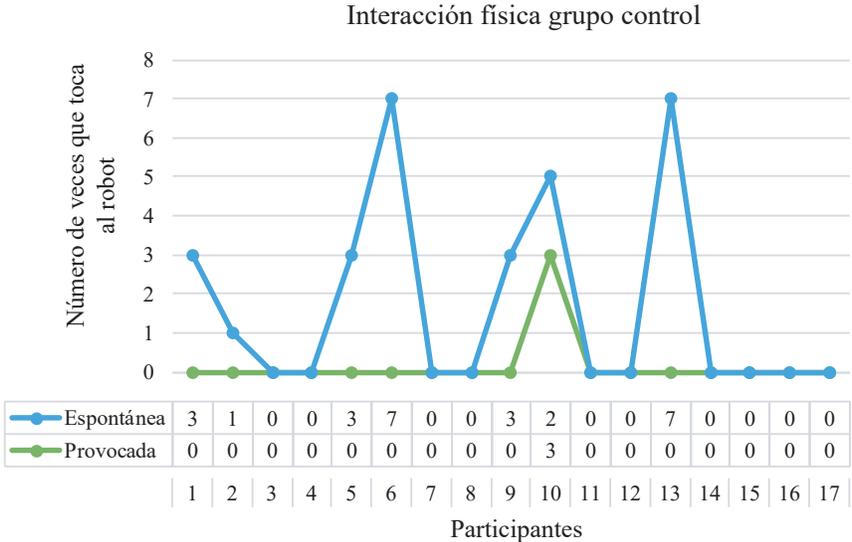


Figura 4.3: Comportamiento provocado y espontáneo en el grupo control

Se realizó una gráfica con estos los resultados correspondientes al grupo control y el grupo de estudio, como se observa en las figuras 4.3 y 4.4 respectivamente. En la figura 4.3 se observa que en general hay poca interacción física provocada, a diferencia del paciente número 10 de este grupo. Este tocó al robot en tres ocasiones, impulsado por el padre que estaba presente durante la sesión. Este es un error que en la medida de lo posible hay que evitar en futuros estudios. Por otro lado, se evidencia un elevado comportamiento espontáneo, donde los niños

llegaron a tocar el robot a pesar del esfuerzo del terapeuta por que no lo hiciera.

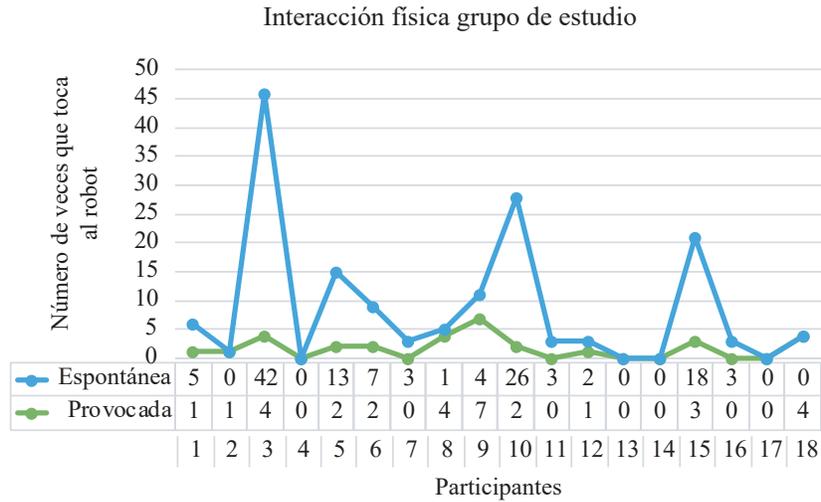


Figura 4.4: Comportamiento provocado y espontáneo en el grupo de estudio

Por otro lado, en la figura 4.4 se encuentra la gráfica correspondiente a la interacción física del grupo de estudio. En esta se observa comportamiento provocado, ya que el terapeuta se sentía libre de decirle al niño que tocara al robot. Además de esto, se evidencia un alto nivel en la interacción física espontánea, siendo al rededor de 71,4 % más alto que los comportamientos provocados. Este es un resultado favorable ya que demuestra que el robot es capaz de alentar al niño a acercarse a tocarlo y tener una interacción física con él, mejorando así las interacciones sociales en niños con TEA.

Este resultado es comparable con estudios realizados con el robot Kaspar donde se evidencia una alta incidencia en realizar contacto físico con el robot, sin una instrucción o sugerencia previa de tener dicho comportamiento. Es decir, se muestra una alta interacción física espontánea de parte de los niños [41][51] en comparación a un comportamiento provocado por parte del terapeuta o algún adulto presente durante las sesiones.

## 4.2 Diseño de un programa terapéutico asistido por robot

En esta parte se encuentran los aspectos finales del diseño de un programa terapéutico asistido por robot, que incluye la intervención del robot CASTOR. Este proceso de diseño se realizó junto al grupo de investigación CASTOR. Los resultados obtenidos de dicho proceso se dividen y explican a continuación.

### 4.2.1. Definición de los niveles de funcionalidad

Se estableció, en base al sistema utilizado en la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner, la división del grupo de participantes en cuatro niveles de funcionalidad con el fin de diseñar actividades acordes a las habilidades de los niños y obtener mejores resultados de las terapias.

La clasificación de los niños dentro de estos niveles la realizan los profesionales de la clínica, donde cada niño es ingresado a un proceso de valoración inicial. En este proceso el niño ingresa

a las cuatro áreas de rehabilitación, las cuales son: psicología, fisioterapia, fonoaudiología y terapia ocupacional. En cada una de las áreas se realiza una valoración funcional integral, donde se evalúan diferentes competencias con las cuales debe contar el niño según su edad. A partir de dicha valoración, el profesional da cuenta de las competencias que el niño posee y se asigna a un nivel de funcionalidad, el cual será trabajado por un período de 3 meses.

Después del período de 3 meses, se realiza nuevamente el proceso de valoración descrito anteriormente. Esto con el objetivo de reconocer si el niño ha avanzado de nivel, ha retrocedido o se mantiene en el mismo. Se considera que el niño puede avanzar de nivel al cumplir con la totalidad de competencias evaluadas por los terapeutas de las cuatro áreas. El niño se retrocede de nivel si se evidencia un rendimiento o nivel de funcionalidad inferior, en comparación a la valoración realizada 3 meses atrás. Por otro lado el niño se mantiene en el mismo nivel si su proceso dentro de las competencias es estable y no tiene un rendimiento del 100%. Esto es definido por el profesional, teniendo en cuenta diferentes circunstancias.

#### 4.2.2. Definición de los criterios

Como primer resultado se muestran los criterios a evaluar, establecidos junto con los directivos de la clínica. La definición de estos criterios se realizó teniendo en cuenta que pudieran ser evaluados en los cuatro niveles de funcionalidad con diferentes actividades. En la tabla 4.7 se presentan estos criterios junto con los componentes de cada uno. Dichos componentes se establecieron para eliminar la subjetividad de las evaluaciones por parte de los terapeutas, garantizando una evaluación homogénea sin importar cuál profesional realice la calificación.

Tabla 4.7: Criterios a evaluar durante las terapias en todos los niveles

<i>Criterio</i>	<i>Componentes</i>
Mantener atención focalizada	Tiempo de permanencia en el mismo escenario con el robot CASTOR (TP). Contacto visual con el robot CASTOR (CV).
Desarrollar memoria de trabajo y procedimiento	Recordar un estímulo (RE). Buscar un estímulo (BE).
Motivarse en el consultorio	Contacto físico con el robot CASTOR (CF). Respuesta verbal o no verbal al robot CASTOR (R).
Discriminar emociones básicas	Definición de la emoción del robot CASTOR (Def). Distinción de la emoción del robot CASTOR (Dist).
Imitación	Imitación física a un estímulo (IF). Imitación verbal a un estímulo (IV).
Seguimiento de instrucciones	Seguimiento de instrucciones (SI)

Los criterios en la tabla 4.7 deben ser evaluados para todos y cada uno de los niveles. Sin embargo, hay algunos componentes o criterios que tienen una especificación dependiendo del nivel, así como se observa en la tabla 4.8. La asignación de las emociones para cada uno de

los niveles, se basó en la capacidad del robot CASTOR para realizar las expresiones faciales mostradas en el capítulo 1.

Tabla 4.8: Especificaciones de los componentes de los criterios según el nivel de funcionalidad

<i>Nivel</i>	<i>TP</i>	<i>CV</i>	<i>Def y Dist</i>
I	2 minutos	5 segundos	Felicidad
II	5 minutos	10 segundos	Felicidad Tristeza
III	10 minutos	15 segundos	Felicidad Tristeza Sorpresa
IV	15 minutos	20 segundos	Felicidad Tristeza Sorpresa Ira

### 4.2.3. Definición de las actividades

En la figura 4.5 se muestran las fases que van a componer el programa terapéutico. Inicialmente habrá una fase de familiarización, donde se le permitirá al niño interactuar libremente con el robot. Luego sigue una sesión de pre-test, donde se realizará una sesión de terapia sin la intervención del robot CASTOR con el fin de establecer una línea base para la comparación del desempeño del niño. Esta sesión evaluará los mismos criterios mostrados anteriormente. Seguido de esto, se llevará a cabo las sesiones de terapias con la intervención del robot por un tiempo de aproximadamente tres meses. Por último, habrá una sesión de post-test, la cual será una sesión de terapia sin la intervención del robot, donde se podrá evaluar la evolución del niño en el estudio. Para eso, dicha sesión también evaluará los criterios anteriores.

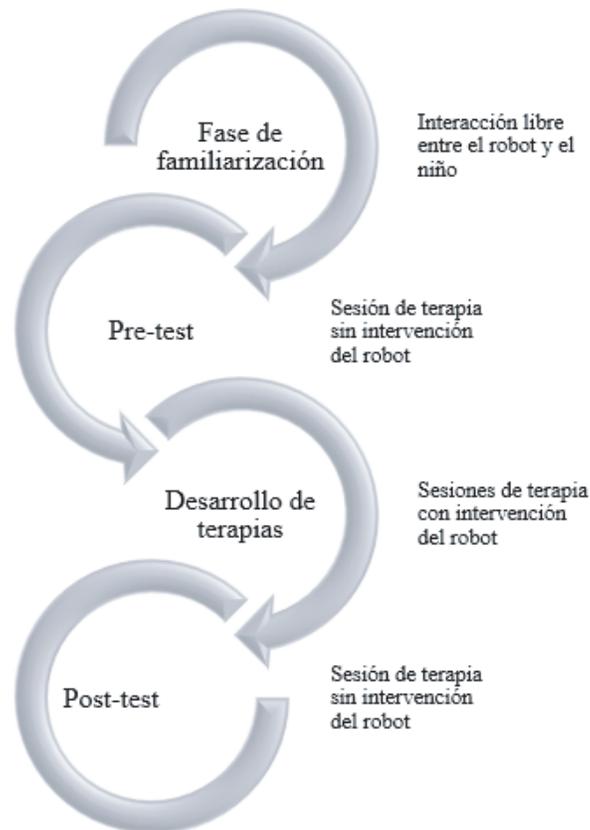


Figura 4.5: Fases de las que está compuesto el programa terapéutico asistido por robot diseñado

Una vez establecidos los criterios de evaluación, se realizó el diseño de las actividades para cada uno de los niveles de funcionalidad. De esta manera se estableció lo siguiente:

Los niños tendrán tres oportunidades para realizar cada una de las actividades. Es necesario tener en cuenta que cuando se menciona un “objeto” en las actividades, se trata de algún objeto con el que el niño esté familiarizado (ejemplo: carro, pelota, tren, helicóptero, silla, mesa, vaca, caballo, etc).

- **Nivel 1.** Iniciando la sesión, al llegar el niño, CASTOR lo saluda por el nombre diciendo “Hola *nombre del niño*”. El niño responde y CASTOR le dice “Juguemos”.
  - **Atención focalizada:** Para trabajar la atención focalizada, CASTOR le pedirá al niño que describa un objeto específico en la habitación, objeto que será indicado por el terapeuta.
  - **Seguimiento de instrucciones:** CASTOR le dirá al niño “Trae el/la *objeto*”, refiriéndose al objeto que el niño describió anteriormente. En esta actividad el terapeuta puede ayudar al niño a buscar el objeto.
  - **Memoria de trabajo y procedimiento:** El terapeuta procederá a preguntarle al niño dónde estaba el objeto que acaba de traer.
  - **Imitación.** En esta se trabaja imitación verbal e imitación física.

- *Imitación física:* CASTOR le dirá al niño “Vas a hacer lo que yo haga” y hará un movimiento sencillo, como levantar un solo brazo y luego bajarlo. El niño tendrá que hacer lo mismo. Así se trabajará la parte de imitación física. El terapeuta puede participar ayudando al niño si este lo requiere.
    - *Imitación verbal:* CASTOR le dará indicaciones al niño como “Di rojo”, “Di cara”, “Di avión”, trabajando la parte de imitación verbal. El terapeuta inter- vendrá para ayudar al niño a hacer lo que dice CASTOR.
  - **Discriminar emociones básicas:** En el momento en que el niño responda o haga bien una actividad, CASTOR mostrará una expresión de felicidad. El terapeuta procederá a preguntarle al niño cómo se siente CASTOR.
- **Nivel 2.** Iniciando la sesión, al llegar el niño, CASTOR lo saluda por el nombre diciendo “Hola *nombre del niño*”. En la sesión se utilizará música, más específicamente rondas infantiles.
- **Seguimiento de instrucciones y atención focalizada:** CASTOR le dirá al niño que haga lo que dice la canción y CASTOR hará sonar una ronda infantil que contenga instrucciones. El terapeuta en esta actividad puede ayudar al niño a realizar las acciones de la canción.
  - **Memoria de trabajo y procedimiento:** CASTOR dirá por repetidas ocasiones cómo hace un animal específico, por ejemplo: “El perro hace guau guau” luego se quedará en silencio un espacio corto de aproximadamente 30 segundos. El terapeuta le pedirá al niño que el sonido que hace ese animal.
  - **Imitación.** En esta se trabaja imitación verbal e imitación física.
    - *Imitación física:* CASTOR le dirá al niño “haz lo que yo haga”, y podrá hacer algo como subir un brazo y luego el otro. El terapeuta puede ayudar al niño a que realice la actividad. Esto se hará con una canción que contenga sólo melodía y que va a sonar durante la actividad.
    - *Imitación verbal:* Se trabajará con canciones infantiles que tengan sonidos de animales y el terapeuta le dirá al niño que haga el sonido que acaba de escuchar.
  - **Discriminar emociones básicas:** En el momento en que el niño responda o haga bien una actividad, CASTOR mostrará una expresión de felicidad. Y en el caso de que el niño responda mal, CASTOR mostrará una expresión de tristeza. El terapeuta procederá a preguntarle al niño cómo se siente CASTOR.
- **Nivel 3.** Iniciando la sesión, al llegar el niño, CASTOR lo saluda por el nombre diciendo “Hola *nombre del niño*”. Para las actividades se utilizará música.
- **Seguimiento de instrucciones y atención focalizada:** Sonará la primera parte de la canción La batalla del calentamiento (“En la batalla del calentamiento, hay que seguir la orden del sargento”) y seguido de eso CASTOR le dará una indicación al niño, como por ejemplo “Trae el/la objeto y cierra la puerta”. El objeto será un juguete o un elemento con el que el niño esté familiarizado (ejemplo: carro, pelota, tren, helicóptero, silla, mesa, vaca, caballo, esfero, etc). CASTOR también podrá decirle al niño “Toca mi pie” o “Toca mi mano” y el robot reaccionará mirándose

la parte que el niño le toque. En esta actividad el terapeuta puede ayudar a hacer la actividad.

- **Memoria de trabajo y procedimiento:** Sonará la primera parte de la canción La batalla del calentamiento (“En la batalla del calentamiento, hay que seguir la orden del sargento”) y seguido de eso CASTOR le dirá al niño “Completa la frase”. La frase que diga CASTOR puede ser “La escoba sirve para”. El terapeuta puede ayudar a completar la frase.
  - **Imitación.** En esta se trabaja imitación verbal e imitación física.
    - *Imitación física:* Sonará la primera parte de la canción La batalla del calentamiento (“En la batalla del calentamiento, hay que seguir la orden del sargento”) y seguido de eso CASTOR le dirá al niño “Vas a hacer lo mismo que yo”, CASTOR hará tres movimientos y el niño tendrá que hacerlos todos y en el mismo orden. El terapeuta puede ayudar al niño a que realice la actividad. El terapeuta podrá ayudar al niño si este así lo necesita.
    - *Imitación verbal:* Sonará la primera parte de la canción La batalla del calentamiento (“En la batalla del calentamiento, hay que seguir la orden del sargento”) y seguido de eso CASTOR le dirá al niño “Repite después de mí”. Puede sonar una parte de una canción o CASTOR puede emitir una frase corta, y el niño tendrá que repetir lo que escuche. El terapeuta podrá ayudar al niño si este así lo necesita.
  - **Discriminar emociones básicas:** En el momento en que el niño responda o haga bien una actividad, CASTOR mostrará una expresión de felicidad. Y en el caso de que el niño responda mal, CASTOR mostrará una expresión de tristeza. Si el niño no realiza la actividad, CASTOR mostrará una expresión de ira. El terapeuta procederá a preguntarle al niño cómo se siente CASTOR.
- **Nivel 4.** Iniciando la sesión, al llegar el niño, CASTOR lo saluda por el nombre diciendo “Hola *nombre del niño*”. En la sesión se utilizarán narraciones cortas.
- **Atención focalizada:** CASTOR le dirá al niño “vamos a escuchar un cuento” y sonará un fragmento corto. El terapeuta ayudará a mantener al niño atento al cuento.
  - **Memoria de trabajo y procedimiento:** El terapeuta le preguntará al niño cosas relacionadas a lo que acabó de escuchar, como por ejemplo “¿De qué color era el oso?”, “¿De qué tamaño era la casa?”.
  - **Imitación.** En esta se trabaja imitación verbal e imitación física.
    - *Imitación física:* El terapeuta podrá decirle al niño que lo imite y personificará ciertas cosas mencionadas en el cuento.
    - *Imitación verbal:* El terapeuta podrá detener el cuento y pedirle al niño que repite lo último que acaba de escuchar.
  - **Seguimiento de instrucciones:** CASTOR le dirá al niño “Vas a adivinar en lo que estoy pensando” y dará una descripción de un objeto o de un lugar. El niño tendrá que tratar de adivinar lo que el robot está describiendo. El terapeuta intervendrá para ayudar al niño a adivinar si se da el caso. Los objetos que se

describan serán objetos con los que el niño esté en contacto constantemente, como por ejemplo la ropa.

- **Discriminar emociones básicas:** En el momento en que el niño responda o haga bien una actividad, CASTOR mostrará una expresión de felicidad. Y en el caso de que el niño responda mal, CASTOR mostrará una expresión de tristeza. Si el niño no realiza la actividad, CASTOR mostrará una expresión de ira. Si el niño hasta el momento ha contestado bien, CASTOR hará cara de sorpresa junto con una frase como “¡Muy bien! Sigue así”. El terapeuta procederá a preguntarle al niño cómo se siente CASTOR.

Dependiendo del desempeño del niño durante las actividades, CASTOR tendrá respuestas con reforzadores, como “¡Que bien!”, “¡Felicitaciones!”, “¡Lo hiciste bien!”, “¡Así es!”, o “otra vez” en caso de que no lo haya hecho bien.

Una vez establecidas las actividades, se realizó una serie de videos para que así los directivos logaran ver al robot ejecutando dichas actividades. De esta manera, fue posible recibir sus comentarios y recomendaciones. Como resultado de esto se tuvo una mejora en las actividades en cuanto a disminuir la complejidad de algunas para que de esta manera sea más entendible. Esto incluye el cambio de algunos cuentos por unos menos extensos y más acordes al objetivo de ayudar a os niños a mejorar a través de las terapias. En la sección de anexos se encuentran algunos de estos comentarios.

#### 4.2.4. Redacción del Protocolo final

Con los criterios y las actividades una vez definidas, fue posible realizar la redacción del protocolo final. En este protocolo se tuvo en cuenta la división en los cuatro niveles de funcionalidad. Este protocolo fue enviado actualmente al comité de ética de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Esto se encontrará en la parte de anexos.

#### 4.2.5. Programación de Telegram

Se realizó una interfaz en la plataforma *Telegram*. Para eso se tuvo en cuenta que la idea principal de esta interfaz es que sea entendible para la persona que vaya a operar el robot, ya que ésta puede ser diferente al programador. Es decir, se quiere que la persona que la baya a utilizar no necesite la guía de algun integrante del grupo de investigadores para entenderla y además que no requiera de procedimientos complejos para acceder a esta.

Inicialmente se realizó el diseño del menú principal, el de cada uno de los niveles a trabajar y el de las actividades de cada nivel. Después de este proceso, se obtuvo la interfaz mostrada en la figura 4.6. En la pantalla que se observa al lado izquierdo se encuentra en la parte superior un mensaje de bienvenida y algunas instrucciones. En la parte inferior se encuentra el menú principal, la cual tiene varios opciones entre las cuales se encuentran:

- Saludos: Esta opción se utiliza para que el robot CASTOR salude y se presente diciendo “Hola. Me llamo CASTOR”
- Juguemos: Con esta opción el robot CASTOR dice la frase “¡Juguemos!”
- Chao1: Con esta opción el robot CASTOR dice la frase “Chao amigo”

- Chao: Con esta opción el robot CASTOR dice la frase “Chao amiga”
- Nivel 1: Esta opción es para ingresar al menú correspondiente a las actividades del nivel 1.
- Nivel 2: Esta opción es para ingresar al menú correspondiente a las actividades del nivel 2.
- Nivel 3: Esta opción es para ingresar al menú correspondiente a las actividades del nivel 3.
- Nivel 4: Esta opción es para ingresar al menú correspondiente a las actividades del nivel 4.
- Apagar: Con esta opción se apaga el robot.
- Reiniciar: Con esta opción se reinicia el robot.

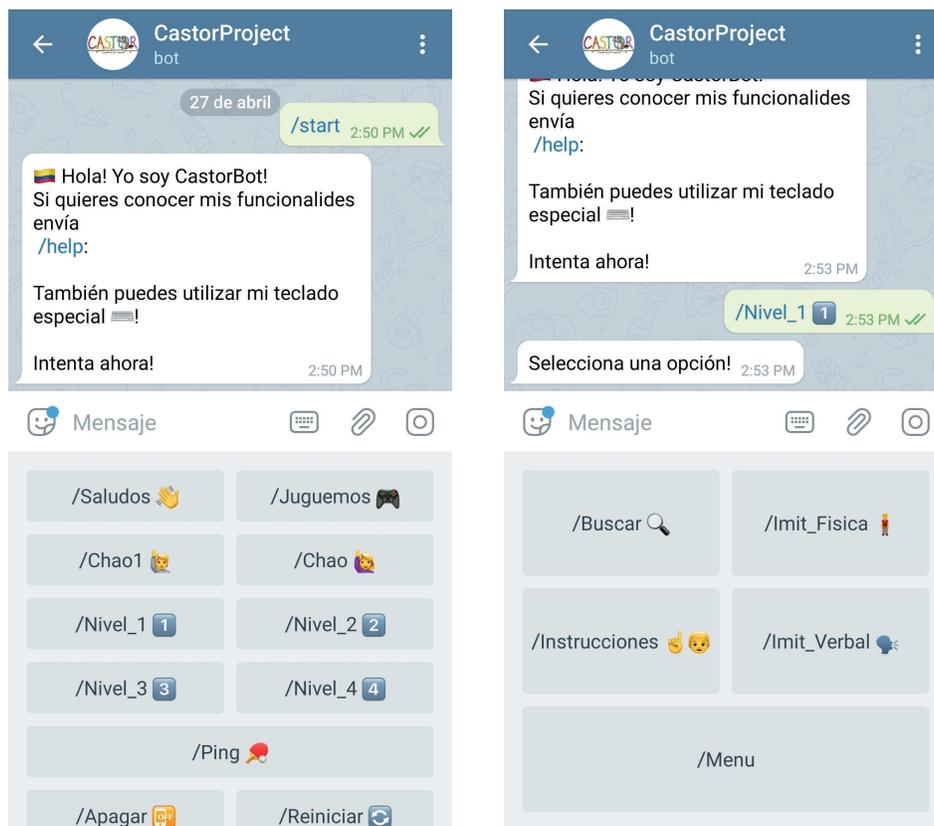


Figura 4.6: Interfaz de telegram para manejar el robot CASTOR

Al lado derecho de la imagen 4.6 se observa el menú de uno de los niveles, más específicamente del nivel 1. El menú incluye opciones con el nombre de las actividades de este nivel y un botón llamado *Menu* el cual cierra el menú del nivel y vuelve a mostrar el menú principal. En la parte superior se observa una serie de mensajes que son enviados por la plataforma,

al momento de seleccionar el nivel 1 se envía un mensaje  $Nivel_1$  indicando que se selecciono dicha opción. De manera automática la interfaz envía un mensaje de respuesta “Selecciona una opción” dando la indicación de que ya es posible comenzar a seleccionar las actividades.

En las figuras 4.7 y 4.8 se observa un al robot CASTOR ejecutando algunas de las acciones programadas, más específicamente del nivel 1 como ejemplo para ilustrar el funcionamiento del mismo. En la figura 4.7 se observa en la parte izquierda el menú correspondiente al nivel 1 en la interfaz realizada en *Telegram*. En rojo se encuentra señalada la acción seleccionada, que en este caso es *Saludos*. En la parte izquierda se observa el robot CASTOR ejecutando la opción seleccionada, en la cual levanta el brazo derecho y emite la frase “Hola, me llamo CASTOR”.

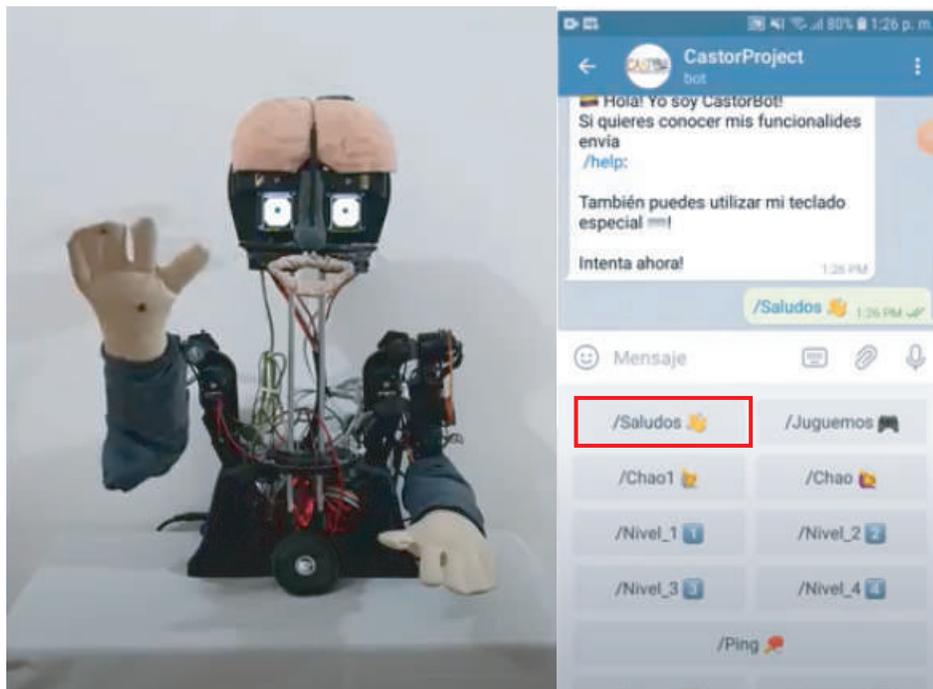


Figura 4.7: El robot CASTOR ejecutando la acción de saludar

En la figura 4.8 se observa en la parte izquierda el menú mostrado cuando se está dentro de una actividad. En este caso es la actividad donde se le pide al niño buscar un objeto dentro de la habitación. Se observa que hay cinco opciones las cuales son: Busca, Bien, Mal, Atrás y Menu. Con la opción *Busca* el robot emite la frase “Busca el *objeto*”. La opción *Mal* se utiliza dependiendo del desempeño del niño, si no ejecuta bien la acción CASTOR emite la frase “Otra vez”. La opción *Bien* se encuentra encerrada en rojo y corresponde a la acción que el robot CASTOR está realizando. En este caso el robot emite la frase “Muy bien” y muestra una cara de felicidad, como se muestra en la parte izquierda de la imagen. Por último las opciones *Atras* y *Menu* son para volver al menú del nivel que se está trabajando o para regresar al menú principal, respectivamente.

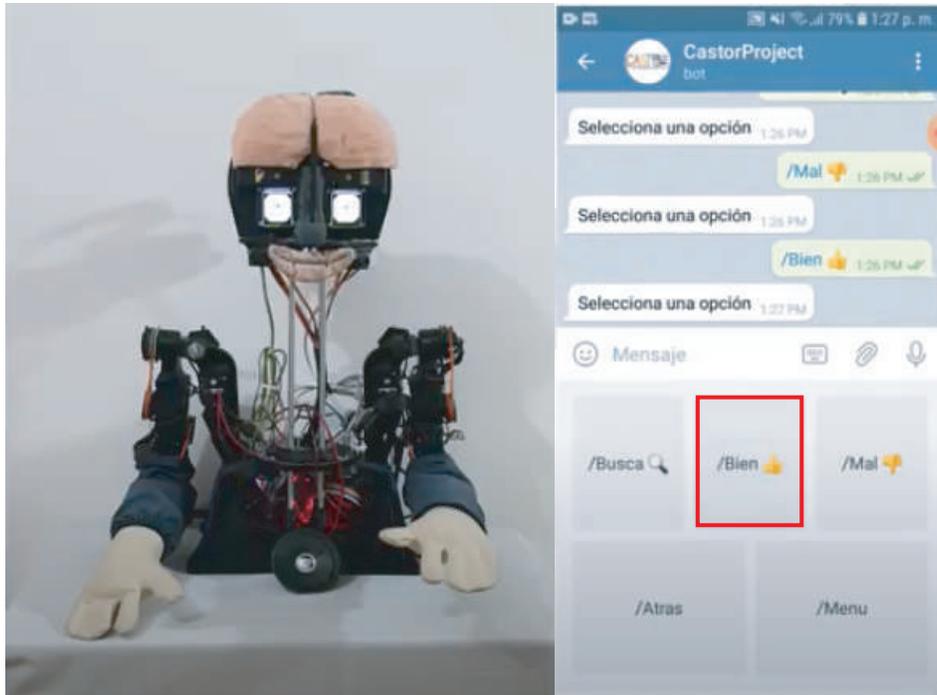


Figura 4.8: El robot CASTOR mostrando una expresión de felicidad cuando el niño hace bien la actividad

## Capítulo 5

# CONCLUSIONES

En el estudio a corto plazo se presentó el robot CASTOR a los niños con TEA de ambas sedes de la clínica de rehabilitación Howard Gardner. El objetivo del estudio era evaluar cómo influía el permitir al niño establecer contacto físico durante la terapia, tanto en su comportamiento durante la sesión como en el desempeño al desarrollar las actividades. Inicialmente se esperaba encontrar diferencias significativas en los resultados obtenidos entre ambos grupos del estudio, evidenciando una mejora del rendimiento al estar involucrada la interacción física con el robot.

Contrario a lo que se esperaba encontrar, el análisis estadístico arrojó que no existen diferencias significativas en la mayoría de las variables evaluadas por los terapeutas, como lo son: contacto visual, mantener contacto visual, interacción social, interés en el robot y respuesta emocional. Aunque en esta última se encontró un incremento del 41.7% en el desempeño alto del grupo de estudio frente al grupo control. De igual forma en el desempeño del reconocimiento de las partes del cuerpo, trabajadas en la terapia, no se encontró diferencias significativas entre los dos grupos del estudio. **Por otro lado, la variable que más diferencias significativas fue la de contacto físico.** Estos hallazgos son positivos ya que el hecho de que se mantengan similares los resultados quiere decir que el robot no representa una disminución en el desempeño de las terapias.

El estudio de propiocepción fue un estudio preliminar a trabajos posteriores, como es el caso del programa terapéutico asistido por robot diseñado en el presente trabajo de grado. Un factor importante a tener en cuenta es que el estudio se realizó con una muestra no muy grande (35 niños en total), teniendo en cuenta lo encontrado en la literatura, y que éste es un estudio a corto plazo. Por esta razón, los resultados acá encontrados no son determinantes y, principalmente, trazan una guía, formando bases sólidas para los estudios subsiguientes del proyecto. Es necesario continuar realizando estudios que evidencien la influencia de la presencia de los RAS, o robots de asistencia social, durante terapias para niños con TEA por medio de estudios a largo plazo. Por esta razón, se realizó el diseño del segundo estudio mencionado en este trabajo. De esta manera se encontrará una mayor cantidad de información que ayudará a tener respuestas claras sobre la influencia del robot CASTOR en este ámbito en Colombia.

Con el diseño de un programa terapéutico asistido por robot se demostró la importancia de trabajar con grupos interdisciplinarios para poder lograr mejores resultados en procesos y diseños que se realicen de esta forma. Además es necesario una constante realimentación entre los grupos de trabajo, en este caso los directivos de la clínica y los investigadores del

proyecto, debido a cualquier cambio o ajuste que sea necesario realizar de las actividades o del robot mismo. Esto teniendo en cuenta que en este caso se está trabajando con niños con TEA durante sus terapias y pueden llegar a ser necesarios algunos ajustes en base a la reacción del niño frente a las acciones que realiza CASTOR, los elementos programados como las canciones y los cuentos, o como tal si el robot sufre de algún desajuste o daño.

Este proyecto ha tenido un avance progresivo debido a los estudios que se han desarrollado en el tratamiento del TEA. Para intervenir en programas de terapia para esta población, es necesario tener en cuenta varios aspectos y tener conocimiento sobre cómo abordarlos. Además, es importante entender que estos son procesos que requieren tiempo y los resultados no se verán de manera inmediata. Razón por la cual se necesita realizar seguimiento continuo y por un periodo de tiempo prolongado para poder comparar el progreso de los niños que se encuentran involucrados en los programas terapéuticos en presencia del robot. Los nuevos retos y oportunidades de mejora se presentan constantemente, por lo cual se vuelve necesario seguir investigando e innovando en la tecnología involucrada en el tratamiento de este trastorno.

Durante el desarrollo del presente trabajo se ha podido evidenciar por parte del grupo de investigación el interés de involucrar a toda la comunidad con la cual se ha trabajado. Por un lado esto permite evitar que los niños, familiares y terapeutas se sientan ajenos a los procesos realizados, por el contrario se logra hacer que se sientan parte de estos. Por otro lado es importante que la comunidad comprenda el papel que desempeña y que los avances obtenidos a lo largo del proyecto buscan promover el avance de los niños y ofrecer herramientas a los terapeutas para ello, brindando soluciones favorables.

Así mismo, se ha evidenciado la disposición y entrega de la comunidad tanto de parte de los niños y familiares de estos como por parte de los profesionales de la Clínica de Rehabilitación Howard Gardner. Los familiares de los niños han decidido participar en los estudios realizados de manera completamente voluntaria y siempre con una actitud positiva hacia el proyecto y el grupo de investigadores. Los profesionales de la clínica también han participado con disposición, compartiendo sus conocimientos y experiencias con el fin de realizar mejoras en el proyecto. Todos los integrantes de la comunidad han mostrado su interés en el mismo y en aportar ideas a este, las cuales se han tomado en cuenta y se han implementado de la manera más adecuada a cada uno de los procesos.

Se ha contado con el trabajo de grupos interdisciplinarios a lo largo del proyecto para llevar a cabo cada parte del mismo, contando con la colaboración de distintas entidades que han proporcionado su ayuda y apoyo en diversos aspectos. El desarrollar actividades y trabajos dentro de grupos interdisciplinarios garantiza obtener resultados más acertados. Esto debido a que se tienen en cuenta diferentes puntos por los cuales se debe atacar una problemática, implementando el conocimiento de todos y cada uno de los integrantes del grupo. Esto evita exceso de errores, demoras y procesos repetitivos en el desarrollo de proyectos.

## Capítulo 6

# TRABAJOS FUTUROS

Con el presente estudio se demostró que el robot no representa una distracción que genere resultados negativos durante las terapias e incluso representa una gran herramienta para capturar la atención de los niños con TEA durante las sesiones. Sin embargo, este robot aún necesita la presencia de los ingenieros del grupo de investigación para funcionar debido a su funcionamiento estilo *Mago de Oz*. Se plantea a corto plazo ejecutar el programa terapéutico asistido por robot diseñado como parte del presente trabajo de grado. De esta manera será posible completar la validación el robot y tener resultados mucho más contundentes acerca de la influencia de este en el proceso de mejora de la población con TEA.

Además de esto, se propone a mediano plazo construir un segundo robot, que se mantenga fiel a las características del primer robot CASTOR. Esto para garantizar la resistencia a la interacción física, la misma capacidad de movimiento, expresiones y la apariencia del mismo. Brindando así la facilidad de efectuar un mismo estudio en ambas sedes de la clínica de forma paralela o bien para ejecutar dos estudios diferentes al mismo tiempo. De esta manera, sería posible avanzar mucho más rápido en las investigaciones realizadas en esta área.

A largo plazo se plantea tener el robot completamente integrado en las terapias realizadas en la clínica. Para esto, es necesario realizar algunas mejoras en el robot CASTOR para brindarles más independencia a los terapeutas en cuanto al uso de este en las sesiones. Se propone realizar una plataforma donde los terapeutas puedan programar el robot según sus necesidades y la terapia que vayan a efectuar con sus pacientes. Por esto, se vuelve necesario ofrecer una capacitación a los terapeutas sobre cómo manejar el robot y realizar programación por bloques. Teniendo en cuenta que esta última provee la posibilidad de programar de manera sencilla.

# Capítulo 7

## ANEXOS

### 7.1 Protocolo estudio propiocepción

## Protocolo de interacción robotica para niños que presentan TEA

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**  
Departamento de Ingeniería Biomedica  
Center for Biomechatronics

Octubre 2019

**Investigadores principales:** Prof. Dr. Carlos A. Cifuentes, Prof. Dr Marcela Múnera

**Co-investigadores:** Ing. María José Pinto, Ing. Diego Casas.

**Instituciones participantes:** Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Clínica Howard Gardner

**Entidad financiadora:** Royal Academy of Engineering Grant IAPP1 100126

El resto de este documento presenta:

- Protocolo experimental.
- Información del paciente.
- Consentimiento informado.

# Parte I: Protocolo Experimental

## 1 Resumen

Este documento presenta un protocolo experimental de interacción física para niños con trastorno del espectro autista con el fin de determinar si existe una diferencia significativa en el desempeño del niño cuando realiza interacción física con un robot social por medio de actividades de propiocepción.

## 2 Planteamiento del problema

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud en el mundo 1 de cada 160 niños padece trastorno del espectro autista. Razón por la cual la Interacción Robot Humana (HRI) recientemente ha recibido una gran atención como una herramienta de intervención de gran potencial para niños con trastorno del espectro autista (TEA) [1].

El TEA se caracteriza por patrones restringidos y repetitivos de comportamientos, intereses, actividades y déficits en la propiocepción, comunicación e interacción social [2]. Personas con TEA a menudo experimentan una incapacidad para relacionarse con otros, mostrando poco uso del contacto visual y teniendo dificultad en la comunicación no verbal y verbal [3].

Estudios recientes han encontrado que la interacción física (si se tolera) puede ser un medio importante de comunicación para los niños con TEA, para crear confianza, para dar o recibir apoyo, mejorar su propiocepción, y para desarrollar sus relaciones sociales, ya que algunos no tienen habilidades verbales y otros las tienen de manera inadecuada.

Además, el tacto es uno de los papeles más importantes y específicos en el establecimiento y la calidad de las relaciones sociales para los niños y niñas [4]. Por otro lado, un estudio previo sugiere que los problemas con la mirada y las habilidades verbales de los niños con TEA crean la necesidad de reemplazar estas formas perjudiciales de comunicación con el tacto o con la interacción [5].

En vista de lo anterior, los sistemas robóticos han comenzado a desarrollarse en todo el mundo para promover las habilidades de interacción social por medio de la propiocepción con el fin de que la robótica con habilidades táctiles puede permitir a una persona con TEA sentirse segura y construir su confianza en la interacción táctil [6]. Sin embargo, los informes actuales de estudios clínicos con robots sociales no son determinantes aún y son un campo con mucha proyección [7]. No obstante, dentro de estos sistemas robóticos se encuentran plataformas muy frágiles que limitan la interacción física dado al alto costo de adquisición y reparación.

En este sentido, en este estudio se implementa un robot social de bajo costo resistente al contacto físico con los niños permitiendo la interacción física de manera lúdica, de manera que permita que los niños con TEA se sientan seguros, construyan confianza, y donde puedan realizar las actividades de propiocepción sintiendo que están completamente bajo su control. Lo anterior, con el fin de identificar si existe una diferencia significativa en el desempeño del niño cuando existe interacción física con un robot social mediante actividades de propiocepción, utilizando el compromiso social físico y la adquisición de conocimientos sobre las partes del cuerpo.

## 3 Objetivos

### 3.1 Objetivo general

Determinar si la interacción física con un robot social permite mejorar el desempeño de un niño con TEA en actividades de propiocepción, mejorar su atención e incrementar el contacto visual con el terapeuta.

## 4 Metodología

Durante este estudio, el robot del proyecto CASTOR será utilizado como una herramienta para el desarrollo del proyecto. Este proyecto cuenta con dos fases diferentes: fase de familiarización y fase de actividad.

Estas fases serán guiadas por un terapeuta y adicionalmente monitoreadas por un sistema de cámaras que permiten realizar mediciones de la dirección del foco de atención del paciente y grabaciones de las mismas. Estas sesiones serán llevadas a cabo en la clínica.

### 4.1 Definición de variables

Con el fin de medir los resultados de este estudio, dos tipos de variables serán medidas: (1) variables que son medidas por el sistema, y (2) variables que son registradas por el terapeuta.

#### 4.1.1 Variables medidas

1. **Contacto visual:** Mide el tiempo durante la sesión en el cual el paciente hace contacto visual con el terapeuta.
2. **Comportamiento espontáneo:** Identifica si el niño toca el robot sin ningún propósito específico.
3. **Comportamiento provocado:** Identifica si el niño interactúa con el robot por indicación del terapeuta.
4. **Desempeño en la actividad:** El terapeuta registrará el número de veces que el niño identifica adecuadamente las partes del cuerpo.
5. **Observaciones del terapeuta:** El terapeuta registrará una cuadrícula de observación donde identificará todos los eventos que el considere importantes.
6. **Escala de interacción social:** Por definir

### 4.2 Tipo de estudio y diseño general

Esta investigación se basa en un protocolo no invasivo, en el cual se evaluará la capacidad de el(la) voluntario(a) de identificar nueve partes del cuerpo a través de la interacción con el dispositivo robótico de CASTOR en un consultorio.

### 4.3 Universo de estudio

En este proyecto se utilizará una muestra no aleatoria sobre la base de personas que deseen participar voluntariamente en el proyecto. Estos serán seleccionados teniendo en cuenta su estado de salud y condiciones físicas. Se llevará a cabo la investigación con una muestra de 20 niños con TEA.

Todos los sujetos serán invitados formalmente a participar en el estudio con el documento *Información del sujeto* y el *Consentimiento informado*.

#### 4.3.1 Criterios de inclusión

Niños con trastorno del espectro autista, entre los 2 y 10 años, que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

#### 4.3.2 Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que presenten algún movimiento ocular anormal y que presenten comorbilidades tales como Síndrome de X Frágil o Síndrome de Down.

#### 4.4 Equipos e instalaciones

El estudio cuenta con una serie de instrumentos necesarios para su desarrollo. Los elementos principales son un dispositivo robótico que se usará como mediador en la intervención. Adicionalmente, se requiere de un sistema compuesto por múltiples cámaras de vídeo con las que se llevará registro del comportamiento del voluntario(a) así como de los procedimientos realizados a lo largo de la intervención. El niño no vestirá ningún tipo de sensor en la intervención.

#### 4.5 Procedimiento

Las sesiones se llevarán a cabo en un consultorio o espacio dedicado dentro de la clínica. Antes de la llegada de cada participante, el ambiente será preparado para la sesión con la instalación de las cámaras, el dispositivo robótico y el equipo de control en un lugar donde no sea visible para el niño.

Para el desarrollo de estas sesiones se tendrán dos grupos de participantes. Ambos grupos desarrollarán las mismas actividades.

- **Primer grupo:** No tiene interacción física con el robot, es decir, realizan las actividades pero sin tocar el robot. El terapeuta debe impedir el contacto físico en las sesiones.
- **Segundo grupo:** Tiene interacción física con el robot, es decir, pueden interactuar libremente con el robot cuando se realicen las actividades.

La duración de cada sesión es de aproximadamente 13 minutos, pero puede variar en dependencia de la cooperación del voluntario(a) y el equipo desarrollador. A continuación se describe las fases y actividades que se van a llevar a cabo durante el proyecto.

**1. Fase de familiarización:** La fase de familiarización se realizará una única vez con el fin de socializar a los niños con el robot e integrarlo en su entorno. En esta fase el terapeuta introduce al robot al participando y el niño podrá explorar libremente al robot con el fin de que, se sienta seguro y en confianza. El robot podrá saludar al niño, decir su nombre, preguntar como está, preguntar acerca de sus gustos personales (ej. su color favorito y/o animal favorito); así mismo el robot le explicará brevemente la actividad a realizar en la sesión.

**2. Fase de actividad:** Se realizará una sesión de aproximadamente 10 minutos. En esta fase el robot identifica una parte de su cuerpo diciendo: "Esta es mi cabeza". Luego, pregunta: "¿Podrías por favor mostrarme tu cabeza?". De acuerdo a la respuesta suministrada por el niño el robot responderá con frases diferentes, por ejemplo, "¡Bien hecho!", "Casi lo logras", "¡Intenta de nuevo!". Las partes del cuerpo a identificar son: cabeza, ojos, boca y nariz. El orden de las partes del cuerpo se realizará de forma aleatoria. El niño tendrá 3 intentos para identificar de manera correcta la parte del cuerpo. Finalizada la actividad el robot se despide del participando diciendo su nombre y la siguiente frase: "Me encanto verte hoy. Nos vemos pronto".

## Part II: Información del paciente

Este formulario de consentimiento informado se dirige a las personas a las que se invita a participar voluntariamente en la investigación descrita a continuación:

### Introducción

Estas hojas de consentimiento informado pueden contener palabras que usted no entienda. Por favor pregunte al investigador principal o a cualquier persona que haga parte del estudio para que le explique cualquier palabra o información que usted no entienda claramente. Se le dará una copia del documento completo de consentimiento informado.

### Propósito

La interacción física juega un papel muy importante en el entorno social, en el establecimiento y calidad de las relaciones sociales. Es una de las formas más básicas de comunicación y es fundamental para desarrollo fisiológico típico.

Los niños necesitan varias horas al día de juego físico para lograr una estimulación sensorial adecuada en el desarrollo de la interacción física, ya que les permite comprender e identificar diferentes tipos de contacto físico mejorando su propiocepción. Esta fase de aprendizaje permite comunicarse con niños y adultos, construir confianza y seguridad, construir relaciones basadas en el intercambio de apoyo mutuo y de información.

Los niños con trastorno del espectro autista (TEA), a menudo experimentan un déficit en la propiocepción, en la comunicación, en la interacción social, presentan poco uso del contacto visual y tienen dificultad en el uso del lenguaje verbal y no verbal. Considerando lo anterior, surge la necesidad de que la interacción física (tacto) pueda reemplazar estas formas perjudiciales de comunicación.

De esta manera, los sistemas robóticos están siendo implementados para promover las habilidades de interacción social y la propiocepción con el propósito de permitir a una persona con TEA sentirse segura y construir su confianza en la interacción con el entorno social. No obstante, dentro de estos sistemas se encuentran plataformas muy frágiles, que limitan la interacción física dado al alto costo de adquisición y reparación. De igual manera, los resultados en esta área no son muy determinantes aún. Razón por la cual el robot implementado en este estudio es de bajo costo, resistente al contacto de los niños, permitiendo así la interacción física robot-humano de manera lúdica. Esto, con el fin de identificar si existe una diferencia significativa en el desempeño del niño cuando existe interacción física con un robot social mediante actividades de propiocepción, utilizando el compromiso social y la adquisición de conocimientos sobre las partes del cuerpo.

### Intervención y tipo de investigación

Esta investigación se basa en un protocolo no invasivo, de una sola medida en el cual se evaluará la capacidad de reconocer las partes del cuerpo de el(la) voluntario(a) a través del uso de un robot social.

### Selección de participantes

En este proyecto se utilizará una muestra no aleatoria sobre la base de personas que deseen participar voluntariamente en el proyecto. Estos serán seleccionados teniendo en cuenta su estado de salud y condiciones físicas. Se llevará a cabo la investigación con una muestra entre 20 y 30 niños con TEA.

### Criterios de inclusión

Niños con trastorno del espectro autista, entre los 2 y 10 años, que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

### **Criterios de exclusión**

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que presenten algún movimiento ocular anormal y que presenten comorbilidades tales como Síndrome de X Frágil o Síndrome de Down.

**Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no hacerlo. Tanto si elige participar o no, continuarán todos los servicios que reciba en esta institución y nada cambiará. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aún cuando haya aceptado antes.**

### **Procedimientos y Protocolo**

En el procedimiento metodológico se tendrán en al menos 20 participantes. Cada participante deberá culminar todas las sesiones del estudio.

Las sesiones se llevaran a cabo en un consultorio o espacio dedicado dentro de la clínica. Antes de la llegada de cada participante, el ambiente será preparado para la sesión con la instalación de las cámaras, el dispositivo robótico y el equipo de control en un lugar donde no sea visible para el niño.

En este protocolo se propone una intervención de una sesión distribuida en dos fases: fase de familiarización y fase de actividad.

La duración de la sesión es de aproximadamente 15 minutos, pero puede variar en dependencia de la cooperación del voluntario(a) y el equipo desarrollador.

La sesión comienza con la fase de familiarización. La fase de familiarización tiene como propósito brindarle al niño seguridad, confianza e integrarlo en su entorno. En esta fase el terapeuta introduce al robot al participando indicando que es un dispositivo mecánico que puede moverse y hablar; y el niño podrá explorar libremente el robot. Posteriormente, el robot saluda al participando, le pregunta como está y empieza a interactuar con el participante.

Una vez finalizada la fase de familiarización se da inicio a la fase de actividad. Durante el inicio de esta fase la interacción física sera verbal y el robot comienza a identificar una parte de su cuerpo diciendo: "Esta es mi cabeza". Luego, pregunta: "¿Podrías por favor mostrarme tu cabeza?". De acuerdo a la respuesta suministrada por el niño se responderá con frases positivas, como por ejemplo, "¡Bien hecho!" o "Casi lo logras. ¡Intenta de nuevo!". Las partes del cuerpo a identificar son: cabeza, barriga, ojos, manos y boca. El niño tendrá 3 intentos para identificar de manera correcta la parte del cuerpo. Terminada esta fase, el robot se despedirá diciendo el nombre del niño y la siguiente frase: "Me encanto verte el día de hoy. Que tengas un lindo día, nos vemos pronto".

Es importante resaltar que en la fase de actividad existirá un grupo control. Dicho grupo no tendrá interacción física con el robot, es decir, no podrá tocar el robot y el terapeuta debe impedir cualquier contacto físico del niño con el robot en esta actividad.

### **Riesgos**

Al participar en esta investigación, los participantes no se exponen a un riesgo mayor que si no lo hicieran. Al participar en esta investigación es posible que los pacientes experimenten molestias debidas, al sonido del robot y de los elementos mecánicos que lo componen a su apariencia y a su voz.

### **Beneficios**

Este proyecto puede que no conlleve un beneficio puntual e inmediato para los participantes, pero es probable que su participación permita clarificar el vinculo del déficit de la atención compartida con la manifestación de síntomas del TEA. Es posible que no se genere beneficio directo para la sociedad en la etapa actual del proyecto de investigación, pero es probable que en las etapas de investigación posteriores, se generen herramientas de base tecnológica que mejoren los procesos tradicionales de diagnóstico y tratamiento del TEA.

### **Incentivos**

No se le dará ningún dinero, regalos o incentivos por tomar parte en esta investigación.

### **Confidencialidad**

En este proyecto la información será vinculada, es decir, la información puede relacionarse o conectarse con la persona a quien se refiere. Sin embargo, esta información será registrada de forma anónima, en este caso se puede vincular con la persona a quien se refiere excepto mediante un código u otros medios conocidos sólo por el titular de la información. De esta forma se protege la información personal de los sujetos participantes. Su identidad nunca será revelada o publicada.

### **Compartiendo los Resultados**

Del conocimiento que obtengamos por realizar esta investigación se publicarán los resultados para que otras personas interesadas puedan aprender de nuestra investigación. No se compartirá información confidencial.

### **Derecho a negarse o retirarse**

Usted no tiene que tomar parte en esta investigación si no desea hacerlo. Puede dejar de participar en la investigación en cualquier momento que quiera. Es su elección y todos sus derechos serán respetados.

### **A quien contactar**

Si tiene cualquier pregunta puede hacerlas ahora o más tarde, incluso después de haberse iniciado el estudio. Si desea hacer preguntas más tarde, puede contactar cualquiera de las siguientes personas:

- **Marcela Múnica:** (+57) 310-273-48-57; marcela.munera@escuelaing.edu.co
- **Carlos Cifuentes:** (+57) 304-212-0032; carlos.cifuentes@escuelaing.edu.co

## Part III: Consentimiento informado

Yo, \_\_\_\_\_,  
identificado con cédula de ciudadanía número \_\_\_\_\_, actuando en mi calidad de representante legal y/o acudiente del niño(a) \_\_\_\_\_, declaro que he leído y comprendido el presente documento y que mis preguntas han sido respondidas satisfactoriamente; por lo tanto doy mi consentimiento informado para participar en la investigación llamada “Protocolo de interacción física”. Estoy de acuerdo con que su nombre, edad y otros datos relacionados con sus capacidades perceptivas sean almacenadas. Sé que puede retirarse del experimento en cualquier momento.

Representante legal y/o acudiente del participante:

Nombre: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_ Cédula: \_\_\_\_\_

### Declaración del investigador

Yo certifico que le he explicado a esta persona la naturaleza y el objetivo de la investigación, y que esta persona entiende en qué consiste su participación, los posibles riesgos y beneficios implicados. Todas las preguntas que esta persona ha hecho le han sido contestadas de forma adecuada. Así mismo, he leído y explicado adecuadamente las partes del consentimiento informado. Hago constar con mi firma.

Investigador:

Nombre: \_\_\_\_\_ Cédula: \_\_\_\_\_

Firma Investigador: \_\_\_\_\_

Fecha (aaaa/mm/dd): \_\_\_\_\_

## References

- [1] J.-J. Cabibihan, H. Javed, M. Ang, *et al.*, “Why Robots? A Survey on the Roles and Benefits of Social Robots in the Therapy of Children with Autism”, *International Journal of Social Robotics*, vol. 5, no. 4, pp. 593–618, Nov. 2013, ISSN: 1875-4791.
- [2] J. Xavier, C. Bursztein, M. Stiskin, *et al.*, “Autism spectrum disorders: An historical synthesis and a multidimensional assessment toward a tailored therapeutic program”, *Research in Autism Spectrum Disorders*, vol. 18, pp. 21–33, Oct. 2015, ISSN: 17509467.
- [3] B. Robins, K. Dautenhahn, and P. Dickerson, “Embodiment and Cognitive Learning – Can a Humanoid Robot Help Children with Autism to Learn about Tactile Social Behaviour?”, in, 2012, pp. 66–75.
- [4] S. Costa, H. Lehmann, K. Dautenhahn, *et al.*, “Using a Humanoid Robot to Elicit Body Awareness and Appropriate Physical Interaction in Children with Autism”, *International Journal of Social Robotics*, vol. 7, no. 2, pp. 265–278, 2015, ISSN: 18754805.
- [5] P. Caldwell, *Getting in touch : ways of working with people with severe learning disabilities and extensive support needs*. Pavilion, 1996, p. 34, ISBN: 1900600056.
- [6] S. Boucenna, A. Narzisi, E. Tilmont, *et al.*, “Interactive Technologies for Autistic Children: A Review”, *Cognitive Computation*, vol. 6, no. 4, pp. 722–740, Dec. 2014, ISSN: 1866-9956.
- [7] T. Zorcec, B. Robins, and K. Dautenhahn, “Getting Engaged: Assisted Play with a Humanoid Robot Kaspar for Children with Severe Autism”, in, 2018, pp. 198–207.

7.2 Comentarios acerca de las actividades del programa terapéutico asistido por robot

COMENTARIOS

Actividad	Comentarios
<p>N1A1</p>	<p>Con referencia a lo que se postula en este nivel, en ese momento no se está evaluando mantenimiento de la atención sino seguimiento instruccional, ya que el niño debe seguir la instrucción del robot "busca". En cuanto a la pregunta de dónde está el objeto, si se está evaluando memoria.</p> <p>Para el primer punto, recomendaría que una opción para trabajar atención es que el niño describa algún objetivo, de esta manera evaluamos si el niño focaliza su atención por determinado tiempo el objetivo, ahí si evaluando atención.</p>
<p>N1A2</p>	<p>Según lo postulado en el segundo, de acuerdo, si se evalúa imitación.</p>
<p>N1A3</p>	<p>En este nivel también se estaría trabajando seguimiento instruccional.</p>

<p>N1A4</p>	<p>Me parece que está bien.</p>
<p>N2A1</p>	<p>Aquí además de evaluar seguimiento de instrucciones y atención focalizada trabajamos imitación siempre y cuando el niño deba hacer los movimientos que está realizando el robot, por ende creo que debe ser un poco mas clara la descripción: Por ejemplo:</p> <p>El terapeuta le dirá al niño que haga los movimientos que hace el robot a partir de la canción. empezará una ronda infantil y castor hará los movimientos que indica la canción. Con esta actividad se trabajará seguimiento de instrucciones y atención focalizada.</p> <p>Esto tiene que ser muy claro ya que si la canción dice una cosa y el robot hace otros movimientos diferentes, el niño se va a confundir.</p>
<p>N2A2</p>	<p>Esta bien.</p>

<b>N2A3</b>	<b>Esta bien</b>
<b>N2A4</b>	<p>Me parece una actividad compleja ya que exige de un raciocinio complejo.. Otra forma de evaluar la memoria sin modificar mucho la idea podria ser que el robot mencionara un animal por repetidas ocasiones (el mismo) y despues de un intervalo de 30 segundos donde el robot no diga nada, le pregunte "que animal dije ahorita"...</p>
<b>N3A1</b>	<b>Esta perfecto</b>

<p>N3A2</p>	<p>Esta bien, pero debe ser tenido en cuenta para cuando se implemente con el fin de verificar su complejidad dependiendo de las respuestas de los niños.</p>
<p>N3A3</p>	<p>Al igual que el anterior punto, es interesante pero es compleja, hay que tenerla presente para modificación o no dependiendo del desempeño del niño.</p>
<p>N3A4</p>	<p>La idea como al igual que las dos anteriores está bien, pero habría que mirar el desempeño del niño.</p>

N4A1	Yo pondría un cuento más corto, no tan complejo, pero la idea esta bien
N4A2	Aunque parezca fácil la actividad exige un nivel de razonamiento complejo, todo este mediado a partir de un aprendizaje previo, en este caso de niños mass que todo un aprendizaje experiencial, es por esto que pondria una descripcion de objetos con los que ellos tengan mas contacto constantemente, por ejemplo la ropa, la comida, etc. pero esta bien la idea

### 7.3 Protocolo del programa terapéutico asistido por robot

# Protocolo de interacción robotica en un estudio a largo plazo para niños con TEA

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**  
Departamento de Ingeniería Biomedica  
Center for Biomechatronics

Febrero 2020

**Investigadores principales:** Prof. Dr. Carlos A. Cifuentes, Prof. Dr Marcela Múnera

**Co-investigadores:** Ing. Paola Castro, Ing. Maria José Pinto.

**Instituciones participantes:** Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Clínica Howard Gardner

**Entidad financiadora:** Royal Academy of Engineering Grant IAPP1 100126

El resto de este documento presenta:

- Protocolo experimental.
- Información del paciente.
- Consentimiento informado.

# Part I: Protocolo Experimental

## 1 Planteamiento del problema

El trastorno del espectro autista (TEA) hace parte de los trastornos generalizados del desarrollo y se caracteriza por presentar déficit en la interacción social, problemas en la comunicación (tanto verbal como no verbal) y, rasgos conductuales repetitivos y restringidos [1]. Según la organización mundial de la salud (OMS), a nivel mundial el TEA afecta a uno de cada 160 niños. En Colombia, la Liga Colombiana de autismo estima que 1 de cada 110 niños padece TEA [2].

La atención conjunta es una de las competencias que se ven alteradas al padecer TEA, generando problemas en el desarrollo socio-cognitivo, de interacciones afectivas recíprocas y en la comunicación social de la persona[3]. Igualmente, la Teoría de la Mente (ToM) se ve afectada con el padecimiento del autismo, proceso que le permite al individuo sentir empatía por sus semejantes [4]. Así, el correcto desarrollo de la capacidad de ToM es clave para las interacciones y habilidades sociales del niño[5].

Adicionalmente, los procesos de imitación verbal y no verbal se ven afectados al padecer autismo. Estos procesos pueden darse de manera automática, indirecta e intencional[6]. La dificultad de ejecución de los procesos de imitación afecta directamente los procesos de la comunicación. Por un lado, la comunicación verbal se puede ver afectada por la relación del sonido emitido con el sonido que se genera cuando una persona habla. Además, por medio de la imitación física es posible comprender los movimientos que realizan los demás[6][7], siendo esto crucial para la comunicación no verbal.

Las terapias tratan de disminuir las deficiencias presentadas en el ámbito social y en la comunicación. Una de las formas de trabajar las habilidades sociales es por medio de la atención conjunta [3], así como por medio de la interacción física [8]. Esta cumple un papel muy importante en el establecimiento de relaciones sociales [9] además de ser una alternativa de comunicación, teniendo en cuenta los problemas que tienen los niños con TEA con las habilidades verbales y el contacto visual [10]. El autismo es una patología muy amplia que se asocia a una serie de discapacidades y comportamientos propios de cada individuo [3][11]. Por esta razón, las terapias pueden ser similares pero no serán necesariamente iguales para cada uno.

En la última década se ha descubierto que las terapias que involucran a un robot muestran una mayor cantidad de avances y un mejor rendimiento de los pacientes[12]. Por esta razón, se ha puesto especial atención en el uso de la Interacción Humano-Robot (HRI) como herramienta en intervenciones para niños con TEA [13]. Contrario a lo que se puede imaginar, estos robots aumentan los estímulos de las terapias generando una mayor motivación en los pacientes[12].

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto que tiene la implementación de un robot social en las terapias para niños con TEA durante un estudio a largo plazo. En estas terapias se trabajarán varias habilidades y se utilizará un robot social de bajo costo resistente al contacto físico, permitiendo a los niños con TEA interactuar con el robot libremente y realizar las distintas actividades. Esto con el fin de identificar si existe una diferencia significativa en el desempeño del niño en la terapia, al iniciar y al finalizar el estudio.

## 2 Objetivo general

Determinar si hacer uso de un robot social en terapias a largo plazo permite mejorar el desempeño de un niño con TEA en actividades de la imitación, reconocimiento de emociones, seguimiento de instrucciones, memoria, atención focalizada e incrementar el contacto visual con el terapeuta.

## 3 Metodología

Durante este estudio, el robot del proyecto CASTOR será utilizado como una herramienta para el desarrollo del proyecto. Este proyecto cuenta con cuatro fases diferentes: fase de familiarización, pre-test, fase de actividad y post-test. Estas fases serán guiadas por un terapeuta y adicionalmente monitoreadas por un sistema de cámaras que permiten realizar grabaciones de las mismas. Estas sesiones serán llevadas a cabo en la clínica Howard Gardner.

### 3.1 Definición de variables

Con el fin de medir los resultados de este estudio, dos tipos de variables serán medidas: (1) variables medidas por el terapeuta, y (2) variables que son registradas por los investigadores.

#### 3.1.1 Variables medidas por los terapeutas

**VARIABLES CUALITATIVAS** Estas variables serán evaluadas de 1 a 5, según el criterio del terapeuta, en base a lo observado durante la terapia como se observa a continuación: 1-Muy bajo, 2-Bajo, 3-Medio, 4-Alto y 5-Muy alto.

1. **Atención focalizada en el robot:** Qué tan buena fue la atención que le presta el niño al robot, teniendo en cuenta el tiempo de permanencia en el mismo escenario y el contacto visual que hace con el robot.
2. **Memoria:** Qué tan buena fue la memoria de trabajo y procedimiento del niño, teniendo en cuenta si recuerda y busca un estímulo.
3. **Contacto físico:** Qué tan buena fue la interacción física que tenga el niño con el robot.
4. **Respuesta al robot:** Qué tan buena fue la respuesta verbal, o no verbal, de parte del niño hacia el robot CASTOR.
5. **Identificación de emociones:** Qué tan buena fue la definición y distinción que hizo el niño de la emoción de CASTOR.
6. **Seguimiento de instrucciones:** El desempeño del niño durante la actividad de seguimiento instruccional, teniendo en cuenta si el niño responde adecuadamente a las indicaciones del robot y qué tanta ayuda necesitó.

#### VARIABLES CUANTITATIVAS

1. **Imitación verbal:** El terapeuta registrará el número de veces que el niño imitó (de forma verbal) adecuadamente al robot. Además, por cada acción a imitar registrará el desempeño, teniendo en cuenta qué tanto se demoró en hacer la imitación y qué tanta ayuda necesitó.
2. **Imitación física:** El terapeuta registrará el número de veces que el niño imitó (de forma física) adecuadamente al robot. Además, por cada acción a imitar registrará el desempeño, teniendo en cuenta qué tanto se demoró en hacer la imitación y qué tanta ayuda necesitó.

#### 3.1.2 Variables medidas por los investigadores

1. **Adult seaking:** Mide el porcentaje del tiempo durante la sesión en el cual el paciente hace contacto visual con el terapeuta justo después de que el robot realiza alguna acción.
2. **Atención al robot:** Mide el porcentaje del tiempo durante la sesión en el cual el paciente mira el robot.
3. **Comportamiento espontáneo:** Identifica el número de veces que niño interactúa con el robot sin ningún propósito específico.
4. **Comportamiento provocado:** Identifica el número de veces que niño interactúa con el robot por indicación del terapeuta.

### 3.2 Tipo de estudio y diseño general

Esta investigación se basa en un protocolo no invasivo, en el cual se evaluará las habilidades de el(la) voluntario(a) de imitación, reconocimiento de emociones, seguimiento de instrucciones, memoria, atención focalizada y contacto visual con el terapeuta. Esto a través de la interacción con el dispositivo robótico de CASTOR en un consultorio.

### 3.3 Universo de estudio

En este proyecto se utilizará una muestra no aleatoria sobre la base de personas que deseen participar voluntariamente en el proyecto. Estos serán seleccionados teniendo en cuenta su estado de salud y condiciones físicas. Se llevará a cabo la investigación con una muestra de alrededor 50 niños con TEA.

Todos los sujetos serán invitados formalmente a participar en el estudio con el documento *Información del sujeto* y el *Consentimiento informado*.

#### 3.3.1 Criterios de inclusión

Niños con trastorno del espectro autista, entre los 2 y 16 años, que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

#### 3.3.2 Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que presenten algún movimiento ocular anormal.

### 3.4 Equipos e instalaciones

El estudio cuenta con una serie de instrumentos necesarios para su desarrollo. Los elementos principales son un dispositivo robótico que se usará como mediador en la intervención. Adicionalmente, se requiere de un sistema compuesto por múltiples cámaras de vídeo con las que se llevará registro del comportamiento del voluntario(a) así como de los procedimientos realizados a lo largo de la intervención. El niño no vestirá ningún tipo de sensor en la intervención.

### 3.5 Procedimiento

Las sesiones se llevarán a cabo en un consultorio o espacio dedicado dentro de la clínica. Antes de la llegada de cada participante, el ambiente será preparado para la sesión con la instalación de las cámaras, el dispositivo robótico y el equipo de control en un lugar donde no sea visible para el niño. Se evaluarán cuatro niveles de desempeño, teniendo un grupo para cada nivel, donde se ubicarán los niños participantes del estudio y desarrollarán actividades acordes al nivel en el que se encuentran. Las condiciones en las que se encontrarán los niños serán las mismas para todos y cada uno de los grupos.

En este protocolo se propone una intervención de 2 sesiones por semana para cada niño durante 3 meses (13 semanas) para un total de 26 sesiones, distribuidas en cuatro tipos: una sesión de familiarización, una sesión de test al inicio del estudio, 21 sesiones de intervención y 3 sesiones post-test, realizando una de estas sesiones cada 4 semanas (después de 7 sesiones de intervención). En la fase de intervención, las actividades planteadas se harán una sola vez por sesión, cada una de estas se calificará y se realizarán en orden aleatorio durante la sesión.

Los participantes de este estudio se dividirán en cuatro niveles de funcionalidad con el fin de diseñar actividades acordes a las habilidades de los niños y obtener mejores resultados de las terapias. Esta división la realizan los profesionales de la clínica, donde cada niño es ingresado a un proceso de valoración inicial. En este proceso el niño ingresa a las cuatro áreas de rehabilitación, las cuales son: psicología, fisioterapia, fonoaudiología y terapia ocupacional. En cada una de las áreas se realiza una valoración funcional integral, donde se evalúan diferentes competencias con las cuales debe contar el niño según su edad. A partir de dicha valoración, el profesional da cuenta de las competencias que el niño posee y se asigna a un nivel de funcionalidad, el cual será trabajado por un período de 3 meses.

La duración de cada sesión es de aproximadamente 15 minutos, pero puede variar en dependencia de la cooperación del voluntario(a) y el equipo desarrollador. A continuación se describe las fases y actividades que se van a llevar a cabo durante el proyecto.

1. **Fase de familiarización:** La fase de familiarización se realizará una única vez con el fin de socializar a los niños con el robot e integrarlo en su entorno. El terapeuta introducirá el robot al participante y el niño podrá explorar libremente al robot con el fin de que se sienta seguro y en confianza. En esta

etapa CASTOR le preguntará al niño cómo se llama y se creará un acercamiento entre el robot y el niño.

2. **Pre-test:** Los terapeutas ubicarán al niño en el nivel que consideren que es el más adecuado y se les hará una sesión de terapia con las mismas actividades descritas más adelante, según el nivel donde sea ubicado. Esto se realizará sin compañía del robot y el desempeño del niño se evaluará según la forma de calificación manejada por la clínica. Esto con el fin de establecer una línea base para tener un punto de comparación del desempeño del niño.
3. **Fase de actividad:** Para esta fase se encuentran diferentes actividades acordes a cada nivel y evaluando los mismos criterios en cada uno de estos. En cada nivel y en cada actividad el niño tendrá tres oportunidades para contestar o hacer lo que se le diga. Además, es necesario tener en cuenta que cuando se menciona un “objeto” en las actividades, se trata de algún objeto con el que el niño esté familiarizado (ejemplo: carro, pelota, tren, helicóptero, silla, mesa, vaca, caballo, etc).

**Nivel 1.** Iniciando la sesión, al llegar el niño, CASTOR lo saluda por el nombre diciendo “Hola *nombre del niño*”. El niño responde y Castor le dice “Juguemos”.

- **Atención focalizada:** Para trabajar la atención focalizada, Castor le pedirá al niño que describa un objeto específico en la habitación, objeto que será indicado por el terapeuta.
- **Seguimiento de instrucciones:** Castor le dirá al niño “Trae el/la *objeto*”, refiriéndose al objeto que el niño describió anteriormente. En esta actividad el terapeuta puede ayudar al niño a buscar el objeto.
- **Memoria de trabajo y precedimiento:** El terapeuta procederá a preguntarle al niño dónde estaba el objeto que acaba de traer.
- **Imitación.** En esta se trabaja imitación verbal e imitación física.
  - *Imitación física:* Castor le dirá al niño “Vas a hacer lo que yo haga” y hará un movimiento sencillo, como levantar un solo brazo y luego bajarlo. El niño tendrá que hacer lo mismo. Así se trabajará la parte de imitación física. El terapeuta puede participar ayudando al niño si este lo requiere.
  - *Imitación verbal:* Castor le dará indicaciones al niño como “Di rojo”, “Di cara”, “Di avión”, trabajando la parte de imitación verbal. El terapeuta intervendrá para ayudar al niño a hacer lo que dice Castor.
- **Discriminar emociones básicas:** En el momento en que el niño responda o haga bien una actividad, Castor mostrará una expresión de felicidad. El terapeuta procederá a preguntarle al niño cómo se siente Castor.

**Nivel 2.** Iniciando la sesión, al llegar el niño, CASTOR lo saluda por el nombre diciendo “Hola *nombre del niño*”. En la sesión se utilizará música, más específicamente rondas infantiles. En este nivel es posible evaluar dos competencias en una misma actividad.

- **Seguimiento de instrucciones y atención focalizada:** Castor le dirá al niño que haga lo que dice la canción y Castor hará sonar una ronda infantil que contenga instrucciones. El terapeuta en esta actividad puede ayudar al niño a realizar las acciones de la canción.
- **Memoria de trabajo y precedimiento:** Castor dirá por repetidas ocasiones cómo hace un animal específico, por ejemplo: “El perro hace guau guau” luego se quedará en silencio un espacio corto de aproximadamente 30 segundos. El terapeuta le pedirá al niño que el sonido que hace ese animal.
- **Imitación.** En esta se trabaja imitación verbal e imitación física.
  - *Imitación física:* Castor le dirá al niño “haz lo que yo haga”, y podrá hacer algo como subir un brazo y luego el otro. El terapeuta puede ayudar al niño a que realice la actividad. Esto se hará con una canción que contenga sólo melodía y que va a sonar durante la actividad.

- *Imitación verbal:* Se trabajará con canciones infantiles que tengan sonidos de animales y el terapeuta le dirá al niño que haga el sonido que acaba de escuchar.
- **Discriminar emociones básicas:** En el momento en que el niño responda o haga bien una actividad, Castor mostrará una expresión de felicidad. Y en el caso de que el niño responda mal, Castor mostrará una expresión de tristeza. El terapeuta procederá a preguntarle al niño cómo se siente Castor.

**Nivel 3.** Iniciando la sesión, al llegar el niño, CASTOR lo saluda por el nombre diciendo “Hola *nombre del niño*”. Para las actividades se utilizará música.

- **Seguimiento de instrucciones y atención focalizada:** Sonará la primera parte de la canción La batalla del calentamiento (“En la batalla del calentamiento, hay que seguir la orden del sargento”) y seguido de eso Castor le dará una indicación al niño, como por ejemplo “Trae el/la objeto y cierra la puerta”. El objeto será un juguete o un elemento con el que el niño esté familiarizado (ejemplo: carro, pelota, tren, helicóptero, silla, mesa, vaca, caballo, esfero, etc). Castor también podrá decirle al niño “Toca mi pie” o “Toca mi mano” y el robot reaccionará mirándose la parte que el niño le toque. En esta actividad el terapeuta puede ayudar a hacer la actividad.
- **Memoria de trabajo y precedimiento:** Sonará la primera parte de la canción La batalla del calentamiento (“En la batalla del calentamiento, hay que seguir la orden del sargento”) y seguido de eso Castor le dirá al niño “Completa la frase. La frase que diga Castor puede ser “La escoba sirve para”. El terapeuta puede ayudar a completar la frase.
- **Imitación.** En esta se trabaja imitación verbal e imitación física.
  - *Imitación física:* Sonará la primera parte de la canción La batalla del calentamiento (“En la batalla del calentamiento, hay que seguir la orden del sargento”) y seguido de eso Castor le dirá al niño “Vas a hacer lo mismo que yo”, Castor hará tres movimientos y el niño tendrá que hacerlos todos y en el mismo orden. El terapeuta puede ayudar al niño a que realice la actividad. El terapeuta podrá ayudar al niño si este así lo necesita.
  - *Imitación verbal:* Sonará la primera parte de la canción La batalla del calentamiento (“En la batalla del calentamiento, hay que seguir la orden del sargento”) y seguido de eso Castor le dirá al niño “Repite después de mí”. Puede sonar una parte de una canción o Castor puede emitir una frase corta, y el niño tendrá que repetir lo que escuche. El terapeuta podrá ayudar al niño si este así lo necesita.
- **Discriminar emociones básicas:** En el momento en que el niño responda o haga bien una actividad, Castor mostrará una expresión de felicidad. Y en el caso de que el niño responda mal, Castor mostrará una expresión de tristeza. Si el niño no realiza la actividad, CASTOR mostrará una expresión de ira. El terapeuta procederá a preguntarle al niño cómo se siente Castor.

**Nivel 4.** Iniciando la sesión, al llegar el niño, CASTOR lo saluda por el nombre diciendo “Hola *nombre del niño*”. En la sesión se utilizarán narraciones cortas.

- **Atención focalizada:** Castor le dirá al niño “vamos a escuchar un cuento” y sonará un fragmento corto. El terapeuta ayudará a mantener al niño atento al cuento.
- **Memoria de trabajo y precedimiento:** El terapeuta le preguntará al niño cosas relacionadas a lo que acabó de escuchar, como por ejemplo “¿De qué color era el oso?”, “¿De qué tamaño era la casa?”.
- **Imitación.** En esta se trabaja imitación verbal e imitación física.
  - *Imitación física:* El terapeuta podrá decirle al niño que lo imite y personificará ciertas cosas mencionadas en el cuento.
  - *Imitación verbal:* El terapeuta podrá detener el cuento y pedirle al niño que repite lo último que acaba de escuchar.

- **Seguimiento de instrucciones:** Castor le dirá al niño “Vas a adivinar en lo que estoy pensando” y dará una descripción de un objeto o de un lugar. El niño tendrá que tratar de adivinar lo que el robot está describiendo. El terapeuta intervendrá para ayudar al niño a adivinar si se da el caso. Los objetos que se describan serán objetos con los que el niño esté en contacto constantemente, como por ejemplo la ropa.
- **Discriminar emociones básicas:** En el momento en que el niño responda o haga bien una actividad, Castor mostrará una expresión de felicidad. Y en el caso de que el niño responda mal, Castor mostrará una expresión de tristeza. Si el niño no realiza la actividad, CASTOR mostrará una expresión de ira. Si el niño hasta el momento ha contestado bien, Castor hará cara de sorpresa junto con una frase como “¡Muy bien! Sigue así”. El terapeuta procederá a preguntarle al niño cómo se siente Castor.

Dependiendo del desempeño del niño durante las actividades, Castor tendrá respuestas con reforzadores, como “¡Que bien!”, “¡Felicitaciones!”, “¡Lo hiciste bien!”, “¡Así es!”, o “otra vez” en caso de que no lo haya hecho bien.

4. **Post-test:** En esta fase se llevarán a cabo las mismas actividades realizadas en la fase del pre-test, nuevamente sin el robot. Se volverá a evaluar el desempeño del niño según la forma de calificación manejada por la clínica. Esto con el fin de evaluar el progreso del niño como resultado de las terapias realizadas en conjunto con el robot.

## Part II: Información del paciente

Este formulario de consentimiento informado se dirige a las personas a las que se invita a participar voluntariamente en la investigación descrita a continuación:

### Introducción

Estas hojas de consentimiento informado pueden contener palabras que usted no entienda. Por favor pregunte al investigador principal o a cualquier persona que haga parte del estudio para que le explique cualquier palabra o información que usted no entienda claramente. Se le dará una copia del documento completo de consentimiento informado.

### Propósito

El desarrollo de las habilidades sociales y de comunicación se ve afectado por distintos aspectos, como lo son la interacción física, la atención compartida, la imitación verbal y no verbal, entre otros. De esta forma, se afecta la manera de desenvolverse, la creación de lazos sociales, la interacción con sus semejantes y la calidad de vida.

Es muy importante el papel que cumple el juego físico y colaborativo en los niños, ya que de esta manera es posible generar estimulación sensorial adecuada en el desarrollo de la interacción física e interacción social con los demás. Así, es posible propiciar la mejora de las habilidades sociales y comunicativas de los niños, ya sea con otros niños o con adultos. Al motivar el avance en estas habilidades, se les brinda la posibilidad de construir relaciones sociales ya que además es posible trabajar la teoría de la mente y la percepción de los demás como sus semejantes. Así, se construye empatía mejorando el intercambio de apoyo mutuo y de información con las personas de su entorno.

Los niños con trastorno del espectro autista (TEA), a menudo experimentan un déficit en la propiocepción, en la comunicación, en la interacción social, presentan poco uso del contacto visual y tienen dificultad en el uso del lenguaje verbal y no verbal. Considerando lo anterior, surge la necesidad de trabajar cada una de estas habilidades para mejorar el desempeño de los niños a lo largo de su vida.

La implementación de los robots sociales en terapias para niños con patologías como el autismo, están siendo implementados para promover las habilidades de interacción social y la propiocepción. Con el propósito de permitir a una persona con TEA sentirse segura y construir su confianza en la interacción con el entorno social. No obstante, los resultados en esta área aún no son contundentes. Por esta razón por la cual el robot implementado en este estudio es de bajo costo, resistente al contacto físico y permitiendo a los niños con TEA interactuar con el robot libremente y realizar las distintas actividades. Esto con el fin de identificar si existe una diferencia significativa en el desempeño del niño en la terapia, al iniciar y al finalizar el estudio.

### Intervención y tipo de investigación

Esta investigación se basa en un protocolo no invasivo, en el cual se evaluará las habilidades de el(la) voluntario(a) de imitación, reconocimiento de emociones, seguimiento de instrucciones, memoria, atención focalizada y contacto visual con el terapeuta. Esto a través de la interacción con el dispositivo robótico de CASTOR en un consultorio.

### Selección de participantes

En este proyecto se utilizará una muestra no aleatoria sobre la base de personas que deseen participar voluntariamente en el proyecto. Estos serán seleccionados teniendo en cuenta su estado de salud y condiciones físicas. Se llevará a cabo la investigación con una muestra de 50 niños con TEA.

### Criterios de inclusión

Niños con trastorno del espectro autista, entre los 2 y 16 años, que obtengan el consentimiento informado por parte de su representante legal/acudiente.

## Criterios de exclusión

Niños con algún déficit de audición y/o visión, que presenten algún movimiento ocular anormal.

**Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no hacerlo. Tanto si elige participar o no, continuarán todos los servicios que reciba en esta institución y nada cambiará. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aún cuando haya aceptado antes.**

## Procedimientos y Protocolo

En el procedimiento metodológico se tendrán 50 participantes. Cada participante deberá realizar un total de 2 sesiones por semana durante 3 meses (12 semanas) para un total de 24 sesiones. Si el participante no asiste a una sesión no se considerará como una causante de retiro del estudio, sin embargo deberá cumplir con la totalidad de las sesiones.

Las sesiones se llevarán a cabo en un consultorio o espacio dedicado dentro de la clínica. Antes de la llegada de cada participante, el ambiente será preparado para la sesión con la instalación de las cámaras, el dispositivo robótico y el equipo de control en un lugar donde no sea visible para el niño.

En este protocolo se propone una intervención de una sesión distribuida en cuatro fases: fase de familiarización, post-test, fase de actividad y pre-test. Cada una de las actividades planteadas se realizarán una vez para cada sesión, en orden aleatorio y cada una de estas se calificará.

La duración de la sesión es de aproximadamente 15 minutos, pero puede variar en dependencia de la cooperación del voluntario(a) y el equipo desarrollador.

El estudio comienza con una fase de familiarización, la cual se realizará en toda una sesión. La fase de familiarización tiene como propósito brindarle al niño seguridad, confianza e integrarlo en su entorno. El terapeuta introducirá el robot al participante y el niño podrá explorar libremente al robot con el fin de que se sienta seguro y en confianza.

Luego se realizará un pre-test en donde el niño tendrá una sesión de terapia según el nivel en el que lo ubique su terapeuta y sin compañía del robot. Esto con el fin de evaluar el desempeño del niño en dichas actividades. Dicha sesión trabajará memoria, atención focalizada, imitación física y verbal, reconocimiento de emociones, motivación en el consultorio y seguimiento de instrucciones.

La fase de actividad constará de una serie de actividades, adecuadas para los cuatro niveles de desempeño en los que se ubicarán a los niños y que trabajarán las habilidades mencionadas anteriormente. En esta fase se contará también con la intervención del robot CASTOR.

- En el nivel 1 se trabajará con instrucciones sencillas que le permitan al niño desarrollar las actividades de la mejor manera.
- En el nivel 2 se trabajará con rondas infantiles para motivar más a los niños durante el desarrollo de estas, además teniendo en cuenta que es un nivel más avanzado se podrá evaluar dos competencias en una sola actividad.
- En el nivel 3 se sigue haciendo uso de música para acompañar las actividades, pero se combina la música con las instrucciones dadas por el robot CASTOR.
- En el nivel 4 se utilizan audios de narraciones cortas y en base a estas se desarrollan las distintas actividades que trabajan las habilidades mencionadas anteriormente.

El terapeuta podrá ayudar al niño a realizar cada una de estas actividades, lo alentará para que hable con el robot e interactúe con él. El niño tendrá otras dos oportunidades para realizar las actividades en caso de que no lo logre la primera vez. El robot también tendrá reacciones emocionales frente a las acciones del niño o el desempeño del niño en la actividad.

Por último se realizará un post-test en el que se llevarán a cabo las mismas actividades realizadas en el pre-test, nuevamente sin el robot. Esto con el fin de evaluar el progreso del niño como resultado de las terapias realizadas en conjunto con el robot.

Es importante resaltar que aunque los niños estarán ubicados en cuatro grupos diferentes, todos estarán bajo las mismas condiciones y se trabajarán las mismas habilidades.

### **Riesgos**

Al participar en esta investigación, los participantes no se exponen a un riesgo mayor que si no lo hicieran. Al participar en esta investigación es posible que los pacientes experimenten molestias debidas, al sonido del robot y de los elementos mecánicos que lo componen a su apariencia y a su voz.

### **Beneficios**

Este proyecto puede que no conlleve un beneficio puntual e inmediato para los participantes, pero es probable que su participación permita clarificar el vinculo del déficit de la atención compartida con la manifestación de síntomas del TEA. Es posible que no se genere beneficio directo para la sociedad en la etapa actual del proyecto de investigación, pero es probable que en las etapas de investigación posteriores, se generen herramientas de base tecnológica que mejoren los procesos tradicionales de diagnóstico y tratamiento del TEA.

### **Incentivos**

No se le dará ningún dinero, regalos o incentivos por tomar parte en esta investigación.

### **Confidencialidad**

En este proyecto la información será vinculada, es decir, la información puede relacionarse o conectarse con la persona a quien se refiere. Sin embargo, esta información será registrada de forma anónima, en este caso se puede vincular con la persona a quien se refiere excepto mediante un código u otros medios conocidos sólo por el titular de la información. De esta forma se protege la información personal de los sujetos participantes. Su identidad nunca será revelada o publicada.

### **Compartiendo los Resultados**

Del conocimiento que obtengamos por realizar esta investigación se publicarán los resultados para que otras personas interesadas puedan aprender de nuestra investigación. No se compartirá información confidencial.

### **Derecho a negarse o retirarse**

Usted no tiene porque tomar parte en esta investigación si no desea hacerlo. Puede dejar de participar en la investigación en cualquier momento que quiera. Es su elección y todos sus derechos serán respetados.

### **A quien contactar**

Si tiene cualquier pregunta puede hacerlas ahora o más tarde, incluso después de haberse iniciado el estudio. Si desea hacer preguntas más tarde, puede contactar cualquiera de las siguientes personas:

- **Marcela Múnera:** (+57) 310-273-48-57; marcela.munera@escuelaing.edu.co
- **Carlos Cifuentes:** (+57) 304-212-0032; carlos.cifuentes@escuelaing.edu.co

## Part III: Consentimiento informado

Yo, \_\_\_\_\_,  
identificado con cédula de ciudadanía número \_\_\_\_\_, actuando en mi calidad de representante legal y/o acudiente del niño(a) \_\_\_\_\_, declaro que he leído y comprendido el presente documento y que mis preguntas han sido respondidas satisfactoriamente; por lo tanto doy mi consentimiento informado para participar en la investigación llamada “Protocolo de interacción robótica en un estudio a largo plazo”. Estoy de acuerdo con que su nombre, edad y otros datos relacionados con sus capacidades perceptivas sean almacenadas. Sé que puede retirarse del experimento en cualquier momento.

Representante legal y/o acudiente del participante:

Nombre: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_ Cédula: \_\_\_\_\_

### Declaración del investigador

Yo certifico que le he explicado a esta persona la naturaleza y el objetivo de la investigación, y que esta persona entiende en qué consiste su participación, los posibles riesgos y beneficios implicados. Todas las preguntas que esta persona ha hecho le han sido contestadas de forma adecuada. Así mismo, he leído y explicado adecuadamente las partes del consentimiento informado. Hago constar con mi firma.

Investigador:

Nombre: \_\_\_\_\_ Cédula: \_\_\_\_\_

Firma Investigador: \_\_\_\_\_

Fecha (aaaa/mm/dd): \_\_\_\_\_

## References

- [1] A.C. Rodríguez-Barrionuevo, M.A. Rodríguez-Vives, "Diagnóstico clínico del autismo", *Revista de Neurología*, vol. 34, pp. 72-77, 2002.
- [2] Ministerio de salud de Colombia, "MinSalud incluye en el estudio de salud mental el autismo", Disponible: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/salud-mental-el-autismo.aspx>. (2020-02-04).
- [3] M Alessandri, "Revista de Neurología", *Revista de Neurología*, vol. 40, pp. 137-141, 2001.
- [4] D Smirni, P Smirni, M Carotenuto, "Noli Me Tangere. Social Touch, Tactile Defensiveness, and communication in Neurodevelopmental Disorders", *Brain Sciences*, vol. 9, pp. 368, 2019.
- [5] Uta Frith, "Autism: brain and mind", *Brain Sciences*, vol. 9, pp. 368, 2004.
- [6] John Cabibihan, "Why Robots? A survey on the Roles and Benefits of social Robots in the Therapy of Children with Autism", *Brain Sciences*, vol. 5, pp. 593-618, 2013.
- [7] S Ali, F Mehmood, Y Ayaz, "Comparing the effectiveness of different reinforcement stimuli in a robotic therapy for children with ASD", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 1-9, 2017.
- [8] Robert M Joseph, "The relationship of theory of mind and executive functions to symptoms type and severity in children with autism", *Development and Psychopathology*, vol. 16, pp. 137-155, 2004.
- [9] Atsushi Senju, "Spontaneous Theory of Mind and Its Absence in Autism Spectrum Disorders", *The Neuroscientist*, vol. 18, pp. 108-113, 2011.
- [10] Sandra Costa, "Using a Humanoid Robot to Elicit Body Awareness and Appropriate Physical Interaction in Children with Autism", *International Journal of Social Robotics*, vol. 7, pp. 265-278, 2014.
- [11] P Caldwell, "Getting in touch: ways of working with people with severe learning disabilities and extensive support needs", *Pavilion*, pp. 34, 1996.
- [12] M Rodríguez, "MIRROR NEURONS: A BIOLOGICAL GENESIS OF RELATIONAL", *Psychologist Papers*, vol. 40, pp. 226-232, 2019.
- [13] JO Cornelio Nieto, "Autismo infantil y neuronas en espejo", *Revista de Neurología*, vol. 48, pp. 27-29, 2009.

# Bibliografía

- [1] A. Rodríguez, «Diagnóstico clínico del autismo», *Revista de Neurología*, vol. 34, págs. 72-77, 2002.
- [2] L. D. Iudicibus, «Trastornos generalizados del desarrollo», *Revista Argentina de Clínica Neuropsiquiátrica*, vol. 17, págs. 5-41, 2011.
- [3] K. Gutiérrez, «Identificación temprana de trastornos del espectro autista», *Acta Neurológica Colombiana*, vol. 32, págs. 238-247, 2016.
- [4] A. Morant, «Bases neurológicas del autismo», *Revista de Neurología Clínica*, vol. 2, págs. 163-171, 2001.
- [5] J. C. Nieto, «Autismo infantil y neuronas en espejo», *Revista de Neurología*, vol. 48, págs. 27-29, 2009.
- [6] M. Alessandri, «Déficit social en el autismo: Un enfoque en la atención conjunta», *Revista de Neurología*, vol. 40, págs. 137-141, 2001.
- [7] J. B. L, «Prevalence of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8», *MMWR Surveill Summ*, vol. 67, págs. 1-23, 2018.
- [8] E. Bal, «Emotion Recognition in Children with Autism Spectrum Disorders: Relations to Eye Gaze and Autonomic State», *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 40, págs. 358-370, 2010.
- [9] O. M. de la Salud, *Trastornos del espectro autista*. dirección: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders> (visitado 13-04-2020).
- [10] M. de Salud de Colombia, *MinSalud incluye en el estudio de salud mental el autismo*, Abril 13, 2020. dirección: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/salud-mental-el-autismo.aspx>.
- [11] K. Dautenhahn, «Games children with autism can play with Robota, a humanoid robotic doll», *Universal Access and Assistive Technology*, págs. 179-190, 2002.
- [12] S. Piñero, «Conceptos generales sobre ABA en niños con trastorno del espectro autista», *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 60, págs. 60-66, 2012.
- [13] K. Kunzi, «Improving Social Skills of Adults With Autism Spectrum Disorder Through Physical Activity, Sports, and Games: A Review of the Literature », *Adultspan Journal*, vol. 14, págs. 22-31, 2015.
- [14] M. C. D Smirni P Smirni, «Noli Me Tangere. Social Touch, Tactile Defensiveness, and communication in Neurodevelopmental Disorders», *Brain Sciences*, vol. 9, pág. 368, 2019.

- [15] U. Frith, *Autism: brain and mind*. Philosophical Transactions of the Royal Society, 2004.
- [16] C. Talero, «Autismo: Estado del arte», *Revista Ciencias de la Salud*, vol. 1, págs. 68-85, 2003.
- [17] M. de salud de Colombia, *Protocolo clínico para el diagnóstico, tratamiento y ruta de atención integral de niños y niñas con trastornos del espectro autista*. dirección: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/Protocolo-TEA-final.pdf> (visitado 29-04-2020).
- [18] Y. A. S Ali F Mehmood, «Comparing the effectiveness of different reinforcement stimuli in a robotic therapy for children with ASD», *IEEE Access*, vol. 8, págs. 1-9, 2017.
- [19] A. M. Cook, *Robotic Assistive Technologies: Principles and practice*. CRC Press, 2017.
- [20] A. A. Ramírez, «Collaborative and Inclusive Process with the Autism Community: A Case Study in Colombia About Social Robot Design», *International Journal of Social Robotics*, págs. 1-15, 2020.
- [21] A. Aguirre, «Longitudinal Study of Robot-Assisted Joint Attention Interventions for Children with ASD (En revisión)», 2019.
- [22] L. A. GHAZI, «History of autism: The beginnings», *Journal of Educational Sciences*, vol. 38, págs. 5-17, 2018.
- [23] J. M. Pérez, «Autismo neurodesarrollo y detección temprana», *Revista de Neurología*, vol. 42, págs. 99-101, 2006.
- [24] M. ALTIERE, «Searching for acceptance: Challenges encountered while raising a child with autism», *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, vol. 34, págs. 142-152, 2009.
- [25] M. J. Schmeisser, *Translational Anatomy and Cell Biology of Autism Spectrum Disorder*. Springer International Publishing, 2017.
- [26] B. Joseph, *The Neuroscience of Autism Spectrum Disorders*. Academic Press, 2012.
- [27] C. Ashwin, «Impaired recognition of negative basic emotions in autism: A test of the amygdala theory», *Social Neuroscience*, vol. 1, págs. 349-363, 2006.
- [28] S. I. Fox, *Human Physiology*. McGraw Hill, 2011.
- [29] M. I. Stamenov, *Mirror Neurons and the evolution of Brain and Language*. John Benjamins Publishing Company, 2002.
- [30] M. Rodríguez, «Mirror Neurons: A Biological Genesis of Relational», *Psychologist Papers*, vol. 40, págs. 226-232, 2019.
- [31] A. Senju, «Spontaneous Theory of Mind and Its Absence in Autism Spectrum Disorders», *The Neuroscientist*, vol. 18, págs. 108-113, 2011.
- [32] R. Joseph, «The relationship of theory of mind and executive functions to symptoms type and severity in children with autism», *Development and Psychopathology*, vol. 16, págs. 137-155, 2004.
- [33] D. Smirni, «Noli Me Tangere: Social Touch, Tactile Defensiveness, and Communication in Neurodevelopmental Disorders», *Brain Sciences*, vol. 9, n.º 12, págs. 1-11, 2019.

- [34] C. J. Cascio, «Somatosensory processing in neurodevelopmental disorders», *Journal of neurodevelopmental disorders*, vol. 128, págs. 62-69, 2010.
- [35] Z. Zheng, «Design, Development, and Evaluation of a Noninvasive Autonomous Robot-Mediated Joint Attention Intervention System for Young Children With ASD», *IEEE transactions on human-machine systems*, vol. 48, n.º 2, págs. 125-135, 2018.
- [36] L. Battich, «Joint Attention and perceptual experience», *Synthese*, vol. 197, págs. 1-14, 2020.
- [37] L. B. C Perihan M Burke, «Effects of cognitive behavioral therapy for reducing anxiety in children with high functioning ASD: A systematic review and meta-analysis», *J Autism and Dev Dis*, vol. 49, págs. 1-15, 2019.
- [38] A. M. Cook, *Assistive Technologies: Principles and practice*. Elsevier Mosby, 2015.
- [39] P. Vidal, «Evolución de la robótica social y nuevas tendencias», *Jornadas de Automática*, vol. 37, págs. 836-843, 2017.
- [40] B. Scassellati, «Robots for Use in Autism Research», *Annual Review of Biomedical Engineering*, vol. 14, págs. 275-294, 2012.
- [41] B. Robins, «Embodiment and Cognitive Learning: Can a Humanoid Robot Help Children with Autism to Learn about Tactile Social Behaviour», *International Conference on Social Robotics*, vol. 7621, págs. 66-75, 2012.
- [42] AliveRobots, *NAO Los robots del futuro son ya una realidad*, Abril 7, 2020. dirección: <https://aliverobots.com/nao/>.
- [43] R. E. Simut, «Children with Autism Spectrum Disorders Make a Fruit Salad with Probo, the Social Robot: An Interaction Study», *Journal of Autism and Developmental Disorder*, vol. 46, págs. 113-126, 2015.
- [44] ParentMap, *Meet Milo: The Robot Who Helps Kids Learn*, Abril 7, 2020. dirección: <https://www.parentmap.com/article/stream-robotics-autism-special-needs>.
- [45] L. Boccanfuso, «CHARLIE: An Adaptive Robot Design with Hand and Face Tracking for Use in Autism Therapy», *International Journal of Social Robotics*, vol. 3, págs. 337-347, 2011.
- [46] M. C. C Vandeveld J Saldien, «Ono, a DIY Open Source Platform Social Robotics», *TEI*, vol. 7, págs. 1-6, 2014.
- [47] M. W. K Dautenhahn C Nehaniv, «KASPAR a minimally expressive humanoid robot for human-robot interaction research», *App Bionic and Biomech*, vol. 6, págs. 369-397, 2009.
- [48] J. J. Cabibihan, «Why Robots? A survey on the Roles and Benefits of social Robots in the Therapy of Children with Autism», *International Journal of Social Robotics*, vol. 5, págs. 593-618, 2013.
- [49] T. Zorcec, «Getting Engaged: Assited Play with a Humanoid Robot Kaspar for Children with Severe Autism», *International Conference on Telecommunications*, vol. 1, págs. 198-207, 2018.

- [50] J. Wainer, K. Dautenhahn, B. Robins y F. Amirabdollahian, «Collaborating with Kaspar: Using an autonomous humanoid robot to foster cooperative dyadic play among children with autism», Undefined/Unknown, en *Humanoid Robots (Humanoids)*, 2010 10th IEEE-RAS International Conference on, 2010, págs. 631-638.
- [51] S. Costa, «Using a Humanoid Robot to Elicit Body Awareness and Appropriate Physical Interaction in Children with Autism», *International Journal of Social Robotics*, vol. 7, págs. 265-278, 2014.
- [52] L. JaiWood, «Developing a protocol and experimental setup for using a humanoid robot to assist children with autism to develop visual perspective taking skills», *Journal of Behavioral Robotics*, vol. 10, págs. 167-179, 2019.
- [53] J. Saldien, «On the Design of the Huggable Robot Probo», *Journal of Physical Agents*, vol. 2, págs. 3-11, 2008.
- [54] H. L. Cao, «Probolino: A Portable Low-Cost Social Device for Home-Based Autism Therapy», *International Conference on Social Robotics*, págs. 93-102, 2015.
- [55] B. News, *El inesperado regreso de los Tamagotchi, las populares mascotas virtuales de los 90*, Abril 7, 2020. dirección: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48532270>.
- [56] R. SIMUT, «Probogotchi: A novel edutainment device as a bridge for interaction between a child with ASD and the typically developed sibling», *Journal of Evidence-Based Psychotherapy*, vol. 10, págs. 91-112, 2016.
- [57] C. A. Pop, «Enhancing play skills, engagement and social skills in a play task in ASD children by using robot-based interventions. A pilot study», *Interaction Studies*, vol. 15, págs. 292-320, 2014.
- [58] L. Boccanfuso, «A low-cost socially assistive robot and robot-assisted intervention for children with autism spectrum disorder: field trials and lessons learned», *Autonomous Robots*, vol. 41, págs. 637-655, 2017.