

**EVALUACIÓN DE LARGO PLAZO DEL EFECTO DE LA INTEGRACIÓN DE
UN ROBOT SOCIAL EN REHABILITACIÓN FÍSICA DE MARCHA ASISTIDA
POR LOKOMAT**

DENNISS PAOLA RAIGOSO AMORTEGUI

Pasantía de investigación

Tutor

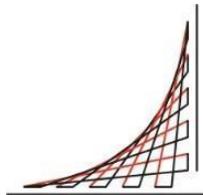
Prof. Dr. Carlos Andrés Cifuentes García

Co-Tutor

Profa. Dra. Marcela Cristina Múnera Ramírez



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO PROGRAMA DE
INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ 2019**

Agradecimientos

La vida es una sola, aprovechémosla con todos nuestros familiares, amigos, y con las personas presentes en nuestras vidas, vivámosla y lleguemos a la felicidad.

Quiero agradecer a Dios por ser mi soporte y por bendecir mi vida cada día, con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de personas que me ayudan a ser cada día mejor. Agradezco a mi hija Abril, la cual es mi gran motivación y me impulsa cada día a superarme en la carrera de ofrecerle siempre lo mejor.

Gracias a mi familia por el apoyo incondicional a lo largo de mi carrera por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar, creer en mí y en mis expectativas.

Al Centro de Rehabilitación Integral de Alta Tecnología Mobility Group, a su equipo de terapeutas y pacientes que hicieron posible el desarrollo de mi pasantía de investigación en un ámbito clínico.

Por último, les quiero agradecer a todos los profesores de la Universidad del Rosario y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por sus enseñanzas a lo largo de esta carrera. Especialmente a mi tutor Carlos Cifuentes y a mi Co-tutora Marcela Múnera por apoyarme durante todo el proceso de investigación y por incentivar en mí el amor hacia la investigación.

Resumen

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 15 % de la población mundial tiene algún tipo de discapacidad, generada en su mayoría por patologías asociadas a accidentes cerebrovasculares (ACV) y lesiones medulares que conducen a deficiencias en las funciones motoras, afectando de esta manera la independencia de la persona, su calidad de vida e inclusión dentro de la sociedad [1][2].

En Colombia el sistema de salud ofrece la rehabilitación física como una de las estrategias para brindar un proceso continuo que involucre la identificación de problemas en la función motora del paciente e intervenir en la patología con el fin de brindarle un tratamiento que favorezca la recuperación funcional de los pacientes de la manera más óptima posible[3]. Sin embargo, a pesar del servicio de rehabilitación que ofrece el sistema, existe por parte de los pacientes una baja adherencia a las diferentes terapias de rehabilitación física y deserción del proceso, motivado principalmente por factores económicos y socioculturales afectando negativamente la recuperación[6].

Existen dos tipos de terapias de rehabilitación física; *Terapia física convencional*: La terapia que se realiza únicamente con la asistencia del terapeuta y *la Terapia física con tecnología*: La terapia que se realiza con la asistencia del terapeuta y de la tecnología a través del uso de robots. La terapia física acompañada con tecnología genera mayor adherencia, motivación y ayudan a acelerar el proceso de recuperación en los pacientes. Una de las tecnologías utilizada en las terapias de rehabilitación de marcha es Lokomat[6]. Lokomat es una ortesis de marcha robotizada y automatizada que dirige las piernas del paciente sobre una cinta rodante ofreciendo una amplia variedad de entrenamientos para uso terapéutico en pacientes que tienen limitaciones de la marcha, como pacientes que han sufrido ACV o lesiones medulares.

La terapia de rehabilitación física puede ser potencializada aún más, mediante la implementación de dispositivos externos que proporcionen mediciones precisas y confiables a lo largo de la terapia, ofreciéndole una realimentación al paciente, con valores que son de importancia para el fisioterapeuta y le ayudan a encaminar la terapia al éxito. De esta manera la terapia de rehabilitación física de marcha se vuelve interactiva y permite evaluar su progreso y evolución desde el comienzo de la rehabilitación hasta la finalización de la misma en el paciente[8].

La integración del robot de asistencia social se hace mediante una interfaz humano-robot, la cual busca potencializar los beneficios de la terapia en adultos con trastornos de marcha, brindando una realimentación en tiempo real durante el desarrollo de las sesiones, de parámetros fisiológicos en el paciente, como la corrección de la postura cervical y torácica en los planos sagital y coronal, la frecuencia cardíaca y la evaluación de parámetros cognitivos como la escala de Borg [10]. Estos valores ofrecen información confiable al fisioterapeuta, de manera que éste pueda regular las actividades durante la sesión para que, asimismo el paciente se mantenga en los parámetros normales y la sesión sea satisfactoria para el

paciente.

Por lo tanto, el objetivo general del proyecto es evaluar el efecto a largo plazo y la percepción de los pacientes frente a la integración de la robótica de asistencia en rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat, diseñando y ejecutando un estudio de la percepción de los clínicos sobre la aplicabilidad de la robótica de asistencia social en la rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, además de diseñar y ejecutar un estudio a largo plazo para analizar los efectos de la implementación de un robot de asistencia social en el proceso de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, para posteriormente evaluar y presentar los resultados de los dos estudios anteriores para estudiar el potencial de los robots de asistencia social en la rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

El presente trabajo evidencia el desarrollo del estudio a largo plazo de la integración de un robot de asistencia social en rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat, además de los resultados estadísticos de las variables fisiológicas y cognitivas medidas a lo largo de 15 sesiones, y de un cuestionario de percepción de la robótica implementada durante el estudio. Así como, los resultados estadísticos obtenidos a partir del cuestionario de percepción de la tecnología de asistencia social (RAS), orientado a terapeutas, fisiatras y pacientes, que no hayan sido asistidos o apoyados por un robot social durante los procesos de rehabilitación, el cual fue desarrollado en instituciones de Colombia y España.

Hasta la fecha, la integración del robot social en la rehabilitación física ha demostrado efectos positivos ya que el robot asistió asertivamente a los eventos de mala postura y el porcentaje de tiempo en que el paciente permanece en una mala postura en la sesión asistida por el robot tiende a reducirse en comparación con la asistencia únicamente del terapeuta, una vez finalizado el estudio, se aplicó una encuesta de percepción a los pacientes que finalizaron el estudio, evaluando 7 dimensiones de aceptación de la tecnología en las terapias. el 60% de los pacientes calificó como satisfactorio la interacción del robot en 6 de las 7 dimensiones evaluadas.

A su vez se evaluó la percepción de pacientes y clínicos que no han utilizado un RAS en sus terapias de rehabilitación dando como resultado una aceptación de más del 60%. Al subdividir ésta en dos grupos (pacientes vs clínicos), se tuvo como resultado una mayor aceptación por parte de los pacientes en 3 de las 7 dimensiones que involucran el entretenimiento y la interacción del robot como elemento favorecedor de las terapias. Y en cuanto a los clínicos, la incidencia de aceptación fue mayor en las dimensiones que involucran el aspecto técnico de uso, es decir el robot como elemento de apoyo en la profesión.

Índice general

Agradecimientos.....	i
Resumen.....	ii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Proyecto relacionado.....	2
1.3. Objetivos del proyecto.....	3
13.1. Objetivo general.....	3
13.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Contribuciones.....	3
1.5. Organización del documento.....	3
2. ESTADO DEL ARTE	4
2.1. Marcha Humana.....	5
2.2. Rehabilitación.....	7
2.3. Rehabilitación Física.....	8
23.1. Rehabilitación física convencional.....	8
23.2. Rehabilitación física con tecnología.....	9
23.3. Ventajas y desventajas de la rehabilitación física convencional y la rehabilitación con el uso de tecnología.....	9
2.4. Rehabilitación Física a largo y a corto plazo.....	11
2.5. Robótica de Asistencia Social.....	12
25.1. Terapia con robótica de asistencia social.....	13
25.2. Terapia robótica social a largo plazo.....	14

3. METODOLOGÍA	26
3.1. Generalidades.....	26
3.2. Diseño de la investigación.....	26
3.3. Enfoque de la investigación.....	31
3.4. Población.....	31
3.4.1 Criterios de inclusión	31
3.4.2 Criterios de exclusión.....	32
3.5. Muestra y muestreo.....	32
3.6. Instrumentos de recolección de datos	33
3.6.1 Arquitectura del sistema.....	33
3.6.2 Encuestas de percepción	36
3.7. Técnicas de recolección de datos.....	38
3.7.1 Interfaz del estudio a largo plazo de la implementación de RAS en rehabilitación de marcha	38
3.7.2 Encuestas de percepción.....	40
3.8. Técnicas de procesamiento de datos	41
3.8.1 Encuestas de percepción.....	41
3.8.2 Procesamiento de los resultados posturales del estudio a largo plazo	47
3.9. Herramientas para el procesamiento de datos.....	48
4. RESULTADOS	49
4.1. Resultados Encuesta de percepción.....	49
4.1.1 Alpha de Cronbach	49
4.1.2 Resultados Estadísticos	50
4.1.2.1. Resultados Cuantitativos	50
4.1.2.2. Resultados Cualitativos.....	54
4.2 Resultados del estudio a largo plazo implementando RAS.....	55

4.2.1. Resultados posturales.....	56
4.2.2. Resultados Estadísticos del estudio a largo plazo implementando RAS..	57
4.2.2.1. Alpha de Cronbach.....	62
4.2.2.2. Resultados cuantitativos	64
4.2.2.3. Resultados cualitativos	65
5. DISCUSIONES	66
5.2. Encuesta de Percepción.....	66
5.3. Estudio a largo plazo implementando RAS.....	67
5.2.1 Encuesta de percepción del estudio a largo plazo implementando RAS.....	68
6. CONCLUSIONES	69
7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXO	79

Índice de figuras

2.1. Fases de la marcha [11].....	15
2.2. Terapia de locomoción, Lokomat en Mobility.....	19
2.3. Partes del robot NAO	23
3.1Mala postura torácica y cervical comparada con una buena postura corporal (cervical y torácica).....	30
3.2.Ángulos máximos de flexión e inclinación de la postura torácica y cervical en dos planos	31
3.3Flujograma del estudio a largo de la implementación de un RAS en terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, involucrando la toma de datos y la aplicación de la encuesta de percepción a los pacientes que finalizaron el estudio.....	42
3.4. Clasificación del Alpha obtenido para la fiabilidad de un instrumento tipo encuesta.....	45
3.5: Campana de Gauss con cada una de las pruebas de hipótesis.....	47
4.1: Percepción de la población para cada una de las dimensiones.....	54
4.2 Percepción de clínicos vs pacientes para cada una de las secciones evaluadas.....	56
4.3 Porcentaje de palabras con mayor frecuencia en cada pregunta.....	58
4.4 Porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje sagital del paciente 1.....	59
4.5 Porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje sagital del paciente 4 con la patología de lesión medular.....	60
4.6 Porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje sagital del paciente 6 del grupo intervención.....	60
4.7 Porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje coronal del paciente 1 y paciente 6.....	61
4.8 Porcentaje del tiempo de mala postura torácica en el eje coronal del paciente 2 y paciente 6.....	61
4.9 Postura torácica en el plano coronal del paciente 2 y 5.....	62
4.10 Gráficos al implementar la prueba de Mann Whitney.....	63
4.11 Gráfico del porcentaje del número de respuestas para cada categoría.....	64
4.12 Resultados cualitativos, encuesta de percepción a pacientes, palabras con mayor frecuencia en las respuestas.....	66

Índice de tablas

2.1. Ventajas y desventajas de la rehabilitación convencional.....	20
3.1. Organización del estudio, involucrando las sesiones test, las sesiones control, y las sesiones intervención de cada uno de los grupos de pacientes.	29
3.2. Elementos utilizados para el desarrollo de la interfaz, definición técnica.	36
3.3. Intervención del robot NAO en función del tiempo en la rehabilitación física con Lokomat...38	
3.4. condiciones para la toma de decisiones en las pruebas de hipótesis con el valor p.....	47
3.5. Condiciones para la toma de decisiones en las pruebas de hipótesis con el valor z.....	48
3.6. Tabla léxica de ejemplo para el análisis de datos textuales con palabras utilizadas en un párrafo.....	50
4.1. Valores estadísticos a tener en cuenta.....	55
4.2. Valores z calculados para la prueba de hipótesis.....	55
4.3. P-Valores de cada sección teniendo en cuenta el valor Z calculado para la prueba de hipótesis.....	55
4.4. U y P-Valores de cada sección para la prueba de hipótesis calculados con la prueba de Mann Whitney.....	56
4.5. Palabras características en las respuestas de la encuesta 1.....	57
4.6. Selección de palabras y segmentos con frecuencia mayor a 4, encuesta 1.....	58
4.7. Mediana U y P-Valores de cada plano para la prueba de hipótesis calculados con la prueba de Mann Whitney.....	62
4.8. Palabras características en las respuestas de la encuesta 2.....	65

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 15 % de la población mundial tiene alguna discapacidad, esto es aproximadamente 800 millones de personas. De éstas, el 80 % de las personas con discapacidad vive en países pobres y corresponde a personas de bajos ingresos, con lo cual no tienen acceso a servicios de rehabilitación [1].

A nivel nacional las estadísticas del Censo Nacional de Población y vivienda en 2010 muestran que aproximadamente 3 millones de personas padecían algún tipo de discapacidad grave, lo cual equivale a 6.3 % de la población del mismo año. De esto se estima que el 43,2 % de las personas tenían limitaciones visuales, seguidos de problemas para la marcha y la movilidad (35 %) en el mismo año. De este modo, la incidencia de discapacidad cada año es del 8%, siendo mayor en el género masculino [3].

Tanto a nivel mundial como en Colombia se han creado políticas de protección y de ayuda a la persona con discapacidad para que aumente su participación en la sociedad. La OMS tiene como objetivo promocionar los derechos humanos de las personas con discapacidad, particularmente implementando 3 reglas estándares en la equidad de oportunidades, las cuales son [4]: *Cuidado médico Rehabilitación, Servicio de apoyo en instrumentación para la rehabilitación*. Siguiendo las reglas estándares de la OMS, en Colombia se ha creado un Plan Obligatorio de Salud Contributivo (POS) y Administradora de Régimen Subsidiado (ARS) el cual en materia de atención en salud para las personas con discapacidad establece actividades, intervenciones y procedimientos de medicina física y rehabilitación, ortopedia, psiquiatría, terapia física, terapia ocupacional, terapia del lenguaje, terapia para rehabilitación cardiaca, estimulación temprana, terapia respiratoria y psicología, entre otros, los cuales se deben realizar de acuerdo a las necesidades de los usuarios [5].

Actualmente, se han ido involucrando tecnologías de asistencia en las terapias de rehabilitación física, ello ha permitido el uso de dispositivos automatizados para la asistencia de la marcha, como es el caso del Lokomat, que ha sido evaluado clínicamente y ha mostrado resultados significativos en la rehabilitación de la marcha en pacientes con algún tipo de lesión neurológica [6].

El primer trabajo de grado en este contexto, tuvo como objetivo desarrollar una interfaz sensorial e integración de un robot de asistencia social en las terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, además de una evaluación preliminar de una interfaz Humano-Robot en rehabilitación cardiaca, junto con la definición de una propuesta de la integración de robots de asistencia social en entrenamiento físico enfocada a sobrevivientes de cáncer [10]. Posteriormente se realizó una prueba piloto con la interfaz desarrollada en un ambiente clínico, dicha evaluación preliminar permitió entender y ajustar adecuadamente la interfaz desarrollada en el contexto clínico [11].

De acuerdo con lo anterior, el presente proyecto se enfocó en evaluar la percepción y el efecto a largo plazo de la implementación de un robot social de asistencia en terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, por lo tanto, el robot social de asistencia tiene una interfaz compuesta por sensores ubicados en la parte cefálica y torácica del paciente, que permiten medir las variables fisiológicas como las posturales, espacio temporales y la frecuencia cardíaca durante la terapia. A partir de la medición con los sensores, el robot realiza control de las mismas, realizando realimentaciones de corrección cuando los valores de las variables fisiológicas sobrepasaran un límite establecido según estándares médicos. Estos controles son de suma importancia para el terapeuta y el paciente, siendo un apoyo hacia la ejecución del trabajo del terapeuta evitando eventos adversos de sobre-exigencia cardíaca, lesiones por realizar fuerzas con mala postura y de esta manera ralentizar el proceso de rehabilitación en el paciente; y por otro lado incentivando al paciente durante las terapias a corregir los eventos de mala postura de aumentando el nivel de interacción, de manera que se genera una adherencia a la terapia gracias a la incidencia positiva sobre los parámetros cognitivos como la atención y motivación en los pacientes [12] [13] [14].

Es por ello, que la motivación del proyecto es aportar beneficios a las terapias de rehabilitación física en adultos con trastornos de la marcha, a partir de la realimentación en línea de parámetros fisiológicos como la corrección de la postura cervical y torácica, que si no son controlados y corregidos a tiempo, el paciente puede sufrir algún tipo de lesión por la realización de movimientos y fuerzas con una inadecuada postura, y parámetros cognitivos como la escala de Borg, además de analizar el impacto de la robótica de asistencia social en las terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

1.1. Proyecto relacionado

Las terapias convencionales de rehabilitación en latinoamérica inician en los años 40, éstas surgieron en primer lugar para cubrir necesidades ortopédicas en las personas con lesiones musculo esqueléticas, que en su mayoría si no se trataban a tiempo las secuelas musculo esqueléticas terminaban en deformaciones de resolución quirúrgica, esto implicaba un costo alto para el gobierno y una disminución en la calidad de vida de las personas[9].

Es así, que con el desarrollo de la tecnología como el RAS, se han ido implementando en diferentes sectores tales como en la industria, educación, medicina de rehabilitación, etc. En los procesos de rehabilitación el uso de robots, ha contribuido de forma positiva en las terapias de rehabilitación física como cognitiva con el objetivo de mejorar la función y movilidad de la deficiencia física o mental en las personas [7]. Las terapias de rehabilitación actualmente son una estrategia de prevención y tratamiento de enfermedades, las más comunes son las lesiones medulares y los accidentes cerebrovasculares, mejorando así la calidad de vida de la persona, además de ser un impacto positivo económico y social [8].

El presente proyecto está enmarcado en la robótica de asistencia social, la cual consiste en la implementación de robots programables que son capaces de interactuar y comunicarse entre ellos, con los seres humanos y con el medio ambiente dentro de las estructuras social y cultural en las cuales se desenvuelven.

En este caso el robot se desenvuelve en un ambiente de terapia física asistida por Lokomat, se pretende que la RAS permita que haya una adherencia a la terapia de rehabilitación por parte del paciente, por lo tanto, si hay adherencia, hay motivación en la terapia y por ende habrá un mayor grado de participación del paciente en esta, factores necesarios para que la terapia tenga éxito. Por otro lado, se espera que la implementación de la robótica de asistencia sea un apoyo para el fisioterapeuta y aporte beneficios en la terapia de rehabilitación a largo plazo.

1.2. Objetivos del proyecto

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la percepción y el efecto de largo plazo de la integración de un robot social en rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y ejecutar un estudio de la percepción de los clínicos sobre la aplicabilidad de la robótica de asistencia social en la rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.
- Diseñar y ejecutar un estudio a largo plazo para analizar los efectos de la implementación de un robot de asistencia social en el proceso de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.
- Evaluar y presentar los resultados de los dos estudios anteriores para estudiar el potencial de los robots de asistencia social en la rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

1.3. Contribuciones

Las contribuciones realizadas al proyecto de la implementación de un RAS en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, se dieron en las diferentes etapas de este.

- Inicialmente se adecuó la interfaz teniendo en cuenta las recomendaciones de la prueba piloto desarrollada en el 2019-1 [11], es decir, se añadieron mediciones en el plano coronal.
- Se coordinaron las terapias de rehabilitación de marcha en el centro de rehabilitación Mobility con pacientes que estuvieran dentro de los criterios de inclusión establecidos. Esto conlleva, a realizar un seguimiento de los datos de cada una de las terapias con los pacientes del estudio, así mismo asegurando que el sistema de medición funcionara de manera adecuada durante las sesiones.
- Posterior a la finalización del estudio con cada uno de los pacientes se aplicó una encuesta para conocer la percepción de los pacientes hacia el RAS y establecer puntos de mejora en la interacción humano-robot.

- En paralelo a este trabajo, se aplicaron encuestas a pacientes y clínicos que no han tenido interacción alguna con el RAS en sus terapias de rehabilitación y de esta manera conocer la percepción y sugerencias de los encuestados evaluando diferentes dimensiones hacia la implementación del RAS en rehabilitación.

1.4. Organización del documento

El documento está desarrollado en 7 capítulos, introducción, estado del arte, metodología, resultados, discusión, conclusiones, y recomendaciones. La introducción se compone de la motivación que se tuvo en cuenta describiendo el contexto y la problemática que hay a nivel mundial y en el país, definiendo una estrategia de implementación de la RAS en las terapias de rehabilitación física de marcha asistidas por Lokomat, siendo una herramienta de innovación y de apoyo durante la rehabilitación. El proyecto al que es relacionado, donde se hace mención a la robótica de asistencia social como el marco del proyecto. Los objetivos del proyecto, las contribuciones que se realizaron teniendo en cuenta el desarrollo del estudio a lo largo de dos años, y la organización del documento.

En el capítulo 2, se presenta el estado del arte, es decir el marco teórico que soporta el estudio, empezando por definiciones de marcha humana, así como sus afectaciones, para una posterior conceptualización de las estrategias de rehabilitación a nivel mundial y nacional, enfocándose en la rehabilitación física con tecnología y sin tecnología. Además de involucrar información de la robótica de asistencia social como principal elemento en el presente estudio.

En el capítulo 3 se encuentra la metodología utilizada para desarrollar el proyecto, comenzando por un contexto acerca del diseño y enfoque de la investigación para posteriormente brindarle al lector un proceso detallado en la toma de datos y en las técnicas utilizadas para analizarlos. En el capítulo 4 se exponen los resultados obtenidos al seguir la metodología planteada, iniciando con los resultados obtenidos de la encuesta de percepción de los clínicos y pacientes que no han involucrado en sus terapias RAS, pasando por los resultados obtenidos de la implementación de RAS en cuando a las variables fisiológicas y cognitivas, así como la percepción que tuvieron los pacientes del estudio hacia la RAS.

Con los resultados obtenidos, se exponen en el capítulo 5 las discusiones realizadas para concluir finalmente en el capítulo 6 si se cumplieron los objetivos establecidos y a partir de lo anterior presentar las recomendaciones y los trabajos futuros propuestos en el capítulo 7 que se enfocarán en el desarrollo de un estudio a largo plazo de la implementación de RAS en rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat, en una clínica de rehabilitación pediátrica (Goleman). Además, se propone implementar un sensor de electromiografía para analizar la activación muscular de los pacientes que se encuentran en rehabilitación de marcha y que son asistidos por Lokomat, (a parte de las mediciones fisiológicas y cognitivas medidas en el presente estudio) y de esta forma estudiar el efecto a largo plazo que ofrece la tecnología utilizada (Lokomat) a lo largo de la rehabilitación.

Capítulo 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 Marcha Humana

La marcha humana es un proceso de aprendizaje, el cual es adquirido por imitación, mediante prueba y error, esta permite el desplazamiento del cuerpo a través de la acción coordinada del sistema locomotor [10]. Pese al carácter individual de este primer proceso, se puede hablar de un patrón de marcha constituido por cuatro fases (ver Figura 2.1) caracterizadas por una alternancia de doble apoyo y apoyo unipodal.

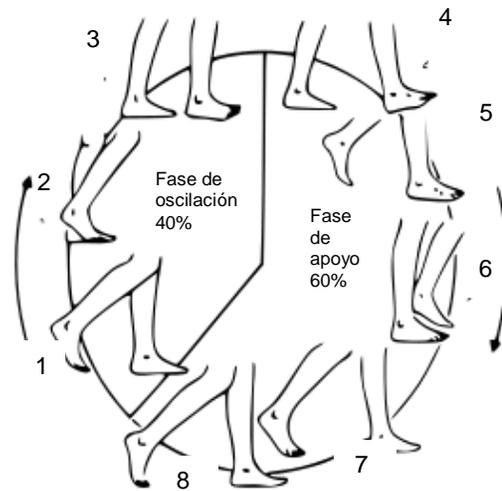


Figura 2.1: Fases de la marcha humana. Plano sagital [15].

La primera fase, también denominada primer periodo de doble apoyo, comienza cuando el talón del pie tomado como referencia entra en contacto con el suelo, frenando la aceleración del cuerpo hacia adelante y finaliza con el despegue del miembro contralateral. En la segunda fase, también denominada primer apoyo unipodal, el peso del cuerpo recae en la extremidad tomada como referencia, mientras que el miembro contralateral está oscilando. La tercera fase o segundo periodo de doble apoyo, comienza cuando el antepié de la extremidad tomada como referencia entra en contacto con el suelo y genera una aceleración del cuerpo hacia adelante. Por último, en la cuarta fase, también denominada segundo apoyo unipodal, el peso del cuerpo recae en la extremidad contralateral, mientras que el miembro de referencia está oscilando [15].

La marcha humana puede afectarse por diferentes factores:

Accidentes cerebro vasculares: Un accidente cerebrovascular (ACV) se define como un síndrome clínico de origen vascular [16]. Según los datos de la OMS 15 millones de personas sufren un ACV cada año, de las cuales 5 millones de personas mueren y 5 millones quedan con una discapacidad cognitiva o física de manera permanente [17]. La alteración de la marcha es una de las principales consecuencias de un accidente cerebro vascular, se estima que un 80% de las personas que han sufrido un ACV presentan una alteración de la marcha, de los cuales, el 60% tienen limitaciones para deambular en la comunidad y el 40% requieren asistencia durante la marcha[18].

La marcha en pacientes que han sufrido ACV se encuentra muy marcada por la disminución del control y fuerza muscular, alteraciones sensitivas y espasticidad [15]. Generando así la reducción de la velocidad y afectaciones en la simetría espaciotemporal, en la eficiencia energética y en el control del equilibrio [16].

Lesión Medular: Corresponde a la alteración de la médula espinal por causa traumática o debido a alguna enfermedad [16]. Según la OMS cada año se producen aproximadamente de 25 a 30 nuevos casos de lesiones medulares por cada millón de habitantes en el mundo [17].

Este estado médico se concreta en la pérdida del movimiento voluntario, de la sensibilidad, además se producen trastornos neurovegetativos, alteraciones de las funciones vesical e intestinal, del sistema cardiovascular, de la función sexual, entre otras complicaciones[18], debido a que la lesión afecta las células nerviosas y sus conexiones, impidiendo el flujo de las señales del movimiento que van desde el cerebro a los músculos[19].

Por lo tanto, la marcha se ve afectada completamente, para poder rehabilitar la misma, el paciente es sometido a un proceso de terapias físicas a largo plazo en las que se utilizan diferentes tecnologías con el objetivo de mejorar la marcha en el paciente[20].

2.2. Rehabilitación

El sistema de salud Colombiano se encuentra dividido en tres niveles de atención, primario, secundario y terciario, que garantizan la atención de los pacientes dependiendo su nivel de afectación en la salud [24], en cada uno se definen distintas estrategias con el único fin de lograr la atención según la coberturas de salud definida a la población que lo requiera [25].

El propósito de la prevención primaria es prevenir mediante el control de los factores causales o de riesgo, en este nivel actúa el personal de rehabilitación que tiene entre sus funciones actuar en la prevención de discapacidades en su radio de acción. La atención primaria en rehabilitación es una estrategia para la integración social de la persona discapacitada, su objetivo primordial es disminuir el impacto de la limitación por medio de la ampliación de coberturas. Las acciones de rehabilitación alcanzan todas las áreas de intervención de salud desde las más simples hasta las más complejas [26].

Por otro lado, la prevención secundaria se encarga de la curación de los pacientes y la

reducción de las consecuencias más graves de la enfermedad, mediante diagnóstico y tratamientos precoces; Su finalidad principal es detener o retardar el progreso de una enfermedad y sus secuelas en cualquier punto de su inicio [26]. La atención terciaria tiene como propósito retrasar la aparición o el progreso de complicaciones de una enfermedad ya establecida en su etapa clínica es decir consiste en la aplicación de medidas encaminadas a reducir secuelas y discapacidades mediante la rehabilitación [26][27].

En la actualidad existen diferentes métodos de rehabilitación, entre ellos se encuentran las terapias convencionales, en donde se realizan ejercicios físicos repetitivos asistidos por un terapeuta [21] y algunas otras que involucran tecnologías de asistencia. Éstas son llamadas terapias de rehabilitación [8].

La rehabilitación es un proceso global y continuo de duración limitada con objetivos definidos, encaminados a promover y lograr que el paciente mantenga un nivel óptimo físico, sensorial, intelectual, psicológico y social, de esta manera, permitirá llevar de forma autónoma su vida ante la sociedad [22], el objetivo se mide en parámetros funcionales, en el restablecimiento de su movilidad, cuidado personal, habilidad manual y comunicación [22]. La rehabilitación nace con la aparición de secuelas invalidantes, donde la etiología y el tratamiento primario, se han instituido en el hombre que se encuentra ante su familia y la sociedad desprotegido a causa de sus deficiencias [23]; Es decir presta un tratamiento ante la pérdida o anomalías de la estructura corporal o de la función de un órgano o sistema [23]. Las deficiencias deben ser parte de un estado de salud, pero no indican necesariamente que esté presente una enfermedad o que el individuo se considere enfermo [22].

2.3. Rehabilitación Física

La rehabilitación física se encarga de mejorar la funcionalidad corporal, pretendiendo que el individuo perfeccione su movilidad y habilidades físicas a partir de terapias convencionales o con asistencia tecnológica, es decir, involucrando diferentes ejercicios funcionales o adicionándole a estos tecnologías de asistencia que ayuden en la rehabilitación del paciente [28].

Los objetivos terapéuticos y rehabilitadores son apoyos para el desarrollo, el mantenimiento y la recuperación de todas las funciones en el ámbito somático o para el aprendizaje de funcionamientos alternativos para las disfunciones que no sean recuperables [7]. Los procedimientos propuestos son técnicas fisioterapéuticas especiales para los enfermos, formas dosificadas de los ejercicios deportivos y gimnásticos para personas sanas, y series de movimientos que se desarrollan durante un día normal [29]. De manera circunstancial, y siempre que sea necesario, se combinan otros procedimientos de la terapia física para ampliar el tratamiento, entre los que se incluyen los masajes, la magnetoterapia, la hidroterapia, entre otros [30].

2.3.1. Rehabilitación física convencional

El objetivo principal de la terapia física convencional, consiste en la mejora y la recuperación de la habilidad funcional y la calidad de vida del paciente que tiene dificultades físicas o cambios que afectan al cerebro, medula espinal, nervios, huesos, articulaciones, ligamentos, músculos y tendones [7]. Centrándose en rehabilitar al paciente por medio de diferentes ejercicios y actividades las cuales según el objetivo de la terapia, el fisioterapeuta utiliza como método de recuperación [31].

Las actividades que realiza el fisioterapeuta varían dependiendo de la necesidad del paciente, como para tratamiento del dolor, reeducación de la marcha, mantenimiento físico general, rehabilitación de destrezas manipulativas y reentrenamiento de las actividades básicas de la vida diaria [32]. Para la estimulación multisensorial se utilizan materiales sensoriales como luces, olores, pelotas con diferentes pesos, todo esto destinado a aquellos pacientes que presentan dificultades de comunicación e interacción y en la que se utilizan los sentidos para potenciar el contacto con el entorno y a su vez obtener respuestas de la persona [32].

Específicamente cuando hay alteraciones de la marcha, los músculos de las piernas en su mayoría han perdido estabilidad fuerza y coordinación [33], por lo tanto, los ejercicios en las terapias convencionales deben estar caracterizados por la ejecución de la fuerza muscular y de impacto, es decir deben ser de alta intensidad y de corta duración, estos al realizarse de forma repetitiva ayudan al incremento de la fuerza muscular de la capacidad aeróbica y de la densidad ósea [33]. Alguna de las terapias convencionales utilizadas para la rehabilitación de marcha son las siguientes:

- Entrenamiento de resistencia aeróbico y entrenamiento de la fuerza: Mejora los movimientos selectivos, fuerza muscular de la pierna más afectada, velocidad mínima y máxima de la marcha [34].
- Entrenamiento de la fuerza muscular de la pierna más afectada, o de ambas piernas: Este ejercicio ayuda al incremento de la fuerza muscular mejorando con ello la marcha del paciente en términos de los parámetros espaciotemporales de cadencia, simetría y longitud del paso [34].
- Entrenamiento de circuitos: Este entrenamiento ayuda a mejorar la distancia y en la marcha, el equilibrio sentado y de pie y la habilidad para caminar [34].

2.3.2. Rehabilitación física con tecnología

Las terapias de rehabilitación física son realizadas en una mayoría por el fisioterapeuta que posee dos herramientas esenciales para desarrollar su trabajo, las cuales son la voz y las manos [34], sin embargo, a lo largo de los avances tecnológicos desarrollados por la humanidad, los terapeutas se han ido adaptando a las nuevas tecnologías, tanto a sistemas diagnósticos o terapéuticos novedosos como a sistemas informáticos que se han convertido en imprescindibles en el ámbito clínico [7].

Actualmente existen diferentes tecnologías de asistencia para rehabilitación en la marcha humana una de las más utilizadas es, FisiobCN y Lokomat [35]. FisiobCN permite a los pacientes rehabilitar la marcha, ayudándoles a soportar la mayoría de su peso, por otro lado, Lokomat está compuesta por una ortesis de marcha robótica y un sistema avanzado de soporte de peso corporal combinado con una banda caminadora [6].

Lokomat es una de las tecnologías más eficaces y completas, la ortesis de marcha robotizada (ver figura 2.3) está orientada a la rehabilitación del aparato locomotor con el propósito de entrenar la capacidad de marcha mediante la repetición de una tarea específica, usando el principio de potenciar la neuroplasticidad. También brinda distintos mecanismos de motivación en la terapia por medio de diferentes juegos, los cuales van siempre enfocados en la rehabilitación [36], ya sea en la mejora de la coordinación, control la fuerza etc. El sistema de Lokomat también tiene diferentes parámetros de medición, como la medición de fuerza generada por los músculos extensores y flexores del paciente en las articulaciones de la cadera rodilla, la rigidez mecánica, y el rango de movimiento que posee el paciente a lo largo del proceso de la marcha, estos valores permiten que el fisioterapeuta adecue la terapia según el objetivo de esta sin sobre esforzar al paciente[37].



Figura 2.2: Terapia de locomoción, Lokomat en Mobility

Para que la rehabilitación física tenga efectos positivos en los pacientes es importante que haya un control por parte del fisioterapeuta ante las posturas no apropiadas en el proceso de la marcha, ya que esto afecta negativamente la recuperación del paciente [38]. Cuando se mantienen posiciones posturales incorrectas como la postura espinal desalineada, cualquier movimiento supondrá un esfuerzo excesivo, es decir generará una tensión innecesaria que puede afectar a todas las estructuras del aparato locomotor [39].

2.3.3. Ventajas y desventajas de la rehabilitación física convencional y la rehabilitación con el uso de tecnología

Como se nombró anteriormente la rehabilitación física convencional se encarga de realizar actividades manuales por parte del fisioterapeuta para mejorar la funcionalidad de algún miembro afectado del paciente. Por otro lado según diferentes estudios realizados por Hyuk-Chang [39] la terapia con tecnología ayuda a la estimulación de la neuro-plasticidad, a través de establecimiento de metas, prácticas de alta intensidad, cuidados multidisciplinarios y programas de tareas específicas funcionales [40].

Dichos autores [41] estudiaron un grupo de 34 pacientes a través de un cuestionario tipo Likert para determinar la aceptabilidad de la rehabilitación robótica, basados en que las personas mayores son renuentes a la tecnología. Las preguntas fueron encaminadas a la comodidad, presencia de dolor, fatiga, si disfrutó la terapia, si cree que le benefició, deseos de continuar y si recomendaría la terapia robótica [39].

Aunque la rehabilitación robótica tiene el potencial de incrementar la cantidad de terapia individual, el mayor gusto por la terapia, y la calidad de la asistencia durante la terapia [39]. Sin embargo, no se puede decir aún que la terapia robótica sea superior a la terapia física convencional. La meta no es reemplazar al terapeuta físico u ocupacional, sino facilitar el trabajo de ellos, y lograr una rehabilitación óptima [42]. Aunque aún no hay evidencia fuerte acerca de ser superiora terapia convencional, sí disminuyen el esfuerzo, la necesidad de recurso humano, y optimizan el tiempo.

Para ello, la rehabilitación robótica ofrece ciertas ventajas, a destacar: reproducibilidad, programas orientados a tareas específicas, progresión cuantificada, actividades lúdicas.

Se han observado diferentes beneficios relacionados con estos dispositivos, entre ellos reeducación motriz, incremento en la fuerza, mejoría de la coordinación, modificaciones al tono muscular, disminución del costo energético, mayor independencia funcional, entre otras[43][44][45][46]. En otro estudio comparando distintos trabajos de entrenamiento robótico de marcha en estado subagudo y crónico se encontró variabilidad entre la eficacia, siendo algunos igual de efectivo, más efectivo cuando se combina con terapia convencional y menos efectivo cuando se realiza sin terapia en algunos estudios [39].

A continuación la tabla 2.1 muestra las ventajas y desventajas de la implementación de las diferentes terapias.

Tabla 2.1: Ventajas y desventajas de la rehabilitación convencional y con tecnología.

	Ventajas	Desventajas
Terapia Convencional	Precisión en la evaluación	Insuficiente para la rehabilitación motora intensiva
	Menor costo	Los resultados pueden ser variables, dependiendo de la formación y la experiencia que cada fisioterapeuta posee.

	Seguridad	Mayor tiempo en la rehabilitación
Terapia con Tecnología	Reproducibilidad	Requieren espacio físico propio
	Programas orientado a tareas específicas	El operador es dependiente de capacitación
	Progresión cuantificada	El producto es dependiente de software y de energía eléctrica
	Actividades lúdicas	Riesgos mecánicos

2.4. Rehabilitación Física a largo y a corto plazo

Para cumplir su objetivo, la rehabilitación tiene dos metas a corto plazo y a largo plazo, éstas se establecen cuando la lesión o el trauma es lo suficientemente severo como para restringir la participación a las actividades diarias por lo menos durante un mes.

Las metas a largo plazo representan el logro final deseado de un programa de ejercicios terapéuticos. Específicamente, estas metas se encargan de retornar a los pacientes a los niveles normales de todos los parámetros de la aptitud física necesarios para regresar a niveles óptimos de autonomía en las acciones de la vida diaria. Estas capacidades incluyen flexibilidad, fortaleza, coordinación y ejecución motora, se trabaja el aspecto psicológico y emocional del paciente para facilitar la inclusión y la escolarización, mejorando así la calidad de vida [30]. Diferentes estudios han establecido que la rehabilitación a largo plazo mejora la capacidad motora de pacientes con distintas patologías, como Parkinson, accidentes cerebro vasculares, evaluando la espasticidad de los miembros afectados, la postura, el equilibrio y la marcha[48].

Por otro lado, las metas a corto plazo proveen los objetivos que permiten lograr las metas a largo plazo, se establecen semanal o quincenalmente, dependen de la respuesta del paciente ante la lesión y la habilidad de progresar, la etapa del proceso de rehabilitación y la severidad de la lesión[30]. Específicamente las metas a corto plazo que propone el fisioterapeuta son: Mantener alineación postural, inhibir patrones anormales, fortalecer músculos anti gravitatorios, fortalecer músculos atrofiados, entrenamiento al acompañante del paciente en la terapia que se le realiza, estimular y facilitar fases del neuro-desarrollo que aún están ausentes o inmaduros en el paciente[30].

En conjunto estas metas proveen al paciente dirección y establecen una progresión lógica para el proceso de rehabilitación. En algunos casos, la rehabilitación física puede estar asistida por alguna tecnología que han ido evolucionando a lo largo del tiempo, cada tecnología va enfocada a según el tratamiento, ya sea para mejorar la movilidad de miembros superiores o la coordinación de la marcha en miembros inferiores [28].

2.5. Robótica de Asistencia Social

En los últimos años, la robótica ha experimentado un interés creciente en áreas como la industria, minería, medicina o el hogar. Con el desarrollo de la robótica, han ido surgiendo diferentes retos sociales, en este sentido, la robótica actual está centrando su interés en el desarrollo de robots sociales, es decir, robots que disponen de mecanismos de interacción con el ser humano siguiendo normas y pautas sociales [49]. La sociedad actual está aumentando el uso de los robots sociales en el campo de la rehabilitación gracias al desarrollo e instalación de esta tecnología, hace que mejore y facilite la vida de muchas personas con necesidades especiales (gente mayor, niños con autismo, personas con discapacidades, etc.) [49].

Una óptima terapia de rehabilitación física necesita de un seguimiento constante por parte del fisioterapeuta, el cual ayuda a que el paciente realice los ejercicios físicos de manera adecuada. Sin embargo, son varios parámetros que debe tener en cuenta de los cuales muchas veces no todos son detectados y corregidos por el mismo [50]., como la frecuencia cardíaca, la postura del paciente a lo largo de la actividad, controlar el nivel de fatiga del paciente, los cuales, si no son tenidos en cuenta, se puede ocasionar un accidente en el paciente, ya sea por sobre esfuerzo cardíaco, o por estrés muscular al realizar movimientos con una postura inadecuada [50].

Con el objetivo de poder interactuar con el entorno, con otros robots o con seres humanos, los robots de asistencia social están equipados con un conjunto de sensores que permiten al robot obtener información visual o auditiva, que al procesarse permite la adecuada adaptación de su comportamiento y el nivel de interacción con el paciente y su entorno, lo cual brinda un apoyo al fisioterapeuta y al mismo tiempo crea una interacción con el paciente de manera que los resultados de la terapia tienden a optimizarse [50].

Diferentes clases de robots se han implementado en las terapias de rehabilitación, en cuanto a los robots humanoides se encuentran Pepper, Nao, Hovis Lite, RQ-Huno [51] los cuales al componerse de potentes sistemas de sensores, de cámaras etc. (figura 2.3), los cuales permiten que haya una interacción cercana con el paciente [52].

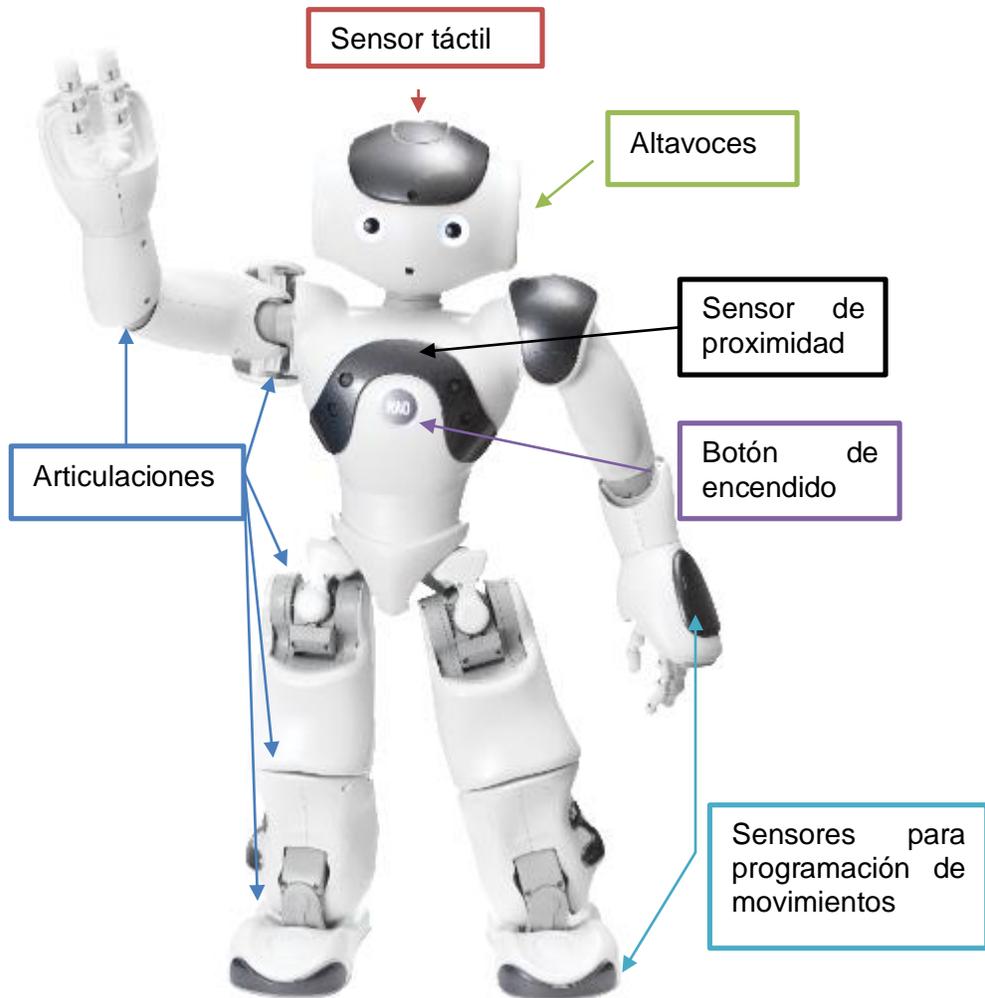


Figura 2.3: Partes del robot NAO

2.5.1. Terapia con robótica de asistencia social

A principios de los desarrollos tecnológicos en los años 80, se consideraba que era inapropiado utilizar los robots industriales en el campo de la rehabilitación médica, debido a la pesadez de sus movimientos y a su historial de accidentes durante esa época [53]. Sin embargo varios investigadores de la Universidad de Tecnología y Economía de Budapest [54] retomaron la idea de usar robots industriales estándar para la terapia física de marcha en humanos en los años 90.

En el área de rehabilitación física se han realizado varias aproximaciones de la robótica social,

en 2008 durante terapias de rehabilitación en pacientes que habían sufrido accidente cerebrovascular se utilizó un robot social, con el propósito de investigar el rol de un robot social encaminado a crear una relación con el usuario, evidenciando efectos positivos sobre el comportamiento y la adaptación del paciente con el robot [40]. En el 2012, con el propósito de motivar y estimular a pacientes de la tercera edad a realizar actividad física se usó la interacción humano-robot, llevando a cabo dos estudios, el primero se investigó el rol de un robot interactivo en comparación con un entrenador robótico, y el segundo se estudió sobre las preferencias del participante con respecto a los dos escenarios planteados anteriormente. Como resultado se concluyó que los pacientes sentían más afinidad y preferencia por el robot interactivo generando efectos positivos sobre la motivación del paciente [54].

El proyecto REHAROB fue el primero en el mundo que buscaba utilizar robots industriales estándar, fabricados en serie, para la fisioterapia de individuos con hemiparesia espástica[53], dentro del desarrollo de investigaciones acerca de la rehabilitación asistida por robots sociales con el objetivo de ayudar al paciente en su recuperación cumpliendo los objetivos propuestos por el fisioterapeuta en su plan de tratamiento[55], se encontraron ganancias en las puntuaciones de Fluh-Meyer las cuales valoran la severidad del déficit y describe el margen de la recuperación motora, para realizar un planteamiento y seguimiento de la evolución de los pacientes que han sufrido un ictus [56], por cambios de conectividad funcional en el área motora suplementaria, la corteza motora contralateral, y las partes del sistema Visio espacial y mejoras significativas del tiempo y velocidad del movimiento como resultado de mayores rangos activos de movimiento y un mejor índice de co-contracción en el miembro afectado, además de una mejora en la parte cognitiva del paciente al estar interactuando con el robot social debido a la retroalimentación visual y cognitiva que provee el robot al paciente, generando que la interacción humano-robot aumente [55].

2.5.2. Terapia robótica social a largo plazo

La terapia robótica es utilizada para el tratamiento de diferentes enfermedades tanto cognitivas como deficiencias físicas. Para el tratamiento de enfermedades cognitivas como el autismo actualmente se ha ido implementando la robótica en las terapias, investigadores del instituto tecnológico de Massachusetts (MIT), han desarrollado un robot equipado con aprendizaje automático personalizado para cada niño lo cual ayuda a que el robot reconozca las emociones, el tratamiento a largo plazo permite que haya una interacción más cercana entre el niño con autismo y el robot, con lo cual el aprendizaje automático será mayor y por ende el progreso de la terapia [57].

Según diferentes estudios realizados, al implementar la robótica en las terapias de rehabilitación de marcha, el robot provee adiestramiento para andar, enseñando a la médula espinal y cerebro del paciente, con información sensorial, a señalar al cuerpo cómo volver a caminar [58]. Si la terapia es intervenida, la recuperación del paciente no será la óptima, lo que hace el robot es simular un patrón de marcha, las piernas y cadera del paciente son sujetadas al robot para que los miembros inferiores de la persona identifiquen el movimiento, las medidas son monitoreadas en tiempo real lo cual provee al terapeuta y al paciente el estado de la terapia, el progreso y su realimentación [59] [60].

En otras palabras, al utilizar robótica en las terapias a largo plazo el entrenamiento de la marcha del paciente conduce a la reorganización en la médula espinal y el cerebro, generando que la rehabilitación sea óptima [61].

Capítulo 3

METODOLOGÍA

3.1 Generalidades

El proyecto de investigación, se fundamenta una metodología implementada, la cual define el uso de técnicas, instrumentos, estrategias y métodos en el proyecto desarrollado. Diferentes autores definen la metodología como el conjunto de procedimientos que se emplean con el fin de lograr los objetivos de la información de forma válida y con una alta precisión [75].

Este capítulo se presenta la metodología utilizada para la ejecución del proyecto a largo plazo el cual consiste en la integración de un robot social en pacientes que se encuentran en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat. Empezando por el método utilizado para la búsqueda bibliográfica, pasando al desarrollo de la interfaz de interacción humano-robot, las variables fisiológicas y cognitivas medibles en esta, y la percepción de los pacientes frente al Robótica de Asistencia Social (RAS) al finalizar el estudio. Por otro lado, también se expondrá el proceso ejecutado para comprender la perspectiva que tienen los profesionales de la salud y pacientes, que no han sido asistidos o apoyados por un robot social durante los procesos de rehabilitación, a partir de seis conceptos de la robótica de asistencia social, enfocados a la rehabilitación neurológica.

3.2. Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda sistemática de artículos científicos publicados en inglés como en castellano, teniendo en cuenta un rango de tiempo desde el año 2007 hasta la fecha. Se formularon preguntas de investigación siguiendo el método de PICO [9].

P = Población: Pacientes neurológicos, adultos en proceso de rehabilitación física con Lokomat que hayan aceptado participar de manera voluntaria en el experimento y que padezcan patologías como lesión medular (ej: hemiplejia, paraplejia) o accidente cerebro vascular (ACV).

I = Intervenciones: Robots de asistencia social, Lokomat, tecnologías de asistencia.

C = Comparación: Lesión medular, accidente cerebro vascular, marcha.

O = Resultados: Cualquier salida

La revisión bibliográfica se realizó en diferentes sistemas de búsquedas como PubMed, la cual es desarrollada por el centro nacional para la información biotecnológica con sus siglas en inglés (NCBI), el centro de recursos para el aprendizaje y la investigación (CRAI), la red iberoamericana de innovación y conocimiento científico (REDIB), la base de datos Scopus, y el sistema de búsqueda de revistas de ciencia y medicina ScienceDirect.

Formulación de las preguntas de investigación:

¿Cuál es la extensión y el tipo de estudios y tecnologías de asistencia utilizados y destinados a la rehabilitación física de la marcha en personas adultas con lesión medular o accidente cerebro vascular?

¿Qué tipos de estudios a largo plazo han sido utilizados con Lokomat para la rehabilitación de la marcha?

¿Cuál es la evidencia clínica de los resultados informados de los estudios con robots de asistencia social, utilizados para la rehabilitación física de la marcha en conjunto con tecnologías de asistencia en adultos con lesión medular o accidente cerebro vascular?

Criterios de exclusión e inclusión para la búsqueda:

INCLUSIÓN:

PICO, año, lenguaje, tipo de publicaciones.

EXCLUSION:

Pacientes con enfermedades degenerativas (párkinson, esclerosis múltiple), con utilización de dispositivos invasivos (marcapasos) y deficiencias cognitivas graves, menores de edad, o con peso corporal de más de 135 kg. Ningún participante puede tener algún tipo de trastorno cognitivo que impida la comprensión de las instrucciones dadas en el protocolo o la interacción humano-robot. También, no deben presentar lesiones abiertas en la piel, o haber sido intervenidos quirúrgicamente para artrodesis de cadera, rodilla o tobillo.

La estrategia de búsqueda se realizó identificando palabras claves utilizando lógica Booleana.

- Primera consulta de búsqueda en inglés: (Rehabilitation AND technology AND long term) OR (Lokomat AND Physical rehabilitation AND long term) OR (assistance technology AND Physical rehabilitation) OR impaired OR disabilities OR disability AND (“assistive robotics” OR robot OR robotics OR “functional robot”).
- Segunda consulta de búsqueda en inglés:(Disabled OR impairment OR impaired OR disabilities OR disability) AND (“assistive robotics” OR robot OR robotics OR “functional robot” OR robotic OR “robot supporting”) AND (Stroke or SCI) AND (therapy OR support OR rehabilitation AND long term)
- Tercera consulta de búsqueda: Rehabilitación física AND marcha humana AND largo plazo AND accidente cerebrovascular AND (Robótica de asistencia OR lokomat OR robots)

Una vez implementada la estrategia de búsqueda se procede a la lectura del resumen de cada artículo, seguido de la clasificación de artículos que cumplen con el objetivo de búsqueda para finalmente realizar una lectura completa del artículo y la extracción de la información

necesaria. Con la lectura detallada de estos, se elaboró el estado del arte que se encuentra a continuación.

3.3. Diseño de la investigación

Dado que el objetivo del estudio es evaluar el efecto a largo plazo de la integración de un robot social en la rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat, se utilizó un diseño experimental de tipo puro, con el fin de evaluar la evolución por parte del paciente en rehabilitación física, permitiendo estudiar patrones individuales de cambio, al ser intervenidos con el tratamiento, en este caso el tratamiento es el RAS. Según diferentes autores, un diseño experimental de tipo puro, es un estudio donde se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (causa) por el investigador, para analizar los efectos sobre las variables dependientes (consecuencia) en dos grupos, un grupo con el tratamiento y el otro sin el mismo [76] [77].

El presente estudio fue diseñado a largo plazo, con una duración aproximada de 5 meses en la toma de datos con el objetivo de obtener resultados sean estos positivos o negativos de acuerdo al impacto de la implementación de robótica social de asistencia en la rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

Por lo tanto, este estudio involucró dos grupos de pacientes, el grupo control (sin robot) y el grupo tratamiento (con robot). Los pacientes involucrados en el estudio, aceptaron de forma voluntaria ser parte del mismo, por lo tanto, firmaron un consentimiento informado una vez comprendida la información que se les brindó acerca de los objetivos de la investigación, los beneficios y los posibles riesgos a lo largo del estudio (Anexo 1). Posterior a esto, cada paciente que se involucraba en el estudio se asignaba a un grupo de manera aleatoria, esto con el fin de no sesgar los resultados en el estudio a largo plazo.

Cada paciente tuvo 15 sesiones, la primera, una sesión test donde se midieron las variables fisiológicas y cognitivas durante 20 minutos (tiempo de duración de la terapia), posteriormente se realizaron 6 sesiones consecutivas, de manera que se garantizara una adherencia al tratamiento sobre la terapia [79]. Dependiendo del grupo en el que se encontrara el paciente, se involucraba o no el robot durante las primeras 6 sesiones. Sí el paciente se encontraba dentro del grupo control, las 6 sesiones se realizaban sin robot, es decir se midieron únicamente las variables fisiológicas y cognitivas, así mismo, a los pacientes que se encontraban dentro del grupo intervención, se les realizó la misma medición de variables, con la adición de implementar el robot durante 6 sesiones consecutivas, este robot realizó realimentaciones a cada una de las variables que sobre pasaran los límites estandarizados, los cuales serán explicados más adelante.

Luego de las 6 sesiones, se realiza de nuevo una sesión test y posterior a esta, se invirtieron los grupos, es decir los pacientes que empezaron las primeras 6 sesiones con robot, tuvieron las 6 sesiones finales sin intervención del mismo, de igual forma los pacientes que empezaron sin intervención del robot tuvieron una realimentación por parte del mismo durante las 6 sesiones consecutivas finales. Cuando los pacientes completaran las 14 sesiones, se procedió a realizar una última medición en la sesión test. La organización del estudio, se

expone de forma gráfica en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Organización del estudio, involucrando las sesiones test, las sesiones control, y las sesiones intervención de cada uno de los grupos de pacientes.

Sesión Test	s1	s2	s3	s4	s5	s6	Sesión test	s1	s2	s3	s4	s5	s6	Sesión test
Sesiones Test	Sesiones control (sin robot)						Sesiones test	Sesiones intervención (con robot)						Sesiones test
	Sesiones intervención (con robot)							Sesiones control (sin robot)						

Las variables fisiológicas son parámetros que pueden ser medidos y están determinados por el funcionamiento biológico de un ser vivo [62], entre ellas se encuentra la frecuencia cardiaca, la postura corporal y los parámetros espacio temporales de la marcha, en conjunto cada uno de estos parámetros deben ser controlados constantemente para que estén dentro de los límites de estabilidad.

La frecuencia cardiaca es el número de veces que se contrae el corazón durante un minuto (latidos por minuto). Para el correcto funcionamiento del organismo es necesario que el corazón actúe bombeando la sangre hacia todos los órganos, pero además debe hacerlo a una determinada presión esta es llamada presión arterial y a una determinada frecuencia[64].

Dada la importancia de este proceso, es normal que el corazón necesite en cada latido un alto consumo de energía, sin embargo la frecuencia cardíaca tiene límites, este límite varía dependiendo de cada persona[64]. Las ecuaciones para el cálculo de la frecuencia cardíaca máxima involucran la edad como única variable, tal como se muestra en las ecuaciones (3.1, 3.2 y 3.3).

$$FCM=212-(0,775*edad) \quad (3.1)$$

$$FCM=208,75-(0,73*edad) \quad (3.2)$$

$$FCM=220-edad \quad (3.3)$$

Según estudios realizados por María Agustina Miragaya y Osvaldo Federico Magri investigadores de la revista Insuficiencia Cardíaca, la ecuación más precisa para personas menores de 40 años es la ecuación 3.2, por otro lado, la ecuación que calcula la frecuencia cardíaca de forma más exacta para personas mayores de 40 años es la ecuación 3.3.

Esta variable es importante durante las sesiones de rehabilitación, debido a que ofrece valores que el fisioterapeuta necesita para disminuir, subir la actividad física, o cancelarla ya que cuando la frecuencia cardíaca realiza cambios abruptos de valores puede que el paciente esté presentando una infección urinaria, lo cual es común en los pacientes con lesión medular[64], y no se pueda tener la sesión de terapia física por las mismas condiciones, así que es una variable importante, que si no es controlada puede llegar a que el paciente sufra algún accidente dentro de la sesión.

Por otro lado, el cuerpo humano consta de estructuras óseas para una estabilidad y postura adecuada, en otras palabras, la postura corporal está asociada a la correlación entre las extremidades, el tronco y a las posiciones de las articulaciones. Si esta variable no es controlada por parte del fisioterapeuta, el paciente puede sufrir alguna fractura o dislocación por realizar fuerzas o movimientos inadecuados y puede causar daños graves[64]. El cuerpo excesivamente inclinado hacia adelante, en cambio, dificulta la respiración, comprime los órganos de la digestión y puede generar problemas como escoliosis o lumbago[65].

Dado que el cuerpo humano puede adoptar varias posturas, es posible hablar de ciertas posturas corporales deseadas o beneficiosas. Se considera que una buena postura corporal es aquella en que el cuerpo se mantiene erguido y con la espalda recta, lo que permite tener una oxigenación adecuada y evitar los problemas de columna y de los músculos [64].

La postura corporal correcta, en definitiva, implica la alineación simétrica y proporcional de los segmentos corporales alrededor del eje de la gravedad[65]. De este modo, la persona no exagera la curva lumbar, dorsal o cervical, sino que conserva las curvas fisiológicas normales de la columna vertebral[65]. Para que la persona tenga una adecuada postura corporal, es necesario que conserve la postura cervical y torácica de forma apropiada como se observa en la figura 3.1, la postura cervical y torácica es el ángulo de inclinación que permite conocer el estado cefálico y torácico respectivamente, con respecto al eje de referencia que es el eje de la columna vertebral en posición erguida.

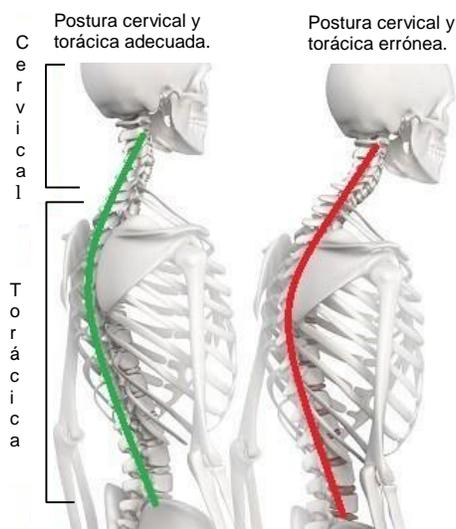


Figura 3.1: Mala postura torácica y cervical comparada con una buena postura corporal, en el plano sagital [65].

Existen estándares médicos de las medidas posturales en personas sanas, es decir el ángulo máximo y mínimo que tiene una persona en cada uno de los planos fisiológicos medidos en grados como se muestra en la figura 3.2.

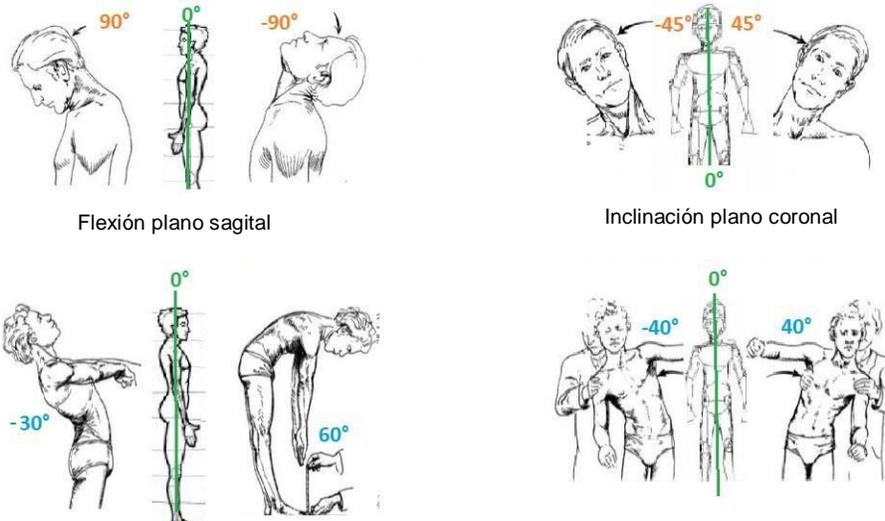


Figura 3.2: Ángulos máximos de flexión e inclinación de la postura torácica y cervical en dos planos.

Cuando el ser humano realiza la acción de marcha en la vida cotidiana, mantiene una postura dentro del rango explicado anteriormente, de manera que los músculos no estén sometidos a estrés y provoque alguna lesión [50].

Además de las variables descritas anteriormente, también se tuvieron en cuenta los parámetros espaciotemporales de la marcha, los cuales al ser parámetros que varían de manera relevante entre los pacientes, suelen ser de suma importancia cuando los factores que afectan la marcha son constantes, permitiendo realizar una identificación de falencias que inciden en la marcha o de limitaciones en la actividad [77]. En pacientes con trastornos esqueléticos o neuromusculares, la semiología más común es el dolor, la limitación del movimiento, debilidad muscular y un bajo control neurológico, en consecuencia, una disminución de la velocidad, de la cadencia y una menor longitud de paso. De acuerdo a las condiciones anteriormente descritas de los pacientes, los parámetros espaciotemporales de interés son:

- La longitud de Paso, la cuál es la distancia lineal en metros entre el contacto inicial del talón de una extremidad y el de la extremidad contralateral [77].
- La cadencia siendo el número de pasos por unidad de tiempo, la cual, es medida durante un minuto. Y también es útil para determinar el ritmo y rapidez de la marcha [77].
- La velocidad: Es la relación de la distancia recorrida en un tiempo determinado. [77].

Por lo tanto, el análisis de la marcha del paciente con trastornos esqueléticos o neuromusculares permitió hacer un seguimiento de las alteraciones y lesiones que afectan la marcha.

Por otro lado las variables subjetivas se caracterizan por ser parámetros que están relacionados con procesos de cognición y la información como la motivación y la percepción[63], entre estas variables se encuentra la Escala de Borg, la cual es solicitada tres veces durante de la terapia, la primera, 6.5 minutos después de comenzar la sesión, la segunda en el tiempo intermedio del entrenamiento (13 minutos) y la tercera a los últimos 19,5 minutos.

La escala de Borg permite cuantificar de manera subjetiva el esfuerzo percibido por una persona al realizar ejercicio físico, mediante una escala de 0 a 10 para medir la intensidad de la actividad a través de la percepción [67]. La marcha al ser un entrenamiento físico con diferentes actividades en la terapia propuesta por el fisioterapeuta, enfocadas a cumplir un objetivo, puede hacer que la frecuencia cardíaca sea variable durante la sesión, según investigaciones realizadas la frecuencia cardíaca y la Escala de Borg están directamente relacionadas, siempre y cuando la frecuencia cardíaca varíe exclusivamente por la actividad que se realiza, en este caso la marcha, es decir al aumentar la frecuencia cardíaca durante la marcha, aumenta el nivel de fatiga.

3.4. Enfoque de la investigación

El presente trabajo fue diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, puesto que este es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación. El enfoque cuantitativo, utiliza la recolección y el análisis de datos para cumplir los objetivos establecidos en la investigación, y confía en la medición numérica, el conteo y en la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población [76]

Del enfoque cuantitativo se tomó la técnica de encuestas para medir la percepción frente a la RAS en una población de pacientes y profesionales de la salud que no hayan trabajado con esta tecnología en las terapias de rehabilitación, y también para de esta manera, medir la percepción de los pacientes que finalizaron el estudio, frente al RAS.

3.5. Población

La población se define como un conjunto de todos los elementos que se está estudiando, acerca de los cuales se esperan obtener conclusiones acerca del estudio implementado [76].

La población que hizo parte de esta investigación, es una población finita, la cual pertenece a pacientes adultos con discapacidad física, a causa de accidentes cerebro vasculares, o lesiones medulares, que estén en proceso de recuperación, en un centro de rehabilitación que involucre tecnologías de rehabilitación como el Lokomat, de ambos géneros y cualquier nivel

de escolaridad. Para establecer una muestra útil para el estudio, se establecen criterios de inclusión y de exclusión una breve descripción.

3.5.1. Criterios de Inclusión

Al inicio de la investigación, se han establecido diferentes criterios de inclusión, los cuales en general involucran el poder comprender claramente las instrucciones del robot, en términos técnicos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión.

Los pacientes incluidos en el estudio son adultos en proceso de rehabilitación física de marcha asistida con Lokomat que hayan aceptado participar de manera voluntaria en el estudio a largo plazo y que padezcan patologías como lesión medular (hemiplejia, paraplejia) y accidente cerebro vascular (ACV). Los cuales tengan la capacidad cognitiva, auditiva y visual de entender las realimentaciones del robot durante la terapia.

3.5.2. Criterios de Exclusión

Como criterios de exclusión para el estudio a largo plazo de la implementación de robótica de asistencia social, se excluyen los pacientes con enfermedades neuro-degenerativas como lo son la esclerosis múltiple, el Alzheimer, el Parkinson etc., además de pacientes que tengan dispositivos electrónicos invasivos como los marcapasos, pacientes menores de edad, no haber tenido lesiones abiertas en la piel, o haber sido recientemente intervenidos quirúrgicamente en rodilla, cadera o tobillo, debido a que no pueden realizar la terapia de rehabilitación en Lokomat, ya que hay un porcentaje alto de probabilidad de que el paciente al someterse a un movimiento repetitivo sufra algún tipo de lesión en la región intervenida quirúrgicamente.[78]

Por otro lado, en cuanto a la encuesta realizada para conocer la percepción frente a la RAS, el cuestionario fue orientado a terapeutas, fisiatras y pacientes que no hayan sido asistidos o apoyados por un robot social durante los procesos de rehabilitación. Si el encuestado es menor de 18 años, será el padre/madre o tutor legal quien llene completamente el cuestionario.

3.6. Muestra y muestreo

La muestra es definida como un subconjunto de una población o grupo de sujetos que forman parte de una misma población. En ese mismo sentido una muestra es el subconjunto de la población e que se llevara a cabo la investigación con el fin posterior de generalizar los hallazgos del todo. En este trabajo se utilizó un muestreo no probabilístico [65], en el cual, de acuerdo a los criterios de inclusión, de exclusión y en función de su accesibilidad, los sujetos fueron seleccionados.

Teniendo en cuenta los criterios de inclusión y de exclusión, la muestra al inicio del estudio estuvo conformada por 10 pacientes [80] con terapias de rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat, en el centro de rehabilitación Mobility Group, involucrados en el estudio desde el mes junio hasta octubre del presente año. De los cuales, 4 pacientes habían sufrido lesión medular y 6 accidente cerebro vascular. De los 10 (100%) pacientes que iniciaron el

estudio, el 60% de ellos lograron terminar el estudio. La mayor causa de no finalización del estudio con el 40% de los pacientes faltantes, fue por la baja asistencia a las terapias.

Ahora, teniendo en cuenta la encuesta de percepción aplicada a clínicos, se utilizó un muestreo probabilístico [65], en el que, según la población establecida, todos tenían la misma probabilidad de ser aplicantes para el cuestionario realizado.

3.7. Instrumentos de recolección de datos

Un instrumento de recolección de datos es en principio, cualquier recurso con el que el investigador pueda valerse para realizar las medidas correspondientes.

3.7.1. Encuestas de percepción

Por otro lado, para conocer la perspectiva frente al RAS, tanto de los pacientes que terminaron el estudio como de los clínicos y pacientes que no han tenido implementación de un RAS en las terapias, el instrumento utilizado fue un cuestionario diseñado como preguntas cerradas bajo escala de Likert. La categorización de la escala tipo Likert es un método de medición comúnmente utilizado por investigadores, con el fin de conocer la opinión de la población enfoque frente al estudio realizado [75].

La escala de Likert, asume que la intensidad de la experiencia es lineal, por lo tanto, la respuesta de la población encuestada va desde un totalmente de acuerdo hasta un totalmente desacuerdo, involucrando siempre un elemento neutral para aquellos usuarios que no estén de acuerdo ni en desacuerdo [75].

Por lo tanto, este cuestionario se ha adaptado al modelo de teoría unificada de aceptación y uso de la tecnología (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, UTAUT), la cual tiene como objetivo explicar las intenciones de la población para utilizar una tecnología o un sistema de información y su comportamiento en su uso subsiguiente [82]. Para el cuestionario enfocado a los pacientes que terminaron el estudio, es decir que tuvieron interacción con el robot de asistencia, se evaluaron 7 dimensiones:

1. Uso
2. Utilidad percibida
3. Seguridad
4. Facilidad de uso
5. Confianza percibida

6. Sociabilidad percibida

7. Presencia social

Además de dos preguntas abiertas con las cuales, según su experiencia se realizaron con el fin de conocer la opinión hacia cambios en la terapia asistida por el robot, y la utilidad observada durante el estudio a largo plazo. Por otro lado, en el cuestionario enfocado a clínicos y pacientes que no han tenido interacción con el robot, se evaluaron 6 dimensiones dentro del cuestionario, las cuales involucran cada uno de los factores necesarios para determinar la aceptación de una tecnología las dimensiones son las siguientes:

1. Factor Psicológico

2. Percepción social

3. Nivel de recreación

4. Expectativa de esfuerzo

5. Expectativa de desempeño

6. Condiciones facilitadoras

Además de tener una serie de preguntas evaluando la perspectiva hacia la robótica de asistencia social, se involucraron preguntas abiertas, las cuales tenían como objetivo conocer la opinión hacia los cambios o adiciones que se deberían realizar al robot para mejorar la interacción con el paciente y con el terapeuta. Para la encuesta enfocada a los clínicos y pacientes que no han involucrado un robot de asistencia social en sus terapias, se realizaron las siguientes preguntas:

Pregunta 1. ¿Qué le inspira el robot?

Pregunta 2. ¿Cómo percibe al robot?

Pregunta 3. ¿Qué tipo de interacciones o gestos debería tener un robot para una interacción más cercana?

Pregunta 4. ¿Qué cambios físicos le haría al robot?

Por otro lado, las preguntas abiertas realizadas a los pacientes que finalizaron el estudio para conocer la perspectiva que tuvieron frente al robot, fueron las siguientes:

Pregunta 1. ¿Recomendaría usted el uso del robot a otros pacientes que ingresen al programa de rehabilitación cardíaca?

Pregunta 2. Según su experiencia, ¿Cómo podríamos mejorar la terapia asistida por el robot?

3.6.2 Instrumentos de recolección de datos en el estudio a largo plazo de la implementación de un RAS en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat

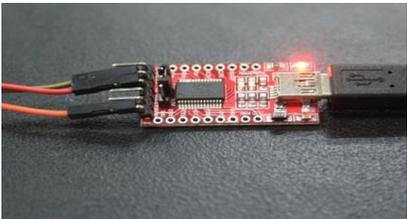
Para la implementación del RAS en las terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, se realizó una arquitectura del sistema utilizada para la recolección de datos durante el estudio.

Arquitectura del sistema

En el desarrollo del proyecto se implementó una interfaz caracterizada por un control positivo, esta consta de diferentes sensores que ayudan a medir las variables fisiológicas del paciente.

A continuación, en la tabla 3.2, se explicará el uso de cada uno de ellos, en términos técnicos.

Tabla 3.2: Elementos utilizados para el desarrollo de la interfaz, definición técnica.

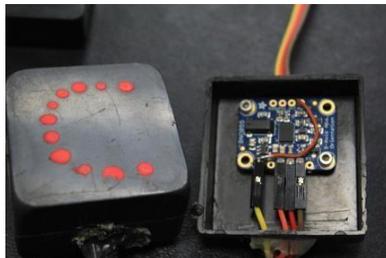
Elemento	Función
	Robot NAO (SoftBank Robotics, Francia): Es un robot humanoide, totalmente programable, capaz de interactuar con las personas. Es capaz de percibir el entorno a partir de sus múltiples sensores. Es utilizado en ámbitos educativos, motivando la participación de los estudiantes, además de ser implementado en la parte de rehabilitación ya sea motivando al paciente en la terapia o apoyando en las tareas que realiza el terapeuta [57].
	Convertor analógico-digital FTD232 (FTDI, Escocia): Es un circuito integrado, el cual tiene la función de recepción y envío de datos a la interfaz realizada, por medio de la conexión de diferentes pines de transmisión y recepción [63].



El sensor ZephyrHxMBT (Medtronic, Estados Unidos): es un monitor de ritmo cardiaco con protocolo de comunicación Bluetooth [52]y contiene un rango de medición entre 25 y 24 latidos por minuto [53].



Interfaz: Se define interfaz como el dispositivo capaz de transformar las señales o los datos generados en un lenguaje comprensible para el usuario [64]



Unidad inercial de medición BNO 055 (Adafruit, Estados Unidos): consta de un sistema que integra un giroscopio, un acelerómetro y un magnetómetro de tres ejes, la precisión y la transmisión en tiempo real de los datos son algunas de las ventajas que ofrecen estos sensores [53].



Raspberry Pi (Raspberry Pi Foundation, Reino unido): es una placa reducida con funciones similares a la de un computador, posee 256MB de RAM, diferentes puertos de conexión y es utilizada en su mayoría para aplicaciones en robótica [58].



Láser URG-04LX-UG01(Hokuyo Automatic, Japón) Este láser permite la adquisición de datos en tiempo real, cuenta con un rango de detección de 20 milímetros (mm) a 5600 mm y un rango de escaneo de hasta 240°, su aplicación es

recomendada para uso investigativo y académicos en el área de la robótica [61].

Una vez entendido el concepto técnico de cada uno de los sensores utilizados para medir las variables descritas en el estudio, se definirán los mismos sensores en cuanto a su funcionalidad dentro de la investigación realizada.

Integración del robot NAO: Como se ha explicado en varias ocasiones de este trabajo, y según diferentes estudios, se ha demostrado que la robótica de asistencia social puede incidir de manera positiva sobre los parámetros cognitivos como la atención y motivación de los pacientes [43] [58] [62], brindándoles apoyo no solo a ellos sino a los terapeutas también, para la rehabilitación sea más óptima. Además del apoyo profesional brindado al terapeuta, gracias a las características de software que éste posee, permite que se pueda adaptar a cualquier ambiente, en este caso al ambiente de rehabilitación física de marcha.

La función que desempeña NAO en la interfaz humano-robot es la realimentación de parámetros fisiológicos y cognitivos durante el desarrollo de la terapia, relacionándose de manera adecuada con el paciente y apoyando al terapeuta mientras él realiza otra tarea durante la sesión. La variable fisiológica que será realimentada es la postura cervical y torácica, y la variable cognitiva es la motivación, generando de esta manera frases a lo largo de las sesiones, las cuales serán expuestas en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Intervención del robot NAO en función del tiempo en la rehabilitación física con Lokomat.

Tipo de realimentación	Tiempo	Frases
Presentación	Al inicio de la sesión	Hola (NOMBRE DEL PACIENTE), mi nombre es NAO, te estaré acompañando durante la sesión. Estoy aquí para cuidar tus signos y ayudarte a mejorar en tu rehabilitación.
Motivacional	Tiempos aleatorios	¡Sigue así!
	Tiempos aleatorios	¡Qué bien lo haces!
Medición de la escala de Borg	A inicio de la sesión y después con intervalos de 2 minutos	¿Qué tan cansado te sientes?, responde según la escala
Control frecuencia cardiaca	Cuando el valor enviado del ECG sobrepase la frecuencia cardiaca máxima del paciente	Parece que estás empezando a estar cansado, ¿Todo está bien?
Correcciones posturales	Cuando el valor enviado de los sensores inerciales sobre pasa el límite de ángulos torácicos en el plano sagital	Mejora la posición de tu cabeza

	Cuando el valor enviado de los sensores inerciales sobre pasa el límite de ángulos cervicales en el plano sagital	Trata de enderezarte, pon la espalda resta
	Cuando el valor enviado de los sensores inerciales sobre pasa el límite de ángulos torácicos en el plano coronal	Te estás inclinando hacia el lado derecho, trata de enderezarte
	Cuando el valor enviado de los sensores inerciales sobre pasa el límite de ángulos torácicos en el plano coronal	Te estas inclinando hacia el lado izquierdo, trata de enderezarte
	Cuando el valor enviado de los sensores inerciales sobre pasa el límite de ángulos cervicales en el plano coronal	Tu cabeza esta inclinada hacia el lado derecho, trata de enderezarla
	Cuando el valor enviado de los sensores inerciales sobre pasa el límite de ángulos cervicales en el plano coronal	Tu cabeza esta inclinada hacia el lado izquierdo, trata de enderezarla
Despedida	Al finalizar la sesión	(NOMBRE DEL PACIENTE), fue un placer acompañarte durante la sesión. Nos vemos la próxima ocasión.

Sensor de frecuencia cardiaca: Este sensor tiene la función de medir la frecuencia cardiaca mediante una banda conductora, el valor de la frecuencia cardiaca es enviado por vía Bluetooth a la interfaz y de ahí el valor correspondiente es interpretado por el robot programado para que realimente al paciente, de esta manera el fisioterapeuta puede tomar las correspondientes correcciones para que el paciente no se sobre esfuerce y pueda sufrir algún accidente cardiaco durante la sesión.

Otro sensor que se utiliza en la interfaz, es el sensor de orientación absoluta IMUBNO055, el cual utiliza tres sensores de triple eje para medir simultáneamente la aceleración tangencial mediante un acelerómetro, la aceleración rotacional a través de un giroscopio y la intensidad del campo magnético local por medio de un magnetómetro. Los datos son enviados a un microprocesador externo que ejecuta un algoritmo de fusión patentado.[68] En el presente proyecto, estos sensores, son utilizados para medir la postura del paciente a lo largo de la sesión de rehabilitación.

Integración del láser Hokuyo:

En base a trabajos previos relacionados a la integración de robots de asistencia social en sesiones de rehabilitación y entrenamiento físico [9], desarrollados por Nathalia Céspedes, se integra un sensor adicional a la interfaz lo cual permite la medición de los parámetros espaciotemporales de la marcha con el objetivo de analizar si existe una mejoría en el patrón de la marcha a lo largo de las terapias [10].

El láser Hokuyo, permite evaluar la marcha de forma cuantitativa y permite extraer información sobre el patrón de marcha de forma más exacta que la obtenida con la simple observación de los eventos a lo largo de la terapia [60].

3.8. Técnicas de recolección de datos

3.8.1. Encuestas de percepción

Por medio de este ciclo el sistema recolecta los datos para un posterior análisis estadístico de la postura de los pacientes con y sin implementación del robot de asistencia social en las terapias de rehabilitación de marcha. Además, al realizar el cuestionario de percepción, este involucra una regla o aclaración, la cual es *“responder a cada una de las preguntas si está de acuerdo o no con la afirmación mediante una puntuación de 1 a 5, donde, 1 equivale a Totalmente desacuerdo, 2 Desacuerdo, 3 Neutro, 4 De acuerdo, 5 Totalmente de acuerdo”*, aquella, debe ser cumplida por el paciente, para obtener resultados adecuados.

Para la recolección de respuestas en el cuestionario de percepción realizado a pacientes y clínicos que no han tenido interacción con un robot social de asistencia, como se mencionó las técnicas de recolección de datos, se entiende como los procesos o las reglas que se tienen en cuenta para el proceso de recolección de datos, las cuales son indicadas en la introducción de la encuesta, con el fin de cumplir con el objetivo de la encuesta, estas reglas son las siguientes:

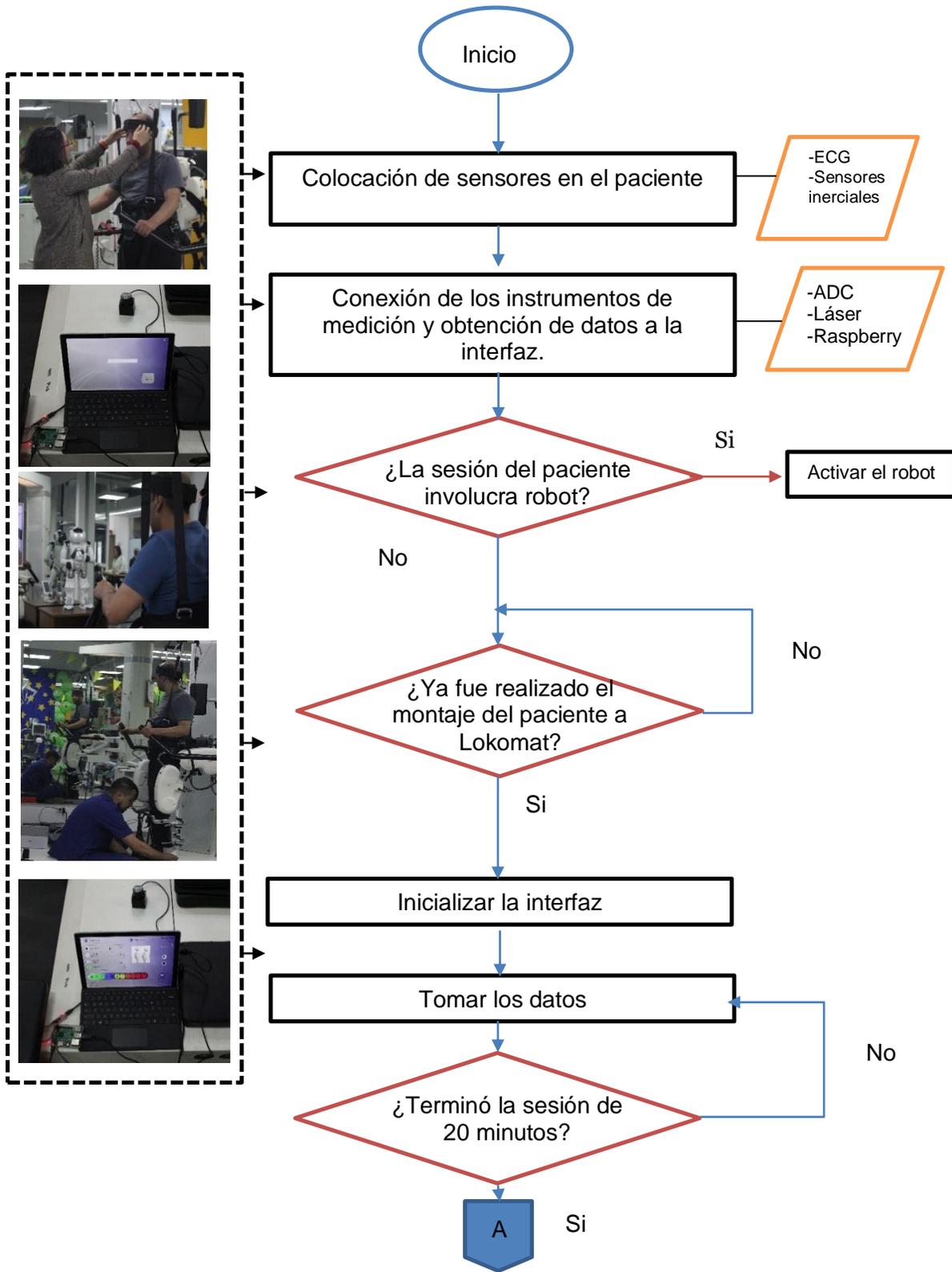
- Previamente a la realización de la encuesta, los participantes que respondan el cuestionario deben ver el video que se encuentra adjunto, esto con el objetivo de conocer preliminarmente el funcionamiento del robot durante la terapia.
- Si el encuestado es menor de 18 años, será el padre/madre o tutor legal quien llene completamente el cuestionario.
- Leer la introducción con el fin que todos los encuestados posean la misma información acerca del robot, su funcionamiento y el propósito de este tipo de terapia.
- Todas las preguntas deben ser contestadas en la hoja de puntuaciones ubicada en cada numeral, indicando si está de acuerdo o no con la afirmación presentada mediante una puntuación de 1 a 5, donde, 1 equivale a Totalmente desacuerdo, 2 Desacuerdo, 3 Neutro, 4 De acuerdo, 5 Totalmente de acuerdo.

El video al que se hace referencia en la primer regla o aclaración antes de comenzar a responder la encuesta, muestra el primer estudio de la implementación de robótica de asistencia social en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat [10]. Del mismo modo, la 3 aclaración, hace referencia a la introducción enfocada a la rehabilitación neurológica y la implementación de la robótica de asistencia en la misma, describiendo cada una de las

variables capaces de medir con los sensores involucrados en la interfaz con el RAS y presentando el propósito de la encuesta.

3.8.2. Interfaz del estudio a largo plazo de la implementación de RAS en rehabilitación de marcha

Es el proceso con el cual se obtiene la información a evaluar. De acuerdo a lo descrito en los instrumentos utilizados cada uno de los sensores requeridos, son utilizados para el funcionamiento de la interfaz, esta tiene como objetivo medir diferentes variables fisiológicas, las cuales, según el valor, el robot hará una realimentación en tiempo real al paciente, ya sea para corregir la postura, motivarlo o hacer control del nivel de fatiga presentado a lo largo de la sesión. En la figura 3.4 , se observa el proceso utilizado para la toma de datos en cada una de las sesiones, empezando por la colocación de la red de sensores inerciales en el paciente, para posteriormente el fisioterapeuta realizar el montaje de Lokomat en el paciente, de manera simultánea se realiza la conexión unificada para la activación de la interfaz, es decir conectar el láser, los sensores inerciales, a la raspberry, y el conversor analógico digital siendo puente entre el computador y la raspberry, adicionalmente, si la sesión del paciente involucra robot, se hace la inicialización del mismo y se ubica en frente al paciente. Una vez realizado el montaje y la conexión, se procede a la activación de la interfaz la cual comenzará a adquirir los datos y si se está trabajando con el robot, este empezará a realizar frases de realimentación, este proceso se ilustrará a partir del flujograma de la figura 3.3.



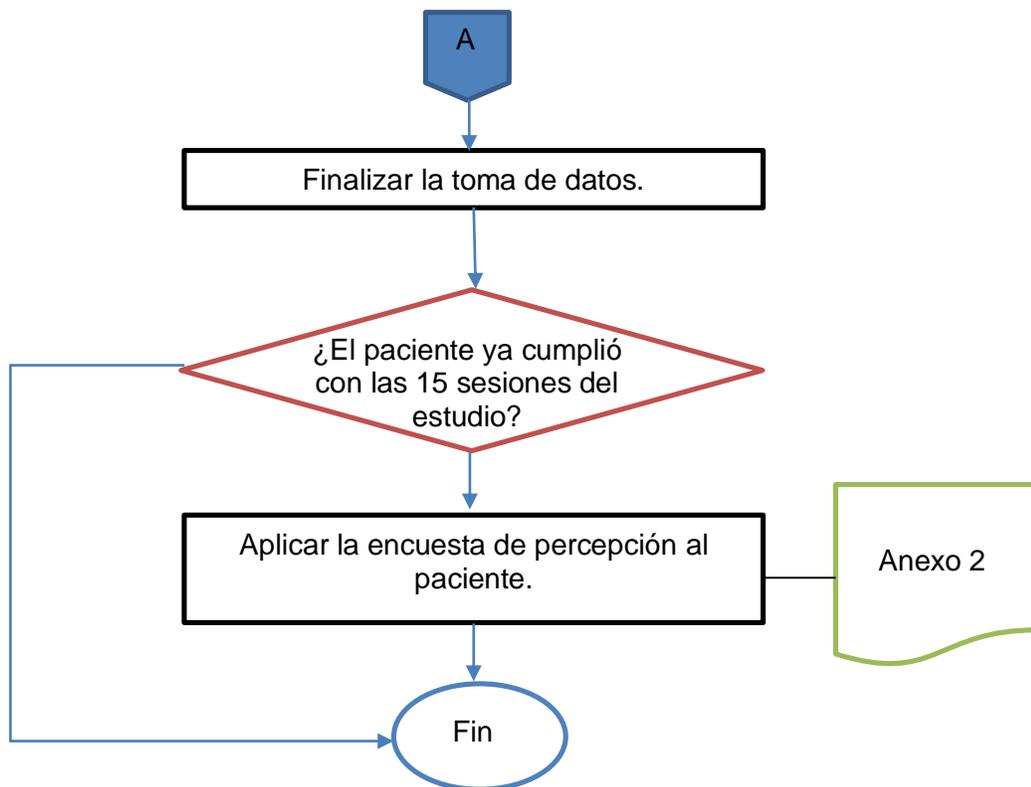


Figura 3.3: Flujograma del estudio a largo de la implementación de un RAS en terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, involucrando la toma de datos y la aplicación de la encuesta de percepción a los pacientes que finalizaron el estudio.

3.9. Técnicas del procesamiento de datos

3.9.1. Encuestas de percepción

La técnica que se utilizará en el procesamiento de los datos será la estadística descriptiva, que consiste en un conjunto de procedimientos que tienen por objeto presentar masas de datos por medio de tablas, gráficos y/o medidas de resumen. [76]

Para el procesamiento de las encuestas se tuvo en cuenta el siguiente proceso:

1. Conocer la fiabilidad de la encuesta aplicada.
2. Establecer los valores cuantitativos de la encuesta.
 - 2.1 Plantear las hipótesis a probar.
 - 2.2 Determinar las variables estadísticas.

2.3 Aplicar estadística descriptiva.

3. Establecer los valores cualitativos de la encuesta.

3.1 Aplicar estadística descriptiva

Cada uno de los pasos para el procesamiento de la información, se explicará detalladamente a continuación.

1. Conocer la fiabilidad de la encuesta aplicada.

Los cuestionarios, constituyen el instrumento más utilizado por los investigadores, para evaluar la perspectiva de la población hacia un tema en estudio, ya que con el análisis estadístico de la información obtenida a través de los mismos, permite inferir conclusiones a los investigadores de forma sencilla y de gran significancia para el estudio. Sin embargo, muchas veces al centrarse solo en los datos recolectados, se pasa por alto el diseño de la encuesta, si los datos que se obtendrán de la encuesta serán realmente confiables o no [84]. Los principales criterios de calidad exigibles a los instrumentos de investigación son la fiabilidad y la validez [85].

Por lo tanto, para determinar la fiabilidad de las encuestas aplicadas en este proyecto, se utiliza el método de determinación del Alpha de Cronbach, este es un modelo de consistencia interna, el cual se basa en el promedio de las correlaciones entre los ítems de una encuesta. Entre las ventajas de esta medida, se encuentra la posibilidad de evaluar cuánto mejoraría (o empeoraría) la fiabilidad del cuestionario [86]. La fiabilidad hace referencia a la precisión que tiene un instrumento, concretamente, los coeficientes de fiabilidad informan la consistencia y estabilidad de las medidas tomadas con el instrumento de medición, que en este caso son los cuestionarios [85]. El coeficiente de Cronbach, se determina con la ecuación 3.4, la cual involucra las varianzas de cada una de las preguntas de la encuesta (V_i), la varianza total (V_t), y el número de ítems (k) [69].

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right] \quad (3.4)$$

Al aplicar la ecuación anterior, se obtendrá un valor dentro del rango de [0-1], según el valor obtenido se clasifica la fiabilidad de la encuesta, teniendo en cuenta que a un valor mayor a 0.6 se considera que la encuesta implementada tiene un buen nivel de fiabilidad (Fig.3.4) [69].

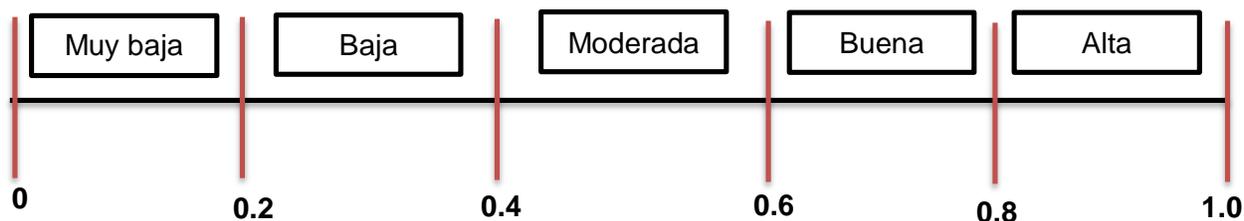


Figura. 3.4: Clasificación del Alpha obtenido para la fiabilidad de un instrumento tipo encuesta.

2. Establecer valores cuantitativos.

Las variables cuantitativas, son aquellas que adoptan valores numéricos, es decir cifras, en otras palabras, que tienen en cuenta tanto el tiempo como la cantidad [75]. Estos indicadores se pueden utilizar con la intención de medir el nivel de percepción o aceptación de la tecnología en el presente estudio.

En el presente estudio, se tomaron como variables cuantitativas, cada una de las preguntas cerradas, a las cuales según el modelo de Likert tienen un puntaje determinado de 1 a 5 y con los cuales se podrán determinar cada uno de los valores estadísticos los cuales serán descritos a continuación.

2.1 Plantear las hipótesis a probar.

Las hipótesis son suposiciones hechas a partir de los datos obtenidos de un estudio, dichas hipótesis serán confirmadas o negadas una vez analizados los resultados al finalizar la investigación. Las hipótesis se caracterizan, por ser enunciados simples y fáciles de entender, es decir su planteamiento conciso evita que haya divergencia de opiniones [75].

El planteamiento de hipótesis es de gran importancia, debido a que orienta y delimita una investigación, dándole una dirección definitiva a la búsqueda de la solución de un problema [86]. Para elaborar una buena hipótesis es importante seguir el siguiente proceso:

1. Tener claro el tema que se va a abordar.
2. Establecer de manera correcta el objetivo que se quiere lograr con la investigación.
3. Identificar las variables conocidas dentro del estudio.
4. Identificar lo que se quiere probar, teniendo en cuenta cada una de las variables ya conocidas.

5. Escribir una suposición de lo que se quiere probar obteniendo así la hipótesis alternativa y al negar la suposición se obtiene la hipótesis nula. En otras palabras, la hipótesis nula, es la hipótesis que se trata de rechazar, y la hipótesis alternativa es la que el investigador plantea suponiendo que es cierta y es la que se espera aceptar [87].

2.2 Aplicar la prueba de hipótesis.

Una prueba de hipótesis es una regla que especifica si se puede aceptar o rechazar una afirmación acerca de una población dependiendo de la evidencia proporcionada por una muestra de datos. La prueba de hipótesis evalúa dos hipótesis opuestas sobre una población la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).

Para poder aplicar una prueba de hipótesis es necesario establecer los valores estadísticos a tener en cuenta, entre ellos está el nivel de significancia, este consiste en la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera, se le denota con la letra griega Alpha (α) y generalmente tiene un valor de 0,05 es decir un 5% [87].

Dependiendo de las hipótesis planteadas, se realiza una prueba de hipótesis, es decir si H_1 y H_0 establecen hipótesis de igualdad, se aplica una prueba bilateral, por otro lado, si H_0 y H_1 establecen hipótesis de desigualdad se realizan las pruebas de cola inferior o superior según corresponda. En la figura 35 se presentan cada una de las pruebas a realizar dependiendo de las hipótesis de ejemplo planteadas, dentro de una campana de gauss, la cual es una representación gráfica de la distribución normal de un grupo de datos. Éstos se reparten en valores bajos, medios y altos, creando un gráfico de forma acampanada y simétrica con respecto a un determinado parámetro [87].

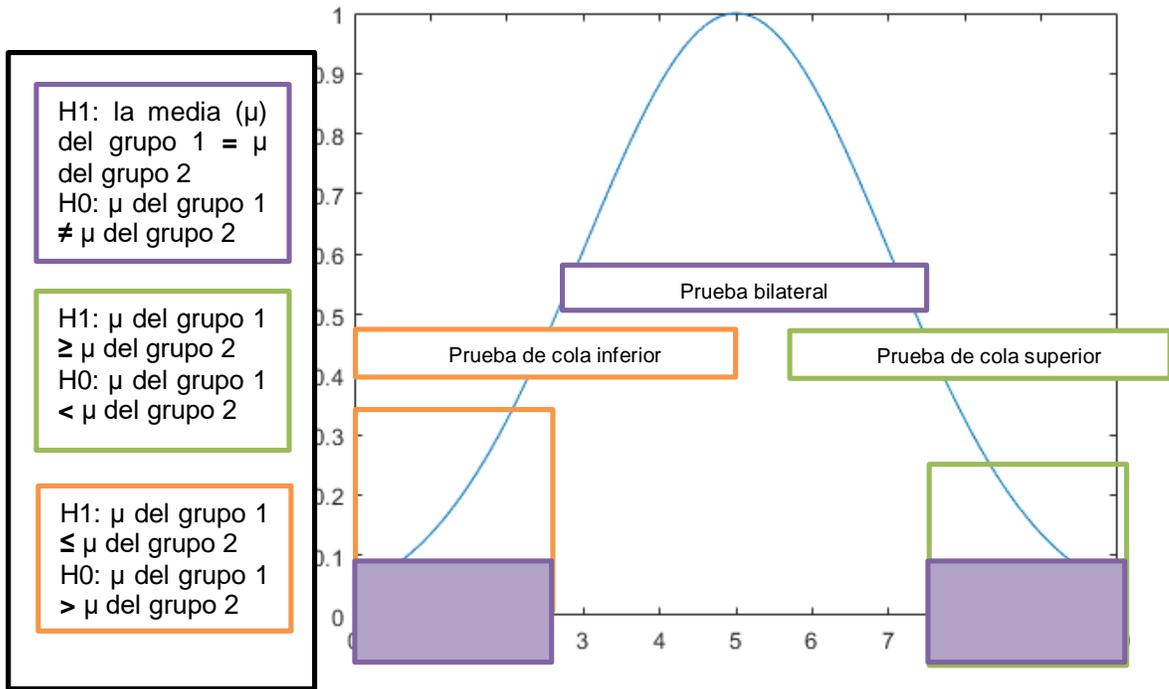


Figura 3.5: Campana de Gauss con cada una de las pruebas de hipótesis

Valor p:

Al aplicar la prueba correspondiente a las hipótesis planteadas se obtiene un p-valor, el p-valor, es una medida estadística entre 0 y 1. Se usa para el contraste de hipótesis. El valor p obtenido al aplicar estadística se compara con el nivel de significancia (α) el cual, dependiendo de la prueba de hipótesis realizada, se realiza una condición, como se observa en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 condiciones para la toma de decisiones en las pruebas de hipótesis con el valor p.

	Condición	Prueba	Decisión
Valor p	p valor < alpha	cola superior	Rechazo Ho
	p valor > alpha	cola inferior	
	alpha < p valor < -alpha	bilateral	

Valor Z:

A parte del nivel de significancia, es importante tener en cuenta la muestra del estudio, si la muestra es mayor a 30, se aplica una estadística de prueba 'Z' o distribución normal, de esta

prueba se obtiene el valor z, el cual mide la diferencia entre un estadístico observado y la hipótesis de la población en unidades de la desviación estándar, este valor es calculado con la ecuación 3.5 [87].

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} \tag{3.5}$$

Donde:

Z=Valor estadístico de la curva normal.

X=Valor aleatorio de la muestra.

\bar{X} =Mediana de la muestra estadística.

Σ =Desviación estándar

De esta prueba se obtienen dos valores de Z, el Z crítico el cual se determina por medio de tablas estadísticas [82] y es el correspondiente al nivel de significancia, como en el presente estudio se estableció un nivel de significancia de 0,05 el valor del Z crítico es 1,64, de igual forma, existe un valor Z calculado, este es el valor determinado por la ecuación anterior. Dependiendo de la prueba utilizada (cola superior, inferior o prueba bilateral), se obtiene un valor de Z crítico, si el valor del Z crítico es negativo, la comparación para rechazar Ho es Z crítico > Z calculado, si el valor de Z crítico es positivo la condición para que se rechace Ho es Z crítico < Z calculado, y por último si Z crítico < Z calculado < -Z crítico se rechaza Ho. Cada una de estas condiciones se muestran de manera concreta en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Condiciones para la toma de decisiones en las pruebas de hipótesis con el valor z.

	Condición	Prueba	Decisión
Valor Z	Z crítico > Z calculado	cola superior	Rechazo Ho
	Z crítico < Z calculado	cola inferior	
	Z crítico < Z calculado < -Z crítico	bilateral	

Valor U:

Por otro lado, para determinar si existen diferencias significativas entre dos grupos de muestras independientes, ya sea comparando entre hombres y mujeres, o clínicos y pacientes, se aplica la prueba U de Mann-Whitney determina el valor U, al obtener el valor de U para cada uno de los grupos con las ecuaciones 3.6 y 3.7, se realiza una aproximación lineal, es decir se calcula el valor Z en relación a los valores obtenidos de U 3.8 y teniendo el valor z, se calcula el valor-p para tomar la decisión de aceptar o rechazar Ho.

$$U1 = n1 * n2 + \frac{n1(n1 + 1)}{2} - R1 \quad (3.6)$$

$$U2 = n1 * n2 + \frac{n2(n2 + 1)}{2} - R2 \quad (3.7)$$

Donde:

U1 y U2= valores estadísticos de U Mann-Whitney.

n1= tamaño de la muestra del grupo 1.

n2=tamaño de la muestra del grupo 2.

R1=sumatoria de los rangos del grupo 1.

R2=sumatoria de los rangos del grupo 2.

$$Z = \frac{U - \left(\frac{n2 * n1}{2}\right)}{\sqrt{\frac{n1 * n2 * (n1 + n2 + 1)}{12}}} \quad (3.8)$$

Al obtener el valor de Z, se realiza la comparación de condiciones y se toma la decisión de aceptar o rechazar Ho.

3. Establecer los valores cualitativos de la encuesta.

En cada una de las encuestas, se involucran variables que son cualitativas, las cuales permiten que características, cualidades o categorías no numéricas sean expresadas [88]. Como lo son las preguntas abiertas, estas ofrecen a los encuestados la libertad para decir exactamente lo que piensan sobre un tema, lo cual brindan datos exploratorios al investigador que pueden revelar oportunidades, problemas o expresiones textuales no previstos [88].

3.2 Aplicar estadística descriptiva

Las respuestas a preguntas abiertas se utilizan en diferentes campos de estudio, como la educación, la medicina, la economía etc. Estas respuestas constituyen una parte importante de las investigaciones, ya que con estas respuestas se busca profundizar y conocer la

perspectiva de una población frente a un estudio desarrollado [89]

Para el análisis de este tipo de variables cualitativas, se implementa una técnica estadística conocida como el análisis de datos textuales, desarrollada inicialmente por Ludovic Lebart [89]. Este análisis, se puede implementar mediante una tabla de gran particularidad; la tabla léxica, esta involucra la frecuencia relativa con la que cada palabra es utilizada dentro de los individuos en el cuerpo de las respuestas de una entrevista o cuestionario de preguntas abiertas. La tabla 3.6 es un ejemplo del análisis de datos textuales planteado, la cual muestra algunas de las palabras utilizadas con su número de frecuencia en este párrafo.

Tabla 3.6: Tabla léxica de ejemplo para el análisis de datos textuales con palabras utilizadas en un párrafo.

Palabras empleadas	Frecuencia
análisis	4
textuales	2
cualitativas	1
frecuencia	2

Una vez determinadas las palabras utilizadas en la respuesta de los encuestados para responder a la pregunta realizada por el investigador, se procede a realizar una simplificación, dejando así las palabras con mayor frecuencia en las respuestas, es decir las palabras que tengan una frecuencia dentro del cuerpo de la respuesta mayor a 4 [89]. Por otro lado, cuando dentro de la repuesta existen palabras que por sí solas no aportan mucho, se crean los llamados “segmentos” de palabras, estos son compuestos en su mayoría por un conjunto de dos palabras, siendo una de ellas un adjetivo, verbo o adverbio que complementa al sujeto acompañante y brinda información de alta relevancia para la investigación como se muestra en la tabla de ejemplo 3.7.

Tabla 3.7: Tabla léxica para el análisis de datos textuales, con segmentos ejemplo dentro de las respuestas.

Frecuencia	Segmento
8	Más tiempo
7	Recursos económicos
9	Muy repetitivo
11	Poco repetitivo

De esta manera se puede determinar mediante la frecuencia del uso de la palabra o de los segmentos, la respuesta con mayor impacto en el estudio, y la de menor impacto, con lo cual se pueden concluir diferentes respuestas según de frecuencia de las palabras.

3.9.2. Procesamiento de los resultados posturales del estudio a largo plazo

En otro orden de ideas, para procesar los datos de la postura de los pacientes a lo largo del estudio, se determinaron los valores de mala postura, es decir los datos que estuvieran por encima de 10° y por debajo de -10°, con lo cual al obtener el número de pacientes con mala postura obtuvo también el tiempo de mala postura.

Por lo tanto, para cada una de las sesiones se obtuvo un tiempo total de mala postura cervical y torácica en cada uno de los planos evaluados, expresado también de forma porcentual. Posterior a esto, cada uno de los valores se estandarizaron, teniendo como valor de referencia el porcentaje de mala postura en las sesiones test, por lo tanto, al valor obtenido durante la primera sesión control o intervención en el eje sagital de la cabeza se le aplicó la ecuación 3.9.

(3.9)

$$\%TMPcnorm = (\%TMPc1 - \%TMPct) / \%TMPct$$

Donde:

%TMPcnorm= Tiempo de mala postura cervical normalizada.

%TMPc1= Tiempo de mala postura cervical en la primera sesión.

%TMPct= Tiempo de mala postura cervical en sesión test.

Una vez estandarizados los valores de la postura torácica y cervical, en cada uno de los planos, se procedió a graficar en este orden, la primera sesión test, las 6 sesiones de intervención (o control según corresponda), la segunda sesión test, 6 sesiones de control (o intervención según corresponda), y la tercera sesión test, de manera que se observa de forma gráfica las diferencias del porcentaje de tiempo de mala postura sin intervención del robot y con intervención del mismo.

Posterior a este análisis, se implementa el uso de la estadística, ésta para determinar si existen diferencias significativas entre dos grupos, los pacientes del grupo control y los pacientes del grupo intervención. Al ser la comparación de dos grupos se procede a realizar la prueba de U de Mann Whitney explicada anteriormente.

3.10. Herramientas para el procesamiento de datos

Para llevar a cabo la tabulación de las respuestas de cada uno de los cuestionarios, y la graficación postural, se utilizó el programa Microsoft office Excel, que es una hoja de cálculo desarrollada por Windows, y cuenta con herramientas gráficas, tablas dinámicas y es utilizada para cualquier tipo de aplicación[90], por otro lado, para realizar el análisis estadístico, se implementó el software estadístico SPSS, este es un formato que ofrece IBM para un análisis completo de la información [91]. Y en cuanto al procesamiento postural, la obtención del porcentaje de mala postura y la estandarización de los valores, de los pacientes en el estudio a largo plazo, se utilizó el sistema de cómputo numérico, que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio laboratorio de matrices (MATrix LABoratory, MATLAB) [91], que con la ayuda de su lenguaje de programación se logró optimizar el tiempo en el procesamiento de datos.

Capítulo 4

RESULTADOS

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos, a lo largo del estudio. Los resultados se mostrarán en el siguiente orden, empezando con los resultados estadísticos obtenidos de la encuesta de percepción de la tecnología de asistencia social, realizada a clínicos y pacientes que no han tenido interacción alguna con un RAS en las terapias de rehabilitación, pasando por los resultados que se obtuvieron en el estudio a largo plazo de la implementación del RAS en las terapias de rehabilitación de marcha asistidas por Lokomat en cuanto a la variable postural del paciente medible en cada una de las sesiones. Por último, se presentarán los resultados de la encuesta de percepción realizada a los pacientes que finalizaron el estudio. Cada uno de los resultados serán analizados en el capítulo de discusión.

4.1 Resultados Encuesta de percepción

Desde la perspectiva de la investigación, para que una tecnología sea aceptada en el área, en primer lugar, se debe determinar la percepción que tiene la población enfoque, frente a la tecnología. Por consiguiente, se implementó una evaluación de robótica de asistencia social, la cual consta de diferentes preguntas que conllevan a una aceptación o no aceptación de la tecnología.

4.1.1. Alpha de Cronbach

Como se expuso en el capítulo anterior, para obtener resultados confiables de una encuesta a lo largo de un estudio, es importante conocer el nivel de fiabilidad del cuestionario, determinando este valor, mediante el método de Cronbach. Valor que fue calculado al aplicar la ecuación 3.4, con los valores obtenidos en Excel, (aplicando la función =VAR(rango de valores para calcular la varianza), para calcular los valores de la varianza):

$$k=36$$

$$\sum Vi=45,07$$

$$Vt=286,41$$

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum Vi}{Vt} \right]$$

$$\alpha = 1,02 * 0,84$$

$$\alpha = 0,86$$

4.1.1.1 Resultados Cuantitativos

En los resultados cuantitativos se obtuvieron resultados a partir de dos análisis diferentes, estos involucran en primera instancia, el análisis de la perspectiva hacia el RAS de la población total encuestada (análisis no paramétrico) y en segunda instancia un análisis paramétrico [70], es decir un análisis con los resultados obtenidos al comparar la perspectiva del RAS en rehabilitación entre dos grupos, en este caso los grupos a comparar son pacientes vs clínicos. En la muestra no paramétrica, es decir en la población total encuestada los resultados obtenidos para cada dimensión evaluada en el cuestionario, son los mostrados en la figura 4.1.

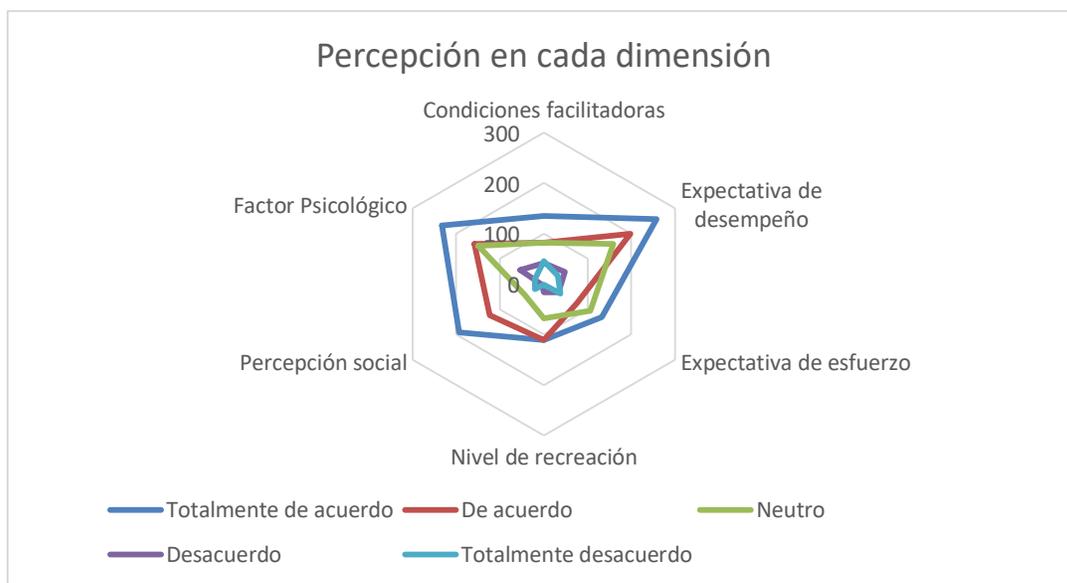


Figura 4.1: Percepción de la población para cada una de las secciones evaluadas.

A nivel estadístico, se realizó una prueba de hipótesis, definiendo una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_1):

H_0 =La robótica de asistencia social es aceptada por menos del 60 % de la población encuestada para la implementación en rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat.

$$H_0 = \mu < 60 \%$$

H_1 =La robótica de asistencia social es aceptada por más del 60 % de la población encuestada para la implementación en rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat.

$$H_1 = \mu \geq 60 \%$$

Una vez determinadas las hipótesis se determinan las variables estadísticas a tener en cuenta

(Tabla 4.1). Como el N es mayor a 20, se procede a realizar una prueba normal estandarizada, además como las hipótesis muestran una desigualdad, se realiza una prueba de cola superior.

Tabla 4.1: Valores estadísticos a tener en cuenta

N(Población total)	77
Nivel de significancia	0,05
z	-1,96

Debido a que el nivel de significancia es de 0,05, el valor correspondiente del límite de la cola inferior es decir el Z crítico (Z_c) es igual a - 1,96 [71]. Ahora, para saber si la hipótesis nula es aceptada o rechazada es necesario obtener el valor de Z calculado (Z_{cal}) de cada una de las secciones a evaluar en la encuesta, que en total son 6, dichos valores, son mostrados en la tabla 4.2. Además, también se calculó el p-valor para cada una de las secciones y para la encuesta en general, valores que son presentados en la tabla 4.3.

Tabla 4.2. Valores Z calculados para la prueba de hipótesis

Valor Z					
sección 1	sección 2	sección 3	sección 4	sección 5	General
1,70	1,95	1,92	1,77	1,68	1,99
Rechazo la H_0					

Tabla 4.3. P-Valores de cada sección teniendo en cuenta el valor Z calculado para la prueba de hipótesis

P-valor					
Z sección 1	Z sección 2	Z sección 3	Z sección 4	Z sección 5	Z Total
0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02
Rechazo la H_0					

A parte de la prueba de hipótesis, también se hicieron comparaciones entre dos grupos (pacientes/acudientes vs clínicos) de manera que se conociera por cual parte de la población, la tecnología es más aceptada, si por parte de la población que usaría la tecnología como mecanismo de rehabilitación en sus terapias (pacientes-acudientes), o como herramienta de trabajo (clínicos), evaluando la percepción en cada una de las dimensiones evaluadas. Los resultados obtenidos a partir de la cuantificación de los datos se muestran en la figura 4.2.

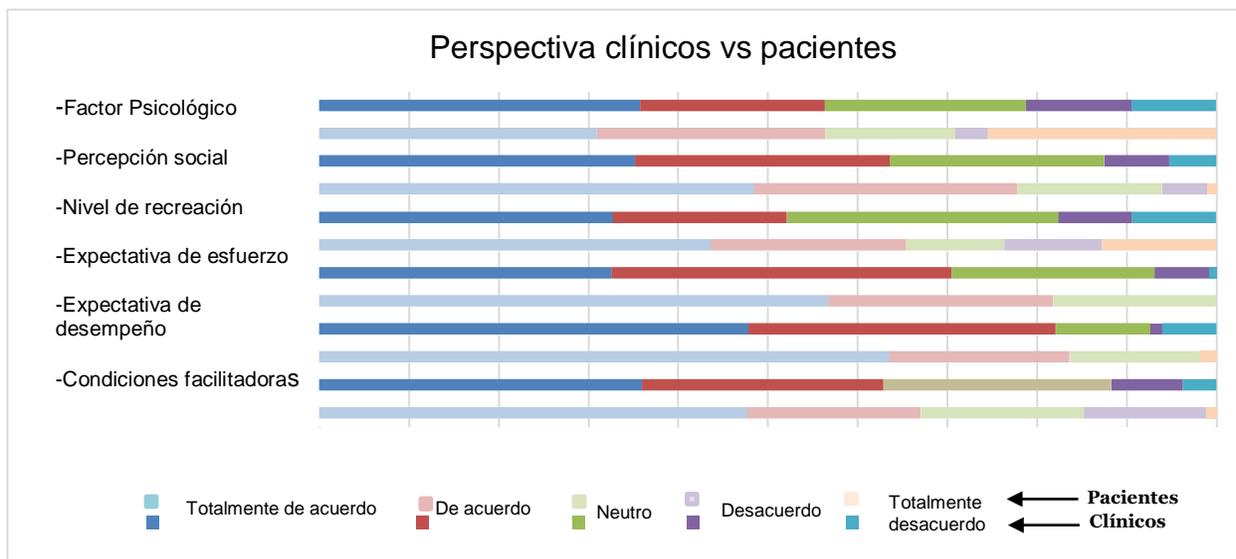


Figura 4.2: Percepción de clínicos vs pacientes para cada una de las secciones evaluadas.

Además, se realizaron pruebas para muestras paramétricas (MannWhitney-Wilcoxon), planteando las hipótesis (Ho y H1).

Ho=Hay diferencias significativas entre los dos grupos.

H1=No hay diferencias significativas entre los dos grupos.

Una vez planteadas las hipótesis, se aplica la prueba de Mann Whitney mediante el software estadístico SPSS para determinar los valores de mediana y del P-valor para de esta manera aceptar o rechazar la hipótesis nula en cada una de las secciones, valores mostrados en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Mediana y P-Valores de cada sección para la prueba de hipótesis calculados con la prueba de Mann Whitney

Sección	mediana grupo pacientes	mediana grupo clínicos	p-valor	Decisión
1	4	4	0,16	No rechazo Ho
2	5	4	0,06	No rechazo Ho
3	5	4	0,003	Rechazo Ho
4	4	3	0,57	No rechazo Ho

5	4	4	0,002	Rechazo Ho
6	4	4	0,27	No rechazo Ho

4.1.1.1. Resultados Cualitativos

Por otra parte, la encuesta aplicada tiene también una parte cualitativa con la cual se quería conocer la perspectiva que tiene la población encuestada al ver al robot, que les inspiraba y de la misma forma que le cambiarían para mejorar la interacción, todo esto mediante 4 preguntas abiertas, las cuales, para obtener resultados concisos de ellas, se utilizó el método descrito en el capítulo anterior el análisis de datos textuales, por lo tanto, los resultados obtenidos en la parte cualitativa de la encuesta, se muestran en las tablas 4.5 y 4.6.

Tabla 4.5 Palabras características en las respuestas de la encuesta 1

Palabras o segmentos característicos			
Pregunta 1	Frecuencia	Pregunta 3	Frecuencia
curiosidad	12	reconocimiento	29
alegría	15	voz	23
expectativas	1	saludo	17
pacientes	2	facial	6
ayuda	2	movimiento	5
ansiedad	4	sentimientos	3
nada	1	nombre	17
confianza	5	saludo	17
motivación	4	personalizado	2
seguridad	3	humanoide	1
ayuda	2	nada	1
confort	1	respuesta	17
reto	1	conversaciones	2
expectativas	1	pacientes	3
colaboración	1	sonrisa	2
tranquilidad	4	tono	2
ternura	5	Pregunta 4	Frecuencia
aprendizaje	1	humanoide	2
Intriga	1	estatura	10
ánimo	1	vestimenta	7
Paciencia	1	ninguno	27
Optimismo	1	genero	1
Satisfacción	1	animaciones	15
felicidad	1	adaptable	1
innovación	1	sencillo	1
entusiasmo	1	color	10
Pregunta 2	Frecuencia	expresión	1
Maquina	41	pacientes	2
Compañero	39	voz	2

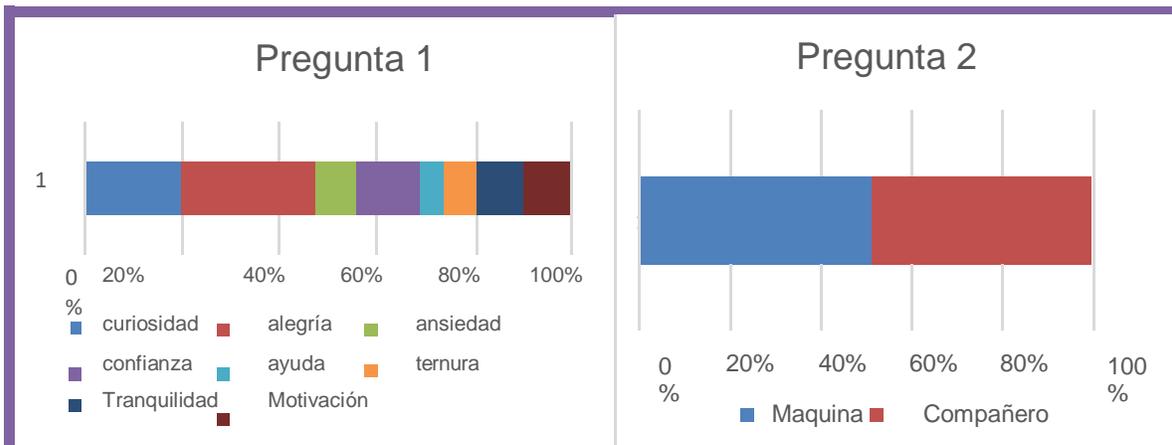
La tabla 4.5 muestra la frecuencia de las palabras en la respuesta dada por los encuestados a cada una de las preguntas, asociado cada palabra con la frecuencia de repetición y con la longitud de la misma. Para que el análisis sea más preciso, se realiza una selección de palabras

y la agrupación de segmentos (Tabla 4.6).

Tabla 4.6 Selección de palabras y segmentos con frecuencia mayor a 4.

Palabras pregunta 1		Palabras pregunta 3	
Vocabulario Seleccionado	Frecuencia	Vocabulario Seleccionado	Frecuencia
curiosidad	13	Reconocimiento de voz	23
alegría	16	Reconocimiento facial	17
ansiedad	5	Respuesta por nombre	17
confianza	8	Saludo	17
ayuda	3	Palabras pregunta 4	
ternura	5	Vocabulario Seleccionado	Frecuencia
Tranquilidad	5	vestimenta	7
Motivación	6	ninguno	32
Palabras pregunta 2		animaciones	15
Vocabulario Seleccionado	Frecuencia	color	10
Maquina	41	estatura	10
Compañero	36		

Para cada una de las preguntas se obtuvo un porcentaje determinado de palabras con mayor frecuencia, este valor se presenta en los gráficos de la figura 4.3.



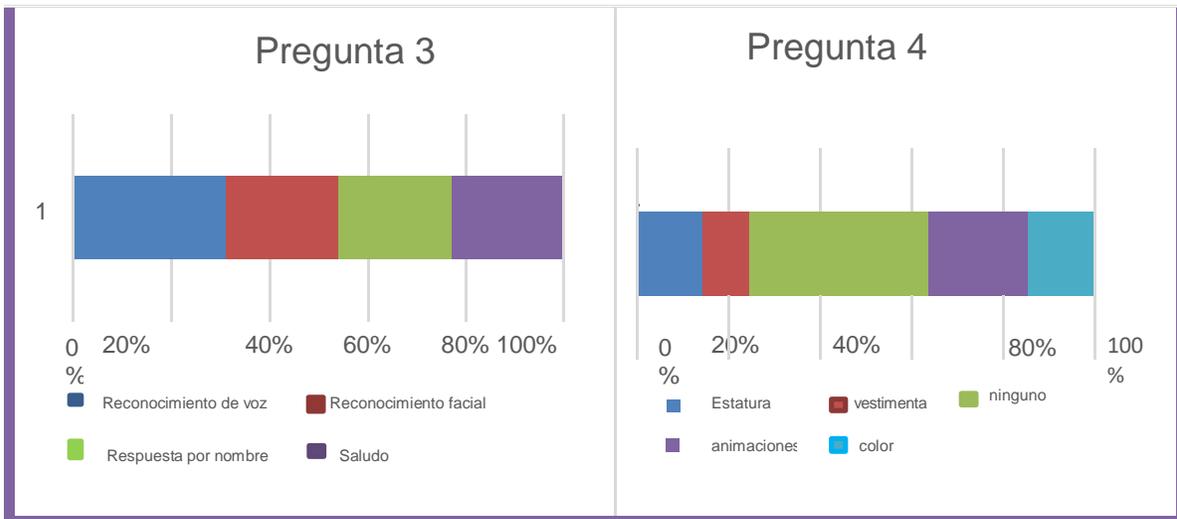


Figura. 4.3: Porcentaje de palabras con mayor frecuencia en cada pregunta.

4.1. Resultados del estudio a largo plazo implementando RAS

4.2.1. Resultados posturales

En cuanto al estudio a largo plazo de la implementación del RAS en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, se obtuvieron resultados, en cuanto a la postura del paciente a lo largo del estudio, es decir la postura cuando se implementó el robot y cuando no.

Para cada uno de los casos se mostrarán los resultados más significativos del estudio, teniendo en cuenta la referencia de colores de la gráfica que representan el porcentaje de tiempo de mala postura para cada una de las sesiones.



Para la postura cervical en el plano sagital del paciente 1 que pertenece al grupo control, se obtuvieron los siguientes resultados (Fig. 4.4).

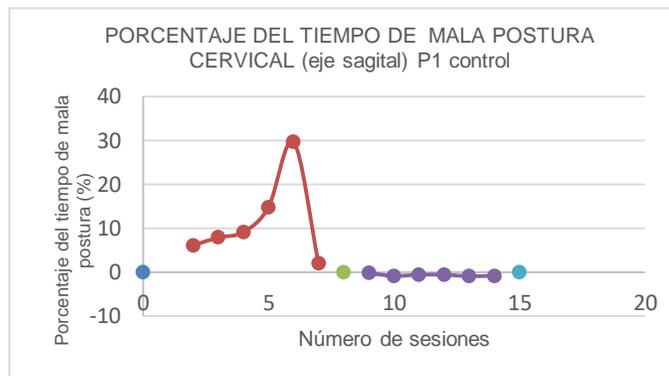


Figura 4.4. Porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje sagital del paciente 1.

En el grupo control 3 de los 4 pacientes tuvieron el mismo comportamiento de la gráfica anterior, es decir cuando no hubo intervención del robot, el tiempo de mala postura aumentaba. Por otro lado, de las sesiones 8 a la 14 en las cuales hubo intervención del robot, el porcentaje del tiempo de mala postura disminuyó en los pacientes 1, 2 y 3.

En cuanto al paciente 4, perteneciente al grupo control, los resultados fueron diferentes, es decir, cuando el paciente tuvo las sesiones con intervención del robot (línea morada Fig. 4.5) el porcentaje del tiempo de mala postura aumentó, esto debido a las actividades propuestas por el fisioterapeuta que en esas sesiones fueron de fuerza, un paciente con lesión medular para compensar el movimiento o la fuerza requerida, necesita del apoyo de otras partes del cuerpo, como cabeza y tórax [86].

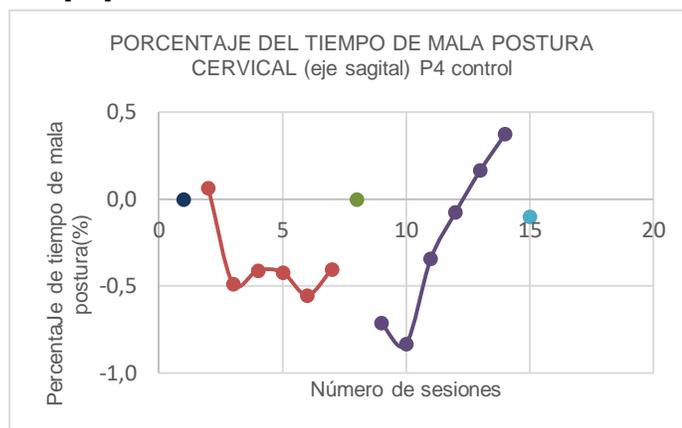


Figura 4.5. Porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje sagital del paciente 4 con la patología de lesión medular.

En cuanto a los pacientes del grupo intervención uno de los dos pacientes tuvo un comportamiento similar a los pacientes del grupo control al ser intervenido por el robot, es decir hubo una mejora en la postura cervical del eje sagital con respecto a las sesiones sin intervención del robot como se observa en la figura 4.6.

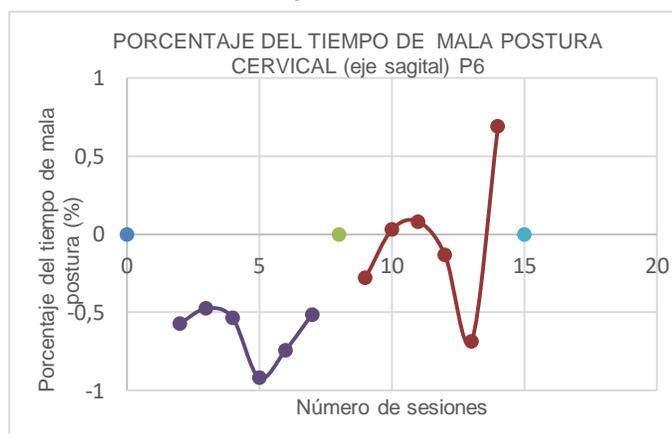


Figura 4.6. Porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje sagital del paciente 6 del grupo intervención.

De la misma forma, el comportamiento cefálico en el eje coronal de tres pacientes del grupo control y de uno de los dos pacientes del grupo intervención fue similar al del eje sagital, es decir hubo una mejora en la postural al implementar el robot, como se observa en la figura 4.7 del paciente 1 del grupo control y el paciente 6 del grupo intervención.

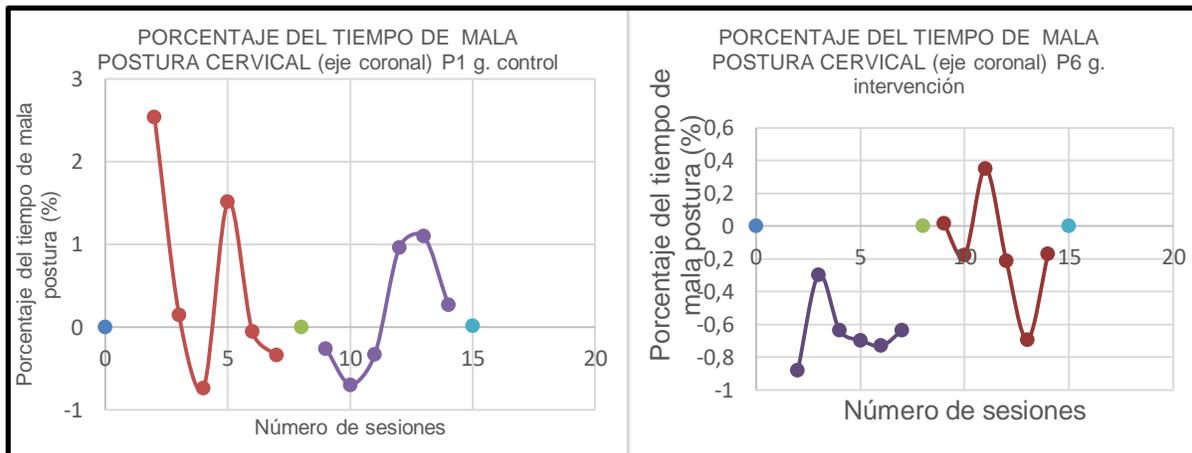


Figura 4.7 porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje coronal del paciente 1 y paciente 6.

De igual manera, se realizaron mediciones en cuanto a la postura torácica en el plano sagital de los pacientes 2 y 6, pertenecientes a cada uno de los dos grupos del estudio como se muestra en la figura 4.8

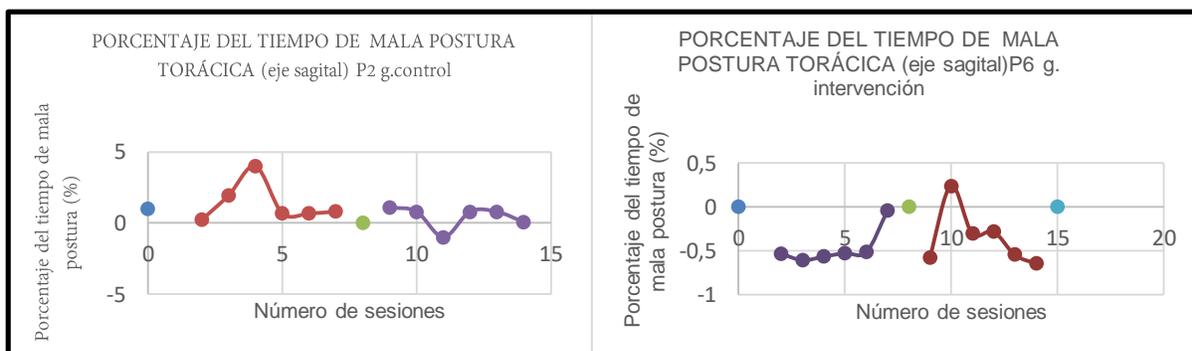


Figura 4.8 porcentaje del tiempo de mala postura torácica en el eje coronal del paciente 2 y paciente 6.

Y de la misma forma se presentan los resultados obtenidos a partir del plano coronal de la postura torácica para los pacientes 2 y 5 del grupo control e intervención respectivamente (Fig. 4.9).

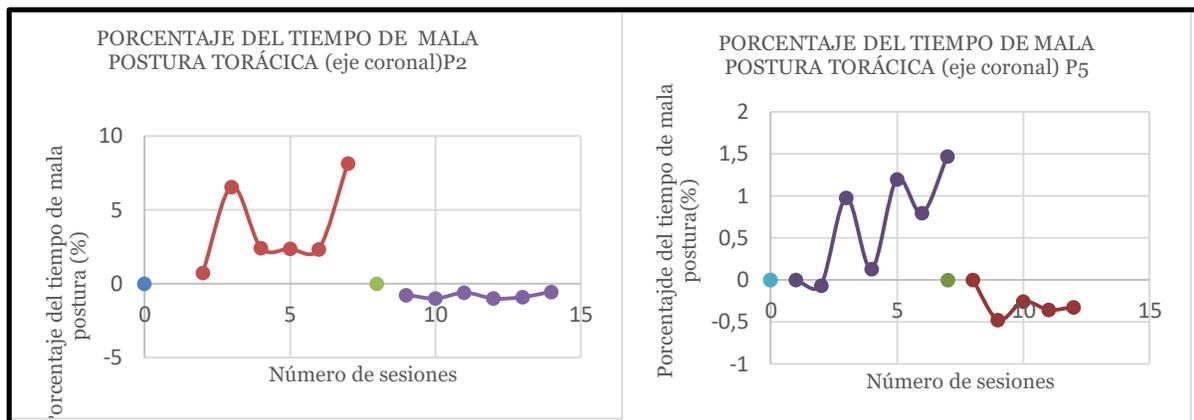


Figura 4.9: Postura torácica en el plano coronal del paciente 2 y 5

4.2. Resultados Estadísticos del estudio a largo plazo implementando RAS

A continuación, se presentan los resultados estadísticos, a partir de la prueba de hipótesis de Mann Whitney-Wilcoxon (Tabla 4.7), teniendo en cuenta las siguientes hipótesis planteadas.

Ho=No hay diferencias significativas de la postura al intervenir el robot en los dos grupos.

H1= Hay diferencias significativas de la postura al intervenir el robot en los dos grupos.

Tabla 4.7. Mediana y P-Valores de cada plano para la prueba de hipótesis calculados con la prueba de Mann Whitney.

	mediana control	mediana intervención	p-valor	Decisión
cervical en plano sagital	1	5,5	0	Rechazo Ho
cervical en plano coronal	1	0	0,01	Rechazo Ho
torácico en plano sagital	-0,2819	0,079	0,0407	Rechazo Ho

torácico en plano coronal	-0,96	-0,02	0,0392	Rechazo Ho
---------------------------	-------	-------	--------	------------

La prueba implementada también se realizó gráficamente (figura 4.10) para observar con mayor detalle si existen o no, diferencias significativas entre los dos grupos.

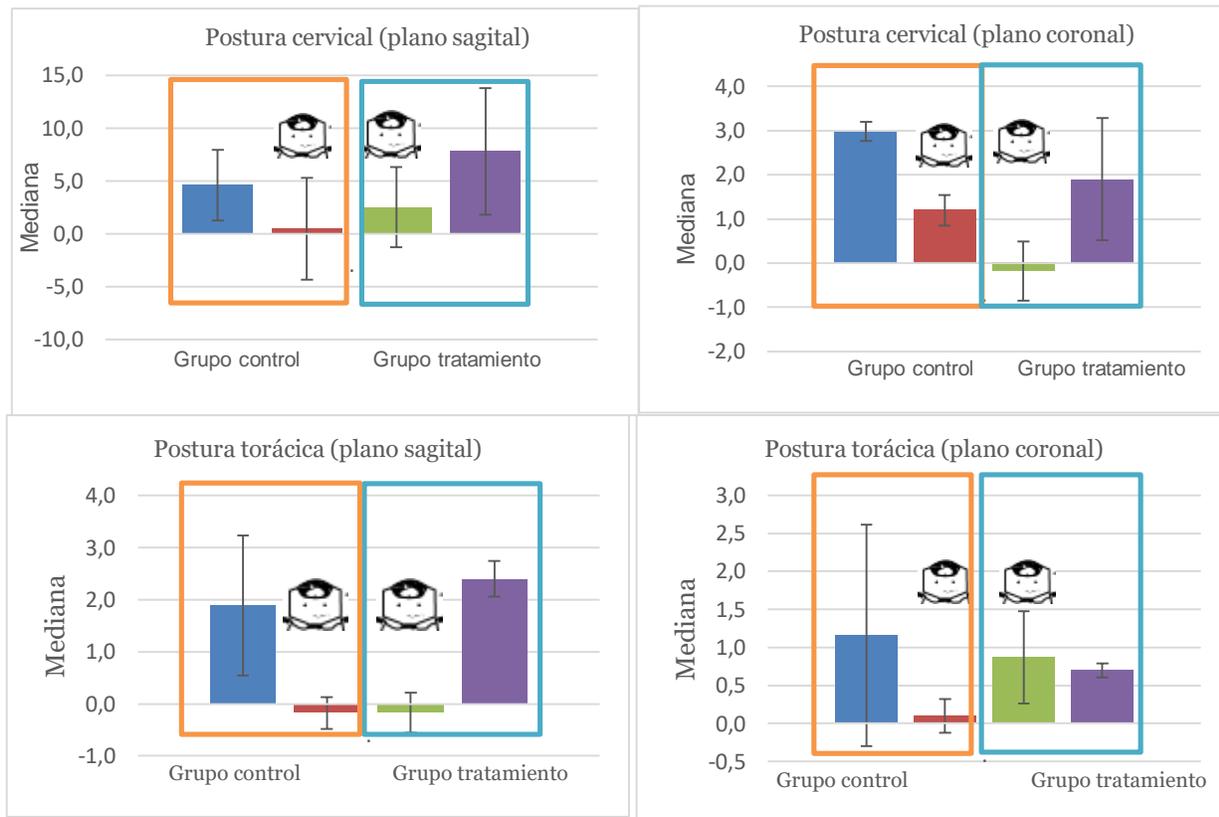


Figura 4.10: Gráficos al implementar la prueba de Mann Whitney.

En esta figura se puede observar la mediana del tiempo de mala postura cefálica o torácica en diferentes planos de cada uno de los grupos (control e intervención). El recuadro color naranja enmarca los valores de mediana del tiempo de mala postura durante las primeras 6 sesiones para el grupo control, la barra subsiguiente es el valor de la mediana del tiempo de mala postura durante las última 6 sesiones en las cuales se involucra robot. Así mismo, el recuadro color naranja enmarca los valores obtenidos en el grupo tratamiento, siendo la barra de color verde el valor de la mediana del tiempo de mala postura obtenido en las primeras 6 sesiones al implementar el robot, y la barra morada siendo el valor determinado en las 6 sesiones terminantes que no involucran robot.

4.2.2. Resultados Encuesta de percepción del estudio a largo plazo implementando RAS

Por último, al finalizar el estudio a largo plazo, se aplicó una encuesta de percepción, esto para conocer qué tan aceptable fue la tecnología involucrada en el estudio por parte de los

pacientes que lo involucraron en sus terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

4.2.2.1 Alpha de Cronbach

De la misma forma, a la encuesta de percepción aplicada a los pacientes del estudio, se determinó el coeficiente de Cronbach, el cual al aplicar las ecuaciones se obtuvo un valor de 0,64.

Al haber determinado el valor del coeficiente de Cronbach, se pasará a mostrar los resultados de la perspectiva que tuvieron los pacientes, estos resultados se mostrarán en dos partes, la parte cuantitativa y la parte cualitativa de la encuesta.

4.2.2.2 Resultados cuantitativos

Para la sección cuantitativa se obtuvo la cuantificación de los resultados para cada una de las 7 categorías de la encuesta (Fig. 4.11) esto para saber cuál sección tuvo mayor aceptación por parte de los pacientes.

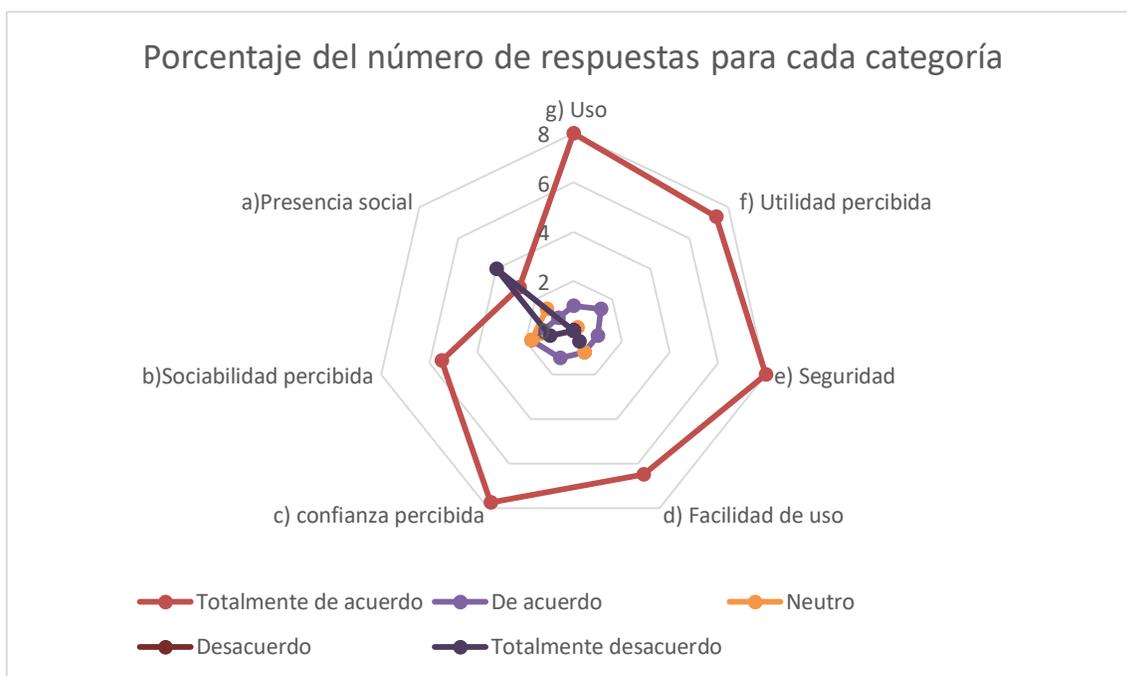


Figura. 4.11 Gráfico del porcentaje del número de respuestas para cada categoría

4.2.2.3 Resultados cualitativos

Por otro lado, para la parte cualitativa se realizó el método de la frecuencia de palabras, resultados que se muestran en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Palabras características en las respuestas de la encuesta 2

Palabras o segmentos característicos en las preguntas 1 y 2			
Pregunta 1	Frecuencia	Pregunta 2(continuación)	Frecuencia
ayuda	8	nada	1
postura	4	aumentar	1
motivador	5	sesiones	1
concentrarse	1	piernas	1
interactivo	1	fuerza	1
enderezar	1	medición	1
exacto	1	repetitivo	2
confiable	3	preguntas	2
preciso	2	precisas	1
caminar	2	momento	1
bueno	1	tiempo	2
corregir	2	preguntas	2
pasos	1	distanciando	1
Pregunta 2	Frecuencia	velocidad	1
direccionalidad	1	terapia	1
sensores	3	siempre	1

De la misma forma, se realizó una elección de las palabras más frecuentes en las respuestas de los pacientes (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Palabras características en las respuestas de la encuesta 2.

Pregunta 1	
Vocabulario Seleccionado	Frecuencia
ayuda	8
postura	4
motivador	6
confiable	9
Pregunta 2	
Vocabulario Seleccionado	Frecuencia
sensores	3
Distanciar el tiempo de las preguntas	6

Los resultados cualitativos expuestos en las anteriores tablas, se ilustran en la figura 4.12.

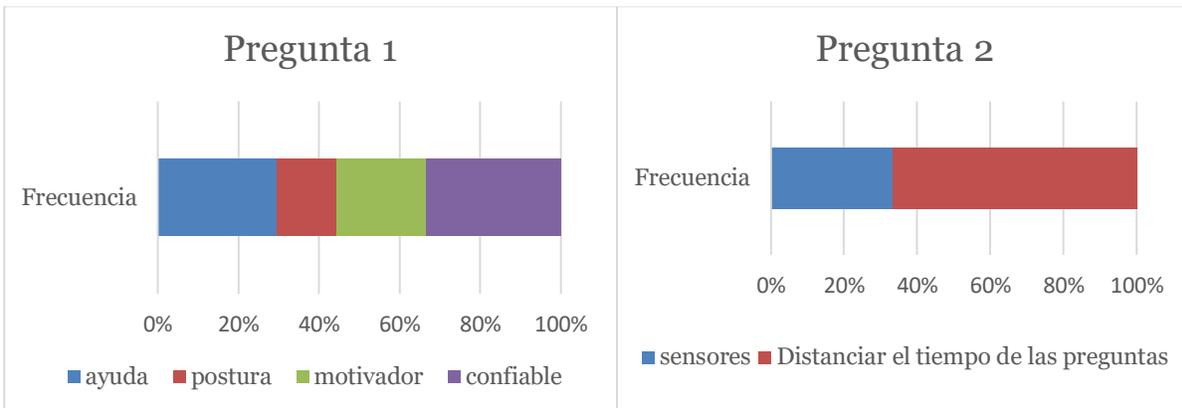


Figura 4.12: Resultados cualitativos, encuesta de percepción a pacientes, palabras con mayor frecuencia en las respuestas.

Capítulo 5

DISCUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados determinados en el anterior capítulo, se procederá a realizar el análisis de cada uno de los valores determinados, los cuáles serán de gran importancia para determinar el impacto que generó el proyecto.

5.1. Encuesta de Percepción

Como se muestra en el capítulo anterior para tener confiabilidad de la encuesta y de tal forma de los resultados obtenidos de la misma, se determinó el alpha de Cronbach, el cual dio un valor de 0,87 aproximadamente, valor que se encuentra dentro del rango de aceptación y se acerca a 1, es decir que tiene una fiabilidad muy buena.

Sabiendo que la encuesta aplicada tiene un nivel alto de confiabilidad, se puede analizar los resultados obtenidos de esta. Estos resultados están divididos en cuantitativos y cualitativos, se analizará primero la parte cuantitativa. En los resultados cuantitativos se observa la figura 4.1 del porcentaje de percepción de la población frente a las diferentes categorías a evaluar en la encuesta, la categoría con mayor aceptación es la percepción social, seguida del factor psicológico. Esto quiere decir que la gente en realidad se ve mayormente motivada por la interacción que puede haber durante la terapia al usar el robot, como lo nombra las preguntas contenidas en esta categoría.

Por otro lado, la categoría que tuvo una menor aceptación por parte de la población encuestada fue la categoría de condiciones facilitadoras. Esto es debido a que la mayor parte de la población considera que puede ser difícil controlar el robot y que no se puede usar sin ayuda de alguien que tenga conocimiento en su uso. En cuanto al análisis de los resultados estadísticos, se puede observar en las tablas 4.2 y 4.3 que los valores Z y P, dieron valores que llevaban a la conclusión de un “Rechazo de la H_0 ”, teniendo en cuenta las hipótesis planteadas en la primera encuesta con la muestra no paramétrica, el rechazo de H_0 es correspondiente a la aceptación de H_1 , es decir la robótica de asistencia social es aceptada por más del 60% de la población encuestada para la implementación en rehabilitación física de marcha asistida por Lokomat.

En el caso de los resultados obtenidos a partir de la muestra paramétrica, es decir la comparación entre dos grupos, en la figura 4.2 se observa que las opiniones son muy similares, sin embargo, existen diferencias, que podrían ser las esperadas. Los pacientes tienen una mayor perspectiva positiva en cuanto a las categorías de nivel de recreación percepción social y factor psicológico, por otro lado los clínicos tienen una perspectiva positiva mayor en las secciones de la percepción social y la expectativa de desempeño, lo cual es algo interesante, debido a que como se dijo anteriormente, es algo esperado, que los pacientes se interesen más por la parte de la **interacción** y de cómo el robot podría ayudarlos dentro de las terapias de rehabilitación y que los clínicos le vean un mayor interés en “¿Cómo el robot me ayudaría a mejorar las terapias de rehabilitación? Y esto, ¿Cómo ayuda al paciente?”, en otras palabras, en el **apoyo** que brindaría el robot para realizar un mejor trabajo.

El análisis anterior va fundamentado más a profundidad con el análisis estadístico obtenido

de los resultados de las pruebas de hipótesis mediante Mann Whitney-Wilcoxon en las cuales, de acuerdo a la tabla 4.4, las secciones 1,2,4,6 no rechazan la hipótesis nula es decir no hay diferencias significativas entre los dos grupos referente a esas categorías, no obstante las secciones 3 y 5 obtuvieron un p-valor menor al valor de significancia, con lo cual la hipótesis alterna es aceptada, es decir existen diferencias significativas entre los dos grupos en las secciones 3 y 5, lo cual tiene sentido según lo analizado en la figura 4.2.

Con respecto a los resultados cualitativos de las tablas 4.5 y 4.6 de la encuesta de percepción, se puede llegar a una respuesta común entre la mayoría de los encuestados. En la pregunta 1 las palabras con mayor frecuencia fueron “curiosidad” y “alegría”, con lo cual se establece que el robot le inspira a la mayoría de la población curiosidad y alegría.

De igual forma, para la pregunta 2 la palabra con mayor frecuencia fue máquina, es decir que el 52% de la población encuestada percibe al robot como una máquina, sin embargo, el porcentaje de personas que perciben al robot como compañero es del 48%, valor que es alto y no tiene una diferencia significativa en cuanto a la otra respuesta, como se ilustra en el gráfico de la figura 4.3. Para la pregunta 3, se realizó la unión de varias palabras, es decir se formó un segmento para que la respuesta fuera mejor comprendida, el segmento con mayor frecuencia a lo largo de las respuestas dadas es el “Reconocimiento de voz”, según la respuesta de la mayoría de personas, para que haya una interacción más cercana del robot con la persona, este, debe ser capaz de reconocer lo que el paciente o el terapeuta le dice. Sin embargo, las otras opciones no están tan alejadas del valor de frecuencia del segmento descrito (figura 4.3), estas opciones involucran el reconocimiento facial, la respuesta por nombre y el saludo, opciones que van enmarcadas dentro del reconocimiento de voz, ya que, si hay reconocimiento de voz, hay un saludo y por ende una respuesta por el nombre de la persona a la que se le ha reconocido la voz.

Por último, para la pregunta 4, la cual aborda los cambios que harían al robot, con una frecuencia de 32 dentro de las respuestas, los encuestados no creen necesario un cambio en el robot, seguido de involucrar animaciones y aumentar la estatura y el cambio de color (fig. 4.3).

5.2 Estudio a largo plazo de la implementación de un RAS en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat

En relación con los resultados obtenidos a partir del estudio a largo plazo de la implementación del RAS en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat, se observan las figuras 4.4 -4.9, las cuales muestran los resultados de mayor significancia en el estudio. La figura 4.4 muestra el porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje sagital del paciente 1 perteneciente al grupo control, se observa que en las primeras seis sesiones el porcentaje del tiempo de mala postura va aumentando, llegando a un valor pico del 30% de mala postura en el eje medido, por otro lado al implementar el robot en las sesiones de la 8 a la 14, se observa una disminución inmediata con respecto al porcentaje del tiempo de mala postura que tenía el paciente al no implementar robot en las sesiones. Este comportamiento es similar con 3 de los 4 pacientes del grupo control. La figura 4.5 muestra el porcentaje del tiempo de mala postura cervical en el eje sagital del paciente 4 perteneciente al grupo control, en esta gráfica se observa un comportamiento contrario al descrito anteriormente con 3 de los pacientes del grupo control, es decir hubo un aumento en el tiempo de mala postura al implementar robot en las sesiones, esto a la actividad de fuerza propuesta por el fisioterapeuta a lo largo de

dichas sesiones que para cumplirla el paciente al haber lesión medular utiliza como mecanismo de compensación de fuerza el movimiento del tórax y de la cabeza [73].

Por otro lado, el grupo intervención tuvo una postura adecuada en las primeras seis sesiones, las cuales fueron intervenidas por el robot, y posteriormente hubo un incremento en el porcentaje del tiempo de mala postura al no ser intervenidos por el robot, como se observa en la figura 4.6.

Analizando los resultados obtenidos de las posturas para cada paciente a lo largo del estudio mediante pruebas de hipótesis, se obtuvieron los valores de la tabla 4.7, los cuales muestran que en la postura cervical y torácica se rechaza la hipótesis nula, es decir se acepta la hipótesis alternativa la cual señala que existen diferencias significativas entre la postura al ser intervenida por el robot en los dos grupos, los valores se pueden corroborar gráficamente a través de la figura 4.8. Con todo esto, se puede decir que el robot asistió asertivamente la postura del paciente a lo largo del estudio a largo plazo.

5.3 Percepción de los pacientes frente a la implementación del RAS

Una vez los pacientes terminaron de realizar el estudio, se les aplicó una encuesta de percepción, la cual tiene como finalidad conocer que tanta aceptación tuvo el robot durante las terapias. Para analizar esto, es necesario, primeramente, evaluar la fiabilidad de la encuesta, la cual tuvo un valor de 0,64, lo cual sobre pasa el límite de aceptación que es 0.6, sin embargo, la encuesta podría mejorar, para estudios futuros. Teniendo el valor de la fiabilidad, otro punto para analizar son los resultados cuantitativos, los cuales a partir de la figura 4.10 se puede decir que hubo una gran aceptación por parte de los pacientes involucrados en el estudio, para 6 de las 7 categorías propuestas en el cuestionario. Se observa que la categoría con menor aceptación fue la presencia social, debido a que esta se enfoca a comparar al robot con un humano, algo que para la mayoría de personas no es aceptable ni lógico. [74]

Ahora bien, para la parte cualitativa de la encuesta, obtuvieron los resultados de frecuencia de palabras (tablas 4.8 y 4.19), a partir de la respuesta dada a la pregunta “¿Recomendaría usted, el uso del robot a otros pacientes que ingresen a terapias de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat?”, la palabra con mayor frecuencia fue “confiable”, seguida de la palabra “ayuda”, es decir los pacientes recomiendan al robot porque es confiable y preciso, el porcentaje de error es bajo, con lo cual los pacientes se sienten más seguros de su terapia asistida por el robot y por el personal de salud. Así mismo, se obtuvo la respuesta a la segunda pregunta, el segmento con mayor frecuencia en las respuestas fue un sinónimo de lo siguiente “Distanciar el tiempo de las preguntas”, debido a que los pacientes consideran, que el robot tiene un tiempo muy corto de espera entre una pregunta enfocada a la escala de Borg y otra, lo cual es un factor que se podría cambiar. Lo anterior se puede ver ilustrado en el gráfico de la figura 4.11, la palabra “confiable” de la pregunta 1, es representada por el 35%, seguida de la palabra “ayuda” con un 25%, y en cuanto a la pregunta 2 con un valor significativo del 65%, lo que se recomienda mejorar en la terapia asistida con el robot es aumentar el tiempo entre repeticiones del cuestionamiento de la escala de Borg.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

La discapacidad física, ha ido incrementando en los últimos años, lo cual genera que haya un número mayor de personas que necesiten de servicios de salud, como rehabilitación física y cognitiva. Debido al incremento de estas discapacidades, se ha empezado a implementar robótica de asistencia social en las áreas de salud, esto con el fin de apoyar las actividades del fisioterapeuta y brindar al paciente una recuperación con una confiabilidad mayor es decir con un nivel de éxito mayor.

Con el propósito de evaluar el impacto que tiene la implementación del robot social de asistencia en las terapias de rehabilitación de marcha, con la ayuda de diferentes dispositivos que medirán diferentes variables fisiológicas y cognitivas con el fin de monitorear la actividad realizada por el paciente y posteriormente realizar correcciones que apoyen al psicoterapeuta en su rol, reduciendo el número de tareas y ofreciendo una atención más completa al paciente.

En este orden de ideas, se desarrolló el estudio a largo plazo de la interfaz propuesta en el ambiente clínico llevada a cabo en el centro de rehabilitación Mobility Group con el objetivo de: implementar la interfaz desarrollada, y procesar los datos obtenidos de cada una de las variables, para así observar el impacto que tiene el robot a lo largo del estudio.

De esta manera, se comenzó el estudio a largo plazo, el cual finalizó con 6 pacientes. Al analizar los eventos posturales con y sin asistencia del robot se observaron diferencias significativas al implementar el robot en cuanto a la variable postural, es decir el porcentaje del tiempo de mala postura disminuyó en el 66.6% de los pacientes involucrados al implementar el robot en las sesiones, sin embargo en el 33.3% de los pacientes se observó un porcentaje del tiempo de mala postura mayor al ser intervenidos por el robot, esto debido a la patología del paciente y al mecanismo de compensación de fuerza que realiza para poder cumplir con la actividad propuesta por el. Además, se pudo conocer la percepción que tuvieron cada uno de los pacientes que finalizaron el estudio frente a la implementación del robot en sus terapias de rehabilitación, siendo aceptada por más del 60% de los pacientes. Estos resultados fueron de gran importancia para conocer la aceptación del robot en las terapias por parte del grupo trabajado.

Al realizar el estudio de percepción por parte de profesionales en el área de la salud y pacientes que no ha involucrado en sus terapias RAS, los resultados fueron prometedores, debido a que la robótica de asistencia social fue aceptada por más del 60% de la población encuestada, la cual al realizar un análisis dividiendo la muestra total en dos grupos (pacientes y clínicos), el grupo de clínicos, inclinó su aceptación hacia la categoría de expectativa de desempeño y dimensiones que van enfocadas en el apoyo del robot hacia la profesión. Por otro lado, los pacientes tuvieron una aceptación mayor en las dimensiones de recreación y percepción social, enfocados en la interacción con el robot. Concluyendo que la robótica de asistencia social, satisface las necesidades de la población enfoque en cuanto al apoyo en la profesión y en las terapias de rehabilitación física.

Como conclusión general, la robótica de asistencia social permite un apoyo confiable en la profesión, debido al sistema de sensores que se pueden incluir en la interfaz, además de ser una herramienta de interacción y motivación en la terapia de rehabilitación .

Capítulo 7

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Recomendaciones

A lo largo del tiempo en el que se desarrolló el proyecto, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de las encuestas de percepción, para que los resultados tengan un mayor impacto, es recomendable que los pacientes involucrados en el estudio tengan un plan de trabajo similar entre sí, de manera que las actividades propuestas por el fisioterapeuta a lo largo de las sesiones, no afecten el estudio realizado. Teniendo en cuenta las respuestas obtenidas a partir de las encuestas de percepción, es recomendable que el robot pueda tener un reconocimiento de voz para así personalizar las terapias de rehabilitación a cada paciente y de esta manera aumentar más la interacción del robot con el paciente. Como recomendación adicional, sería interesante la implementación de diferentes sensores que puedan medir la activación muscular que tienen los pacientes a lo largo de las sesiones.

Trabajos futuros

De acuerdo a lo anterior se propone como trabajo futuro, la implementación de un robot de asistencia social en rehabilitación pediátrica de marcha asistida por Lokomat, para determinar la percepción frente a la RAS en pacientes pediátricos. Además de involucrar sensores de electromiografía a parte de los sensores involucrados en el presente estudio, para realizar mediciones a nivel muscular, teniendo en cuenta la activación muscular que surge durante la terapia de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat y de esta manera estudiar el efecto que tiene a largo plazo el implementar tecnología de asistencia como Lokomat en rehabilitación de marcha a nivel muscular, valores que serán realimentados por medio del RAS en cada una de las sesiones y que son de gran importancia tanto para el paciente como para el fisioterapeuta debido a que son variables que no pueden ser medidas sin un dispositivo electrónico y que dan bastante información para que el fisioterapeuta tenga en cuenta y pueda definir objetivos de terapia más confiables de manera que la terapia sea óptima.

Bibliografía

- [1] OMS, *Discapacidades*. Disponible en <https://www.who.int/topics/disabilities/es/>, 2010.
- [2] M. de Salud, *Sala situacional de Personas con Discapacidad (PCD) Nacional*, Colombia, 2016.
- [3] D. A.N.E, *Personas con limitaciones permanentes.*, Colombia, 2012.
- [4] M. de salud de Colombia, *Salud, ABECÉ de la discapacidad*. disponible en <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/abece-de-la-discapacidad.pdf>, Colombia, 2017.
- [5] Departamento de rehabilitación de Colombia, *Decreto 3827-E-TBS-SPPS, Declaración de la Semana Nacional de la Rehabilitación la Educación Especial*. disponible en <http://www.cnree.go.cr/en/biblioteca-legislacion/decreto-3827-e-tbs-spps-declaracion-de-la-semananacional-de-la-rehabilitacion-y-la-educa.html>, Colombia, 2011.
- [6] A. Swinnen, *The motivation, expectations, and usability of a driven gait orthosis in stroke patients and their therapists.*, 2016.
- [7] J. Collado, *El fisioterapeuta y las nuevas tecnologías*, Universidad Alfonso X el sabio, Facultad de ciencias de la salud., 2011.
- [8] J. Ramedez, *Conceptos básicos en rehabilitación*. Revista de discapacidad y rehabilitación, 2009.
- [9] M. Costa, *Estrategia pico para la construcción de la pregunta de investigación y la búsqueda de evidencias*. disponible en <http://www.scielo.br/pdf/> , 2007.
- [10] N. Céspedes, *Integración de robots de asistencia social en sesiones de rehabilitación y entrenamiento físico*, Bogotá, 2017.
- [11] M. Bautista, *Prueba piloto integración de un robot social de asistencia en rehabilitación de marcha asistida por Lokomat*, Bogotá, 2017.
- [12] Marieb, E. N., *Human Anatomy Physiology*, 2001.
- [13] Calabro, R., De Cola, M., Leo, A., Reitano, S., Balletta, T., Trombetta, G., Naro, A., Russo, M., Berte, F., De Luca, R., Bra- manti, P., *Robotic neurorehabilitation in patients with chronic stroke: psychological well-being beyond motor improvement*, 2015.
- [14] Vircikova, M., Sincak, P., *Experience with the children- humanoid interaction in rehabilitation therapy for spinal disorders*, 2013.
- [15] Martin, *Fases de la marcha humana*. Revista scielo, 2008.
- [16] M. Ramos, *Marcha humana*, disponible en <https://www.slideshare.net/MaycoRamos/marcha-humana-62368814>, 2016.
- [17] Ministerio de salud, *Guía de Práctica Clínica para el diagnóstico, tratamiento y rehabilitación del episodio agudo del Ataque Cerebrovascular Isquémico en población mayor de 18 años*. disponible en http://gpc.minsalud.gov.co/gpc_sites/Repositorio/Conv_637/GPC_acv/GPC_ACVersion_Final_Completa.pdf, Colombia, 2015.
- [18] Organización mundial de la salud, *Accidente cerebrovascular*. disponible en <https://www.who.int/topics/cerebrovascu.pdf>, 2019.

- [19] Verma, *Understanding gait control in post-stroke: Implications for management*. Journal of Bodywork y Movement Therapies, 2012.
- [20] Quintero, *Alteración de la marcha tras Accidente Cerebrovascular ¿facilitar o habilitar?* disponible en <http://www.hablemosdeneurociencia.com/alteracion-la-marcha-tras-accidente-cerebrovascular/>, 2018.
- [21] Beyaert, *Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies*. Neurophysiologie Clinique, 2015.
- [22] OMS, *Lesiones de la médula espinal: perspectivas internacionales*. Organización Mundial d Organización Munnernational Spinal Cord Society, 2014.
- [23] H. N. de Paraplégicos, *Lesiones de la médular espinal*. Hospital Nacional de Paraplégicos, 2019.
- [24] D. V. vanHedel HJ, *Rehabilitation of locomotion after spinal cord injury*. RestorNeu-rolNeurosci, 2010.
- [25] L. VanHiel, *Lesión de la médular espinal y rehabilitación de la marcha*. Model Systems Knowledge Translation Center de la Universidad de Washington., 2011.
- [26] H. Feys, *Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: A single-blind, randomised, controlled multicentre trial*. disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9550512>, 1998.
- [27] Ehrenberg, *Fundamentos de la fisioterapia*. Congreso VI de Fisioterapia, 2007.
- [28] J. Martínez, *Principios de fisioterapia en osteoporosis*. Revista de fisioterapia volumen 4, 2005.
- [29] A. J. Ruiz F Matallana MA, *Recursos Humanos de la salud en Colombia. Balance, competencias y prospectiva*. Bogotá. Minsalud, Javegraf, 2008.
- [30] L. Giovanella, *Sistemas de Salud en Suramérica: Desafíos para la universalidad, la integralidad y la equidad/Instituto Suramericano de Gobierno en Salud*. disponible en <http://isags-unasur.org/es/sistema-de-salud-en-colombia/>, 2012.
- [31] P. RE, *La carga de enfermedad en Colombia*. Foro sobre Sistema de Salud, Bogotá, Colombia: Pontificia universidad Javeriana, 2011.
- [32] A. Cerda, *Evaluación del paciente con trastorno de la marcha*. Revista Hospital Clínico Universidad de Chile, 2010.
- [33] Reyes, *Facultad de ciencias médicas, estudio de caso a paciente con parálisis cerebral que asiste al hospital de niños*. disponible en <http://repositorio.ucsg.edu.ecT-UCSG- PRE-MED-TERA-55.pdf>, 2010.
- [34] C. S. Medina, *Ejercicios de fisioterapia*. Federación española para la lucha contra la esclerosis múltiple, 2007.
- [35] Gago, *Programa de fisioterapia mejora a largo plazo las habilidades motoras en pacientes con enfermedad de Parkinson*. Revista iberoamericana de rehabilitación, 2008.
- [36] I. E. Andras Toth, *Robots para los pacientes*. Revista ABB3, 2006.
- [37] O. P. D. L. SALUD, *MEDICINA FISICA Y REHABILITACION*. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD, 1970.
- [38] A. Castillo, *Programa de ejercicios en personas con alteración de la marcha que presentan sarcopenia-revisión de artículos*. disponible en <https://www.efisioterapia.net/articulos/programa-ejercicios-personas-alteracion-la-marcha-que->

presentan-sarcopenia-revision-articu, 2010.

- [39] F. R. Salmerón, *Guía básica de fisioterapia educativa*. Región de Murcia, consejería de educación y universidades, 2014.
- [40] S. Verdú, *FisioBCN incorpora la última tecnología en fisioterapia para la recuperación deportiva*. disponible en <https://www.comunicae.es/nota/fisioBCN-incorpora-la-ultima-tecnologia-en-1120336/>, Chile, 2015.
- [41] D. Suarez. L. Sanchez, *Innovaciones tecnológicas en rehabilitación infantil y juvenil*. disponible en <https://www.rehabilitacionintegral.cl.pdf> , 2010.
- [42] H. Lokomat, *Sistema de rehabilitación marcha robotizado, Lokomat*. disponible en <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/?variation=LokomatProproduct>, 2017.
- [43] J. Castañeda. G. Carrera, *Efecto de la fisioterapia en un paciente con neurofibromatosis tipo II. Reporte de un caso*. disponible en <https://doi.org/10.20453/rmh.v29i2.3351>, 2018.
- [44] Loeza, *Introducción a la rehabilitación robótica para el tratamiento de la enfermedad vascular cerebral, Revista Mexicana de medicina física y rehabilitación.*, 2015.
- [45] CENETEC, *Guía de referencia rápida: rehabilitación de adultos con enfermedad vascular cerebral*. Catálogo Maestro de Guías Clínicas. México: DIF-331-09, 2011.
- [46] H. Geriatricare, *Las ventajas de la terapia rehabilitadora con robot*. Geriatricarea, 2017.
- [47] N. Gebruers, *Monitoring of physical activity after stroke: a systematic review of accelerometry-based measures*. Arch Phys Med Rehabilitation., 2010.
- [48] R. Duncan, *Management of adult stroke rehabilitation care: a clinical practice guideline*. Stroke, 2005.
- [49] J. Daviet, *Rééducation des accidents vasculaires cérébraux. Bilan et prise en charge*. Kinésithérapie-Médecine physique Réadaptation, 2002.
- [50] S. Salle, *Technique de rééducation neuromusculaire e appliquées à l'accidenté vasculaire cérébral adulte*. Kinésithérapie-Médecine physique Réadaptation, 2002.
- [51] A. Mayr, *Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis*. Neurorehabil Neural Repair, 2007.
- [52] R. Newport, *The benefits of robot-assisted rehabilitation on the recovery of motor and visuospatial function in individuals recovering from stroke*. ELSEVIER, 2019.
- [53] Buschfort, *Arm studio to intensify upper limb rehabilitation after stroke: concept, acceptance, utilization and preliminary clinical results.*, 2010.
- [54] M. News, *Robotic therapy helps stroke patients regain function*. disponible en <http://depts.washington.edu/givemed/magazine/2011/03/robotics-and-rehab/>, 2011.
- [55] P. Nuñez, *Robots Sociales para la mejora de la calidad de vida de las personas dependientes.*, 2011.
- [56] P. Chacon, *Robots humanoides para sorprender y encantar a grandes y pequeños*, disponible en <https://www.juguetronica.com/blog/robots-humanoides/>, 2010.
- [57] S. Bank, *Nao el robot humanoide*. <https://www.softbankrobotics.com/emea/index.php/en/nao>, 2018.
- [58] M. Mokhtari, *Integration of assistive technology in the information*. 7th International

Conference on Rehabilitation Robotics, 2001.

- [59] C. M. Castaño, *Aplicación de la terapia robótica para el tratamiento de la mano espástica del adulto con hemiplejía. Artículo de revisión.* Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación, 2015.
- [60] Calderita, *Asistente Robótico Socialmente Interactivo para Terapias de Rehabilitación Motriz*, Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial., 2014.
- [61] S. G. Lago, *Reeducación de la marcha en pacientes postictus mediante Lokomat y tapiz rodante.* Universidad da Coruña, 2015.
- [62] Hesse, *Treadmill training with partial body weight support compared with physiotherapy in nonambulatory hemiparetic patients.*, 2006.
- [63] A. Acosta, *Eficacia de la neurorrehabilitación de miembro torácico mediante terapia robótica en enfermedad vascular cerebral.* disponible en <https://www.medigraphic.com/pdfs/fisica.pdf>, 2015.
- [64] Lopez, *Alteraciones de la marcha.* disponible en <http://www.rehabilitacion-equino/alteracionesdelamarcha.pdf>, 2015.
- [65] S. Robotics, *Social robotics in long-term therapies.* <https://robotics.sciencemag.org/>, 2016.
- [66] C. A. Parra, *Derechos humanos y discapacidad (Universidad del rosario).*, 2009.
- [67] C. murillo, *Variables fisiológicas.* disponible en <https://es.slideshare.net/omarig/variables-fisiologicas>, 2015.
- [68] S. M. González, *Comparación de Variables Fisiológicas Entre Diferentes Tipos de Practicantes de Ciclismo Indoor (CI).* Kronos. disponible en <https://g-se.com/comparacion-de-variables-fisiologicas-entre-diferentes-tipos-de-practicantes-de-ciclismo-indoor-ci-2428-sa-65b4d42f12578f>, 2018.
- [69] V. M. Alfonso, *Fundación española del corazón.* disponible en <https://fundaciondelcorazon.com/frecuencia-cardiaca.html>, 2015.
- [70] J. P. P. y María Merino, *Postura corporal.* <https://definicion.de/postura-corporal/>, 2014.
- [71] J. Daza, *Evaluación clínico funcional del movimiento corporal humano.* Revista panamericana, bogotá, 2007.
- [72] G. BORG, *Las bases psicofísicas del esfuerzo percibido.* Psychophysical bases of perceived exertion, 2012.
- [73] G. A. S. Jhon E. Freund, *Estadística Elemental.* Pearson, Prentice Hall, 1994.
- [74] A. Industries, *Adafruit BNO055 Absolute Orientation Sensor.* disponible en <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-bno055-absolute-orientation-sensor.pdf>, 2019.
- [75] V. H. Cervantes, *Interpretaciones del coeficiente alpha de Cronbach.* Universidad Nacional de Colombia, 2005
- [76] G. A. S. Jhon E. Freund, *Estadística Elemental.* Pearson, Prentice Hall, 1994.
- [77] Math Works, *Función de membresía Gaussiana.* The Math Works Inc., 2019.
- [78] A. Hidalgo M. *The therapeutic rehabilitation for paraplegic patients: Impact from the technologies.* Podium review., 2017.

- [79] M. A. R. Dávila, *Técnicas Estadísticas Paramétricas y No Paramétricas Equivalentes: Resultados Comparativos Por Simulación*. disponible en <http://www.iuma.ulpgc.es/nunez/mastertecnologiatelecomunicacion/RecursosGenerales/TesisEstadisticaParametricaNoParametrica>. 2003.
- [80] A. Kraus, *Robots y seres humanos*, El universal, 2019.
- [81] M. Balestrini, *Metodología de la investigación*, 2006.
- [82] M. Gómez, *Introducción a la metodología de la investigación científica: Diseño experimental*, Editorial Brujas, 2009.
- [83] Daza, J., *Examen de la marcha humana. En: Evaluación clínico funcional del movimiento corporal humano*, 2007.
- [84] Claus, M Pozzo, *Aspectos clínicos de las fracturas por stress*, disponible en http://osteologia.org.ar/files/pdf/rid49_hermberg.pdf, Hospital Alemán, Buenos Aires Argentina, 2016.
- [85] Morawietz, F., *Effects of locomotor training after incomplete spinal cord injury: a systematic review*, 2013.
- [86] OPS, *Tipos de estudio (diseños de investigación)*, Centro Cochrane Iberoamericano, disponible en <http://www1.paho.org/hq/dmdocuments/2010/Tipos-de-Estudio-Disenos-OPS-2.pdf>
- [87] Lara, A., *Evaluación experimental del dispositivo LRF Hokuyo URG- 04LX- UG01*, 2015
- [88] I. Lucero and S. Meza, *Validación de instrumentos para medir conocimientos*, Departamento de Física - Facultad de CC. Exactas y Naturales y Agrimensura, UNNE, Argentina, 2002. Disponible en www1.unne.edu.ar/cyt/2002/09-Educacion/D027.pdf
- [89] G, Delgado, A. Prieto, *Fiabilidad y Validez*, Papeles del Psicólogo, vol. 31, no. 1, pp. 67-74, 2010.
- [90] D. Pájaro, *Formulación de hipótesis*, Universidad de Chile, 2002, disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/101/10101506.pdf>
- [91] W, Rincón, *Preguntas abiertas en encuestas ¿cómo realizar su análisis?*, Universidad Santo Tomás, 2014, disponible en <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/estadistica/article/viewFile/1480/1653>

ANEXO 1

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos.

Manifiesto mi intención de participar de manera voluntaria en este estudio de investigación.

Fecha: _____

Firma del Participante

Testigo

Esta parte debe ser completada por el investigador (o su representante):

He explicado al Sr(a). _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apego a ella.

Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

Fecha: _____

Firma del Investigador (o su representante)

CESIÓN DERECHOS DE IMAGEN PARA MAYORES DE EDAD

Yo, _____ mayor de edad identificado con la
cédula de ciudadanía No. _____ de _____ en
pleno uso de mis facultades mentales autorizo a
_____ para que use mi:

- Nombre
- Imagen
- Declaraciones Testimoniales
- Retrato Fotográfico
- Fotografías
- Frases
- Otro. ¿Cuál? _____

Con el fin de realizar actividades publicitarias, académicas o de investigación por parte de _____, podrán ser emitidas, reproducidas y publicadas tanto en medios impresos como electrónicos.

Manifiesto que esta autorización la otorgo de carácter gratuito, por lo que entiendo que no recibiré ningún tipo de compensación, bonificación o pago de ninguna naturaleza.

Reconozco además que no existe ninguna expectativa sobre los eventuales efectos económicos de la divulgación, o sobre el tipo de actividad que pueda realizarse sobre las imágenes tomadas.

Fecha: _____

Actividad: _____

Nombre: _____

Firma: _____

ANEXO 2

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito Mobility Group – Centro de rehabilitación

Proyecto de investigación: Protocolo 1: Estudio de la percepción robótica social para la rehabilitación de marcha asistida con Lokomat personalizada.

Fecha: Nombre:

CC:

Edad:

Género: M _ F _

Nivel educativo: Primaria _ Bachiller _ Pregrado _ Posgrado _

El siguiente cuestionario pretende evaluar cinco conceptos claves de la percepción robótica social enfocada a la rehabilitación de marcha asistida por Lokomat.

Todas las preguntas deben ser contestadas en la hoja de puntuaciones ubicada en cada numeral, la puntuación varía de 1 a 5.

1	Totalmente desacuerdo	2	En desacuerdo	3	Neutral	4	De acuerdo	5	Totalmente de acuerdo
---	-----------------------	---	---------------	---	---------	---	------------	---	-----------------------

Pregunta		Puntuación				
		1	2	3	4	5
1	Considero que fue conveniente utilizar el robot durante las terapias.					
2	Considero que mi interacción con el robot fue cómoda.					
3	Me gustó que el robot me haya brindado reconocimientos verbales cuando realicé un buen trabajo.					
4	Estoy satisfecho con el trabajo que realizó el robot.					
5	Considero que el robot se adapta a mis necesidades.					
6	Considero que la interacción con el robot fue beneficiosa para mi recuperación.					
7	Considero que el trabajo del robot fue importante para el desarrollo de las terapias.					
8	Pienso que el uso del robot me ayudó a comprometerme a realizar un buen trabajo.					

9	Me sentí seguro al momento de realizar la terapia con el robot.					
10	Considero que fue sencillo brindarle información al robot.					
11	Considero que el robot es fácil de usar.					
12	Considero que el uso del robot no afectó el tiempo de desarrollo de las sesiones de terapia.					
13	Considero que las instrucciones del robot fueron claras.					
14	El robot me generó confianza.					
15	Realicé las instrucciones que me dijo el robot porque confié en él					
16	Me gustó utilizar el robot durante las terapias.					
17	Me generó confianza que un robot guiara mi terapia.					
18	Considero que el robot es un agradable compañero de conversación.					
19	Considero que es agradable interactuar con el robot.					
20	Siento que el robot me entiende.					
21	Considero que el robot es agradable.					
22	Cuando interactúo con el robot siento que estoy hablando con una persona.					
23	Puedo imaginar que el robot sea una criatura viviente.					
24	A veces sentía como si el robot realmente me estuviera mirando.					
25	Normalmente pienso que el robot no es una persona real.					
26	A veces parece como si el robot tuviera sentimientos.					

Preguntas Abiertas:

1. ¿Recomendaría usted el uso del robot a otros pacientes que ingresen al programa de rehabilitación de marcha asistida por Lokomat? SI _____ NO __¿Por qué?
2. Según su experiencia, ¿Cómo podríamos mejorar la terapia asistida por el robot?

ANEXO 3

EVALUACIÓN ROBÓTICA SOCIAL

El siguiente cuestionario pretende evaluar a partir de seis conceptos la percepción de la robótica social enfocada en rehabilitación neurológica. Este cuestionario está orientado a terapeutas, fisiatras y pacientes que no hayan sido asistidos o apoyados por un robot social durante los procesos de rehabilitación.

Previamente a la realización de la encuesta, los participantes que respondan este cuestionario deben ver el video que se encuentra adjunto, esto con el objetivo de conocer preliminarmente el funcionamiento del robot durante la terapia.

Si el encuestado es menor de 18 años, será el padre/madre o tutor legal quien llene completamente el cuestionario.

Así mismo es de suma importancia leer la siguiente introducción con el fin que todos los encuestados posean la misma información acerca del robot, su funcionamiento y el propósito de este tipo de terapia.

INTRODUCCIÓN.

La rehabilitación neurológica es un proceso activo y dinámico en el cual se ayuda a la persona a adquirir conocimiento y habilidades con el fin de maximizar su funcionalidad física y mental. Esta estrategia tiene como propósito evaluar, controlar y supervisar el progreso del paciente usando herramientas como la actividad física, la psicología, educación entre otros, logrando un enfoque integral. En el ámbito de la rehabilitación neurológica, actualmente se están desarrollando nuevas tecnologías que pueden aportar positivamente a las terapias, entre las que se encuentra la robótica de asistencia social (RAS).

El uso de robots en rehabilitación ha mostrado que puede influenciar influir positivamente en la motivación, el acompañamiento y el entrenamiento de los pacientes durante los procedimientos terapéuticos, por esta razón este proyecto está orientado a la evaluación de rutinas convencionales de rehabilitación neurológica por medio de la integración de un agente robótico.

El sistema robótico cuenta con sensores que proporcionan los valores de las variables utilizadas por los terapeutas en la medición del progreso de los pacientes, tales como:

- Parámetros cardiopulmonares: frecuencia cardiaca durante el ejercicio.
- Parámetros espaciotemporales de la marcha: cadencia, longitud de paso, velocidad.
- Parámetros subjetivos de la intensidad de la actividad físico: Escala de Borg(BS)
- Parámetros espaciotemporales de la marcha
- Parámetros posturales: Postura espinal (torácica y cervical).

El presente cuestionario trata sobre la percepción a priori de la presencia y la interacción con un robot durante terapias de rehabilitación, mediante la evaluación del siguiente cuestionario, el cual pretende evaluar cinco conceptos claves de la percepción de la robótica social enfocada a la rehabilitación cardiaca. Todas las preguntas deben ser contestadas en la hoja de puntuaciones ubicada en cada numeral, indicando si está de acuerdo o no con la

afirmación presentada mediante una puntuación de 1 a 5, donde:

- 1: Totalmente desacuerdo
- 2: En desacuerdo
- 3: Neutral
- 4: De acuerdo
- 5: Totalmente de acuerdo

1.Fecha:

2. Género:

3.Edad:

4.¿Es usted acudiente de un menor de 18 años?

Si__ No__

5.Nivel educativo

Primaria__ Educación secundaria__ Universitario__ Formación profesional__ Ninguno

6.Por favor seleccione una opción de acuerdo a su profesión

Terapeuta__Fisioterapeuta__Medico rehabilitador__Otras profesiones de la medicina__Otras profesiones__

		Puntuación				
		1	2	3	4	5
-	Factor Psicológico					
1	Tengo miedo de dañar el robot					
2	El robot genera confianza					
3	Es cómodo realizar la sesión mientras el robot trabaja					
4	Utilizar el robot genera estrés					
5	Es incómodo que el robot exprese emociones					
6	El robot aumenta la concentración en la terapia					
7	Causa paranoia que el robot hable.					
8	Me siento más seguro con el robot.					
-	Percepción social					
9	Es más interesante el proceso de rehabilitación con el robot					
10	Es agradable interactuar con el robot					
11	Es adecuado que el robot utilice información personal					
12	Utilizar el robot produce satisfacción					
13	Las instrucciones que da el robot son					

	de alta relevancia					
-	Nivel de recreación					
14	La terapia con el robot se disfruta más					
15	La terapia se vuelve aburrida con el robot					
16	Seguir las instrucciones del robot es divertido					
17	La compañía del robot hace la terapia más amena					
-	Expectativa de esfuerzo					
18	Seguir las instrucciones del robot es difícil					
19	La terapia mejora con el robot					
20	Se puede utilizar el robot sin ayuda					
21	Usar el robot es fácil					
22	Se aprende rápidamente a usar el robot					
-	Expectativa de desempeño					
23	El robot es útil en el proceso de rehabilitación					
24	El robot ayuda a mejorar la fatiga					
25	El robot hace más rápida la terapia					
26	La presencia del robot es motivadora					
27	La presencia del robot hace que sea más constante la					
28	A medida que se usa el robot se vuelve cotidiano					
29	Es conveniente usar el robot					
30	El robot motiva a corregir los errores cometidos en la					
31	El robot causa que la sesión de rehabilitación se demore más					
-	Condiciones facilitadoras					
32	Considera que debe tener un entrenamiento previo					
33	Considera que el robot puede ser difícil de controlar					
34	Considera que el robot se puede adaptar a cualquier					
35	Considera que el robot puede ayudar a diferentes pacientes con distintas patologías					
36	Le gustaría que el robot redujera las tareas que realiza en					

Preguntas abiertas:

1. ¿Qué le inspira el robot?
2. ¿Cómo percibe al robot?
3. ¿Qué tipo de interacciones o gestos debería tener un robot para una interacción más cercana?
4. ¿Qué cambios físicos le haría al robot?