



Simulador para el guiado de una silla de ruedas virtual en Unity 3D a través de señales EMG mediante el brazalete gForce

Jesús Alexander Rodríguez Guerrero

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Popayán, Colombia

2021

Simulador para el guiado de una silla de ruedas virtual en Unity 3D a través de señales EMG mediante el brazalete gForce

Jesús Alexander Rodríguez Guerrero

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Biomédico

Director (a):

Ph.D., Cesar Augusto Quinayás Burgos

Línea de Investigación:

Ingeniería de rehabilitación

Grupo de Investigación:

Bioingeniería

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Popayán, Colombia

2021

(Dedicatoria)

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional.

A mi familia por compartir conmigo sus experiencias.

A mis amigos, compañeros de estudio y profesores por aportar su conocimiento a mi formación académica.

Y a mi novia por su compañía y motivación.

Con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo, dedicación y trabajo puesto para la realización de esta tesis.

Jesús Alexander Rodríguez Guerrero

“Una inversión en el conocimiento siempre paga el mejor interés “

Benjamín Franklin

Agradecimientos

A mi madre Guadalupe Guerrero Piscal y mi padre Jesús Alfredo Rodríguez Ponce, quienes me apoyaron en la parte moral y económica para alcanzar mis anhelos.

A mi tutor, Cesar Augusto Quinayás Burgos por brindarme la idea y guiarme en la realización de este trabajo de grado.

A Juan Carlos Cuasquen Pantoja, por el entusiasmo y la asesoría en Unity 3D.

A Daiana Lucia Jacqueline Barreto por sus aportes en ideas de redacción, motivación e impulso para alcanzar mis metas.

Resumen

La adaptación de una persona que presenta movilidad reducida a la silla de ruedas es un proceso complejo en el que inciden diferentes factores, como el estado de ánimo, y el hecho de enfrentarse al entorno utilizando un objeto ajeno a su cuerpo, lo que, sumado a la falta de la debida preparación previa puede ocasionar accidentes.

Pese a lo anterior y a los avances tecnológicos actuales no existe un mecanismo de amplia difusión que facilite a una persona que presenta movilidad reducida la adaptación a la silla de ruedas que va a utilizar, y a mejorar la curva de aprendizaje optimizando la relación con el entorno.

Considerando lo anterior, el proyecto pretende la creación de un sistema de entrenamiento virtual basado en videojuegos serios para la rehabilitación, con el objetivo de que la persona que presenta movilidad reducida pueda adaptarse y controlar de la mejor manera la silla que posteriormente va a manipular en su día a día. Esto permite obtener como resultado que la persona mediante un sistema incorporado en un brazalete mioeléctrico mueva la silla en la dirección que desee iniciando en un entorno virtual para extrapolarlo posteriormente en el entorno real.

Palabras Clave: Unity 3D, simulador, videojuegos, silla de ruedas, asistencia, entorno.

Abstract

The adaptation of a person with reduced mobility to a wheelchair is a complex process that involves different factors, such as the state of mind, and the fact of facing the environment using an object foreign to his body, which, added to the lack of proper prior preparation can cause accidents.

Despite the above and the current technological advances, there is no widely available mechanism to help a person with reduced mobility to adapt to the wheelchair he/she is going to use, and to improve the learning curve by optimizing the relationship with the environment.

Considering the above, the project aims to create a virtual training system based on serious video games for rehabilitation, so that the person with reduced mobility can adapt and control in the best way the chair that later will manipulate in their daily life. This allows to obtain as a result that the person by means of a system incorporated in a myoelectric bracelet moves the chair in the direction, he/she wants starting in a virtual environment to extrapolate it later in the real environment.

Keywords: Unity 3D, simulator, video games, wheelchair, assistance, environment

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIV
Lista de tablas	XVI
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVII
Introducción	1
1. Planteamiento del problema	5
1.1 Justificación	7
1.2 Objetivos.....	9
1.2.1 Objetivo general	9
1.2.2 Objetivos específicos	9
2. Marco teórico	11
2.1 Discapacidad	11
2.1.1 Discapacidad física	11
2.1.2 Discapacidad sensorial	11
2.1.3 Discapacidad psíquica	12
2.2 Diferencias entre minusvalía y movilidad reducida.....	12
2.3 Términos Adecuados para Referirnos a Personas con Discapacidad	13
2.4 Accesibilidad.....	13
2.5 Movilidad reducida.....	13
2.5.1 Persona con movilidad reducida (PMR)	14
2.6 Tipos de sillas para personas con movilidad reducida	15
2.6.1 Sistemas dependientes	16
2.6.2 Silla de transporte	16
2.6.3 Sillas de posicionamiento	16
2.6.4 Sistemas de autopropulsión	16
2.6.5 Sillas plegables tradicionales o estándar (ortopédicas)	16
2.6.6 Sillas activas	16
2.6.7 Sillas deportivas	17
2.6.8 Sistemas motorizados	17
2.6.9 Silla de ruedas eléctrica	17
2.7 Silla de ruedas inteligente	21
2.8 Electromiografía.....	22
2.9 Trastornos motores del miembro inferior.....	23
2.10 Tecnologías de la información y la comunicación (TICs)	24
2.11 Plataformas interactivas.....	25

2.12	Desarrollo de plataformas para crear videojuegos.....	25
2.13	Unity 3D	25
2.13.1	Características.....	26
2.13.2	Interfaz de usuario	26
2.13.3	Animation clips.....	27
2.14	Sistemas de interacción	28
2.14.1	La interfaz.....	28
2.14.2	El controlador	28
2.15	gForce 200 Armband.....	29
2.16	Anatomía y enumeración estandarizada del brazalete gForce	30
3.	Estado del arte	33
3.1	Implementación de un sistema de clasificación de gestos del brazo humano utilizando Myo Armband para mando a distancia de un brazo robótico 3GDL.....	34
3.2	Realidad virtual como tecnología asistencial a deportistas con movilidad reducida en silla de ruedas	35
3.3	Comparación de sistemas de control de sillas de ruedas eléctricas en un entorno virtual.....	36
3.4	Capacitación de la navegación en silla de ruedas en entornos virtuales inmersivos para pacientes con lesión de la médula espinal: información del usuario final para diseñar un sistema eficaz	37
3.5	Simuladores de sillas de ruedas basados en realidad virtual: una revisión de scoping	38
3.6	Diseño centrado en el usuario de un simulador de silla de ruedas de potencia multisensorial: hacia aplicaciones de entrenamiento y rehabilitación	39
3.7	Uso de la realidad virtual para experimentar diferentes configuraciones de sillas de ruedas motorizadas.....	40
3.8	La implementación y validación de un entorno virtual para la formación de maniobras de sillas de ruedas impulsadas.....	41
3.9	Un entorno mixto de formación en sillas de ruedas de realidad.....	42
3.10	Desarrollo y prueba piloto de un sistema de realidad virtual para simulación de sillas de ruedas eléctricas	43
4.	Desarrollo metodológico.....	44
4.1	Planeación de la metodología	45
4.1.1	Primera fase: Revisión de antecedentes.....	45
4.1.2	Segunda Fase: Adaptación del entorno virtual.....	45
4.1.3	Tercera fase: Desarrollo del prototipo	46
4.1.4	Cuarta fase: Comunicación de Software con Hardware	46
4.1.5	Quinta fase: Validación del sistema	46
4.2	Hardware integrados al entorno de simulación	47
4.2.1	gForce 200 Armband	47
4.2.2	gForce Joint.....	51
4.3	Softwares incorporados en el desarrollo del entorno virtual.....	53
4.3.1	ArduinoIDE.....	53
4.3.3	Unity 3D	54
4.3.1	Parámetros establecidos para el modelo de locomoción de la silla.....	57
4.4	Interfaz de inicio e interfaz de resultados.....	59
4.5	Protocolo de adquisición de señales mioeléctricas (sEMG).....	61
4.6	Implementación del sistema	62

4.6.1	Protocolo de conexión del brazalete gForce para el inicio de interacción con el entorno virtual	62
4.6.2	Escenario de pruebas	63
4.6.3	Procedimiento para la conducción de la silla e interacción con el entorno virtual	65
5.	Análisis y resultados.....	67
5.1	Encuesta de satisfacción del entorno de simulación basado en videojuegos.....	¡Error! Marcador no definido.
5.2	Datos evaluados en la trayectoria	69
6.	Conclusiones y recomendaciones.....	86
6.1	Conclusiones	86
6.2	Recomendaciones	88
A.	Anexo: Datos personales	89
B.	Anexo: Evaluación del sistema	91
	Bibliografía	93

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Símbolo internacional de accesibilidad.	14
Figura 2-2: Partes de una silla de ruedas eléctrica.	15
Figura 2-3: Diferentes modelos de sillas eléctricas.	18
Figura 2-4: Diseños de silla bipedestadoras.	19
Figura 2-5: a) Motor estándar, b) Motor de buje, c) Parte interior de motor sin escobillas.	20
Figura 2-6: Dispositivo de control a) Integral y b) Modular.	21
Figura 2-7: Distintos cargadores.	21
Figura 2-8: Rueda E-Motion.	22
Figura 2-9: Diagrama de bloques para la adquisición de sEMG	23
Figura 4-10: Brazaletes gForce.	30
Figura 4-11: a) Correcta disposición de los sensores b) Regiones musculares del antebrazo.	31
Figura 4-12: Arquitectura SDK de gForce.	48
Figura 4-13: Posición neutral de la mano.	49
Figura 4-14: Interacción del brazaletes con la silla eléctrica.	51
Figura 4-15: gForce Joint	51
Figura 4-16: Conexión gForce con la placa de Arduino Mega y la PC.	53
Figura 4-17: Transferencia de datos por medio de ArduinoIDE.	54
Figura 4-18: Búsqueda de entorno y silla.	55
Figura 4-19: Apartamento	56
Figura 4-20: Desplazamiento de la silla eléctrica en el entorno.	56
Figura 4-21: Silla eléctrica virtual.	57
Figura 4-22: Locomoción de la silla.	58
Figura 4-23: Simulación de la trayectoria.	59
Figura 4-24: Interfaz de inicio.	60
Figura 4-25: Interfaz de registro.	60
Figura 4-26: Interfaz final.	60
Figura 4-27: Preferencias de usuario.	61
Figura 4-28: Pruebas en software y hardware para el funcionamiento del sistema.	62
Figura 4-29: Elementos integrados al sistema de emulación.	63
Figura 4-30: Dormitorio.	64
Figura 4-31: Sala de estar y cocina.	64
Figura 4-32: Sala de estar y comedor.	64

Figura 4-33: Baño.....	64
Figura 5-34: Paciente uno.	69
Figura 5-35: Paciente dos.....	69
Figura 5-36: Paciente tres.	70
Figura 5-37: Paciente cuatro.	70
Figura 5-38: Paciente cinco.	70
Figura 5-39: Paciente seis.	70
Figura 5-40: Paciente siete.....	71
Figura 5-41: Paciente ocho.....	71
Figura 5-42: Paciente nueve.....	71
Figura 5-43: Paciente diez.....	71
Gráfica 5-44: Interacción de la plataforma virtual con el paciente uno.	72
Gráfica 5-45: Interacción de la plataforma virtual con el paciente dos.	73
Gráfica 5-46: Interacción de la plataforma virtual con el paciente tres.	74
Gráfica 5-47: Interacción de la plataforma virtual con el paciente cuatro.	75
Gráfica 5-48: Interacción de la plataforma virtual con el paciente cinco.....	76
Gráfica 5-49: Interacción de la plataforma virtual con el paciente seis.....	77
Gráfica 5-50: Interacción de la plataforma virtual con el paciente siete.	78
Gráfica 5-51: Interacción de la plataforma virtual con el paciente ocho.	79
Gráfica 5-52: Interacción de la plataforma virtual con el paciente nueve.	80
Gráfica 5-53: Interacción de la plataforma virtual con el paciente diez.	81
Gráfica 5-54: Criterios de evaluación del paciente en relación con la metodología.....	82
Gráfica 5-55: Criterios de evaluación del paciente en relación con el impacto.....	83
Gráfica 5-56: Criterios de evaluación sobre los aspectos generales del brazalete.....	84
Gráfica 5-57: Criterios de evaluación sobre la interacción con la plataforma virtual.....	85

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Patologías del miembro inferior.	24
Tabla 3-2: Sistema de clasificación de gestos usando Myo Armband.....	34
Tabla 3-3: Realidad virtual para deportistas con movilidad reducida.	35
Tabla 3-4: Comparación de sistemas de sillas de ruedas eléctricas.....	36
Tabla 3-5: Entorno virtual para paciente con lesión medular.	37
Tabla 3-6: Revisión de scoping.	38
Tabla 3-7: Simulador de sillas de ruedas multisensorial.	39
Tabla 3-8: Realidad virtual configuraciones de silla de ruedas.	40
Tabla 3-9: Entorno virtual para silla de ruedas impulsadas.....	41
Tabla 3-10: Entorno para silla de ruedas.	42
Tabla 3-11: Simulación de silla de ruedas eléctrica.	43
Tabla 4-12: Gestos que reconoce el brazalete gForce.	49
Tabla 4-13: Conexión gForce con la placa de Arduino Mega.....	52
Tabla 5-14: Características de cada paciente que realizo la prueba.....	68
Tabla 5-15: Fotografías de cada paciente realizando la prueba.	69
Tabla 5-17: Interacción con la plataforma paciente 1.....	72
Tabla 5-18: Interacción con la plataforma paciente 2.....	73
Tabla 5-19: Interacción con la plataforma paciente 3.....	74
Tabla 5-20: Interacción con la plataforma paciente 4.....	75
Tabla 5-21: Interacción con la plataforma paciente 5.....	76
Tabla 5-22: Interacción con la plataforma paciente 6.....	77
Tabla 5-23: Interacción con la plataforma paciente 7.....	78
Tabla 5-24: Interacción con la plataforma paciente 8.....	79
Tabla 5-25: Interacción con la plataforma paciente 9.....	80
Tabla 5-26: Interacción con la plataforma paciente 10.....	81

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
\dot{h}_x	Velocidad lineal en el eje x	$\frac{m}{s}$	Ec. 4.4
X_2	Coordenada dos en el eje x	m	Ec. 4.2
X_1	Coordenada uno en el eje x	m	Ec. 4.1
h_y	Distancia en el eje y	m	Ec. 4.2
h_x	Distancia en el eje x	m	Ec. 4.1

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\dot{\varphi}$	Derivada de la posición angular	$\frac{m}{rad}$	Ec. 4.5
ω	Velocidad angular	$\frac{m}{rad}$	Ec. 4.5
φ	Posición angular o ángulo	rad	Ec. 4.7
μ	Vector de velocidad	$\frac{m}{s}$	Ec. 4.3

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>IEEE</i>	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
<i>IEEEExplore</i>	Base de datos
<i>sEMG</i>	Señales electromiográficas
<i>OMG</i>	Organización mundial de la salud
<i>IET</i>	Institución de ingeniería y tecnología
<i>RAE</i>	Real Academia Española

Introducción

La accesibilidad hace referencia a la facilidad que tiene una persona para llegar a algún lugar con el mínimo esfuerzo, así como la disposición de un objeto para ser usado, es decir, que no represente un problema para acceder a un ambiente, establecimiento, o conocer un determinado lugar, estos deben tener en cuenta la infraestructura para que todas las personas sin importar la condición que presente, ya sea cognitiva o física puedan acceder¹.

Con el fin de fomentar la accesibilidad se utiliza algunas facilidades que asisten a socorrer los obstáculos del entorno, logrando que estas personas en condición de discapacidad ejecuten la misma acción que haría un individuo sin ningún tipo de discapacidad. A estas facilidades se les denomina ayudas técnicas, tecnologías de asistencia o tecnologías de apoyo. Entre estos dispositivos y tecnologías de apoyo se encuentran las sillas de ruedas, prótesis, auriculares, equipos de asistencia visual, así como software diseñados para mejorar el traslado, el sentido de la audición y visión, teniendo en cuenta la destreza de comunicación. Por otra parte, también son ayudas el alfabeto braille, la lengua de señas, etc.²

¹ RAE. (2020). Definición de accesibilidad - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE. Diccionario Panhispánico Del Español Jurídico - Real Academia Española. <https://dpej.rae.es/lema/accesibilidad>

² Dispositivos y tecnologías de apoyo a las personas con discapacidad. (2016). Organización Mundial de La Salud. <https://doi.org/entity/disabilities/technology/es/index.html>

Teniendo en cuenta la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, la accesibilidad es un derecho que supone la oportunidad de un individuo de ingresar, transitar y quedarse en un entorno, de forma segura, confortable y autónoma. Esto supone que las barreras del ámbito físico tienen que ser suprimidas³.

En estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y publicados en el Informe Mundial sobre la Discapacidad se estima que en el mundo alrededor de mil millones de personas referente a un 15% de la población⁴. En Colombia en informes publicados por el Ministerio de Salud y Protección Social en el Registro de Localización y Caracterización de Personas con Discapacidad (RLCPD) y dificultad para el desarrollo de actividades cotidianas se tienen 1.404.108 personas, correspondiente a un 3% de la población, y en el departamento del Cauca 29.729 personas⁵, siendo éstas las que sufren de alguna discapacidad en las extremidades inferiores. Todas estas personas tienen dificultades a la hora de caminar, correr o desplazarse de manera autónoma.

Considerando todo lo anterior se hace necesario el desarrollo de alternativas que complemente los procesos de entrenamiento o simulación, que facilite su adaptación al entorno con el menor riesgo, por esta razón, este trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema de guiado de una silla de ruedas virtual a través de Unity 3D y un brazalete gForce que captura las señales electromiográficas (sEMG) que permita a personas con movilidad reducida desplazarse en un entorno virtual que recrea un apartamento.

³ Disabilities ES. (2015, December 4). Disabilities ES | Discapacidad. <https://www.un.org/development/desa/disabilities-es/>

⁴ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Discapacidad y rehabilitación. [en línea] [consultado: el 21 de febrero de 2021]. Disponible en internet: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>

⁵ MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL 2018. Disponible en internet: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sala-situacional-discapacidad-junio-2018.pdf>

Por lo tanto, el proyecto tiene cómo alcance la integración de tecnología, así como la creación de un sistema que está compuesto por un software conocido como Unity, este permite la creación de un entorno virtual. La parte del hardware es un dispositivo llamado gForce cuya función es captar y procesar las señales electromiográficas, que permite parametrizar las intenciones de movimiento que posteriormente serán integradas al software.

Las limitaciones identificadas se presentan en el desempeño del equipo de cómputo que va a tener instalado el software, los requerimientos para el procesamiento de videojuegos demandan un alto grado de recursos a nivel de hardware.

Y pese a la situación actual de pandemia que actualmente se vive⁶ las pruebas serán realizadas en nueve pacientes que no presentan algún tipo de movilidad reducida y uno con triplejía. Los resultados no se ven afectados, debido a que, el sensor del gForce adquiere las señales electromiográficas (sEMG), es decir, el brazalete se adapta al antebrazo del usuario y censa los voltajes al realizar una acción que ya viene programada y preestablecida de fábrica, de manera que, el sistema que se presenta es adecuado para todo tipo de personas, pero enfocado a la rehabilitación de personas con movilidad reducida.

Por otro lado, la metodología establecida es la recomendada por la Universidad Antonio Nariño, esta iniciativa está enfocada en concebir, diseñar, implementar y operar (CDIO), siendo estas pautas necesarias para solucionar de manera innovadora los problemas de la ingeniería, lo anterior genera prototipos que son el resultado de un análisis sistemático de una situación problemática⁷.

⁶ Nuevo coronavirus – Japón (procedente de China). (2020). Organización Mundial de La Salud. <https://doi.org/entity/csr/don/17-january-2020-novel-coronavirus-japan-ex-china/es/index.html>

⁷ Universidad de los Andes–Ingenieros sin fronteras Colombia 2015. Santafé de Bogota, D.C.(<https://isfcolombia.uniandes.edu.co/index.php/eventos/metodologiasdetrabajo>).

El proyecto pretende el desarrollo de una plataforma de un videojuego que integra las señales electromiográficas, este será enfocado en el área de la rehabilitación y utilizado como un sistema de entrenamiento virtual para personas con movilidad reducida. Por esta razón, la línea bajo la cual se encuentra enmarcado el trabajo de grado es en el área de rehabilitación física mediante juegos serios o juegos formativos⁸.

Este estudio, en el campo de la rehabilitación permite la consecución de un nuevo entorno para validar la efectividad del entrenamiento, también pone a prueba las nuevas tecnologías de realidad virtual que se han venido utilizando cada vez más para mejorar la eficacia de las simulaciones en varios campos y por lo tanto para mejorar el rendimiento de los usuarios finales, además tendrá como objetivo evaluar si estas tecnologías adoptadas tienen influencia en el sentido de presencia.

Por otra parte, los estudios revisados en la base de datos IEEEExplore, que toma en cuenta al Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE) y la Institution of Engineering & Technology (IET), presentan resultados prometedores, por lo tanto, las simulaciones de sillas eléctricas en un entorno son parte de un campo de investigación que importante seguir investigando, explotando así la realidad virtual, así como, diferentes entornos. También se debe tener en cuenta la inclusión de tareas más contextualizadas y coherentes con cada uno de los entornos simulados y a la vez aumentar el realismo, esto permite contribuir a la eficacia del sistema empleado.

⁸ Elder, C. D. (1971). *Serious Games*. By Clark C. Abt. (New York: The Viking Press, Inc., 1970. Pp. paper.) - *A Primer on Simulation and Gaming*. By Richard F. Barton. (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1970. Pp. paper). *American Political Science Review*, 65(4), 1158–1159. <https://doi.org/10.2307/1953510>

1. Planteamiento del problema

En la actualidad, la pérdida de la funcionalidad en alguna extremidad corporal, se considera una discapacidad, ocasionando diversos impedimentos de índole social y económico, ejemplo de ello se da en el ámbito laboral, donde las tasas de empleo de personas en condición de discapacidad son bastante bajas, al respecto la Organización Mundial de la Salud presenta estadísticas (OMS) que indican que las tasas de empleo son más bajas para los hombres con discapacidad (53%) y las mujeres con discapacidad (20%)⁹.

A las personas en condición de discapacidad motora se les dificulta poder compensar sus necesidades básicas en parte por la dificultad para acceder a medios sustitutos que permitan mejorar su movilidad y desplazamiento. Sin embargo, en la actualidad existen recursos mecánicos y eléctricos que permiten un buen nivel de independencia de las personas en condición de discapacidad.

En estudios realizados por la OMS se ha encontrado que aproximadamente el 15% de la población mundial (más de mil millones de personas), tienen algún tipo de discapacidad, y en el caso de Colombia de acuerdo con el análisis llevado a cabo por el Ministerio de Salud y Protección Social están en condición de discapacidad 1.404.108 personas, de estas 479.805 referente al 34,2% tienen afectando el movimiento de cuerpo, manos. Y en el departamento del Cauca 29.729 personas presentan discapacidad¹⁰.

⁹ Organización Mundial de la Salud (2011). Informe Mundial sobre Discapacidad. Ediciones de la OMS, Ginebra

¹⁰ Las perspectivas de la discapacidad en el Cauca. (2019, June 28). Proclama Cauca Y Valle Noticias | Santander de Quilichao | Popayán | Cali. <https://www.proclamadelcauca.com/las-perspectivas-de-la-discapacidad-en-el-cauca/>

No obstante, el desarrollo tecnológico permite el diseño y creación de herramientas y equipos que beneficien el desenvolvimiento diario de las personas en condición de discapacidad. Este desarrollo tecnológico beneficia directamente al discapacitado, pero va más allá de él, beneficiando a su familia que le acompaña a enfrentar su discapacidad.

Ahora bien, existen equipos y herramientas creados para facilitarle al discapacitado su desenvolvimiento con la mayor independencia posible, en el caso de los parapléjicos las sillas de ruedas con tecnología avanzada se encuentran innovando cada día el mercado. Pero, cuando una persona pierde su motricidad inferior, en principio debe enfrentarse a un proceso de adaptación, conocimiento y manejo de las nuevas herramientas que le facilitarán ejecutar sus actividades y sustituirán las funciones de la parte motora afectada y a su vez le permitirá mejorar su calidad de vida.

El problema del discapacitado de extremidades inferiores surge al tener que afrontar su cambio motor del cual no tiene conocimiento, porque nunca ha manejado una silla de ruedas para realizar sus desplazamientos y menos aún desplazamientos y actividades. De ahí que, un sistema que le permita al individuo discapacitado realizar sus entrenamientos a través de la simulación es de gran ayuda motivándolo a familiarizarse con la tecnología que ha de utilizar próximamente.

En Colombia, las personas con discapacidad de extremidades inferiores no están exentas de tener que pasar por las mismas necesidades de adaptación al cambio que su condición le hace requerir. Para ello, la simulación facilita este conocimiento utilizando el aprendizaje lúdico (mediante un videojuego) que de acuerdo con Loss¹¹ permite el aprendizaje mediante el juego, existiendo una cantidad de actividades divertidas y amenas donde el individuo no sufra riesgos al moverse en un entorno real e incentivando la aceptación de su nueva condición motora con una actitud positiva.

¹¹ Loss, S. (1995) Jugando se Aprende Mucho. Editorial Narcea. Madrid. España

De lo planteado surge entonces la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo con un videojuego formativo enfocado a la rehabilitación puede ayudar a una persona a entrenarse para controlar una silla de ruedas con un brazaletes gForce?

1.1 Justificación

El proyecto propone la creación de un sistema basado en videojuegos serios para resolver un problema específico que se presenta por la falta de entornos virtuales que ayuden en el entrenamiento de personas con movilidad reducida.

Considerando que el uso de la silla genera fatiga mental y exige una atención permanente del paciente, sobre todo en las fases iniciales de adaptación y adiestramiento¹², se hace necesario la creación de una interfaz de entrenamiento que debe ser simple, sencilla y con un alto nivel de interactividad, motivando y animando al paciente para continuar con el proceso de entrenamiento, permitiendo así, que el paciente pueda operar el dispositivo con facilidad y seguridad, reduciendo el esfuerzo mental que se pueda demandar en este proceso.

El fin lúdico con el que se adapta la simulación de la silla de ruedas, permite al individuo con discapacidad en las extremidades inferiores desarrollar las destrezas que van a permitir manejar de forma eficiente y eficaz la silla de ruedas en un entorno real.

Considerando también que el Ministerio de Salud y Protección social en el año 2018, identifica que el 3% de la población de Colombia tiene un porcentaje de discapacidad, impidiéndoles realizar actividades cotidianas como: caminar, correr, saltar e incluso

¹² “Afecciones relacionadas,” 2020. <https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/disabilityandhealth/relatedconditions.html> (accessed Oct. 04, 2020).

desplazarse de manera autónoma¹³, este proyecto beneficiara a este porcentaje significativo de personas que desconoce el uso y manejo de una silla de ruedas (para quienes así lo requieran).

El proyecto es importante y necesario porque permite la consecución de una herramienta innovadora que facilite la adaptación de las personas en condición de discapacidad de extremidades inferiores a las sillas, así como facilitar a las familias el proceso de rehabilitación.

El proyecto produce un beneficio social, al permitir que el discapacitado se incorpore a la sociedad en pleno manejo de sus facultades apoyado en una herramienta tecnológica, la cual conoce en principio a través de la simulación y le brinda seguridad para comenzar a utilizar los equipos tecnológicos creados para facilitarle la vida en su condición física.

El proyecto también permite la mejora de la situación económica de los discapacitados de extremidades inferiores quienes se motivarán a utilizar la tecnología y a ser parte activa de la economía del país y por ende de su hogar sin considerar su situación física como impedimento.

El proyecto es importante porque será la base para futuras investigaciones relacionadas con el tema, tomando en cuenta la evolución tecnológica por lo que las simulaciones deben actualizarse con frecuencia al ritmo de las mejoras tecnológicas.

¹³ Sala situacional de las Personas con Discapacidad (PCD) Ministerio de Salud y Protección Social Oficina de Promoción Social,” 2018. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sala-situacional-discapacidad-junio-2018.pdf>

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema del guiado de una silla de ruedas virtual a través de Unity 3D y un brazalete gForce, que permita a personas con movilidad reducida desplazarse en un entorno virtual que recrea un apartamento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Adaptar un entorno virtual en Unity 3D de un apartamento que simule los objetos e inmobiliarios, donde la silla pueda ser desplazada con el propósito de que la persona con movilidad reducida pueda entrenarse guiando la silla en tal ambiente.
- Desarrollar una interfaz que permita la interacción entre el entorno simulado y el brazalete gForce dispositivo que va a adquirir y procesar las señales EMG, para la interpretación de la intención del usuario, con el fin de guiar la silla.
- Validar el proceso de entrenamiento de nueve pacientes sanos y uno con triplejía, guiando la silla en el entorno virtual a través de la cuantificación del número de colisiones que tenga la silla con los objetos en cada sesión de entrenamiento.

2. Marco teórico

2.1 Discapacidad

Se presenta cuando una persona tiene limitaciones de capacidad a causa de una deficiencia, ya sea física o psíquica. La existencia de una discapacidad involucra una complejidad u inconveniente para que el individuo se incorpore a la comunidad o en cualquier aspecto o dominio fundamental. La discapacidad no compromete al sujeto para que pueda ejecutar sus actividades siempre que este disponga con una ayuda ajustada a sus necesidades¹⁴. La discapacidad se clasifica en 3 grupos¹⁵:

2.1.1 Discapacidad física

Esta discapacidad afecta al sistema motriz inmovilizando de forma permanente o temporal las partes del cuerpo, miembros u órganos. Esta dicha discapacidad emerge en relación a problemas medulares, amputaciones, accidentes de tráfico, malformaciones congénitas o accidentes cerebrovasculares.

2.1.2 Discapacidad sensorial

Se refiere a la aparición de restricciones derivadas de la presencia de deficiencias en algunos de los sentidos, pero las más conocidas son la discapacidad visual y auditiva.

¹⁴ ¿De qué hablamos cuando hablamos de discapacidad? | Desarrollar Inclusión. (2021). Desarrollar Inclusión | Portal de Tecnología Inclusiva de CILSA. <https://desarrollarinclusion.cilsa.org/discapacidad/de-que-hablamos-cuando-hablamos-de-discapacidad/>

¹⁵ » Discapacidad física - PREDIF. (2021). Predif.org. <https://www.predif.org/discapacidad-fisica/>

2.1.3 Discapacidad psíquica

Es un trastorno en el desarrollo del individuo que limita el funcionamiento intelectual y el funcionamiento psicológico, usualmente esta discapacidad es ocasionada por algún tipo de trastorno mental.

2.1.4 Discapacidad intelectual

Hace referencia a toda aquella limitación en el desempeño intelectual que dificulta la incorporación social, el desarrollo de la autonomía o entornos académicos o laborales. Se encuentran diferentes grados de discapacidad intelectual, los cuales poseen distintas intervenciones a nivel del tipo de problema que se presentan.

2.1.5 Discapacidad visceral

Surge en aquellas personas que sufren algún tipo de insuficiencia en algunos órganos, la cual crea restricciones en la vida y la incorporación en sociedad del individuo.

2.1.6 Discapacidad múltiple

Esta discapacidad se deriva de una mezcla de restricciones ocasionada por algunas de las anteriores deficiencias.

2.2 Diferencias entre minusvalía y movilidad reducida

La movilidad reducida se trata de aquellas personas que tienen por un periodo de tiempo o indefinido la capacidad de moverse sin ayuda externa, en cambio la minusvalía es una discapacidad física o psicológica que limita realizar actividades sin la capacidad de moverse por sus propios medios¹⁶.

¹⁶Movintec-movilidad-941197675961711. (2017, August). Diferencias entre minusvalía y movilidad reducida. Moovintec Movilidad. <https://moovintecmovilidad.es/diferencias-minusvalia-movilidad-reducida/>

2.3 Términos Adecuados para Referirnos a Personas con Discapacidad

La mejor manera de dirigirse a este grupo de la población es personas con discapacidad o también personas en situación de discapacidad, pero cabe resaltar que el énfasis es el uso de persona y no el uso de etiquetas¹⁷.

2.4 Accesibilidad

Se entiende por accesibilidad al fácil acceso a cualquier objeto, entorno o servicio para que estas personas con movilidad reducida puedan gozar de estas condiciones como elemento primordial para el desarrollo de las actividades diarias¹⁸.

2.5 Movilidad reducida

El Ministerio de salud en Colombia considera a la movilidad reducida como una limitación que presenta una persona en condición de discapacidad o que no necesariamente la presente para moverse en un entorno, así como el hecho de acercarse y tomar los objetos ubicados en condiciones normales¹⁹. La Figura 2-1, hace referencia al símbolo internacional de acceso para discapacitados. Este nuevo símbolo representa “armonía entre todos los seres humanos de la sociedad, la esperanza, igualdad de acceso para todos, simboliza la inclusión de las personas de todos los niveles, en todas partes y se caracteriza porque el símbolo es neutral e imparcial”²⁰.

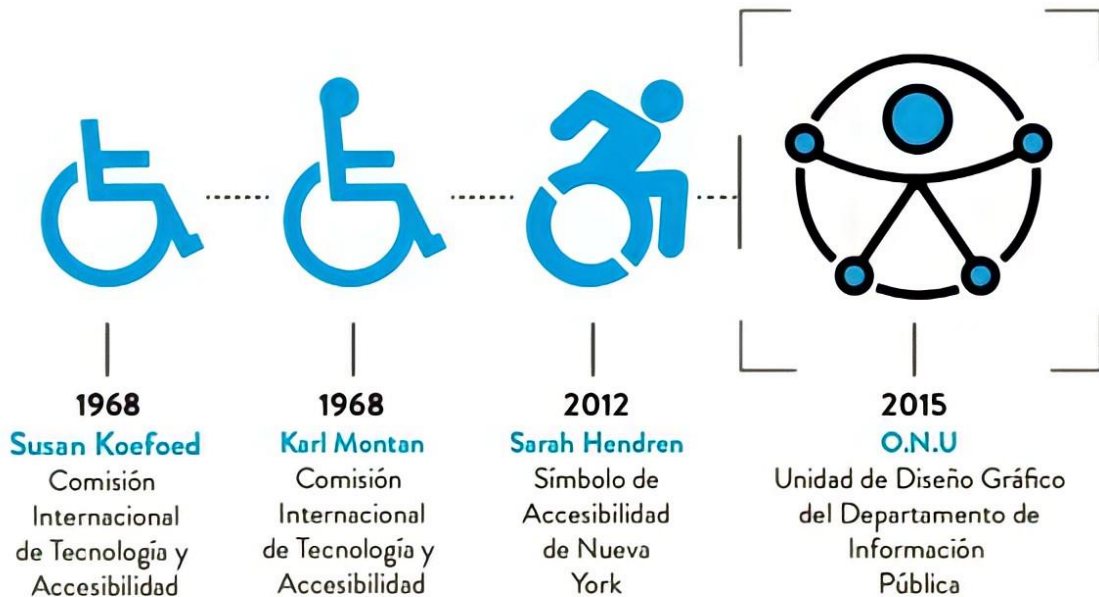
¹⁷ Super Usuario. (2014). Términos Adecuados para Referirnos a Personas con Discapacidad. Webmati.es. http://www.webmati.es/index.php?option=com_content&view=article&id=46:terminos-adequados-para-referirnos-a-personas-con-disca-pacidad&catid=12&%20Itemid=163

¹⁸ Wayback Machine. (2012, January 4). Web.archive.org. https://web.archive.org/web/20120104144511/http://conadis.salud.gob.mx/descargas/pdf/Convencion_sobre_los_derechos_de_las_personas_con_discapacidad.pdf

¹⁹ Ministerio de Salud Protección Social de Colombia. (2019). Glosario de términos - Movilidad Reducida. Minsalud.gov.co. <https://www.minsalud.gov.co/Lists/Glosario/DispForm.aspx?ID=40&ContentTypeId=0x0100B5A58125280A70438C125863FF136F22>

²⁰ Pensado para todos: el nuevo Símbolo Internacional de Discapacidad – Ikigai. (2020, March 4). Ikigai.net.ar. <http://ikigai.net.ar/2020/03/04/pensado-para-todos-el-nuevo-simbolo-internacional-de-discapacidad/>

Figura 2-1: Símbolo internacional de accesibilidad.



Fuente: Pensado para todos: el nuevo Símbolo Internacional de Discapacidad – Ikigai. (2020, March 4). Ikigai.net.ar. <http://ikigai.net.ar/2020/03/04/pensado-para-todos-el-nuevo-simbolo-internacional-de-discapacidad/>

2.5.1 Persona con movilidad reducida (PMR)

Una persona con movilidad reducida se refiere a un individuo que tiene limitada la función de desplazarse, esta puede estar presente en toda la vida del sujeto o por un periodo de tiempo sin asistencia externa. En otras palabras, el individuo que se encuentra en esta condición de discapacidad no es capaz de trasladarse sin colaboración, no obstante, estas tienen la posibilidad de tener o no una discapacidad²¹.

Entre los individuos con problemas de movilidad reducida se hallan los sujetos discapacitados y las personas de tercera edad. Dicho de otra manera, las personas que se encuentran con algún tipo de problema al trasladarse sin asistencia, también se puede

²¹ Eva María Martín. (2020, February 28). Persona con movilidad reducida - Consumoteca. Consumoteca. <https://www.consumoteca.com/familia-y-consumo/persona-con-movilidad-reducida/>

presentar porque tiene una edad avanzada y sus piernas ya están un poco torpes y pesadas. Otra causa por considerar es su discapacidad que le impide moverse por sí solo. Todo lo anterior hace referencia a una persona que puede convertirse y presentar movilidad reducida y no estar discapacitado²².

2.6 Tipos de sillas para personas con movilidad reducida

La silla de rueda es una herramienta individual que favorece el traslado de personas que han perdido de forma permanente, total o parcialmente la capacidad de desplazarse. Se debe tener en cuenta que la silla de rueda debe ser adaptada de acuerdo con la condición del individuo²³.

En la figura 2-2 se observa los elementos que integran a una silla de ruedas eléctrica.

Figura 2-2: Partes de una silla de ruedas eléctrica.



Fuente: Silla de Ruedas Eléctrica Plegable Zander. (2020, May 9). Silla de Ruedas. <https://lasilladeruedas.com/producto/silla-de-ruedas-electrica-plegable-zander/>

²² Movintec-movilidad-941197675961711. (2017, August). Diferencias entre minusvalía y movilidad reducida | Moovintec Movilidad. Moovintec Movilidad. <https://moovintecmovilidad.es/diferencias-minusvalia-movilidad-reducida/>

²³ MARTÍNEZ-AGUILAR, G. M. (2019). Sistema de control Mioeléctrico para silla de ruedas. CIERMMI Mujeres En La Ciencia T.2, 98–114. <https://doi.org/10.35429/h.2019.2.98.114>

2.6.1 Sistemas dependientes

Son sillas de ruedas manuales se caracterizan porque no están fabricadas para que las controle el ocupante.

2.6.2 Silla de transporte

Este tipo de silla de ruedas son manuales, pero controladas por un acompañante. se caracteriza porque tienen un chasis rígido, reposapiés y reposabrazos, además estos pueden ser desmontables. Tanto el asiento como el respaldo son acolchados y el material que lo reviste es impermeable. La función que desempeña es trasladar a personas que presentan limitaciones para caminar por medio del manejo de la silla por un ayudante.

2.6.3 Sillas de posicionamiento

Son equipos enfocados a permanecer en una postura adecuada, está pensada para paciente que presentan poca movilidad y esto les impide realizar cambios de posición de manera autónoma.

2.6.4 Sistemas de autopropulsión

Estos equipos son utilizados para que el usuario tenga la posibilidad de conducirlos de manera independiente, dicho de otro modo, carece de un ayudante.

2.6.5 Sillas plegables tradicionales o estándar (ortopédicas)

Estos dispositivos son los más convencionales y tienen un uso frecuente para circunstancias temporales. Su principal característica es que son plegables, debido a que incorpora barras de cruceta, un asiento y un respaldo que es flexible, además de impermeable, este tipo de silla es movida por el propio paciente de modo manual.

2.6.6 Sillas activas

En la literatura este tipo de sillas son equipos de autopropulsión, diferenciado de los otros por ser ultraligeros, el respaldo de este tipo varía su inclinación respecto al nivel de equilibrio del tronco, su desventaja está presente en que no poseen apoyabrazos, ni

mangos de empuje. Siendo las partes desmontables las ruedas traseras y el asiento. Estas no son plegables, porque su chasis es rígido. La innovación que tienen en la actualidad es que son fáciles de transportar.

2.6.7 Sillas deportivas

Estos equipos presentan diferentes características en función del deporte a realizar y de acuerdo con las necesidades del usuario. Sus características principales es que no presenta mucha rigidez, no es plegable, las ruedas se inclinan de tal manera que garantizan una mejor movilidad giratoria, esto aumenta el ancho de la silla, y permite protección en caso de choque.

2.6.8 Sistemas motorizados

Son equipos que habilitan un fácil traslado utilizando una fuerza mínima. Este tipo de sillas son adecuados para superficies irregulares.

2.6.9 Silla de ruedas eléctrica

Estas sillas se conducen con joystick o tecnologías alternativas cómo sensores de señales electromiográficas usando programas de cómputo los cuales tiene la función de variar parámetros como la velocidad, la aceleración, por lo tanto, son adecuadas a las necesidades del usuario.

▪ Tipos de sillas eléctricas

Los nuevos diseños de sillas de ruedas eléctricas en la actualidad son amplios, existen diferentes tipos, entre los cuales podemos encontrar como los más vendidos los siguientes sistemas de sillas de ruedas eléctricas²⁴.

²⁴ Patrocinante, P., Franklin, S., & Rojas, C. (2013). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficis939d/doc/bmficis939d.pdf>

➤ **Silla eléctrica estándar interior – exterior.**

En la actualidad se encuentran diferentes tipos de sillas eléctricas en el mercado entre las más utilizadas se encuentran las siguientes:

- ❖ **Tracción central:** Giran sobre su propio eje, ya que tienen un radio de giro reducido.
- ❖ **Tracción delantera:** Salvan obstáculos, pero también hay que tener experiencia en el manejo, para poder controlar esta tracción.
- ❖ **Tracción trasera:** Son maniobrables, tiene un buen desempeño en el exterior.

Figura 2-3: Diferentes modelos de sillas eléctricas.



Fuente: Patrocinante, P., Franklin, S., & Rojas, C. (2013). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficis939d/doc/bmficis939d.pdf>

➤ **Silla eléctrica híbrida:**

Está conformada por un chasis de silla manual, ésta tiene incorporado elementos cruciales (motores, mando, baterías, etc.), para que funcione su modo eléctrico. Estos elementos están adaptados para removerse cómodamente y así plegar la silla.

Algunos ejemplos que abarca este tipo de sillas son: las sillas de ruedas de motor manejadas por un acompañante, sillas de ruedas con motor eléctrico y dirección manual, sillas de ruedas con motor eléctrico y dirección asistida.

➤ **Silla bipedestadora:**

Es una silla que con ayuda de actuadores electrónicos permite ajustar la posición del individuo y ponerlo de pie como se muestra en la Figura 2-4.

Figura 2-4: Diseños de silla bipedestadoras.



Fuente: Patrocinante, P., Franklin, S., & Rojas, C. (2013). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcis939d/doc/bmfcis939d.pdf>

▪ **Componentes de un sistema de una silla de ruedas eléctrica:**

A continuación, se describen las partes que conforman a un sistema de silla de ruedas eléctricas:

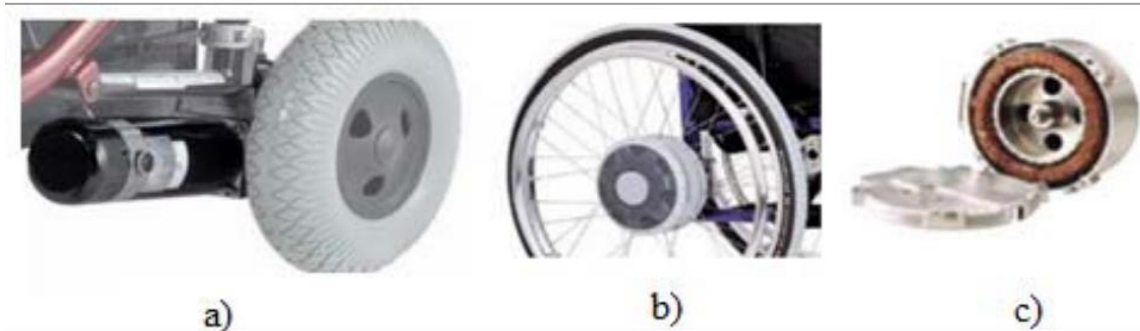
➤ **Motores:**

Generalmente las sillas de ruedas cuentan con dos motores, se encargan de dirigir la velocidad y la dirección de la silla, las ruedas delanteras cuentan con unas horquillas para que puedan moverse de manera libre. Dentro de estas se encuentran 3 tipos de motores:

- a) Motor estándar: Contiene un motor eléctrico y una caja reductora de engranajes, éstas hacen que el motor tenga la suficiente fuerza para impulsar la silla.
- b) Motor Integrado en la rueda: Dentro de la rueda se encuentra el artefacto, son más resistentes y este dispositivo se encuentra en las sillas híbridas o eléctricas.
- c) Motor sin escobillas: Este motor tiene incluido un controlador electrónico para que funcione el motor sin escobillas, no requiere mucho mantenimiento además de que generalmente son silenciosos.

En la siguiente figura 2-5 se encuentra representado las mencionadas.

Figura 2-5: a) Motor estándar, b) Motor de buje, c) Parte interior de motor sin escobillas.



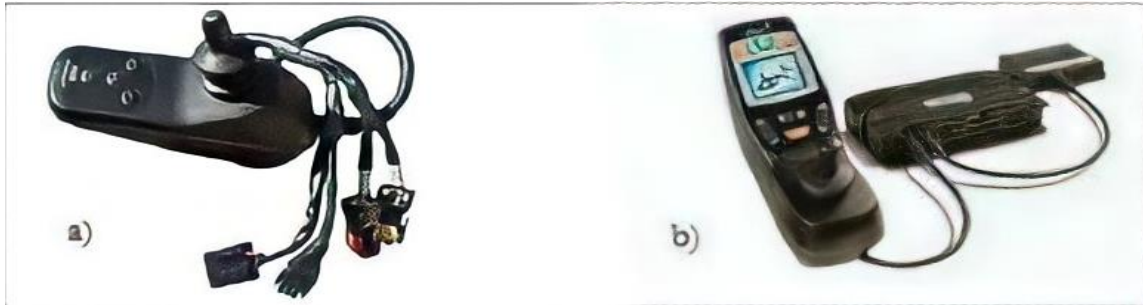
Fuente: Patrocinante, P., Franklin, S., & Rojas, C. (2013). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficis939d/doc/bmficis939d.pdf>

➤ **Sistema de control:**

El sistema de control más usado es modular, esto quiere decir que el módulo de potencia viene independiente. Y cuando las partes que componen este sistema se encuentran en una unidad se denomina joystick integral, en la Figura 2-6 se puede observar la diferencia entre estos dos sistemas de control.

Los diferentes tipos de joystick que se encuentran en el mercado son programados de acuerdo con la función que vaya a desempeñar o gusto teniendo en cuenta la estética. A estos dispositivos se les puede configurar parámetros como; la aceleración, sensibilidad de respuesta al mando y temblor de la mano, así como las vibraciones en caso de presentar una retroalimentación si el usuario final así lo desea, entre otras configuraciones.

Figura 2-6: Dispositivo de control a) Integral y b) Modular.



Fuente: Patrocinante, P., Franklin, S., & Rojas, C. (2013). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficis939d/doc/bmficis939d.pdf>

➤ Baterías

Los modelos tradicionales de sillas de ruedas se manejan con 2 baterías de plomo, estas pueden ser de GEL o AMG. Las baterías cuentan con unos cargadores automáticos, en la Figura 2-7 se pueden observar los diferentes cargadores.

Figura 2-7: Distintos cargadores.



Fuente: Patrocinante, P., Franklin, S., & Rojas, C. (2013). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficis939d/doc/bmficis939d.pdf>

2.7 Silla de ruedas inteligente

Estas sillas están capacitadas para retener información de cada estructura de los edificios, inclusive de los muebles del interior, para luego trasladar al usuario a través de ellos, es capaz de seguir ordenes por medio de comunicación diseñando su propio recorrido. A continuación, nombraremos algunos tipos de sillas de ruedas eléctricas inteligentes.

- **Silla de ruedas con sensores:**

Esta silla permite que el individuo se pueda transportar de manera confortable, sin que este tenga la necesidad de moverse. La silla cuenta con unos sensores que son capaces de reconocer cualquier obstáculo, además también funciona por medio de reconocimiento de voz.

- **Silla de ruedas con conexión a GPS:**

Este tipo de sillas cuentan con tecnología que hace que el dispositivo se pueda conectar a un GPS y localizar cualquier ubicación, buscando distintos trayectos hasta encontrar el indicado para el sujeto. También tiene incluido un sensor de voz proporcionándole al usuario trasladarse sin usar energía alguna.

- **Ruedas E-Motion:**

Las ruedas E-Motion proveen una energía adicional cuando el sujeto lo estimula manualmente. Dentro de estas tiene incorporado un motor silencioso sin engranajes, impulsado con baterías de iones de litios, no necesitan mantenimiento además cuentan con sensores inteligentes que perciben los movimientos.

Esta se encuentra ubicada sobre la silla de ruedas en vez de la rueda normal, así como se observa en la Figura 2-8.

Figura 2-8: Rueda E-Motion.



Fuente: Patrocinante, P., Franklin, S., & Rojas, C. (2013). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcis939d/doc/bmfcis939d.pdf>

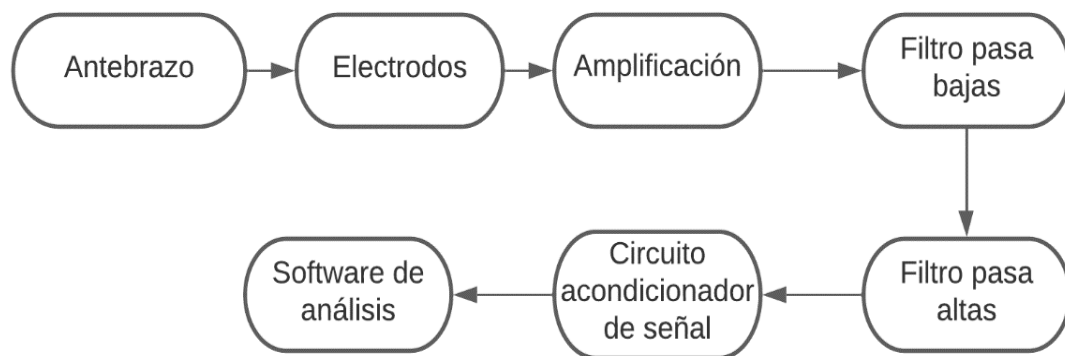
2.8 Electromiografía

La electromiografía es una técnica basada en la adquisición, registro y análisis de la actividad eléctrica del tejido muscular mediante el uso de electrodos, que pueden ser insertados dentro del músculo o colocados sobre la superficie de la piel. Esto hace posible

tener un diagnóstico para analizar el estado de los músculos y los nervios que controlan a estos, mediante el análisis de la actividad eléctrica²⁵.

Para el procesamiento de las señales mioeléctricas es necesario tener en cuenta diferentes etapas, ver Figura 2-9. La primera etapa consiste en la adquisición de esta señal mediante electrodos, posteriormente es amplificada y se requiere de un filtrado para terminar con un acondicionamiento de la señal que permite realizar un análisis de estas.

Figura 2-9: Diagrama de bloques para la adquisición de sEMG.



Fuente: Correa-Figueroa, J. L., Morales-Sánchez, E., Huerta-Ruelas, J. A., González-Barbosa, J. J., & Cárdenas-Pérez, C. R. (2016). SEMG signal acquisition system for muscle fatigue detection. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 37(1). <https://doi.org/10.17488/rmib.37.1.4>

2.9 Trastornos motores del miembro inferior

Son provocados por traumas o enfermedades cardiovasculares perjudicando la capacidad de realizar tareas²⁶. A continuación, en la (Tabla 2-1) se nombran algunas patologías del miembro inferior.

²⁵ MARTÍNEZ-AGUILAR, G. M. (2019). Sistema de control Mioeléctrico para silla de ruedas. *CIERMMI Mujeres En La Ciencia T.2*, 98–114. <https://doi.org/10.35429/h.2019.2.98.114>

²⁶UNIVERSIDAD ISABEL I MIEMBRO INFERIOR. Amputaciones-Patologías de miembro INFERIOR [en línea].2014. [Consultado: 29 de mayo de 2019]. Disponible en Internet: <https://universidadisabelimiembrosuperior.wordpress.com/2014/12/09/amputaciones-miembros-superiores>

Tabla 2-1: Patologías del miembro inferior.

Padecimiento de miembro inferior	Causas
Paraplejía por trauma	Puede ser el resultado de una lesión medular grave, también puede ser causada por una enfermedad congénita como la espina bífida.
Paraparesia espástica	Caracterizada por ser una lesión en la moto neurona superior después de una crisis epiléptica un traumatismo reciente de la médula espinal.
Monoplejía	Se da por lesiones del plexo braquial, traumatismos medulares o lumbosacro.
Fractura de pie	Es una rotura o traumatismo de cualquiera de los 26 huesos por los cuales se conforma el pie.
Artrosis	En personas con edad avanzada se produce por fibrosis, afecta a las articulaciones de la columna vertebral, caderas, rodillas, entre otros.
Fractura de la cadera	Puede ser causado por accidentes, las más frecuentes son de automovilismo.
Osteoartritis y Osteoporosis	Afectan principalmente a los huesos provocando un desgaste, esta hace que la posibilidad de moverse disminuya.
Distensiones	Sucede cuando el musculo sufre una lesión causada por una sobrecarga muscular.

2.10 Tecnologías de la información y la comunicación (TICs)

Las TICs se encuentra en el campo de la salud, es una herramienta para mejorar el acceso a los servicios de salud. Teniendo en cuenta que los sectores más fundamentales tratan con la telemedicina y el manejo de datos clínicos, la E-health es una organización de asesoramiento técnico dedicada al sector de la salud. Dentro de estos se encuentra el T-health que abarca la teleconsulta y la telemedicina. Esta puede ser otra opción para mejorar el servicio a los individuos; el eLearning aspira a incorporar las TICs al desarrollo

de enseñanza y aprendizaje incorporando un nuevo método virtual. También se encuentra el M-health, este permite usar la tecnología móvil para administrar la salud y el bienestar de los usuarios, contiene un mecanismo que ayuda a localizar enfermedades o trastornos en muy poco tiempo para que el profesional actúe de forma inmediata²⁷.

2.11 Plataformas interactivas

Son conocidas por el uso de hardware y software creado para automatizar y gestionar el desarrollo educativo. Estas son utilizadas con el fin de ayudar con el proceso de enseñanza y aprendizaje, para que el usuario adquiera nuevos conocimientos²⁸.

2.12 Desarrollo de plataformas para crear videojuegos

Estos desarrolladores de plataformas para la creación de videojuegos son conocidos gracias a que permiten la interacción de alumnos y estudiantes en un entorno educativo, ya que pueden brindar servicios muy específicos al momento de diseñar cualquier juego²⁹. En el mercado del desarrollo de plataformas existe una aplicación llamada Unity, la cual se enfoca en el desarrollo de videojuego en 2D y 3D³⁰.

2.13 Unity 3D

Creado por Unity Technologies, es un entorno de desarrollo el cual se genera utilizando escenas en 2D y 3D, es conocido ya que puede ser utilizado por desarrolladores expertos o por desarrolladores principiantes.

²⁷ MARTÍNEZ MORENO, Fuensanta. Tecnologías de la información y la comunicación y salud. En: Promoción y Educación para la Salud. s.f. Disponible en: <http://blogs.murciasalud.es/edusalud/2013/12/05/tecnologias-de-la-informacion-y-la-comunicacion-y-salud/>

²⁸ LÓPEZ SIU, Julio Antonio; PÉREZ MARTÍNEZ, Alberto e IZQUIERO LAO, José Manuel. Plataforma interactiva para la integración en el proceso de extensión universitaria. En: Medisan, 2018, vol. 22, no. 4. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192018000400014#:~:text=Las%20plataformas%20interactivas%20son%20ento

²⁹ ARIAS, Sixto. 18 plataformas educativas, ¿cuál elegir? s.f. Disponible en <https://capaball.com/blog/16-plataformas-educativas-cual-elegir/>

³⁰ ANDALUCÍA ES DIGITAL. 9 plataformas con las que puedes desarrollar y crear juegos para móviles. 2019. Disponible en <https://www.blog.andaluciaesdigital.es/crear-juegos-para-moviles/>

Cuenta con un editor visual y una programación vía scripting, lo cual permite visualizar los proyectos en diferentes dispositivos.

2.13.1 Características

Algo relevante en esta aplicación es su versatilidad la cual permite que sea utilizada en PC, Mac, Linux, iOS, Android, BlackBerry, PlayStation, Xbox, Wii, Wii U, 3DS, Web entre otras, sin cambiar el código. De acuerdo con la arquitectura de esta al ser de libre acceso permite la retroalimentación de los métodos de programación permitiendo el uso de lenguajes como:

- **Scripts:** Ficheros que permiten la personalización de los juegos, mediante la escritura de los procesos relevantes y concretos.
- **Javascript:** Lenguaje que permite la creación de bloques para el desarrollo de efectos gráficos y movimientos, según los prototipos de Unity.

2.13.2 Interfaz de usuario

Unity tiene diversos elementos que posibilita entrar a interfaces rápidas e interactivas. A continuación, se mencionarán las principales características³¹.

- **Canvas:** Posibilita localizar, posicionar e integrar los recursos que conforman la UI como imágenes o botones.
- **Text:** Contiene unas cualidades que ayudan a ilustrar un texto o etiqueta que será perceptible en el Canvas, esta tiene accesibilidad a múltiples estilos de fuentes y tamaños del texto.
- **Textures:** Estos archivos son importados desde la carpeta assets, hace posible agregar imágenes de texturas en superficies cuyo fin es dar coloración y acabados mejorados.
- **Sprites:** Se utiliza para agilizar el uso de las imágenes, también ayuda a editar a los elementos dentro de una sola textura.
- **Image y raw image:** Puede ser reformada mediante un script aun así la imagen admite el uso de texturas de tipo sprites, a comparación de Raw permite cualquier textura.

³¹ UNITY DOCUMENTATION. Unity user manual. 2018. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/ScriptingSection.html>

- **Button:** Es un botón que contiene UnityEvent OnClick con el fin de ejecutar una acción.
- **Input field:** Da acceso a editar el texto y determina el acto a ejecutar a través de UnityEvent.
- **File:** Se utiliza para crear, guardar y abrir una escena, da acceso a las herramientas build settings y build and run ya que estas permiten construir el juego.
- **Edit:** Permite distinguir las opciones que están en edición, este elemento también permite añadir objetos y configurar sus características.
- **Assets:** Es un mercado virtual de Unity que da acceso de forma gratuita a Pluggins, Scrips y sonidos para la creación de videojuegos.
- **Component:** Ayuda a distinguir las propiedades y posiciones de los ejes (X, Y, Z) del objeto donde se creará la escena.
- **Mobile Input:** Habilita o inhabilita el acceso de dispositivos móviles.
- **Window:** Contiene una ventana llamada Hierarchy Windows que ayuda a editar y guardar los elementos de scene view. También da acceso a la asset store de Unity donde se encuentran recursos de manera gratuita o pagos para la elaboración de un videojuego.
- **Help:** Permite que los usuarios accedan a documentaciones de Scripting, videotutoriales, manuales de Unity y foros que ayudan con las dudas y errores de los individuos.
- **Game Object:** Ayuda a crear los objetos fundamentales de una escena.
- **Recursos de Unity (Assets):** Consiste en crear y desarrollar videos, imágenes, modelos 3D, entre otros elementos. Estos contienen unos componentes que se pueden importar dentro del videojuego.
- **Escenas de Unity (Scenes):** Consta de entornos y un menú que ayuda a crear el juego.
- **Objetos prefabricados Unity (Prefabs):** Es un prototipo de GameObjets que fue desarrollado y preparado para estar o no en una escena. Una vez creado esta guarda su configuración para que sirva como una plantilla.

2.13.3 Animation clips

Es utilizada para crear, animar y ajustar clips de animación inmediatamente dentro de Unity, contiene un editor que ayuda a animar variables de materiales y elementos para incrementar los clips.

2.14 Sistemas de interacción

Hay varios métodos que ofrecen compartir dispositivos entre sí para darle una mejor vivencia atractiva a los usuarios con la intención de dar un mensaje o sencillamente atraer la atención. En el marketing se puede encontrar aparatos como las consolas de videojuego y emuladores de computación que cuentan con propiedades semejantes para la relación entre los usuarios: interfaz, controlador y usuario.

2.14.1 La interfaz

Consiste en determinar cuáles son los eventos o escenas que el usuario probara en todo el juego.

2.14.2 El controlador

Ayuda a digitalizar, codificar y decodificar la información presentada por la interfaz. Esta se orienta en varios dispositivos de relación, como los controles, Joystick, teclados, timones, entre otros.

Al mismo tiempo el individuo identifica el procedimiento de relación, asimila e incluye como experiencia de aprendizaje. Actualmente, tienen la posibilidad de hacer varios sistemas de relación hechos a medida; basados en patrones de educación para detectar el tipo de población y el apoyo que pueden brindar dichos sistemas.

Para el crecimiento de dichos sistemas de relación usualmente se aplican controladores:

- **La placa de Arduino:** Cuenta con varios puertos de entrada y salida, el cual posibilita admitir información y gestionar datos, además manda señales de forma analógicas/digitales para otros tipos de actuadores.
- **Microcontrolador:** Se generan varios programas para el desempeño de puertos de entrada y salida, al lado de las configuraciones de tiempo y ancho de pulso, según la aplicación que ocupe el individuo. Dichos microcontroladores están integrados en las placas ya mencionadas.

Se pueden encontrar dispositivos o recursos que ayudan a conectar la interfaz con el sujeto aportándole mejores servicios, como la interacción en la escritura, el movimiento en las plataformas y la visualización de imágenes y textos.

- **Modulo Bluetooth:** Es un modelo de conexión que recibe la emisión de voz y datos bidireccional mediante la radiofrecuencia, además permite ajustar los datos entre equipos y la distancia máxima de esta es de 100m.

2.15 gForce 200 Armband

Este brazalete es un dispositivo inteligente de interfaz humana utilizado en el reconocimiento de gestos. Se caracteriza por reconocer seis tipos de gestos en fusión de las señales electromiográficas (sEMG) de los antebrazos humanos y, además calcula los datos de orientación en cuaterniones o ángulos de Euler desde su IMU de 9 ejes incorporada.

En cuanto a su arquitectura de hardware posee 8 sensores médicos EMG con una frecuencia de muestreo de 200 Hz. Un giroscopio, un acelerómetro, un magnetómetro, todos estos de 3 ejes. Adicionalmente cuenta con un procesador ARM cortexM4, y con un sistema de retroalimentación háptico que usa vibraciones. Cuenta con una batería de litio, ofreciendo una autonomía de un día, su carga es mediante un puerto micro USB.

Además, sus dimensiones son de 13 a 34 cm, con un peso de 93 gramos, en la Figura 4-10 se aprecian los componentes que conforman a este brazalete.³²

³² shichao, S. (2020). gForce200 - OYMotion. Github.io. <https://oymotion.github.io/gForce200/gForce200UserGuide/#instructions-to-wearing-and-performing-gestures>

Figura 4-10: Brazalete gForce.



Fuente: Hardware Power on and power off Re-charging How to Wear. (s. f.)

Este dispositivo tiene bastantes aplicaciones en el campo de las prótesis, porque es un sistema electrónico completo, que se basa en detectar en tiempo real las principales señales relacionadas con la actividad del antebrazo, tomando en cuenta los músculos activados, así como los movimientos del antebrazo en un espacio tridimensional.

2.16 Anatomía y enumeración estandarizada del brazalete gForce

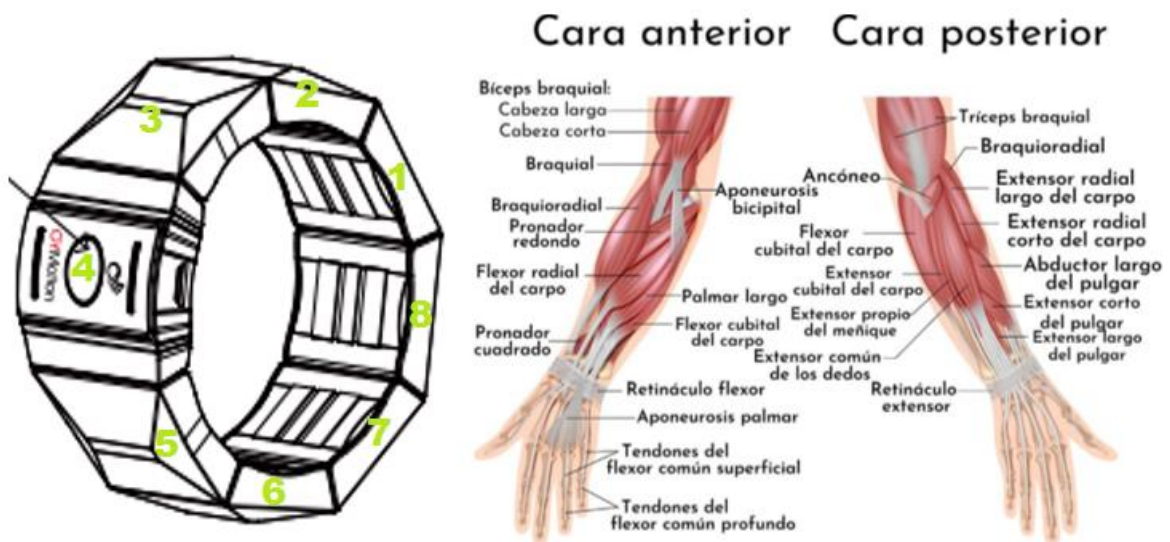
Anatómicamente los músculos tienen dos características; la primera es la agonista, esta hace referencia a la contracción del músculo y la segunda es la antagonista, que se trata sobre la relajación de este.

Los espasmos musculares que ocurren son causados por células musculares que funcionan eléctrica o neurológicamente³³. Para identificar las posiciones de la mano mediante la EMG se lleva a cabo un estudio en el que se analiza al miembro o extremidad

³³ Christie, A., Greig Inglis, J., Kamen, G., & Gabriel, D. A. (2009). Relationships between surface EMG variables and motor unit firing rates. *European Journal of Applied Physiology*, 107(2), 177–185. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1113-7>

superior en particular el brazo, antebrazo y mano debido a que facilitan la movilidad, manipulación y sujeción. gForce es un brazalete de ocho sensores EMG elaborado para ser acomodado en el antebrazo y obtener la activación eléctrica, ver Figura 4-11 a). Tomando en cuenta al antebrazo tiene dos huesos el radio y el cubito, los músculos flexores localizados en el área anterior (palmar) y a los extensores en el área posterior (dorsal), ver Figura 4-11 b). La zona del antebrazo tiene un total de 20 músculos que llegan a conectarse con la articulación del codo o la muñeca³⁴.

Figura 4-11: a) Correcta disposición de los sensores b) Regiones musculares del antebrazo.



a) 8 EMG del brazalete gForce b) Regiones anterior y posterior del antebrazo

Fuente: Hardware Power on and power off Re-charging How to Wear. (s. f.) & Raquel Parada Puig. (2021, January 18). Músculos del brazo y antebrazo: descripción y funciones (imágenes). Retrieved May 4, 2021, from Lifereder website: <https://www.lifereder.com/musculos-brazo/>

³⁴ Anatomía Humana. (2011). Google Books. <https://books.google.co.ve/books?id=Gn64RKVTw0cC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

3.Estado del arte

A continuación, se observan diferentes tablas correspondientes a los artículos que se utilizan para obtener el pilar de esta investigación. Estos artículos se encuentran en la biblioteca de la Universidad Antonio Nariño, que dispone de licencias para ingresar a la base de datos IEEEExplore.

Los trabajos que se encontraron usan la realidad virtual para dar una experiencia más inmersiva, obteniendo resultados satisfactorios. Además, se considera de suma importancia el artículo llamado: Simuladores de sillas de ruedas basados en realidad virtual: una revisión del alcance, puesto que incluye la revisión de sesenta y dos, de estos veintinueve tratan sobre simuladores de sillas buscando la efectividad de la simulación con diferentes dispositivos de percepción e interacción, y el sentido de presencia, que se ha convertido en un componente esencial para promover la eficacia de estos programas de formación basados en realidad virtual. Las futuras investigaciones deberán enfocarse en pruebas supervisadas para contribuir a los investigadores a evaluar estas tecnologías, así como tener procedimientos más convenientes para la aplicación de sillas de ruedas en espacios virtuales dentro del área clínica³⁵.

³⁵ Virtual reality-based wheelchair simulators: A scoping review. (2020). Assistive Technology. <https://ezproxy.uan.edu.co:2112/doi/full/10.1080/10400435.2018.1553079?scroll=top&needAccess=true>

3.1 Implementación de un sistema de clasificación de gestos del brazo humano utilizando Myo Armband para mando a distancia de un brazo robótico 3GDL.

Tabla 3-2: Sistema de clasificación de gestos usando Myo Armband.

NOMBRE	Implementación de un sistema de clasificación de gestos del brazo humano utilizando Myo Armband para mando a distancia de un brazo robótico 3GDL ³⁶
AÑO	2017
Grupo de Inv./ Universidad	J. Alejandro Zea Guachamin. Escuela Politécnica Nacional
País/Ciudad	Ecuador - Quito
Resumen	El Brazalete Myo Armand se caracteriza por ser un dispositivo que detecta la actividad eléctrica en los músculos, además cuenta con una IMU, la cual brinda orientación en el espacio del antebrazo de la persona. Este brazalete permite la integración de diferentes tecnologías. Es usado desde videojuegos, aplicaciones en ordenadores hasta las aplicaciones en ingeniería de rehabilitación con el objeto de procesar los diferentes gestos que vienen implementados por defecto. Esto permite mover un brazo robótico de 3 grados de libertad basado en señales electromiografías.
Resultados	Un sistema de un brazo robótico controlado vía Bluetooth desde un ordenador, éste adquiere la señal por comunicación serial con el brazalete. Los gestos, resultados de la clasificación en conjunto con las señales de orientación de este mueven el brazo robótico.
Aportes	El sistema no presenta una optimización de forma inalámbrica después de la toma de señales, esta mejora se presentaría como opcional, ya que el sistema al adquirir los datos por comunicación serial permitirá leer los datos de una manera más rápida.
Brechas	La interfaz gráfica desarrollada en Matlab con el objetivo de adquirir las señales electromiografías, limita el producto, ya que el programa Matlab cobrará un porcentaje si es una aplicación comercial, por lo tanto, se sugiere un software libre.

³⁶ ZEA Jhonathan A, BENALCAZAR PALACIOS Marco. Implementación De Un Sistema De Clasificación De Gestos Del Brazo Humano Utilizando El Myo Armband Para Mando A Distancia De Un Brazo Robótico. vol. 41, No. 2. Septiembre, 2018.

3.2 Realidad virtual como tecnología asistencial a deportistas con movilidad reducida en silla de ruedas

Tabla 3-3: Realidad virtual para deportistas con movilidad reducida.

Nombre	Realidad virtual como tecnología asistencial a deportistas con movilidad reducida en silla de ruedas ³⁷
Año	2018
Grupo Inv: Universidad	I. Corrales, E. Pérez, I. Tejado, B. Vinagre, P. Merchán, S. Salamanca. Universidad de Extremadura, Escuela de Ingenierías Industriales
País/Ciudad	España - Badajoz
Resumen	El desarrollo de tecnología con realidad virtual para personas con movilidad reducida es hoy en día uno de los campos con mejores aplicaciones que se pueden presentar, para diversos ejercicios de entrenamiento que comprenden desde lo cognitivo hasta para mejorar las habilidades motrices, cómo por ejemplo la afinidad motriz o tonificar la masa muscular, incluso para combatir el estrés del día a día, el cual se presenta con más frecuencia y por diversos factores. El trabajo está dirigido a incorporar las tecnologías ya presentes en la actualidad con un nuevo enfoque hacia la rehabilitación. En este caso se integra un guante de datos, un casco de realidad virtual, un entorno de videojuego basado en el deporte del baloncesto, con la diferencia que este es con la silla de ruedas.
Resultados	Los datos son recopilados y almacenados, haciendo posible la optimización del sistema y así tener eficiencia en la tarea asignada.
Aportes	La plataforma no integra un modo para jugarlo en línea o con otras personas cercanas, es decir, que la familia y amigos también puedan estar en el juego, pero con botones o teclado, así como un mando.
Brechas	La información obtenida por los guantes sería relevante para estudios de los movimientos de las manos, y evidenciar cuales posturas ocasionan dificultad al realizar movimientos, esto con el fin de mejorar su calidad de vida. No cuenta con un manual usuario indispensable para el manejo.

³⁷ Cáceres, I., Pérez, E., Tejado, I., Vinagre, B. M., Merchán, P., & Salamanca, S. (2020). Realidad virtual como tecnología asistencial a deportistas con movilidad reducida en silla de ruedas. Actas de Las XXXIX Jornadas de Automática, Badajoz, 5-7 de septiembre de 2018. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497565.1053>

3.3 Comparación de sistemas de control de sillas de ruedas eléctricas en un entorno virtual

Tabla 3-4: Comparación de sistemas de sillas de ruedas eléctricas.

Nombre	Comparación de sistemas de control de sillas de ruedas eléctricas en un entorno virtual ³⁸
Año	2018
Grupo de Inv./ Universidad	Dr. Erika Sanchez Velázquez, Anglia Ruskin University
País/Ciudad	Chelmsford, Reino Unido
Resumen	Las sillas de ruedas eléctricas han contado con buena investigación desde los años 90's, no obstante, se ha presentado una baja difusión del uso para la población. Este documento está enfocado en hacer una revisión de los entornos con dos sistemas de control, aunque menciona que el entorno no está terminado con todas las características, a pesar de ello se pueden presentar resultados positivos.
Resultados	En los resultados se encontró que el entorno virtual presenta similitudes en relación con lo que se presenta en el mundo real, así como en la literatura.
Aportes	Se evidencia una relación que muestra los resultados obtenidos con los que se puede obtener de la literatura disponible, así como los resultados obtenidos del entorno virtual.
Brechas	El sistema de control se puede seguir mejorando, esto porque se menciona que fue el sistema más básico probado.

³⁸ Payne, P., & Sanchez-Velazquez, E. (2018). Comparison of Electric Wheelchair Control Systems in a Virtual Environment. 2018 10th Computer Science and Electronic Engineering (CEEC). <https://doi.org/10.1109/ceec.2018.8674222>

3.4 Capacitación de la navegación en silla de ruedas en entornos virtuales inmersivos para pacientes con lesión de la médula espinal: información del usuario final para diseñar un sistema eficaz

Tabla 3-5: Entorno virtual para paciente con lesión medular.

Nombre	Capacitación de la navegación en silla de ruedas en entornos virtuales inmersivos para pacientes con lesión de la médula espinal: información del usuario final para diseñar un sistema eficaz ³⁹
Año	2016
Grupo, Uni/	S. Gupta, D. Snell & M. Rey, Universidad de Otago
País/Ciudad	New Zelanda, Christchurch
Resumen	El proyecto busca cómo objetivo desarrollar y evaluar un sistema de entrenamiento de sillas de ruedas en un entorno virtual a través de personas con lesiones medulares, también cuenta con profesionales afines con la rehabilitación y usuarios de silla de ruedas.
Resultados	El sistema de entrenamiento de silla de ruedas demuestra que un entorno virtual de rehabilitación permite a los usuarios de sillas aprender de esta experiencia. Las experiencias de los usuarios no pueden generalizarse a otros entornos clínicos, así como médicos o usuarios de sillas de ruedas. Este estudio evidencia que tanto médicos como las personas experimentadas en silla de ruedas coincidieron en que esta aplicación tiene una utilidad.
Aportes	El proyecto debe tener en cuenta realizar las pruebas en un entorno clínico. El sistema debe presentar una mejora en la precisión acercando así a un entorno más real.
Brechas	El sistema presenta efectos secundarios, esto impide que el usuario pueda entrenar a gusto un periodo de tiempo largo. El entorno virtual produce náuseas. No presenta un límite de tiempo.

³⁹ Training wheelchair navigation in immersive virtual environments for patients with spinal cord injury – end-user input to design an effective system. (2017). Disability and Rehabilitation: Assistive Technology. <https://ezproxy.uan.edu.co:2112/doi/full/10.1080/17483107.2016.1176259?scroll=top&needAccess=true>

3.5 Simuladores de sillas de ruedas basados en realidad virtual: una revisión de scoping

Tabla 3-6: Revisión de scoping.

Nombre	Simuladores de sillas de ruedas basados en realidad virtual: una revisión del alcance ⁴⁰ .
Año	2019
Grupo de Inv./ Universidad	V. Colombo, G. Ferrigno, R. Sacchetti, M. Sacco. Politecnico di Milano (Politécnica de Milán)
País/Ciudad	Italia, Milán
Resumen	Este documento tiene como finalidad realizar una búsqueda o revisión en bases de datos científicas con el objetivo de evaluar las investigaciones publicadas que están relacionadas con el sentido de presencia el cual fomenta la eficacia de entornos virtuales, por otro lado, también se analiza la eficacia de los simuladores de sillas de ruedas. Los artículos o publicaciones en total fueron 62, de los cuales 29 describen los simuladores de sillas de ruedas. Este estudio está enfocado en revisar el alcance que tienen cada 1 de estos sin embargo estas tecnologías de realidad virtual se están empleando para mejorar la eficacia de las simulaciones en varios campos. La revisión de estos documentos fue desde el año 2000 hasta el 2017.
Resultados	Dentro de los resultados se encuentran que son favorables por lo que el campo de las sillas de ruedas representa un excelente campo de investigación. Teniendo en cuenta la variedad de soluciones tecnológicas es muy difícil obtener conclusiones.
Aportes	Revisar los documentos en su totalidad, esto permite ser más objetivo a la hora de dar un dictamen sobre las técnicas empleadas. La búsqueda de estos artículos solo se limitó a Google escolar no tuvieron en cuenta revistas más reconocidas como IEEEExplore, y entre otras.
Brechas	En los artículos no se tiene en cuenta la revisión metodológica. Cabe añadir que la selección de las palabras claves no fueron las correctas por lo que es posible que se hayan omitido algunos artículos relacionados.

⁴⁰ Virtual reality-based wheelchair simulators: A scoping review. (2020). Assistive Technology. <https://ezproxy.uan.edu.co:2112/doi/full/10.1080/10400435.2018.1553079?scroll=top&needAccess=true>

3.6 Diseño centrado en el usuario de un simulador de silla de ruedas de potencia multisensorial: hacia aplicaciones de entrenamiento y rehabilitación

Tabla 3-7: Simulador de sillas de ruedas multisensorial.

Nombre	Diseño centrado en el usuario de un simulador de silla de ruedas de potencia multisensorial: hacia aplicaciones de entrenamiento y rehabilitación ⁴¹
Año	2019
Grupo de Inv./ U	G. Vailland, F. Grzeskowiak, L. Devign, Y. Gaffary, B. Fraudet, É. Leblong, F. Nouviale, F. Pasteau, R. Le, S. Guégan, V. Gouranton, B. Arnaldi, M. Babel
País/Ciudad	Canadá, Toronto
Resumen	Las sillas eléctricas brindan autonomía de igual manera fomenta la inclusión social esto es muy importante para las personas que en su día a día tienen problemas de movilidad, aun así, la conducción de una silla de ruedas eléctrica representa un desafío, esto debido a que es necesario tener ciertas habilidades como pueden ser visuales, cognitivas y visuo-espaciales. Este tipo de sillas si no son manejadas u operadas de la forma adecuada pueden presentar riesgos para el usuario final, además de pérdidas materiales, por eso se hace necesario la creación de un sistema que capacite y ponga en práctica repeticiones en un entorno virtual. Este proyecto propone la creación de un simulador de sillas multisensorial.
Resultados	El simulador es operativo y funciona con éxito. Las pruebas han sido realizadas en diferentes dispositivos de visualización, como pantallas simples, dispositivos inmersivos, escenas 3D, pasando desde baja a alta resolución gráfica.
Aportes	La inmersión en un entorno virtual produce lo conocido como ciber sickness, los síntomas más frecuentes pueden ser náuseas, dolores de cabeza y mareos. Por lo tanto, una característica que debe presentar el sistema es la posibilidad de minimizar estos efectos. La mencionado anteriormente estaría sujeto a reducir los desajustes entre la información visual, vestibular y propioceptiva.
Brechas	El proyecto tiene una gran facilidad para emplearlo en celulares móviles denominados Smartphone que cuentan con un sistema capaz de procesar la información del videojuego e incorporarlo a las gafas de realidad virtual.

⁴¹ Vailland, G., Grzeskowiak, F., Devigne, L., Gaffary, Y., Fraudet, B., Leblong, E., Nouviale, F., Pasteau, F., Breton, R. L., Guegan, S., Gouranton, V., Arnaldi, B., & Babel, M. (2019). User-centered design of a multisensory power wheelchair simulator: towards training and rehabilitation applications. 2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR). <https://doi.org/10.1109/icorr.2019.8779496>

3.7 Uso de la realidad virtual para experimentar diferentes configuraciones de sillas de ruedas motorizadas

Tabla 3-8: Realidad virtual configuraciones de silla de ruedas.

Nombre	Uso de la realidad virtual para experimentar diferentes configuraciones de sillas de ruedas motorizadas ⁴²
Año	2017
Grupo de Inv./ Universidad	W. Dobson, C. Headleand, N. John, S. Pop Universidad de Chester, Chester
País/Ciudad	Reino Unido, Chester
Resumen	Este documento está basado en trabajos anteriores que han realizado los mismos autores. el proyecto creado es un entorno virtual el cual es llamado Wheelchair-VR, cuyo fin es entrenar habilidades de conducción para usuarios finales de sillas de ruedas motorizadas. El usuario para poder entrenarse lleva un HMD en su cabeza esto permite la inmersión en un entorno dónde se va a encontrar sentado en una silla de ruedas virtual. La forma como se controla la silla virtual es mediante un joystick.
Resultados	Comprobó la validación de un estudio el cual tenía como objetivo desarrollar un entorno virtual que es eficaz para la formación de habilidades de conducción necesarias para una silla de ruedas, los resultados fueron positivos, estos indican que las sillas de ruedas en un entorno virtual son capaces de contribuir a la formación real.
Aportes	La muestra seleccionada es muy pequeña, se espera que en próximos estudios a realizar haya una toma de muestras más considerable.
Brechas	No presenta la simulación de un entorno que manifieste superficies más irregulares, esto quiere decir que no solamente las superficies sean planas, también deben presentarse más inclinadas e incluso agregar diferentes tipos de inclinación, esto se consigue al variar el ángulo de elevación de la superficie.

⁴² Day, T. W., Dobson, W. H., Headleand, C. J., John, N. W., & Pop, S. R. (2017). Using Virtual Reality to Experience Different Powered Wheelchair Configurations. 2017 International Conference on Cyberworlds (CW). <https://doi.org/10.1109/cw.2017.33>

3.8 La implementación y validación de un entorno virtual para la formación de maniobras de sillas de ruedas impulsadas

Tabla 3-9: Entorno virtual para silla de ruedas impulsadas.

Nombre	La implementación y validación de un entorno virtual para la formación de maniobras de sillas de ruedas impulsadas ⁴³
Año	2018
Grupo de Inv./ Universidad	John Nigel, Serban R. pop, Thomas W, Panagiotis D. Ritsos, J. Headleand, Universidad de Chester
País/Ciudad	Reino Unido, Chester
Resumen	La conducción de una silla de ruedas con motor es una tarea compleja que requiere cierta capacitación. Este proyecto propone la implementación de un sistema capaz de entrenar a un usuario final con el objetivo de reducir accidentes inherentes al momento de conducir las en un entorno real. El trabajo también realiza una revisión de estudios que se han utilizado dentro de la tecnología de entornos virtuales con el fin que los usuarios finales pueden tener un mejor manejo de una silla de ruedas.
Resultados	Los resultados muestran que hay una mejora en las habilidades al momento de manejar una silla de ruedas con un sistema de realidad virtual.
Aportes	Los mareos y náuseas que se producen al estar en un entorno deben ser limitados. ya sea por el tiempo no encontrar estudios donde se minimizan estos, con el fin que el usuario final. Este estudio permite orientar al desarrollo de un diseño, así como a la creación de un entorno virtual mediante la integración de las nuevas tecnologías.

⁴³ John, N. W., Pop, S. R., Day, T. W., Ritsos, P. D., & Headleand, C. J. (2018). The Implementation and Validation of a Virtual Environment for Training Powered Wheelchair Manoeuvres. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(5), 1867–1878. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2017.2700273>

Brechas	El problema en los cibernickness es un problema que aún causa dificultad a la hora de hacer una inmersión efectiva.
---------	---

3.9 Un entorno mixto de formación en sillas de ruedas de realidad

Tabla 3-10: Entorno para silla de ruedas.

Nombre	Un entorno mixto de formación en sillas de ruedas de realidad ⁴⁴
Año	2017
Grupo de Inv./ Universidad	Día de Thomas W. Universidad de Chester Universidad de Chester
País/Ciudad	Reino Unido, Chester
Resumen	Los trabajos encaminados a la creación de entornos virtuales mediante la integración con la realidad virtual se han presentado de forma eficiente a la hora de entrenar habilidades que requieren manejar una silla de ruedas en un entorno real, un problema presente en este tipo de entornos es la presencia de náuseas entre otros síntomas similares, por lo cual este proyecto pretende abordar este problema con una alternativa denominada realidad mixta.
Resultados	El objetivo de reducir estos mareos que también es denominado cibernickness, es superado satisfactoriamente.
Aportes	El proyecto presenta una innovación debido a que trata un problema común relacionado con los entornos virtuales, además describe el diseño y la implementación, la cual presenta resultados positivos.
Brechas	Aún es necesario seguir implementando trabajos relacionados debido a que no están difundidos, y en la literatura se encuentra muy poco, es decir presenta una escasez en este tema.

⁴⁴ Day, T. W. (2017). Wheelchair-MR: A Mixed Reality Wheelchair Training Environment. 2017 International Conference on Cyberworlds (CW). <https://doi.org/10.1109/cw.2017.12>

3.10 Desarrollo y prueba piloto de un sistema de realidad virtual para simulación de sillas de ruedas eléctricas

Tabla 3-11: Simulación de silla de ruedas eléctrica.

Nombre	Desarrollo y prueba piloto de un sistema de realidad virtual para simulación de sillas de ruedas eléctrica ⁴⁵
Año	2017
Grupo de Inv./ Universidad	K. Ossa, B. Logo, E. Montenegro, M.Romero, A. Frizera, T. Bastos
País/Ciudad	Canada, Banff
Resumen	Este estudio pretende crear un entorno virtual de una silla de ruedas eléctrica, el cual va a proporcionar medidas cuantificables además de tener la posibilidad de capacitar al conductor, así como de medir el rendimiento de los controles. El trabajo presenta un sistema de realidad virtual con fines de entrenamiento en conducción de una silla eléctrica, esto es desarrollado con un entorno muy inmerso debido a las gafas de realidad virtual, que cuentan además con una silla de ruedas real.
Resultados	Las pruebas llevadas a cabo para comparar la experiencia de la realidad virtual y el rendimiento de conducción son comparadas con la experiencia de la silla de ruedas real y su rendimiento, esto arrojó como resultados que no existe una diferencia grande entre los tiempos transcurridos en las trayectorias ya está preestablecidas
Aportes	El entorno al presentar una inmersión mucho más interactiva brinda la experiencia de tener la sensación de estar allí.
Brechas	En el documento las pruebas son realizadas primero en el torno real y no se tuvo en cuenta el entorno virtual. Aún existe una diferencia respecto al tiempo entre la prueba en el entorno real y el virtual. Los mareos aún se siguen presentando.

⁴⁵ Hernandez-Ossa, K. A., Longo, B., Montenegro-Couto, E., Romero-Laisecca, M. A., Frizera-Neto, A., & Bastos-Filho, T. (2017). Development and pilot test of a virtual reality system for electric powered wheelchair simulation. 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). <https://doi.org/10.1109/smc.2017.8122974>

4. Desarrollo metodológico

Siguiendo las recomendaciones dadas por la Universidad Antonio Nariño, se adopta la iniciativa CDIO (concebir, diseñar, implementar y operar), que de forma articulada llevará el desarrollo detallado de cada una de las fases hasta la culminación del prototipo.

Esta metodología busca contextualizar el problema basándose en artículos encontrados en la base de datos de la IEEEExplore, que incluye publicaciones, revistas, conferencias y normas publicadas por la IEEE y el IET, donde todos los resultados presentados son favorables, brindando una gran iniciativa a este proyecto. Por otro lado, tiene como base los conocimientos adquiridos en la carrera para desarrollar una estrategia tecnológica que permite estructurar una evaluación.

Para el desarrollo del proyecto se cuenta con un brazalete gForce, que es un dispositivo que cumple la función de adquirir y procesar la señal que proviene del antebrazo de la persona, los datos obtenidos son transferidos por medio del Bluetooth del brazalete al adaptador gForce Joint que se encuentra conectado a Arduino. Este a su vez está conectado a un puerto USB del portátil, con el fin de procesar la información en el software de ArduinoIDE, y mostrar la información en el monitor de puerto serie de acuerdo con los gestos que el usuario realice. Lo anterior permite probar el sistema y que este funcione de manera idónea. Posteriormente, se libera el puerto serial de ArduinoIDE para procesar la información en Unity 3D mediante conexión serial con el fin de conducir una silla de ruedas eléctrica en un apartamento adaptado para la simulación.

En cuanto a la validación, la prueba de campo se realizará con nueve personas en condición sana y una paciente con triplejía, donde todas ellas recorrerán la trayectoria que

se encuentra implementada mediante esferas, las cuales van desapareciendo a medida que va avanzando, además, sí en el transcurso del recorrido la persona se choca con objetos inmobiliarios contarán como errores. Al final de la prueba se muestra cuántas esferas recogió y cuántos errores obtuvo, así como el tiempo que se demoró en hacer la prueba.

- Cabe recalcar que esta investigación será realizada de acuerdo con los objetivos específicos planteados, esto para cumplir el objetivo general. Además, para el desarrollo de las fases presentes en la metodología se hace necesario describir el proceso que se tiene en cuenta en la planeación de esta.

4.1 Planeación de la metodología

4.1.1 Primera fase: Revisión de antecedentes

4.1.2 Segunda Fase: Adaptación del entorno virtual

- **Concebir:**
 - ❖ Determinar un entorno virtual adecuado para el desplazamiento de la silla, esto incluye superficies lisas, rampas si son necesarias, obstáculos producidos por el mobiliario, esto evita futuros inconvenientes en el desplazamiento libre del paciente.
 - ❖ Obtener dimensiones de la silla y a partir de estas medidas se procede al establecimiento de un mínimo del ancho de las puertas.
 - ❖ Propiciar un entorno virtual llamativo.
- **Diseñar:**
 - ❖ Adaptar el entorno virtual de acuerdo con las condiciones establecidas como pisos lisos y puertas amplias.
 - ❖ Hardware necesario para la aplicación.
- **Implementar:**
 - ❖ Ajustar la vista del entorno a la silla, con el fin de que sea en primera persona, esto con el fin de emular la realidad.
- **Operar:**
 - ❖ Realizar pruebas del funcionamiento del entorno.
 - ❖ Verificar rotación y traslación de la silla.

4.1.3 Tercera fase: Desarrollo del prototipo

- **Implementar:**
 - ❖ Programar cada objeto presente en el entorno, cuyo fin es interactuar con el paciente.
 - ❖ El paciente debe sentir que está en la silla.
 - ❖ El entorno virtual debe tener la opción de reiniciar, así como un mensaje positivo que refuercen su adaptación.
 - ❖ Modelo de locomoción de la silla.
- **Operar:**
 - ❖ Pruebas de funcionamiento mediante el uso del teclado del portátil.

4.1.4 Cuarta fase: Comunicación de Software con Hardware

- **Concebir:**
 - ❖ Configuración de Unity y gForce.
- **Diseñar:**
 - ❖ Algoritmo para la comunicación de datos entre Unity y gForce.
- **Implementar:**
 - ❖ Interfaz de adquisición de datos.
- **Operar:**
 - ❖ Pruebas de funcionamiento mediante el uso del gForce.
 - ❖ Interfaz de usuario para la visualización del correcto desarrollo de la prueba.
 - ❖ Algoritmo para reiniciar el sistema.

4.1.5 Quinta fase: Validación del sistema

- **Operar:**
 - ❖ Realizar pruebas en el guiado de la silla en el entorno virtual con una muestra de 10 personas sanas que permita obtener el registro del número de colisiones con los objetos en cada prueba.

4.2 Hardware integrados al entorno de simulación

En seguida se describe cómo funcionan los dispositivos utilizados en el proyecto.

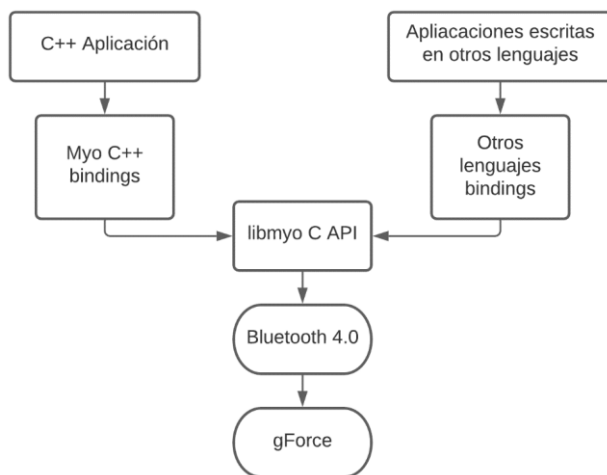
4.2.1 gForce 200 Armband

La información capturada por el brazalete es transmitida por medio de conexión Bluetooth Smart, sincronizándose con el adaptador gForce Joint esté a la vez se conecta a Arduino Mega, que mediante conexión serial transfiere los datos a Arduino software (IDE) o ArduinoIDE instalado en un sistema de cómputo, convirtiendo a este hardware en un dispositivo compatible con diferentes sistemas operativos como los son: Windows 7, 8, 10, iOS 7.0 y nuevas versiones, Linux, Mac OS X 10.8 y dispositivos Android con versión 4.3 o superior.

gForce cuenta con un software empleado para configurar parámetros del hardware, así como con un software para administrar aplicaciones y un SDK que tiene librerías ejecutables documentación y ejemplos dirigidos a desarrolladores.

La arquitectura del SDK se la observa en la Figura 4-11. La parte más importante del SDK es la librería libmyo, construida en un API de C plano, esto facilita que aplicaciones con diferentes lenguajes interactúen con el brazalete. C++ bindings cumple la función de ser un intermediario de acceso entre los lenguajes y libmyo. Además, está encargado de la conexión del brazalete y los eventos de los gestos de la mano como; la posición y la orientación del brazo.

Figura 4-12: Arquitectura SDK de gForce.

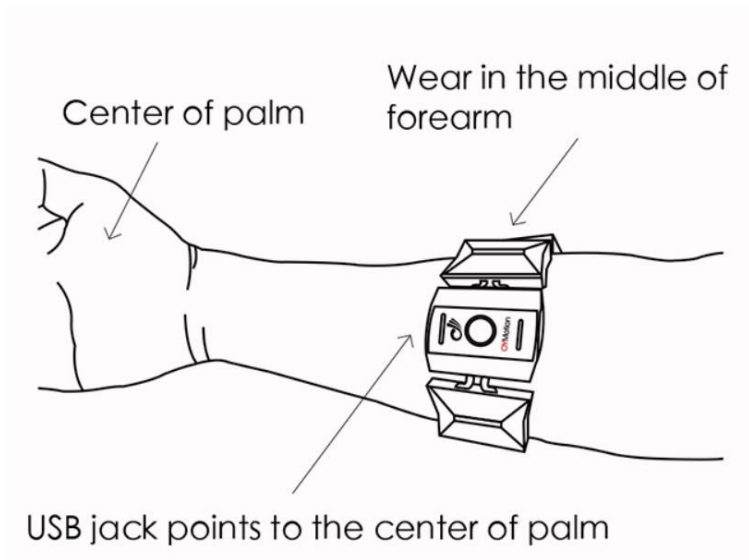


Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

▪ **Reconocimiento de gestos**

Con la finalidad de reconocer los gestos iniciales de la mano, es necesario partir de una posición neutral, es decir, mover el codo hasta conseguir la flexión, esta debe tener una aproximación a los 90 grados y teniendo en cuenta que la palma este dirigida hacia adentro como se observa en la Figura 4-13, siendo esta la forma correcta de usarlo sin importar que antebrazo sea usado, por tanto, el dispositivo está habilitado para personas diestras, surdas, así como para proyectos que impliquen usar los antebrazos. Es importante considerar que este brazalete no puede ser usado por niños, debido a que los niños no cuentan con un antebrazo lo suficientemente desarrollado en cuanto a tono muscular es decir, su ancho, como es requerido para hacer contacto con el brazalete y obtener la lectura de las señales mioeléctricas, por ende se hace necesario que las pruebas sean en personas adultas o que cumplan la condición de tener un antebrazo con buen tono muscular, esto facilita la interacción con el brazalete gForce.


Figura 4-13: Posición neutral de la mano.



Fuente: *Hardware Power on and power off Re-charging How to Wear.* (s. f.)

Por otro lado, los gestos que reconoce son los siguientes: puño, extensión de los dedos, flexión de la mano, extensión de la mano, pellizco y disparo (Tabla 4-12).

Tabla 4-12: Gestos que reconoce el brazalete gForce⁴⁶.

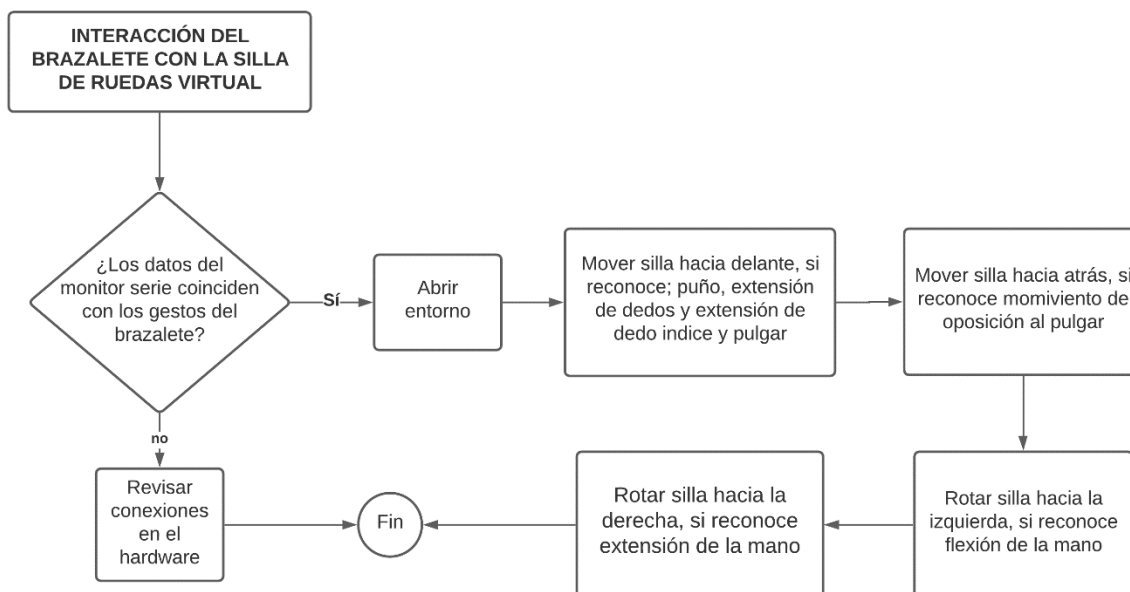
Gestos	Movimiento	Acción muscular
	Flexión de Mano	Flexores de Mano

⁴⁶ Hardware Power on and power off Re-charging How to Wear. (s. f.)

	Extensión y abducción de dedos	Abducción de dedos
	Flexión de Muñeca	Flexores de Muñeca
	Extensión de Muñeca	Extensores de Muñeca
	Movimiento de oposición de pulgar	Músculos del pulgar
	Extensión dedo índice y pulgar	Músculos del pulgar e índice

Considerando los seis gestos que posee el brazalete, se han seleccionado tres gestos para mover la silla hacia adelante, dos gestos en función de la rotación y uno en dirección hacia atrás. Todos los gestos funcionan adecuadamente, en el siguiente diagrama de flujo ver la Figura 4-14 se explica la interacción entre el brazalete y la silla de ruedas virtual.

Figura 4-14: Interacción del brazalete con la silla eléctrica.



Fuente: Guerrero A. Propia del estudio.

4.2.2 gForce Joint

Es un adaptador encargado de conectarse de manera automática al brazalete gForce a través de Bluetooth. El gForce es un brazalete que transmite un índice de señales, valores de cuaternión al adaptador, este reenvía la información obtenida mediante su puerto COM (TX) y el Arduino adquiere el índice de gestos a través de su puerto COM (RX). En la **Figura 4-15**, se observa el dispositivo que hace esta transmisión.

Figura 4-15: gForce Joint.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

▪ **Implementación del diagrama de conexión del gForce Joint y la placa de Arduino Mega**

Para la conexión del adaptador gForce Joint a Arduino Mega, se tiene en cuenta un puerto serie (Serial2) disponible en los pines digitales 17 (RX2) y 16 (TX2), con un voltaje 5V y un punto de referencia (GND), esto hace que el dispositivo funcione correctamente y pueda sincronizarse con el brazalete. Esta sincronización para que sea eficaz tanto el brazalete como el gForce Joint deben contar con una distancia mínima de diez centímetros entre ellos.

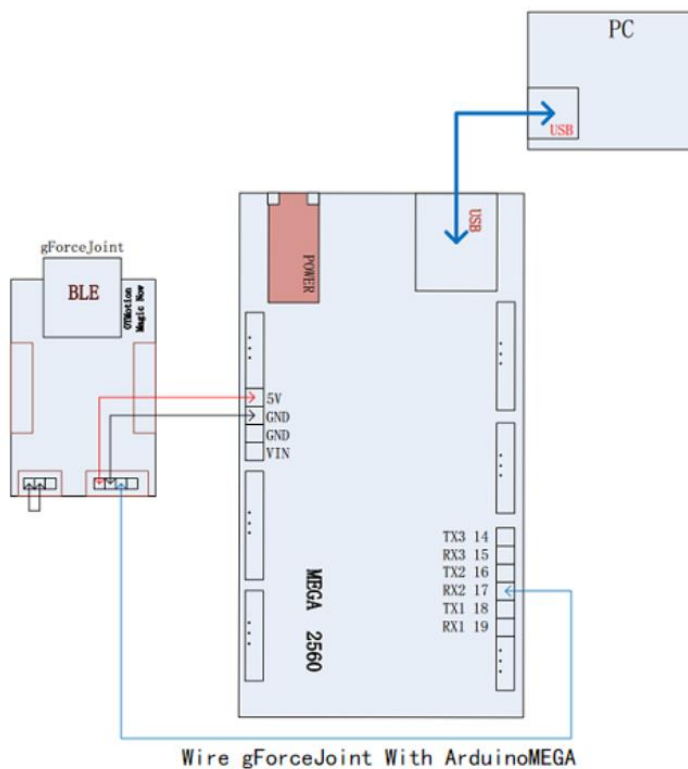
En la siguiente (Tabla 4-13) se muestra las recomendaciones de conexión para el gForce Joint y Arduino Mega.

Tabla 4-13: Conexión gForce con la placa de Arduino Mega.

gForce Joint	Placa Arduino Mega
VCC	5V
GND	GND
TX	RX2
RX	TX2

La conexión que se muestra en la tabla 4-14, es implementada de forma gráfica como se muestra en la Figura 4-16.

Figura 4-16: Conexión gForce con la placa de Arduino Mega y la PC.



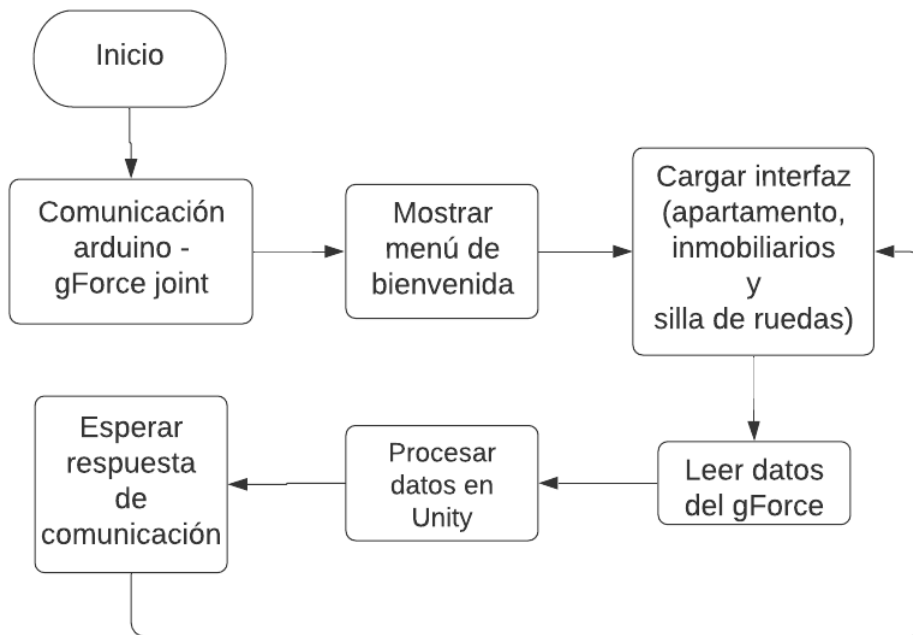
Fuente: shichao, S. (2020). gForceJoint - OYMotion. Github.io.
<https://oymotion.github.io/gForceJoint/gForceJoint/>

4.3 Software incorporado en el desarrollo del entorno virtual

4.3.1 ArduinoIDE

Teniendo en cuenta el código que viene en la página del fabricante del brazalete gForce, el cual sirve para la conexión y la transferencia de datos entre el brazalete y el sistema de cómputo, ver Figura 4-17, esta muestra como es la comunicación entre estos.

Figura 4-17: Transferencia de datos por medio de ArduinoIDE.



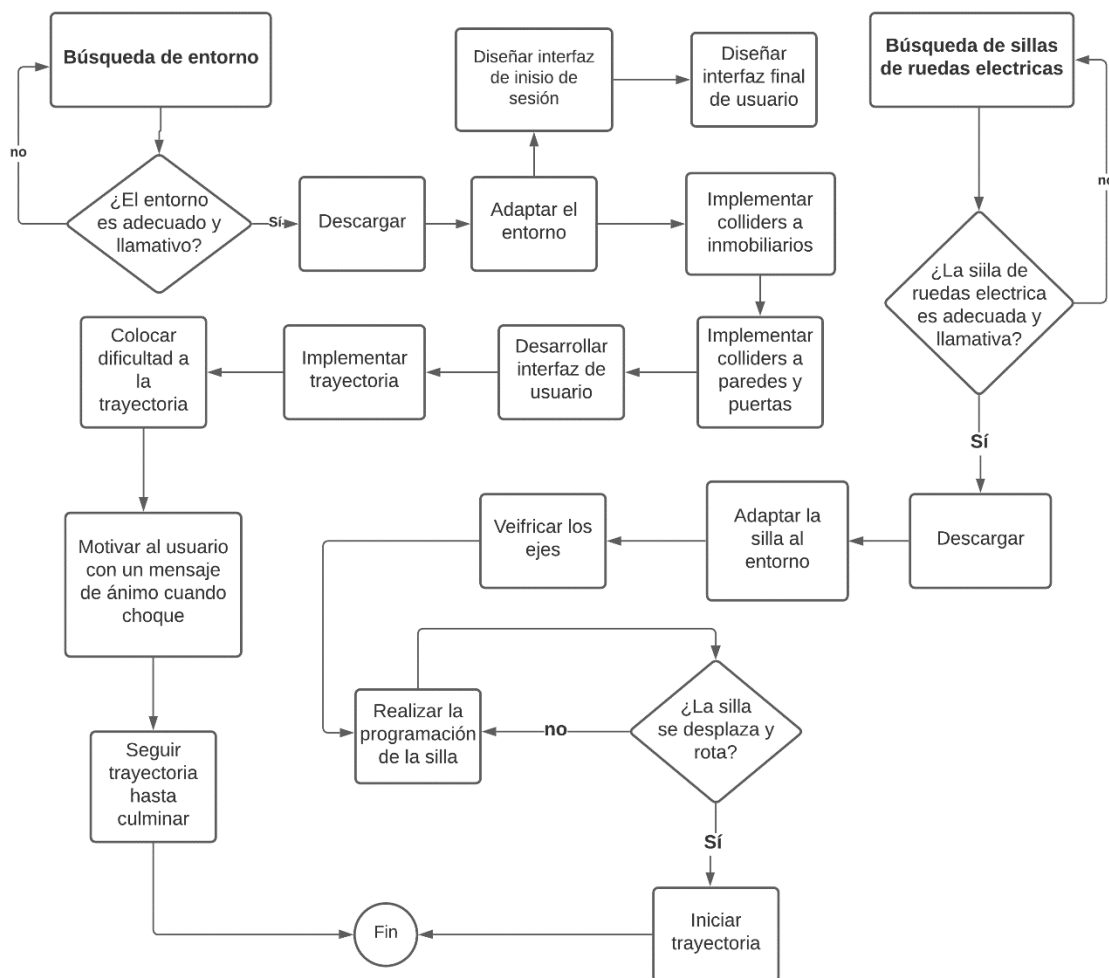
Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

4.3.3 Unity 3D

- **Adaptación del escenario virtual**

Tanto el departamento como la silla han sido adaptadas al entorno de simulación como se muestra en el siguiente diagrama de flujo que se observa en la figura 4-18. Conservando la escala 1:2, es decir, a la mitad de la escala real.

Figura 4-18: Búsqueda de entorno y silla.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

En la adaptación del apartamento al entorno virtual ver Figura 4-19, se configura cada uno de los componentes con el fin de interactuar con la silla, también el apartamento debe cumplir con las siguientes características como:

- La habitación, la sala de estar, el comedor, y el baño, deben presentar una superficie lisa, es decir, la conexión entre estos debe ser plana para que la silla pueda desplazarse sin inconvenientes.
- Las esferas están colocadas cerca de los inmobiliarios, esto dificulta aún más el desplazamiento, esto permite que el usuario sea preciso.
- El sistema solo se reinicia una vez que termine la trayectoria.

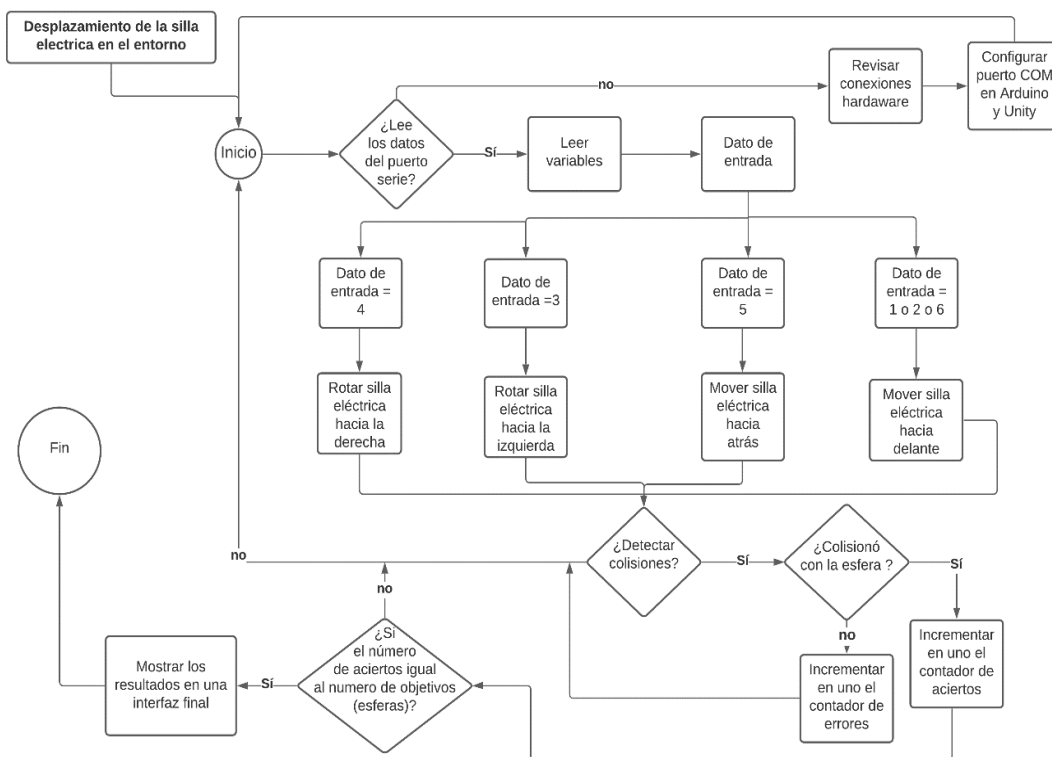
Figura 4-19: Apartamento.



Fuente: (Cabin, s. f.)

De la misma manera se adaptó la silla de ruedas eléctrica al entorno de simulación, la característica principal de adecuación fue en sus dimensiones, especialmente el ancho, esto para que se pueda desplazar en el apartamento sin problemas. La interfaz inicial y final de usuario también están asociadas a esta, ver Figura 4-20, correspondiente al diagrama de flujo.

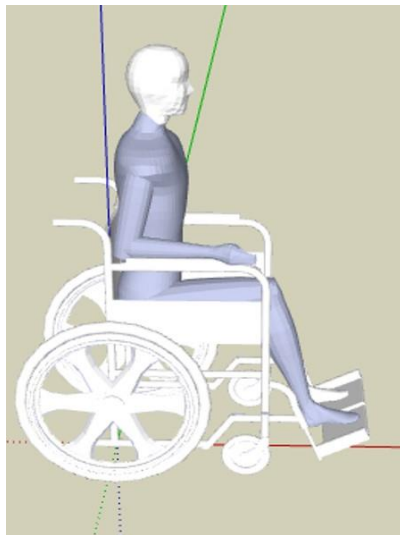
Figura 4-20: Desplazamiento de la silla eléctrica en el entorno.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

En la siguiente ilustración, ver Figura 4-21 se muestra el modelo de silla eléctrica usada para el proyecto con dimensiones de treinta centímetros de ancho y sesenta centímetros de largo. La silla tiene implementado los algoritmos usados para su adecuado funcionamiento en el entorno.

Figura 4-21: Silla eléctrica virtual.



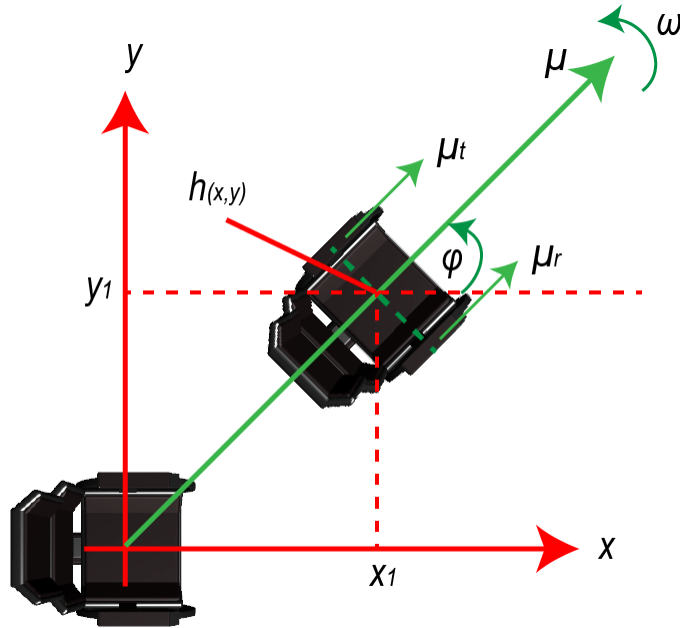
Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

4.3.1 Parámetros establecidos para el modelo de locomoción de la silla

El modelo de locomoción es una estructura tipo diferencial, que tiene tracción en las dos ruedas, donde μ representa el vector de velocidad y φ es la orientación o ángulo. En las coordenadas X y Y, ver Figura 4-22, el centro de giro de la silla de ruedas eléctrica tiene como coordenadas X_1 y Y_1 , (ver Ecuación (4.1 y 4.2)).

Las velocidades vienen dadas por \dot{h}_x y \dot{h}_y y $\dot{\varphi}$ (ver Ecuaciones (4.3, 4.4 y 4.5)). Donde el vector velocidad es multiplicado por la orientación, en relación con la función coseno, si es adyacente y la función seno si esta opuesto. Y $\dot{\varphi}$ que resulta de la derivada de la posición angular, para encontrar el modelo cinemático de la silla de ruedas eléctrica que se presenta (ver Ecuación (4.7)), dónde se tienen las velocidades lineales respecto con las velocidades generales de la silla de ruedas eléctrica, junto a la matriz Jacobiana. Esto tiene aplicabilidad en el entorno real y tiene como resultado controlar una silla de ruedas eléctrica con el objetivo de que siga distintas trayectorias.

Figura 4-22: Locomoción de la silla.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

$$h_x = X_1 \tag{4.1}$$

$$h_y = X_2 \tag{4.2}$$

$$\dot{h}_x = \mu \cos \varphi \tag{4.3}$$

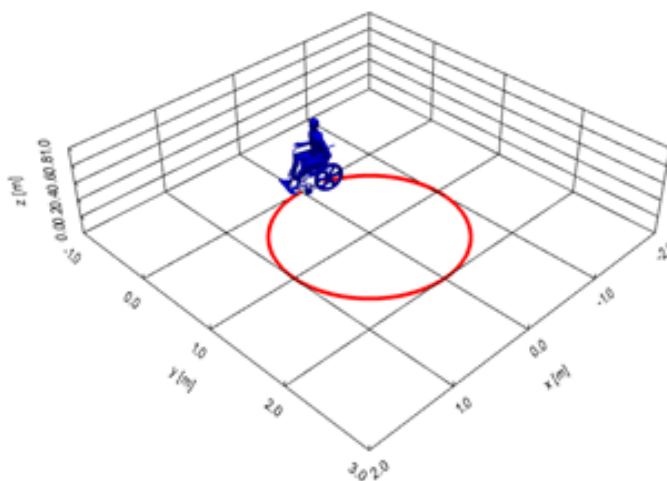
$$\dot{h}_y = \mu \sin \varphi \tag{4.4}$$

$$\dot{\varphi} = \omega \tag{4.5}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{h}_x \\ \dot{h}_y \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu \\ \omega \end{bmatrix} \tag{4.6}$$

Para la simulación del modelo cinemático de la silla se estableció un tiempo de simulación de 60 segundos con un tiempo de muestro de 100 ms y velocidades de referencia globales $\mu=0.1$ m/s y $w=0.1$ rad/s para que siga una trayectoria circular. La simulación se realizó en Python 3.8 y en la Figura 4-23 se muestra la trayectoria que genera la silla virtual.

Figura 4-23: Simulación de la trayectoria.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

4.4 Interfaz de inicio y de resultados

En la creación de estas interfaces, ver Figura 4-24 se tiene en cuenta la sección 4-19, además el algoritmo implementado designa para cada botón una acción, estos tienen como objetivo brindar y obtener información, por ejemplo, en los datos de la interfaz inicio ver Figura 4-34, es necesario ingresar documento de identidad, si el usuario no está registrado se deberá completar el formulario como; nombre, documento de identidad y edad ver Figura 4-25, esta última es muy importante porque este proyecto no permite trabajar con niños o personas que presenten robusticidad en los antebrazos y en la interfaz final, ver Figura 4-26, donde se muestra los resultados, como: los objetivos o aciertos, las colisiones que obtuvo y el tiempo que tardo en hacer la trayectoria.

Figura 4-24: Interfaz de inicio.



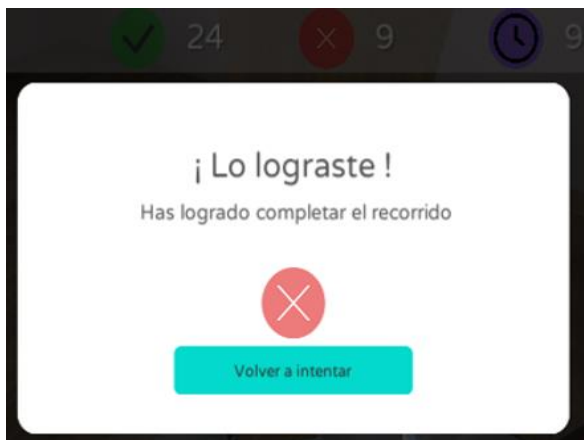
Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 4-25: Interfaz de registro.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

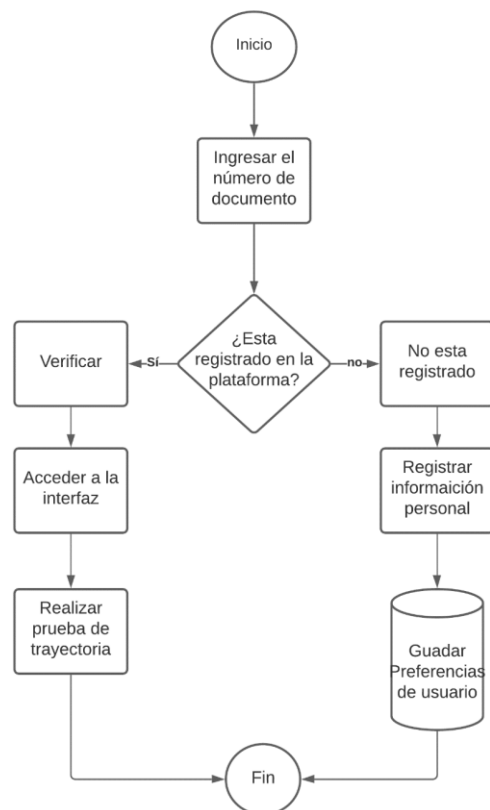
Figura 4-26: Interfaz final.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo ver Figura 4-25 explicando el registro de las preferencias de usuario, esta es local, y solo guarda los datos para obtener un registro de estos.

Figura 4-27: Preferencias de usuario.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

4.5 Protocolo de adquisición de señales mioeléctricas (sEMG)

Previo al uso del brazalete es necesario que la zona del antebrazo se encuentre limpia, esto permite remover las impurezas, contaminantes o artefactos que interfieran con la adquisición de las señales mioeléctricas para luego posicionarlo en el antebrazo siguiendo las recomendaciones dadas en la sección 4.2.1, reconocimiento de gestos. También se debe considerar las condiciones del paciente, intentando lograr una buena interacción con la plataforma virtual, así como la comodidad.

Además, es importante considerar para la conducción de la silla el tiempo entre cada gesto, el algoritmo implementando no tiene retrasos. Este se presenta en tiempo real, sin embargo, se debe esperar un segundo para realizar la siguiente acción, con el fin de observar si el procesamiento es el correcto.

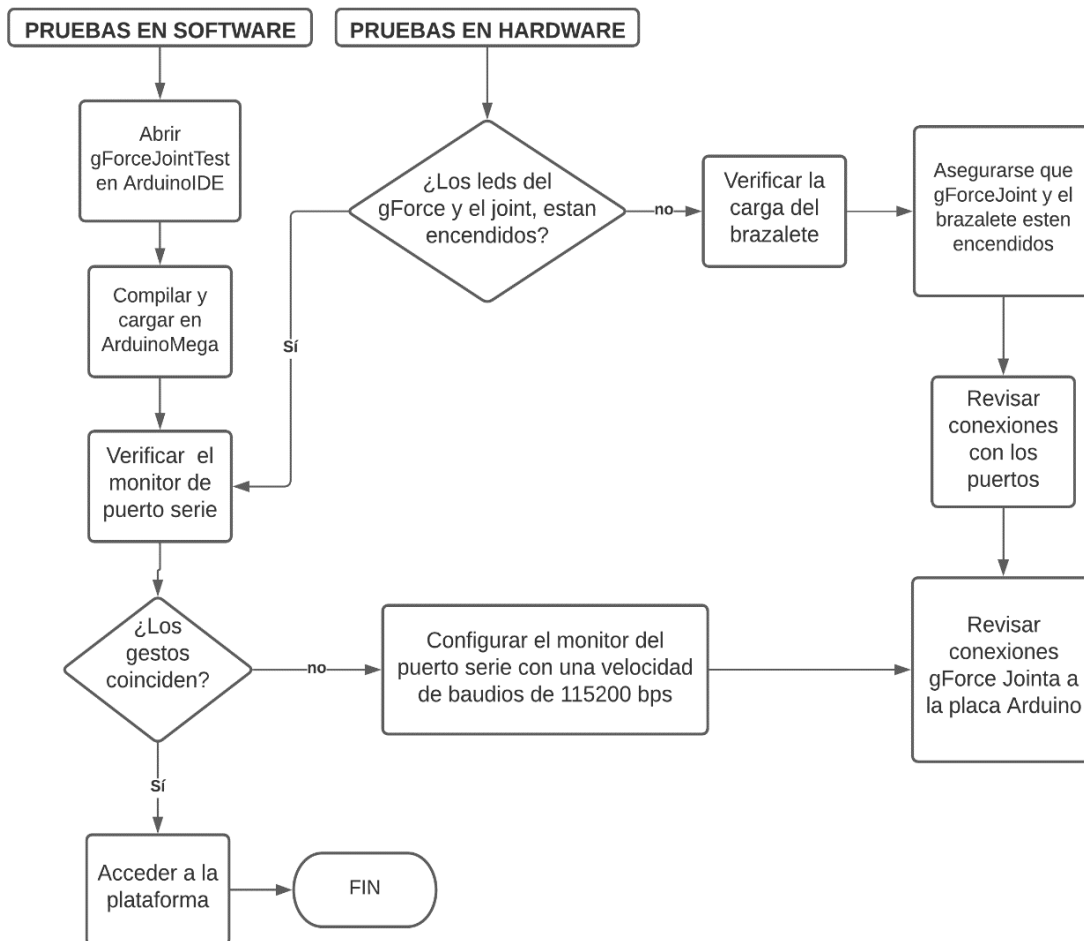
4.6 Implementación del sistema

Para la ejecución correcta del sistema en general es importante conocer las siguientes secciones.

4.6.1 Protocolo de conexión del brazalete gForce para el inicio de interacción con el entorno virtual

Considerando la anterior sección 4.6 referente a la adquisición de señales mioeléctricas, es necesario tener presente en las pruebas a realizar tanto en software como hardware, en el siguiente diagrama de flujo, ver Figura 4-26, que explica las recomendaciones a incorporar en el sistema para su adecuado funcionamiento. Además, el código del programa solo se carga una sola vez, porque luego ya estará preestablecido o embebido en Arduino.

Figura 4-28: Pruebas en software y hardware para el funcionamiento del sistema.

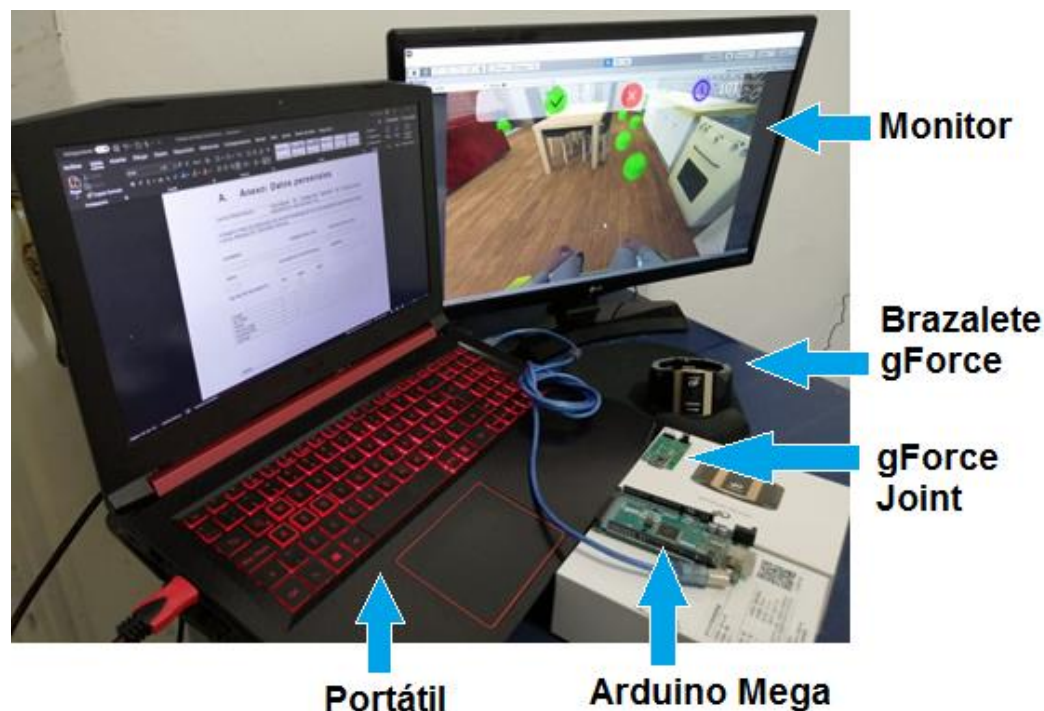


Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

4.6.2 Escenario de pruebas

Con el fin de la puesta en funcionamiento del escenario, ver Figura 4-29, se consideran los siguientes elementos que se van a utilizar, así como un espacio mínimo de dos metros cuadrados.

Figura 4-29: Elementos integrados al sistema de emulación.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

A continuación, se presenta el entorno en el cual se va a desarrollar la prueba, también se puede observar el diseño de la trayectoria de los diferentes ambientes como son el, dormitorio ver Figura 4-30, y la cocina ver Figura 4-31, la sala de estar ver Figura 4-32 el baño ver Figura 4-33.

Figura 4-30: Dormitorio.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 4-31: Sala de estar y cocina.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 4-32: Sala de estar y comedor.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 4-33: Baño.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

4.6.3 Procedimiento para la conducción de la silla e interacción con el entorno virtual

Teniendo en cuenta la posición del brazalete en el antebrazo este debe presentar las siguientes condiciones para su buen funcionamiento:

- Debe estar ajustado como se muestra en la sección 4.2.1.
- Para la lectura de los gestos es necesario que estos no se hagan con demasiada fuerza, pero tampoco de forma leve o débil, esto permite que el brazalete tenga una excelente lectura.
- Es fundamental considerar el protocolo de adquisición de señales mioeléctricas que se mencionan en la siguiente sección 4.5.
- Es Imprescindible verificar que los movimientos coincidan con los datos preestablecidos por el fabricante mediante el uso de ArduinoIDE.
- Posterior a implementar la conexión del brazalete gForce, se explica los movimientos a realizar como se desarrolla en la sección 4.2.1, interacción del brazalete con la silla eléctrica.
- A continuación, se realiza pruebas en el entorno para verificar si la información es correcta, posteriormente se inicia la prueba.
- Y al finalizar las pruebas se realiza una retroalimentación del sistema con una serie de preguntas relacionadas con la metodología, impacto, aspectos generales del brazalete gForce e interacción con el videojuego.

5. Análisis y resultados

Con el propósito de tener en primera instancia un acercamiento a la validación del sistema implementado en esta investigación, se comienza a realizar la prueba en 9 sujetos que no presentan ninguna afectación y uno que presenta triplejía, estas pruebas realizadas no presentan ningún riesgo, de hecho, este desarrollo es la base para el entrenamiento de un sistema que puede ser implementado en la vida real. La investigación realizada parte de artículos encontrados en la IEEEExplore, esto permite generar nuevos resultados con un nuevo escenario, diferente metodología, así como otro sistema de evaluación.

5.1 Evaluación del paciente en el entorno virtual

A fin de evaluar la interacción del paciente con el entorno virtual, se llevan a cabo ocho pruebas, que consisten en terminar la trayectoria y recoger los objetivos, independientemente del tiempo que se demore en terminarla, así como del número de colisiones que se presentan conforme avanza y llega a su final. El número de pruebas que se realizan al día son dos, y el tiempo entre estas es de seis horas, con el propósito de que el paciente presente un mejor entrenamiento, por consiguiente, un mejor control y dominio del sistema.

Para comenzar con las pruebas se debe tener en cuenta la sección 4.6.3

5.2 Pruebas de resultados

En esta sección se presenta las condiciones de los pacientes que se tienen en cuenta para el desarrollo de las pruebas. Los datos se describen a continuación.

5.2.1 Características de los distintos pacientes

A continuación, se presenta la (Tabla 5-15), que muestra las características de nueve pacientes en condiciones normales de salud y un paciente con triplejía. El criterio de selección para estos participantes fue en un grosor adecuado del antebrazo, esto para facilitar la toma de sEMG. Estos presentan mucho interés en interactuar con el sistema.

Tabla 5-14: Características de cada paciente que realizó la prueba.

Paciente	Ocupación	Estatura (cm)	Edad	Peso (Kg)	Sexo	Miembro afectado	Afectación
1	Estudiante	163	19	56	F	N/A	N/A
2	Estudiante	156	26	53	F	N/A	N/A
3	Confeccionista	157	43	54	F	N/A	N/A
4	Confeccionista	164	40	55	F	N/A	N/A
5	Confeccionista	168	34	75	M	N/A	N/A
6	Independiente	169	45	100	M	N/A	N/A
7	Estudiante	167	16	169	M	N/A	N/A
8	Independiente	171	44	68	F	N/A	N/A
9	Estudiante	167	25	58	F	N/A	N/A
10	Independiente	170	53	75	M	Miembros inferiores y brazo derecho	Triplejía

5.3 Evaluación de la trayectoria y del entorno virtual

Se observa que el entorno virtual presenta un adecuado funcionamiento en cuanto a la conducción de la silla y el procesamiento de los datos procedentes de la adquisición del brazaletes en el antebrazo. Esta plataforma virtual presenta características como: interactividad, usabilidad, e integración, permitiendo saber el impacto y la eficacia de este programa de formación considerando las colisiones y el tiempo en realizar la trayectoria.

Los resultados de estas pruebas se muestran a continuación en la (Tabla 5-15), dónde la Figura 5-34, hace referencia paciente uno, la Figura 5-35, al paciente dos, y así sucesivamente hasta la Figura 5-43, correspondiente al paciente diez.

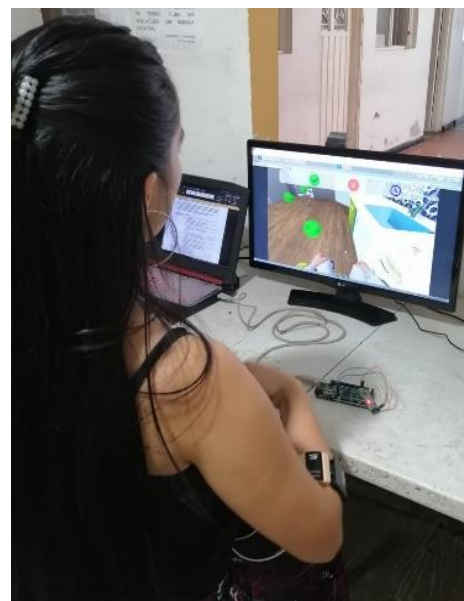
Tabla 5-15: Fotografías de cada paciente realizando la prueba.

Figura 5-34: Paciente uno.

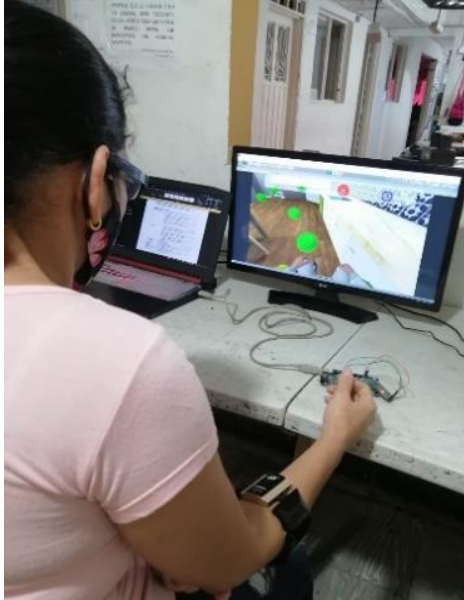


Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

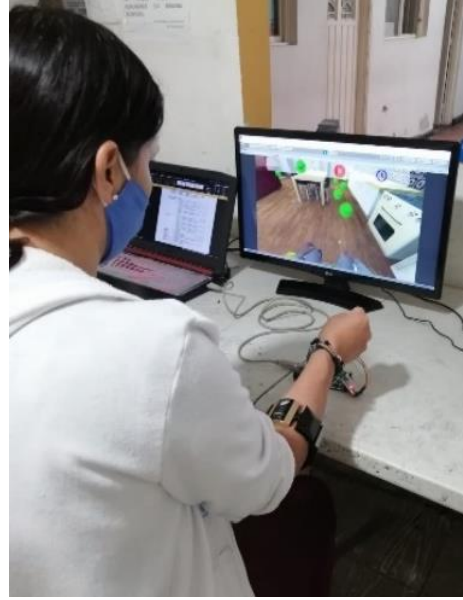
Figura 5-35: Paciente dos.



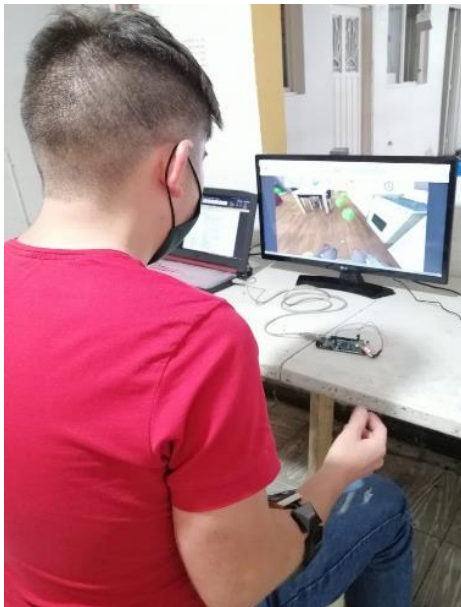
Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Tabla 5-15: (Continuación)**Figura 5-36:** Paciente tres.

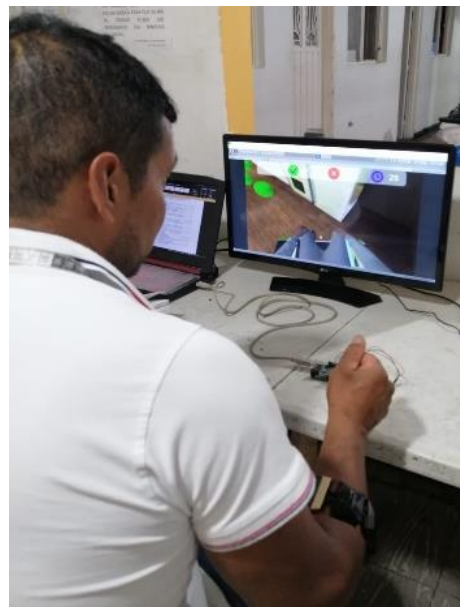
Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 5-37: Paciente cuatro.

Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 5-38: Paciente cinco.

Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 5-39: Paciente seis.

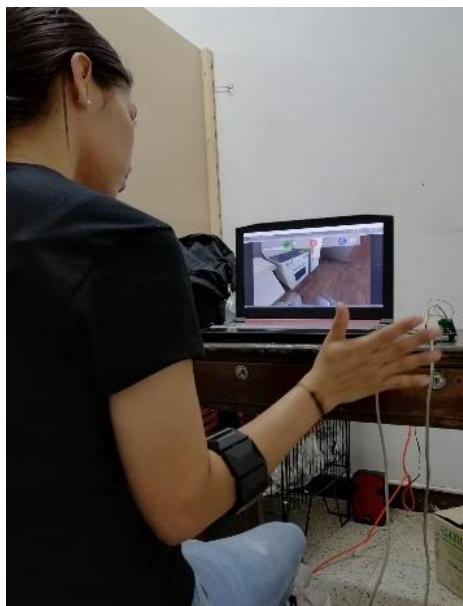
Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Tabla 5-15: (Continuación)**Figura 5-40:** Paciente siete.

Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 5-41: Paciente ocho.

Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 5-42: Paciente nueve.

Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

Figura 5-43: Paciente diez.

Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.1 Paciente uno

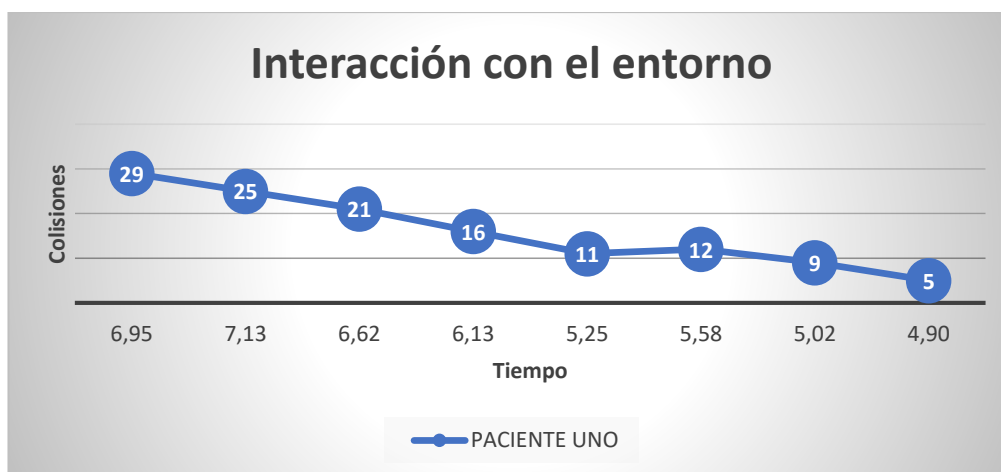
Esta paciente tuvo problemas para realizar los gestos, por otro lado, se observa que va mejorando a medida que avanzan las pruebas (Tabla 5-15), presentando una gran diferencia en cuanto al tiempo que llevo completar la trayectoria.

Tabla 5-16: Interacción con la plataforma paciente 1.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	29	7,0	417
Segunda	100	25	7,1	428
Tercera	100	21	6,6	397
Cuarta	100	16	6,1	368
Quinta	100	11	5,3	315
Sexta	100	12	5,6	335
Séptima	100	9	5,0	301
Octava	100	5	4,9	294

La gráfica 5-41, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Se observa que tiende a mejorar estos valores con cada prueba, obteniendo resultados satisfactorios.

Gráfica 5-44: Interacción de la plataforma virtual con el paciente uno.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.2 Paciente dos

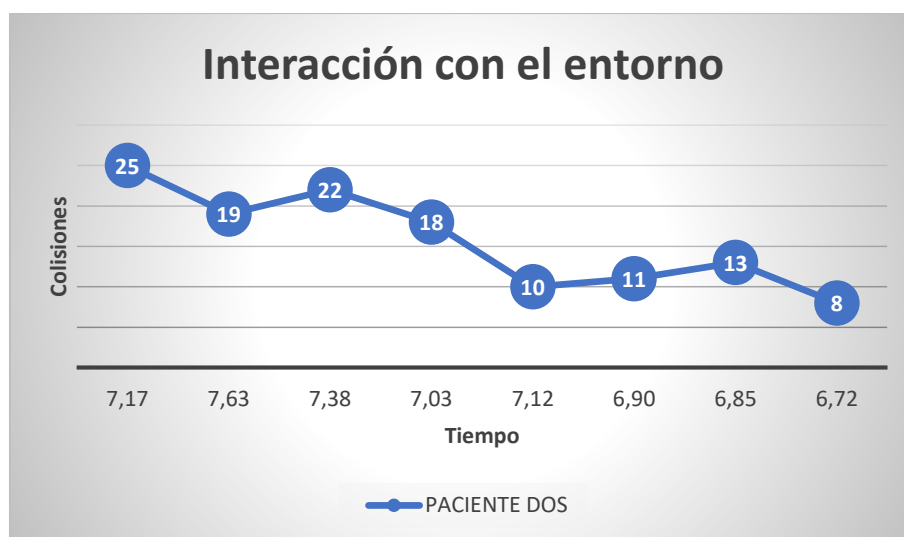
La paciente se demoró en tener en cuenta los gestos precisos, sin embargo, su desempeño fue bueno a medida que avanza con las pruebas (Tabla 5-15).

Tabla 5-17: Interacción con la plataforma paciente 2.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	25	7,2	430
Segunda	100	19	7,6	458
Tercera	100	22	7,4	443
Cuarta	100	18	7,0	422
Quinta	100	10	7,1	427
Sexta	100	11	6,9	414
Séptima	100	13	6,9	411
Octava	100	8	6,7	403

La gráfica 5-4, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Se evidencia que presenta una evolución positiva.

Gráfica 5-45: Interacción de la plataforma virtual con el paciente dos.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.3 Paciente tres

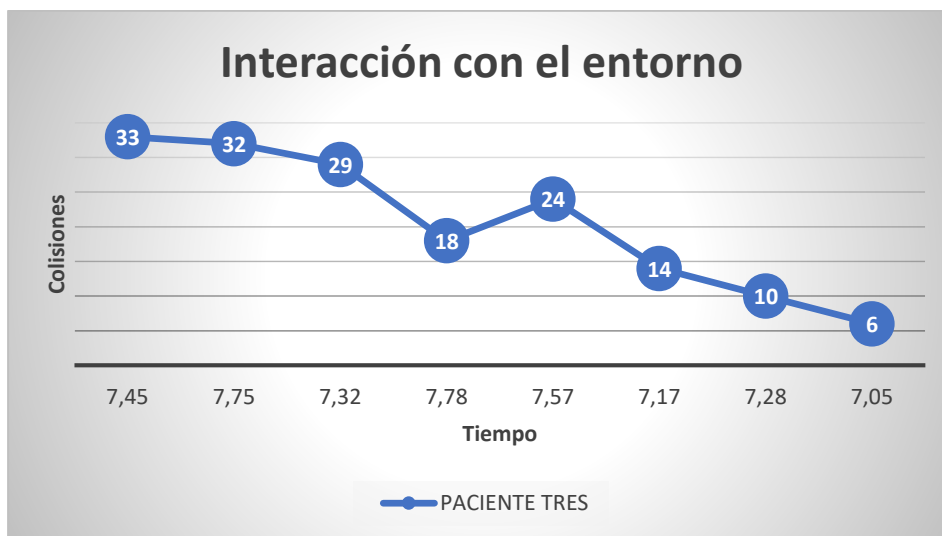
La paciente tiene dificultad para hacer los gestos, a pesar de ello presenta resultados positivos a medida que avanza con la trayectoria (Tabla 5-17).

Tabla 5-18: Interacción con la plataforma paciente 3.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	33	7,5	447
Segunda	100	32	7,8	465
Tercera	100	29	7,3	439
Cuarta	100	18	7,8	467
Quinta	100	24	7,6	454
Sexta	100	14	7,2	430
Séptima	100	10	7,3	437
Octava	100	6	7,1	423

La gráfica 5-44, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Se observa una tendencia a mejorar con cada prueba.

Gráfica 5-46: Interacción de la plataforma virtual con el paciente tres.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.4 Paciente cuatro

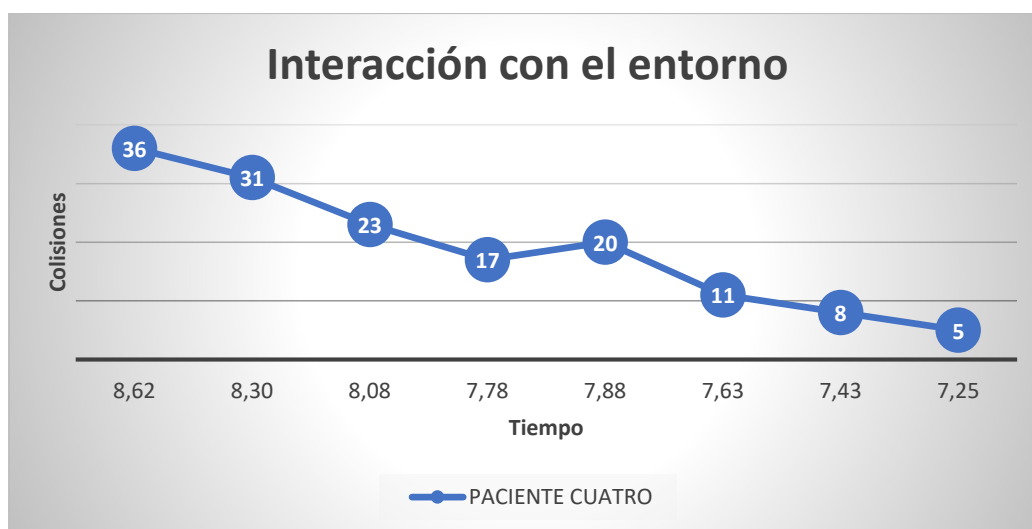
La paciente realizaba los gestos de forma débil por tanto la adquisición y procesamiento de la señal no era la correcta, posteriormente logra entender la precisión de los gestos, en las pruebas realizadas se observa como mejora su desempeño (Tabla 5-18).

Tabla 5-19: Interacción con la plataforma paciente 4.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	36	8,6	517
Segunda	100	31	8,3	498
Tercera	100	23	8,1	485
Cuarta	100	17	7,8	467
Quinta	100	20	7,9	473
Sexta	100	11	7,6	458
Séptima	100	8	7,4	446
Octava	100	5	7,3	435

La gráfica 5-4, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Presenta una buena adaptación.

Gráfica 5-47: Interacción de la plataforma virtual con el paciente cuatro.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.5 Paciente cinco

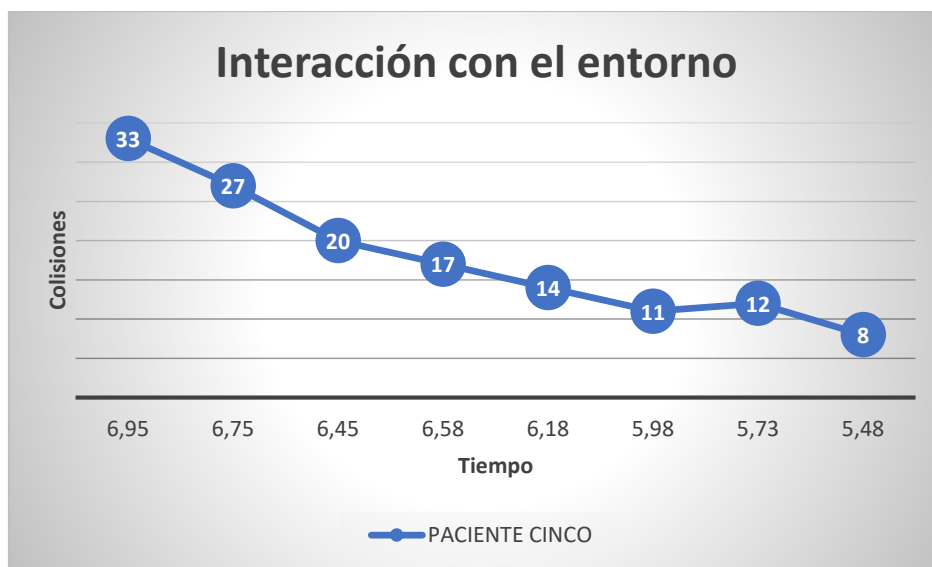
El paciente comprende fácilmente los gestos a realizar, no obstante, perfecciona la conducción de la silla a medida que el número de colisiones y el tiempo disminuye (Tabla 5-19).

Tabla 5-20: Interacción con la plataforma paciente 5.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	33	7,0	417
Segunda	100	27	6,8	405
Tercera	100	20	6,5	387
Cuarta	100	17	6,6	395
Quinta	100	14	6,2	371
Sexta	100	11	6,0	359
Séptima	100	12	5,7	344
Octava	100	8	5,5	329

La gráfica 5-4, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Se muestra que mejora en cada prueba.

Gráfica 5-48: Interacción de la plataforma virtual con el paciente cinco.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.6 Paciente seis

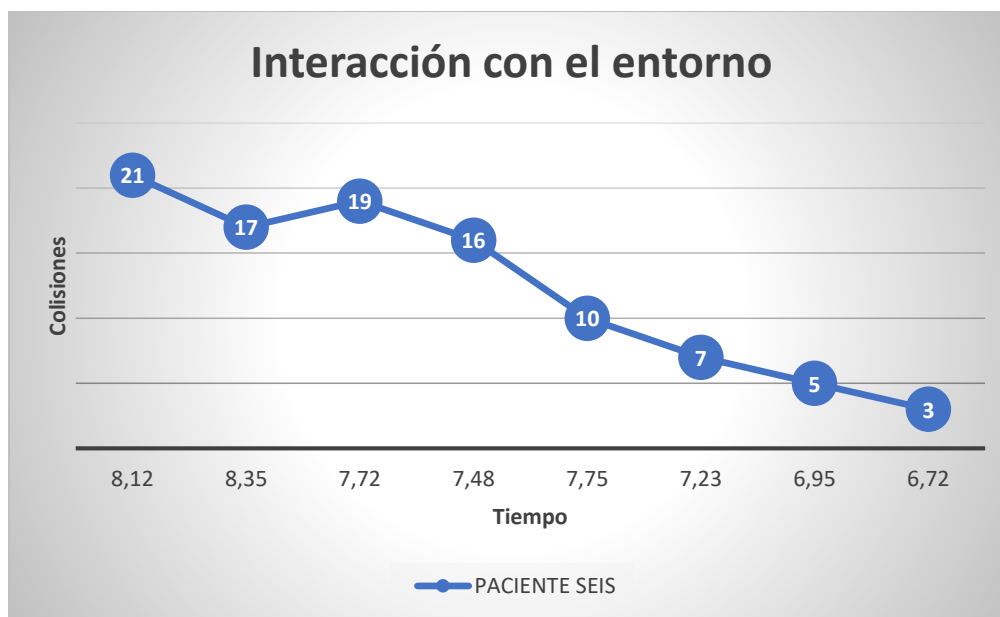
El paciente tiene problemas con la conducción de la silla, presenta gran dificultad para realizar los gestos precisos, a pesar de todo se observa como mejora (Tabla 5-20).

Tabla 5-21: Interacción con la plataforma paciente 6.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	21	8,1	487
Segunda	100	17	8,4	501
Tercera	100	19	7,7	463
Cuarta	100	16	7,5	449
Quinta	100	10	7,8	465
Sexta	100	7	7,2	434
Séptima	100	5	7,0	417
Octava	100	3	6,7	403

La gráfica 5-4, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Se evidencia que tiene una buena conducción de la silla.

Gráfica 5-49: Interacción de la plataforma virtual con el paciente seis.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.7 Paciente siete

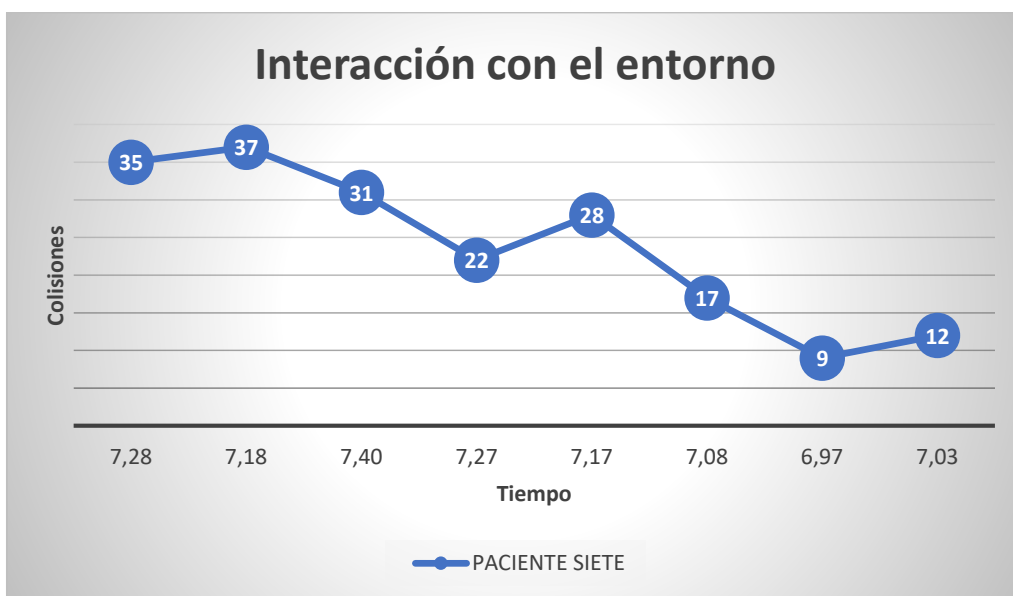
El paciente presenta problemas relacionando los gestos, pero conforme las pruebas avanzan tiende a mejorar esta habilidad motora (Tabla 5-21).

Tabla 5-22: Interacción con la plataforma paciente 7.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	35	7,3	437
Segunda	100	37	7,2	431
Tercera	100	31	7,4	444
Cuarta	100	22	7,3	436
Quinta	100	28	7,2	430
Sexta	100	17	7,1	425
Séptima	100	9	7,0	418
Octava	100	12	7,0	422

La gráfica 5-4, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Se constata que tiene mejoría conforme realiza las pruebas.

Gráfica 5-50: Interacción de la plataforma virtual con el paciente siete.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.8 Paciente ocho

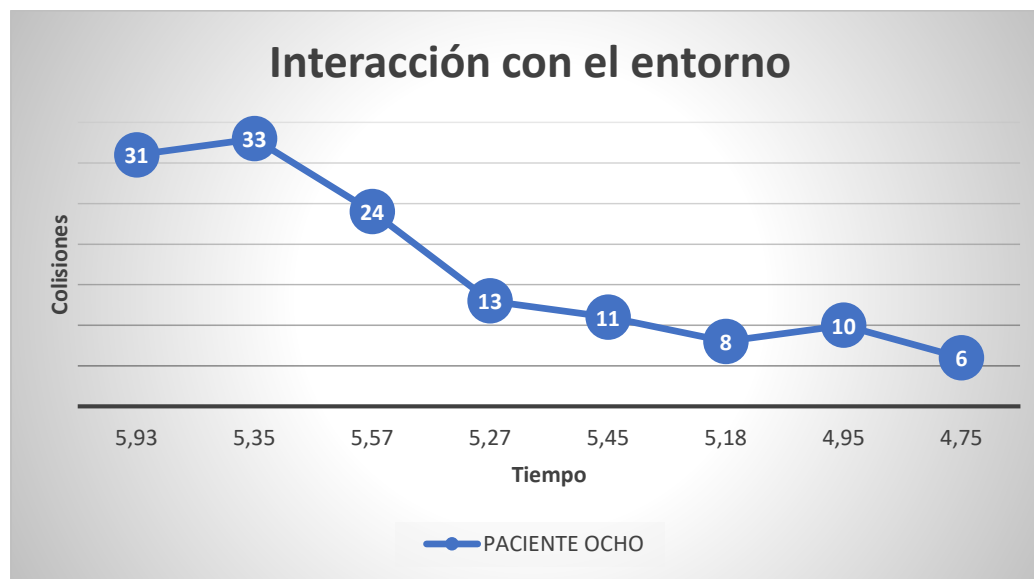
El paciente comprende la ejecución de los gestos, la conducción de la silla eléctrica virtual se ve mejorada en la (Tabla 5-22) se observa su progreso.

Tabla 5-23: Interacción con la plataforma paciente 8.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	31	5,9	356
Segunda	100	33	5,4	321
Tercera	100	24	5,6	334
Cuarta	100	13	5,3	316
Quinta	100	11	5,5	327
Sexta	100	8	5,2	311
Séptima	100	10	5,0	297
Octava	100	6	4,8	285

La gráfica 5-4, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Estas dos variables van disminuyendo a medida que entrena.

Gráfica 5-51: Interacción de la plataforma virtual con el paciente ocho.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.9 Paciente nueve

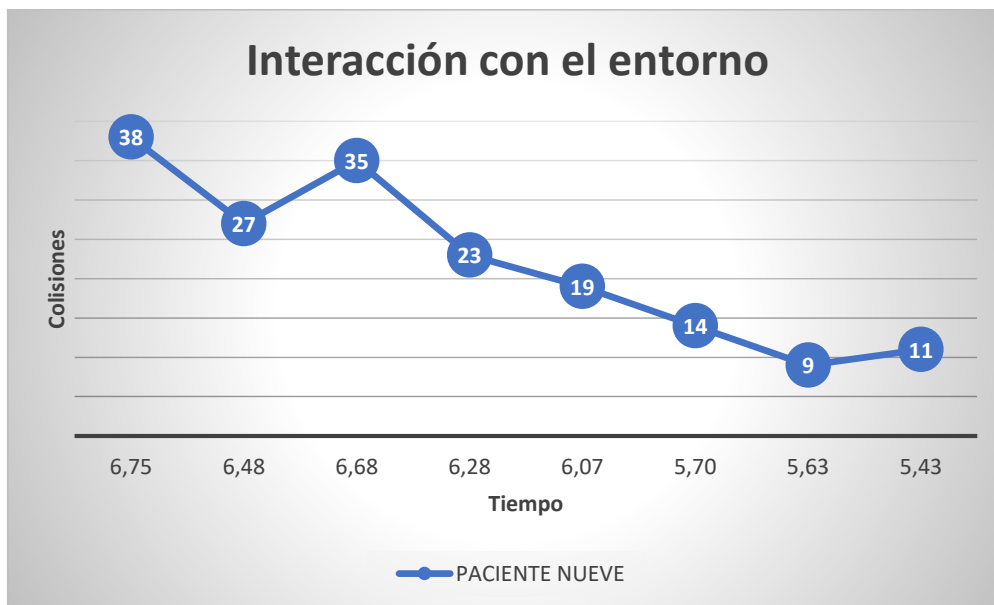
La paciente presenta dificultad en la ejecución de los gestos correctos, de igual forma presenta resultados satisfactorios (Tabla 5-23).

Tabla 5-24: Interacción con la plataforma paciente 9.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	38	6,8	405
Segunda	100	27	6,5	389
Tercera	100	35	6,7	401
Cuarta	100	23	6,3	377
Quinta	100	19	6,1	364
Sexta	100	14	5,7	342
Séptima	100	9	5,6	338
Octava	100	11	5,4	326

La gráfica 5-4, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. Se muestra que presenta un entrenamiento positivo.

Gráfica 5-52: Interacción de la plataforma virtual con el paciente nueve.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.3.10 Paciente diez

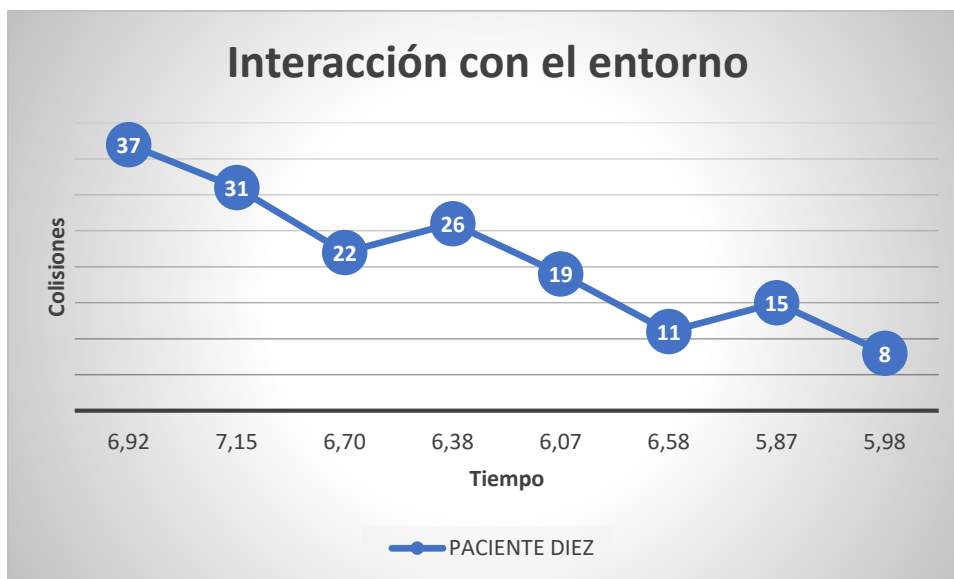
El paciente presenta problemas con la debida ejecución de los gestos.

Tabla 5-25: Interacción con la plataforma paciente 10.

Pruebas	Trayectoria total (%)	Colisiones con inmobiliarios	Tiempo (min)	Tiempo (s)
Primera	100	37	6,92	415
Segunda	100	31	7,15	429
Tercera	100	22	6,70	402
Cuarta	100	26	6,38	383
Quinta	100	19	6,07	364
Sexta	100	11	6,58	395
Séptima	100	15	5,87	352
Octava	100	8	5,98	359

La gráfica 5-4, representa el número de pruebas que el paciente realizó en función del tiempo y las colisiones. La evolución es positiva en cuanto a estas variables.

Gráfica 5-53: Interacción de la plataforma virtual con el paciente diez.



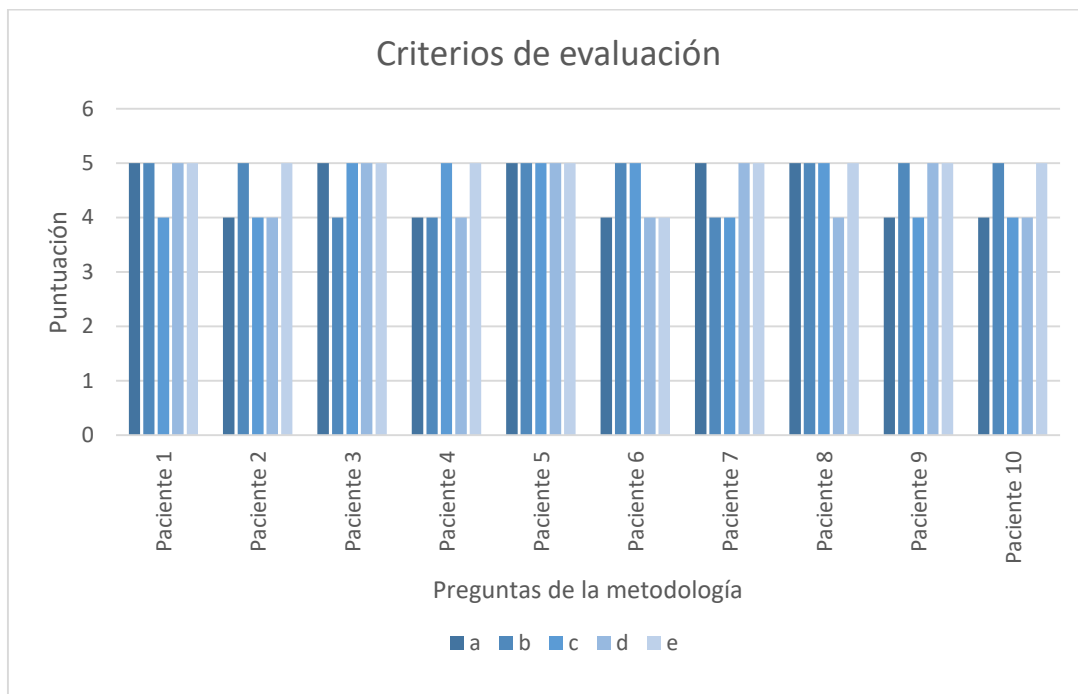
Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.4 Evaluación de los pacientes respecto a la metodología

La culminación de la trayectoria por parte de los pacientes y los diferentes gestos que realizaron para la conducción de la silla permite evidenciar que los resultados obtenidos son satisfactorios. Considerando lo anterior, el sistema implementado es una alternativa a la rehabilitación presentándose como una herramienta capaz de entrenar a un usuario y mejorando sus habilidades de conducción de una silla eléctrica virtual.

Tomando en cuenta la gráfica 5-54, referente a la evaluación del sistema “Anexo b”, Los pacientes sugieren hacer hincapié en los gestos, por otro lado, el entorno cumple con sus expectativas en cuanto a un sistema alternativo de rehabilitación, a la vez que el escenario propuesto se presenta acorde para una persona con movilidad reducida. Además, la trayectoria implementada cumple con obtener buenos resultados, añadiendo que los pacientes desean nuevos escenarios.

Gráfica 5-54: Criterios de evaluación del paciente en relación con la metodología.

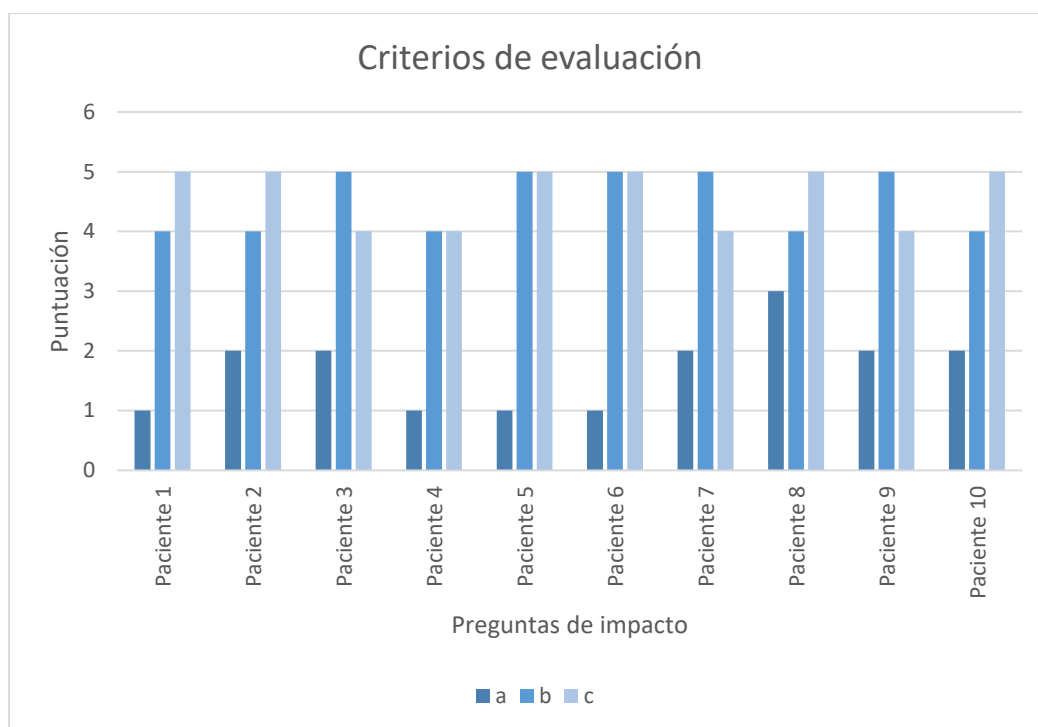


Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.5 Evaluación de los pacientes respecto al impacto

En la gráfica 5-55, correspondiente a la evaluación del sistema el “Anexo b” los pacientes no evidencian conocimiento acerca de estos nuevos entornos de simulación, luego de la interacción con esta plataforma adquieren conocimientos sobre estos novedosos entornos enfocados como una alternativa a la rehabilitación.

Gráfica 5-55: Criterios de evaluación del paciente en relación con el impacto.

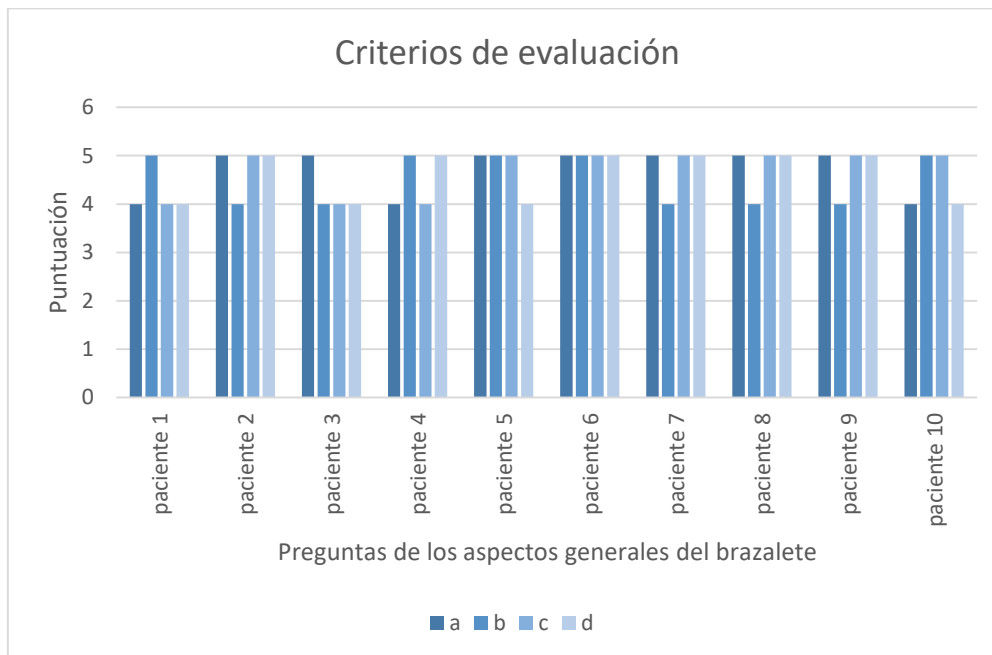


Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.6 Evaluación de los pacientes respecto al brazalete gForce

En cuanto a la Gráfica 5-56, que tiene como referente la evaluación del sistema “Anexo b”, donde manifiestan los pacientes que este brazalete presenta características de ser confiable, sin embargo, molesta un poco cuando su uso es durante un tiempo prolongado, también es considerado confortable. Con base a lo anterior ellos desean realizar la simulación más seguido.

Gráfica 5-56: Criterios de evaluación sobre los aspectos generales del brazalete.

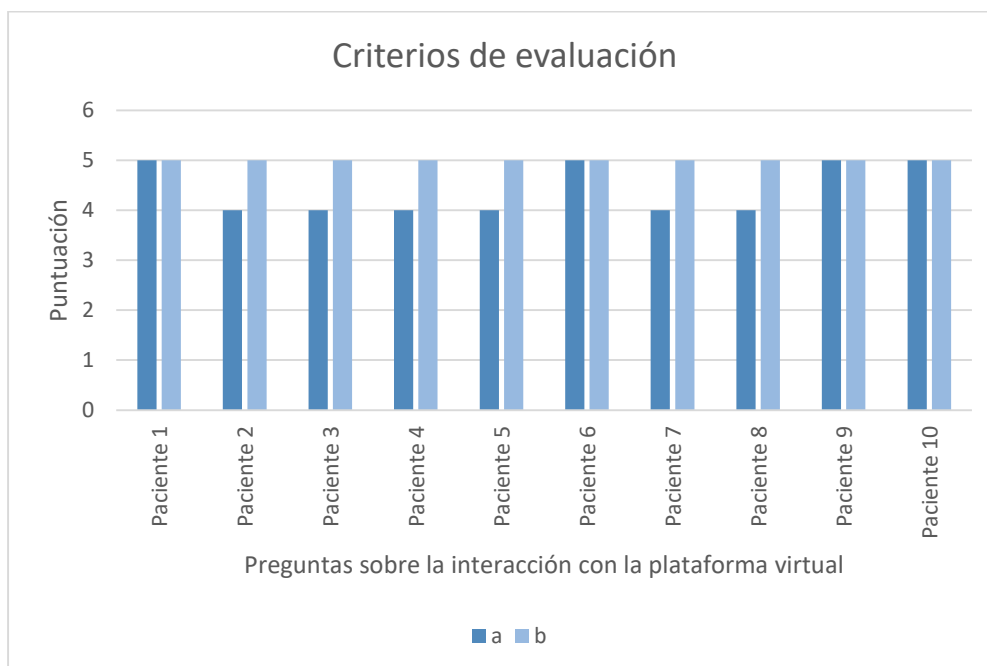


Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

5.7 Evaluación de los pacientes respecto al sistema de simulación

Respecto al entorno, los pacientes presentan entusiasmo y curiosidad ver Grafica 5-57, donde consideran que la trayectoria implementada está acorde para conseguir buenos resultados, en cuanto al desplazamiento y rotación de la silla es bien aceptada para la conducción en el entorno. Por otro lado, la simulación ha sido exitosa debido a que se cumplió con el objetivo propuesto, y los pacientes muestran satisfacción y agrado al finalizar las pruebas.

Gráfica 5-57: Criterios de evaluación sobre la interacción con la plataforma virtual.



Fuente: Guerrero A. Propia de estudio.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

En concordancia con los objetivos planteados, se desarrolla un sistema del guiado de una silla de ruedas virtual en un entorno que emula un apartamento con diferentes inmobiliarios, esto permitió validar el desempeño que los usuarios presentan a medida que entrenan sus habilidades motrices con un brazalete gForce, que adquiere y procesa las señales. Los resultados que se obtuvieron son favorables en este programa de formación o entrenamiento virtual.

Por otra parte, los pacientes presentaron asombro y se sintieron atraídos por interactuar con la plataforma virtual, en cuanto al brazalete gForce fue recibido con agrado, para luego realizar la simulación de la silla en el entorno virtual. Considerando lo anterior es posible concluir que el sistema presento una buena aceptación, esto se debió a que el entorno es llamativo e interactivo, así como fluido al momento de ejecutarse.

En cuanto a los resultados de las pruebas realizadas, se puede constatar que el sistema desarrollado es posible usarlo de manera repetitiva para un entrenamiento, también se evidencia que entre más veces realice la repetición de los gestos, mejor será la adaptación a la conducción de la silla en el entorno virtual. Lo anterior propicia que se adquieran nuevas destrezas motoras en el manejo de una silla de ruedas virtual.

Además, se demuestra que la implementación de estos nuevos programas de formación basados en videojuegos, son de utilidad al momento de entrenar una persona que adquiere estas nuevas tecnologías, teniendo en cuenta que por el momento estos brazaletes están diseñados para diámetros en específico. También cabe añadir que estos gestos realizados con la mano hacen posible usarlos en terapias ocupacionales con ambientes controlados, generando una motivación, adicionalmente esto le presenta al paciente una ventaja de confort debido a que, no es necesario asistir a un centro de rehabilitación.

Ahora bien, las expectativas de los pacientes en cuanto a las pruebas fueron positivas y satisfactorias. Se evidencia que los pacientes fueron mejorando a medida que aumentaban las pruebas, esto muestra que el desarrollo del sistema tiende a favorecer el proceso de adaptación, así como de entrenamiento en un ambiente de videojuegos.

Teniendo en cuenta que las diferentes plataformas para la creación de videojuegos son variadas, se optó en este caso por el uso de Unity 3D puesto que, todas las funciones del motor de este software son de uso gratuito, de manera análoga son diversos los entornos que se pueden adaptar para la rehabilitación. Esta tecnología puede ser empleada en casa, y controlada a distancia mejorando el confort del paciente.

Agregando a lo anterior, la implementación de este sistema presenta características que emulan la realidad propiciando un entorno apropiado para el entrenamiento, en cuanto a la silla de ruedas se tiene presente la rotación y el desplazamiento. Lo más importante a tener en cuenta es el dominio de los gestos, es necesario enfatizar en ellos, para facilitar una conducción más ágil, favoreciendo la confianza del usuario dentro del entorno virtual.

En definitiva, el desarrollo de esta investigación presenta bases para desarrollar diferentes habilidades motrices en la conducción de una silla de ruedas eléctrica, es decir permite entrenar a personas que presentan o no algún tipo de movilidad reducida. La plataforma virtual al ser interactiva permite desarrollar movimientos precisos, así como la coordinación de estos, y al presentarse esta emulación en tiempo real da como resultado una retroalimentación positiva e inmediata, mejorando estas habilidades de conducción.

Finalmente, la generación de estos programas de formación que integran diferentes dispositivos tecnológicos, así como software desarrollados, permiten construir sistemas más complejos, los cuales sirven para contribuir a las investigaciones relacionadas, a la vez que se generan nuevas aplicaciones e impactan de manera positiva la calidad de vida de las personas, en consecuencia se integran diferentes áreas de conocimiento incluyendo las experiencias profesionales con fines en común, abarcando enfoques complementarios, y por tanto empleando el uso de tecnologías disponibles.

6.2 Recomendaciones

La experiencia basada en videojuegos puede estar presente en diferentes dispositivos, entre ellos, la implementación en gafas de realidad virtual, esto hace que la experiencia sea más inmersiva. Por otro lado, se podría realizar en realidad aumentada, es decir, el apartamento de la persona no se modela, sino que se adapta al entorno del usuario, presentando más realismo, estos sistemas además de ser novedosos presenta una alta interactividad.

Considerando que el diámetro del brazalete gForce es de siete centímetros, se debe tener en cuenta que aquellas personas que interactúen con este sistema cumplan con el requisito de un diámetro mayor a siete centímetros y menor de doce centímetros. Pesé a lo anterior la investigación se encuentra limitada, es decir, no toma en cuenta a niños porque su antebrazo no está desarrollado, así como a personas con bastante musculatura, debido a que el brazalete gForce no se puede posicionar de la forma correcta para la adquisición y procesamiento de la señal. Por ende, se podría implementar un sistema de adquisición de señales mioeléctricas el cual se adecue a diferentes diámetros del antebrazo.

En efecto el desarrollo del videojuego está limitado también por el sistema de cómputo, debido a que si se agregan más inmobiliarios u objetos este tiende a no ser fluido afectando la experiencia de emulación. Además, se puede buscar nuevas soluciones al aporte de trayectorias y evaluación de la prueba.

Ahora bien, en función de los parámetros establecidos en el modelo de locomoción de la silla los cuales son valores fijos, es posible añadir una interfaz avanzada para que sea el usuario quién elija los parámetros como; rotación y desplazamiento, e incluso mostrarle una tabla de valores preestablecida con los diferentes tipos de sillas, esto motiva y hace de la plataforma aún más interactiva.

Y por último en la creación de nuevos escenarios, estos pueden ser al aire libre, teniendo en cuenta, cruces peatonales, entradas a edificios, o simplemente parques, en los resultados encontrados todos los usuarios concuerdan en nuevos ambientes.

A. Anexo: Datos personales

DATOS PERSONALES	PROGRAMA DE FORMACIÓN BASADO EN VIDEOJUEGOS MEDIANTE EL USO DE UNITY 3D
------------------	--

FORMATO PARA DILIGENCIAR LOS DATOS PERSONALES DE LOS USUARIOS QUE INTERACTUAN CON EL BRAZALETE Y ENTORNO VIRTUAL

NOMBRES: PRIMER APELLIDO: SEGUNDO APELLIDO:

SEXO: DOCUMENTO DE IDENTIDAD: NÚMERO:

FECHA DE NACIMIENTO: DIA MES AÑO

EDAD	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ALTURA	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PESO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
PATOLOGÍA	<input type="text"/>	<input type="text"/>
OCUPACIÓN	<input type="text"/>	<input type="text"/>
CIUDAD	<input type="text"/>	<input type="text"/>

FIRMA _____

B. Anexo: Evaluación del sistema

FORMATO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA	PROGRAMA DE FORMACION BASADO EN VIDEOJUEGOS MEDIANTE EL USO DE UNITY 3D
ENCUESTA DE SATISFACCIÓN A LOS PACIENTES QUE INTERACTÚAN CON EL PROGRAMA DE FORMACIÓN	
NOMBRE:	

Agradezco su participación en esta prueba llevada a cabo en el programa de formación:

Para mí es muy importante tener en cuenta su apreciación sobre la interacción que presenta el sistema con usted, por lo tanto, a continuación, se encuentran unas preguntas que por favor deseo responda de forma muy consiente, esto contribuye a mejorar este programa de formación con retroalimentación positiva.

Expresé su grado de satisfacción de acuerdo con la siguiente información donde:

1) Muy deficiente, 2) Deficiente, 3) Regular, 4) Bueno, 5) Excelente.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN						
Metodología	a. ¿La interacción con el entorno de simulación fue clara y entendible?	1	2	3	4	5
	b. ¿El sistema cumplió con sus expectativas de simulación entorno a una silla de ruedas eléctrica virtual conducida en un apartamento?	1	2	3	4	5
	c. ¿El escenario de rehabilitación propuesto fue adecuado?	1	2	3	4	5
	d. ¿La trayectoria fue suficiente para obtener un buen entrenamiento en el entorno?	1	2	3	4	5
	e. ¿Le gustaría interactuar con otros escenarios?	1	2	3	4	5
Impacto	a. ¿Cuál era su nivel de conocimientos antes, sobre estos nuevos entornos de simulación?	1	2	3	4	5
	b. ¿Cuál es su nuevo nivel de conocimientos después, sobre estos nuevos entornos de simulación?	1	2	3	4	5
	c. ¿La interacción con el entorno de simulación fue suficiente para ampliar sus conocimientos e implementarlos en un posible tratamiento de rehabilitación?	1	2	3	4	5
Aspectos generales del brazalete gForce	a. ¿Es confortable?	1	2	3	4	5
	b. ¿Sintió alguna molestia?	1	2	3	4	5
	c. ¿Lo considera confiable?	1	2	3	4	5
	d. ¿Usted estaría de acuerdo en realizar la simulación todos los días?	1	2	3	4	5
Interacción con la plataforma virtual	a. ¿Fue difícil la trayectoria?	1	2	3	4	5
	b. ¿La silla se desplazó de acuerdo con sus intenciones de movimiento?	1	2	3	4	5

Bibliografía

La bibliografía es la relación de las fuentes documentales consultadas por el investigador Cabin, F. (s. f.). *Furnished Cabin*. 1-8.

RAE. (2020). Definición de accesibilidad - Diccionario panhispánico del español jurídico - RAE. *Diccionario_Panhispánico_Del_Español_Jurídico_Real_Academia_Española*. <https://dpej.rae.es/lema/accesibilidad>.

Dispositivos y tecnologías de apoyo a las personas con discapacidad. (2016). Organización Mundial de La Salud. <https://doi.org/entity/disabilities/technology/es/index.html>

Disabilities_ES_(2015,_December_4). *Disabilities_ES_Discapacidad*. <https://www.un.org/development/desa/disabilities-es/>

ORGANIZACIÓN_MUNDIAL_DE_LA_SALUD_(OMS)_Discapacidad y rehabilitación. [en línea] [consultado: _el_21_de_febrero_de_2021]. Disponible en internet: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>

MINISTERIO_DE_SALUD_Y_PROTECCIÓN_SOCIAL_2018. Disponible en internet: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/sala-situacional-discapacidad-junio-2018.pdf>

Nuevo coronavirus – Japón (procedente de China). (2020). Organización Mundial de La Salud. <https://doi.org/entity/csr/don/17january2020novelcoronavirusjapanexchina/es/index.html>

Universidad de los Andes–Ingenieros sin fronteras Colombia 2015. Santafé de Bogotá, D.C. (<https://isfcolombia.uniandes.edu.co/index.php/eventos/metodologiasdetrabajo>).

Elder, C. D. (1971). *Serious Games*. By Clark C. Abt. (New York: The Viking Press, Inc., 1970. Pp. paper.) - *A Primer on Simulation and Gaming*. By Richard F. Barton. (Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1970. Pp. paper). *American Political Science Review*, 65(4), 1158–1159. <https://doi.org/10.2307/1953510>

Organización Mundial de la Salud (2011). *Informe Mundial sobre Discapacidad*. Ediciones de la OMS, Ginebra

Ministerio de Salud Pública (2015). *Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades*. Ecuador

Loss, S. (1995) *Jugando se Aprende Mucho*. Editorial Narcea. Madrid. España

“Afecciones relacionadas,” 2020. <https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/disabilityandhealth/relatedconditions.html> (accessed Oct. 04, 2020).

Sala situacional de las Personas con Discapacidad (PCD) Ministerio de Salud y Protección Social_Oficina_de_Promoción_Social,” 2018. [Online]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/salasituacionaldiscapacidadjunio2018.pdf>

¿De qué hablamos cuando hablamos de discapacidad? | Desarrollar Inclusión. (2021). *Desarrollar_Inclusión_|_Portal_de_Tecnología_Inclusiva_de_CILSA*. <https://desarrollarinclusion.cilsa.org/di-capacidad/de-que-hablamos-cuando-hablamos-de-discapacidad/>

Discapacidad física - PREDIF. (2021). *Predif.org*. <https://www.predif.org/discapacidad-fisica/>

Movintec-movilidad-941197675961711. (2017, August). *Diferencias entre minusvalía y movilidad reducida*. Moovintec Movilidad. <https://moovintecmovilidad.es/diferencias-minusvalia-movilidad-reducida/>

Super Usuario. (2014). Términos Adecuados para Referirnos a Personas con Discapacidad. Webmati.es. http://www.webmati.es/index.php?option=com_content&view=article&id=46:terminos-ade-cuados-para-referirnos-a-personas-con-discapacidad&catid=12&Itemid=163

Wayback Machine. (2012, January 4). Web.archive.org. <https://web.archive.org/web/20120104144511/http://conadis.salud.gob.mx/descargas/pdf/Convencionsobrelasderechosdelaspersonascondiscapacidad.pdf>

Ministerio de Salud Protección Social de Colombia. (2019). Glosario de términos – Movilidad Reducida. Minsalud.gov.co. <https://www.minsalud.gov.co/Lists/Glosario/DispForm.aspx?ID=40&ContentTypeId=0x0100B5A58125280A70438C125863FF136F22>

Pensado para todos: el nuevo Símbolo Internacional de Discapacidad – Ikigai. (2020, March 4). Ikigai.net.ar. <http://ikigai.net.ar/2020/03/04/pensado-para-todos-el-nuevo-simbolo-internacional-de-discapacidad/>

Eva María Martín. (2020, February 28). Persona con movilidad reducida - Consumoteca. Consumoteca. <https://www.consumoteca.com/familia-y-consumo/persona-con-movilidad-reducida/>

Movintec-movilidad-941197675961711. (2017, August). Diferencias entre minusvalía y movilidad reducida | Moovintec_Movilidad. Moovintec_Movilidad. <https://moovintecmovilidad.es/diferencias-minusvalia-movilidad-reducida/>

MARTÍNEZ-AGUILAR, G. M. (2019). Sistema de control Mioeléctrico para silla de ruedas. CIERMMI Mujeres En La Ciencia T.2, 98–114. <https://doi.org/10.35429/h.2019.2.98.114>

Patrocinante, P., Franklin, S., & Rojas, C. (2013). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcis939d/doc/bmfcis939d.pdf>

MARTÍNEZ-AGUILAR, G. M. (2019). Sistema de control Mioeléctrico para silla de ruedas. CIERMMI Mujeres En La Ciencia T.2, 98–114. <https://doi.org/10.35429/h.2019.2.98.114>

MARTÍNEZ MORENO, Fuensanta. Tecnologías de la información y la comunicación y salud. En: Promoción y Educación para la Salud. s.f. Disponible en: <http://blogs.murciasalud.es/edusalud/2013/12/05/tecnologias-de-la-informacion-y-la-comunicacion-y-salud/>

LÓPEZ SIU, Julio Antonio; PÉREZ MARTÍNEZ, Alberto e IZQUIERO LAO, José Manuel. Plataforma interactiva para la integración en el proceso de extensión universitaria. En: Medisan, 2018, vol.22, no.4 Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102930192018000400014#:~:text=Las%20plataformas%20interactivas%20son%20ento

ARIAS, Sixto. 18 plataformas educativas, ¿cuál elegir? s.f. Disponible en <https://capeducacion.com/blog/16-plataformas-educativas-cual-elegir/>

ANDALUCÍA ES DIGITAL. 9 plataformas con las que puedes desarrollar y crear juegos para móviles. 2019. Disponible en <https://www.blog.andaluciaesdigital.es/crear-juegos-para-moviles/>

UNITY DOCUMENTATION. Unity user manual. 2018. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/ScriptingSection.html>

shichao,S.(2020).gForce200OYMotion.Github.io.<https://oymotion.github.io/gForce200/gForce200UserGuide/#instructions-to-wearing-and-performing-gestures>

Christie, A., Greig Inglis, J., Kamen, G., & Gabriel, D. A. (2009). Relationships between surface EMG variables and motor unit firing rates. *European Journal of Applied Physiology*, 107(2), 177–185. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1113-7>

Virtual reality-based wheelchair simulators: A scoping review. (2020). *Assistive Technology*. <https://ezproxy.uan.edu.co:2112/doi/full/10.1080/10400435.2018.1553079?scroll=top&needAccess=true>

ZEA Jhonathan A, BENALCAZAR PALACIOS Marco. Implementación De Un Sistema De Clasificación De Gestos Del Brazo Humano Utilizando El Myo Armband Para Mando A Distancia De Un Brazo Robótico. vol. 41, No. 2. Septiembre, 2018.

Cáceres, I., Pérez, E., Tejado, I., Vinagre, B. M., Merchán, P., & Salamanca, S. (2020). Realidad virtual como tecnología asistencial a deportistas con movilidad reducida en silla de ruedas. *Actas de Las XXXIX Jornadas de Automática*, Badajoz, 5-7 de septiembre de 2018. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497565.1053>

Payne, P., & Sanchez-Velazquez, E. (2018). Comparison of Electric Wheelchair Control Systems in a Virtual Environment. *2018 10th Computer Science and Electronic Engineering (CEECE)*. <https://doi.org/10.1109/ceec.2018.8674222>

Training wheelchair navigation in immersive virtual environments for patients with spinal cord injury – end-user input to design an effective system. (2017). *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. <https://ezproxy.uan.edu.co:2112/doi/full/10.1080/17483107.2016.1176259?scroll=top&needAccess=true>

Virtual reality-based wheelchair simulators: A scoping review. (2020). *Assistive Technology*. <https://ezproxy.uan.edu.co:2112/doi/full/10.1080/10400435.2018.1553079?scroll=top&needAccess=true>

Vailland, G., Grzeskowiak, F., Devigne, L., Gaffary, Y., Fraudet, B., Leblong, E., Nouviale, F., Pasteau, F., Breton, R. L., Guegan, S., Gouranton, V., Arnaldi, B., & Babel, M. (2019). User-centered design of a multisensory power wheelchair simulator: towards training and rehabilitation applications. *2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*. <https://doi.org/10.1109/icorr.2019.8779496>

Day, T. W., Dobson, W. H., Headleand, C. J., John, N. W., & Pop, S. R. (2017). Using Virtual Reality to Experience Different Powered Wheelchair Configurations. 2017 International Conference on Cyberworlds (CW). <https://doi.org/10.1109/cw.2017.33>

John, N. W., Pop, S. R., Day, T. W., Ritsos, P. D., & Headleand, C. J. (2018). The Implementation and Validation of a Virtual Environment for Training Powered Wheelchair Manoeuvres. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(5), 1867–1878. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2017.2700273>

Day, T. W. (2017). Wheelchair-MR: A Mixed Reality Wheelchair Training Environment. 2017 International Conference on Cyberworlds (CW). <https://doi.org/10.1109/cw.2017.12>

Hernandez-Ossa, K. A., Longo, B., Montenegro-Couto, E., Romero-Laiseca, M. A., Frizera-Neto, A., & Bastos-Filho, T. (2017). Development and pilot test of a virtual reality system for electric powered wheelchair simulation. 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). <https://doi.org/10.1109/smc.2017.8122974>