

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA

LICENCIATURA EN BIOINGENIERÍA MÉDICA

DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN PROFESIONAL



**“MODIFICACIONES AL AMBIENTE VIRTUAL Y DISPOSITIVO
HÁPTICO PARA REHABILITACIÓN DE MIEMBRO SUPERIOR EN
PACIENTES CON EVC”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOINGENIERÍA
MÉDICA

PRESENTA:

P.L.B.M. ADRIANA NATALI GARCIA CONTRERAS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN MANUEL JACINTO VILLEGAS

ASESORA DE TESIS:

DRA. ADRIANA H. VILCHIS GONZÁLEZ

LISTADO DE ACRÓNIMOS

AV: Ambiente Virtual

AVAD: Años de Vida Ajustados por Discapacidad

BBT: Box and Block Test

CAHAI-7: Chedoke Arm and Hand Activity Inventory

DH: Dispositivo Háptico

ET: Elemento Terminal

EVC: Enfermedad vascular cerebral

FAT: Frenchay Arm Test

FMA: Fugl Meyer Assessment

FM-UE: Fugl-Meyer Upper Extremity

HMD: Head Mounted Display

IB: Índice de Barthel

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

INSP: Instituto Nacional de Salud Pública

IMI: Intrinsic Motivation Inventory

MAL-30: Motor Activity Log-30

MAS: Motor Activity Assessment Scale

MMT: Manual Muscle Test

NASA-TLX: NASA- Task Load Index

NIHSS: National Institute of Health Stroke

OMS: Organización Mundial de la Salud

RV: Realidad Virtual

SG: Serious Games

TC: Terapia Convencional

UAEMéx: Universidad Autónoma del Estado de México

INDICE GENERAL

LISTADO DE ACRÓNIMOS	1
INDICE GENERAL	2
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	7
CAPITULO I. INTRODUCCION.....	8
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2 JUSTIFICACIÓN	11
1.3 META DE INGENIERÍA.....	14
1.4 OBJETIVOS	14
1.4.1 Objetivo General.....	14
1.4.2 Objetivos Específicos	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1 Miembro superior	15
2.2 Enfermedad vascular cerebral.....	16
2.3 Rehabilitación después de EVC	18
2.3.1 Escalas estandarizadas o instrumentos de medida en el EVC	19
2.4 Realidad virtual.....	19
2.5 Serious games.	23
CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE.....	23
3.1 Validación clínica de sistemas de RV basados en SG	31
CAPITULO IV. MODIFICACIONES AL AV	35
4.1 Instrucciones para el inicio correcto del DH	38
4.2 Modificación de la posición de inicio del DH.....	40
4.3 Escala de movimiento	40
4.4 Modificaciones a la retroalimentación del sistema	40
4.5 Otras modificaciones	44
4.6 Modificación del escenario “Anaqueles”	46
CAPITULO V. EVALUACIÓN DEL SISTEMA	48
CAPITULO VI. PRUEBAS EN SUJETOS SANOS	48

CAPITULO VII. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN SUJETOS SANOS	60
7.1 DISCUSIONES.....	67
CAPITULO VIII. CONCLUSIONES	74
IMPLICACIONES ÉTICAS	73
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	82
ANEXO 1. Cuestionario presentado a los terapeutas con la finalidad de conocer sus opiniones respecto a las modificaciones del sistema.	82
ANEXO 2. Consentimiento informado	87
ANEXO 3. Dictamen Comité de Ética	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Segmentos del miembro superior (1).	16
Figura 2. Regiones del miembro superior (1).	16
Figura 3. Subtipos de EVC y su frecuencia (9).....	17
Figura 4. Componentes del sistema de Rehabilitación de Miembro Superior. Tomado de (31).....	32
Figura 5. DH que muestra el ET (31).	35
Figura 6. a.-Pantalla de carga con las instrucciones sobre la posición en la que debe estar el DH para iniciar cada nivel de juego. b.- Botón de continuar aparece 5 segundos después para forzar a que se lean las instrucciones	38
Figura 7. Señalización del espacio que ocupará la base del DH de acuerdo con el lado del cuerpo a rehabilitar (azul brazo izquierdo y rojo brazo derecho).	39
Figura 8. Se muestran las posiciones, anterior y actual, de inicio del DH en vista frontal y lateral.....	40
Figura 9. Se muestran las distancias actuales del DH y pluma respecto al usuario y monitor	40
Figura 10. Control deslizante para escalar el movimiento en el escenario figuras.....	41
Figura 11. Pantallas agregadas a cada escenario donde se indica los movimientos que harán los pacientes al jugar cada juego.	45
Figura 12. Modificación a la lista de compras en el escenario “anaqueles”	46
Figura 13. Se muestra el antes y el después en la lista de compras tras tomar una botella de agua.....	47
Figura 14. Se toma una botella de agua cuando ya no está en la lista de compras y aparece un mensaje en la pantalla.....	47
Figura 15. Versión corta del cuestionario AttrakDiff disponible en http://attrakdiff.de/	48
Figura 16. Gráfico sobre la experiencia previa de los terapeutas en el uso de RV con pacientes con EVC	49
Figura 17. Gráfico que muestra la opinión de los especialistas sobre la modificación de inicio del DH	50
Figura 18. Gráfico que muestra las opiniones de los expertos respecto a la pantalla de instrucciones sobre el inicio del DH.....	50
Figura 19. Gráfico que muestra las opiniones de los especialistas sobre las modificaciones en la retroalimentación	51

Figura 20. Gráfico que muestra las opiniones de los terapeutas a la pantalla con movimientos a realizar en cada escenario y la inclusión de un control deslizante para modificar la escala de movimiento.	52
Figura 21. Gráfico que muestra las opiniones de los terapeutas a las modificaciones hechas en el escenario “Anaqueles”	52
Figura 22. Gráfico que muestra la opinión de los terapeutas a las modificaciones en las pantallas de instrucciones y de niveles.....	53
Figura 23. Gráfico que muestra la opinión de los terapeutas sobre la utilidad y sencillez de uso del sistema.....	53
Figura 24. Comparación de pares de palabras obtenidas en este trabajo y los que obtuvo Ríos M. (51) en el trabajo antecesor.....	54
Figura 25. Comparación entre los portafolios de resultados obtenidos.....	55
Figura 26. Diagrama que muestra el proceso de la sesión de experimentación ...	59
Figura 27. Gráfico que muestra los resultados obtenidos en este trabajo, a la izquierda, y los obtenidos por Ríos M. (51) a la derecha	61
Figura 28. Grafica que muestra el porcentaje de respuestas dadas a las características del AV.....	61
Figura 29. Porcentajes totales de cada usuario en el cuestionario IMI	62
Figura 30. Grafica de los porcentajes que los usuarios reportaron en cada subescala del cuestionario IMI	62
Figura 31. “Conoce el DH”	68
Figura 32. Pantalla de instrucciones sobre el inicio del DH modificada	69
Figura 33. Pantalla con instrucciones para el reset de los encoders.....	69
Figura 34. Rediseño de la iluminación en los AV	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escalas estandarizadas para EVC de acuerdo con los componentes de la CIF. Modificado de (23)	22
Tabla 2. Versión completa de la Escala IMI. Modificado de (42)	25
Tabla 3. Retroalimentación en cada escenario virtual (2)	33
Tabla 4. Movimientos y actividades que se realizan de acuerdo con el escenario virtual (2)	34
Tabla 5. Efectos de partículas añadidos a los escenarios virtuales.....	42
Tabla 6. Pantallas de instrucciones de cada juego modificadas.....	43
Tabla 7. Opinión de los especialistas a las modificaciones del sistema.....	54
Tabla 8. Datos de los participantes.	58
Tabla 9. Aplicación del NASA-TLX al sujeto 1.....	60
Tabla 10. Media aritmética, desviación estándar y distribución normal de las subescalas del cuestionario.....	64
Tabla 11. Puntuaciones ponderadas y media ponderada total de cada participante	65

RESUMEN

En los últimos años se ha observado un incremento en el desarrollo de realidad virtual y serious games para la rehabilitación física de pacientes con enfermedad vascular cerebral o, lo que es lo mismo, accidente vascular cerebral, ya que ha demostrado romper con la monotonía de los ejercicios de la terapia convencional.

Es por todo esto que una egresada de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) en colaboración con investigadores de la Facultad de Ingeniería de la misma Universidad desarrolló un sistema de realidad virtual y dispositivo háptico para la rehabilitación de miembro superior en pacientes con fractura o enfermedad vascular cerebral. En el mencionado trabajo se aplicaron cuestionarios a personal especializado y a usuarios sanos, obteniendo como resultado buenos puntajes de usabilidad y de experiencia de usuario, pero también destacando la importancia de realizar algunas modificaciones al sistema antes de poder ser probado en pacientes.

En este trabajo se presentan las modificaciones hechas al sistema, tanto las señaladas como necesarias en el trabajo previo a este como algunas otras que se encontraron convenientes durante la revisión bibliográfica. Una vez que los cambios concluyeron se pidió a 5 fisioterapeutas que emitieran su opinión sobre a las modificaciones hechas mediante un cuestionario, así mismo se les pidió contestar la versión corta del cuestionario AttrakDiff para poder comparar los resultados con los que se obtuvieron en el trabajo antecesor a este y corroborar que los cambios hechos no hayan afectado negativamente la experiencia de usuario que brinda el sistema.

Posteriormente, se aplicaron los cuestionarios NASA-TLX, IMI y un cuestionario de evaluación del ambiente virtual (el mismo que se usó para evaluar la primera versión de este sistema) a 12 usuarios sanos después de haber utilizado el sistema con la finalidad de conocer el porcentaje de carga mental, motivación que proporciona, de la misma manera, conocer la percepción que tienen los usuarios acerca del ambiente virtual y más adelante, con esta nueva información de por medio, poder probar en pacientes con EVC.

Finalmente, durante el marco teórico de este trabajo se aprecia un acercamiento a los trabajos que se han hecho en torno a la validación clínica de sistemas de realidad virtual y/o serious games, las herramientas que mayormente se utilizan para evaluar a los pacientes con enfermedad vascular cerebral antes, durante y después de utilizar este tipo de sistemas de rehabilitación de miembro superior, el tiempo que duran los ensayos clínicos, e incluso el análisis estadístico que se hace con los datos.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

La enfermedad vascular cerebral es una enfermedad neurológica con causa de origen vascular, con dos principales subtipos: isquémica y hemorrágica siendo el subtipo hemorrágico el más mortal y el subtipo isquémico el más frecuente. Esta enfermedad ocupa la principal causa de discapacidad a nivel mundial y el segundo lugar como mayor contribuyente a los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) en países en vías de desarrollo (1). Solamente en México este padecimiento se encuentra entre las 10 principales causas de muerte de acuerdo con el INEGI, siendo más prevalente en adultos y adultos mayores, aunque comienza a observarse un incremento de la enfermedad en personas jóvenes (2). La principal secuela de este síndrome clínico es la hemiparesia, caracterizada por un déficit parcial de la fuerza muscular que afecta la mitad derecha o izquierda del cuerpo humano, el lado contrario del cerebro donde se ha suscitado el evento vascular. Por otra parte, algunos de los pacientes con esta enfermedad sufren también depresión y dolor crónico lo cual dificulta su recuperación, de modo que es necesaria la búsqueda de distintos recursos que vuelvan la terapia física mucho más motivante y menos monótona (3). Una de las herramientas de apoyo a la rehabilitación física en pacientes con enfermedad cerebral vascular que más auge ha tenido en los últimos años es la realidad virtual y los serious games. La realidad virtual y los serious games, en conjunto o por separado, han demostrado incrementar la motivación de los pacientes a la hora de llevar a cabo los ejercicios de terapia física, ha mostrado romper con la monotonía de la terapia convencional, vuelve al paciente mucho más consciente de su progreso, le ayuda a distraerse del dolor que le provocan los ejercicios, permiten que los pacientes realicen actividades cotidianas que difícilmente podrían replicarse en un entorno clínico e incluso le facilitan al terapeuta poder tener mayor control durante la sesión de terapia (1,4–6). Aunque la realidad virtual y los serious games han demostrado romper con varios de los obstáculos de la terapia convencional aún hay mucho por hacer dentro de este terreno pues, aun cuando existe un incremento en los trabajos de investigación sobre realidad virtual en pacientes con esta enfermedad en los últimos años, todavía no hay suficiente información que indique que la realidad virtual pueda ser un tratamiento que ofrezca el mismo nivel de recuperación motriz que la terapia convencional (7). Es por todo esto que investigadores de la facultad de ingeniería y la facultad de medicina de la Universidad Autónoma del estado de México desarrollaron un sistema de realidad virtual y serious games, con un dispositivo háptico como control, para la rehabilitación física de miembro superior en pacientes con enfermedad vascular cerebral y/o fracturas. Aunque en su momento los investigadores hicieron las pruebas pertinentes para concluir que el sistema que desarrollaron era usable y 10 atractivo, aún quedaban cosas por hacer (8), es por esto por lo que en este documento se presenta una continuación al trabajo anteriormente descrito.

Este documento se divide en ocho capítulos, en el primer capítulo se presenta la introducción, el planteamiento del problema, la justificación, meta de ingeniería, objetivo general y objetivos específicos.

En el segundo capítulo se brinda la información necesaria para ponernos en contexto; se aborda un resumen sobre el miembro superior, se menciona que es la enfermedad vascular cerebral, sus causas y consecuencias, también se habla sobre la rehabilitación de esta patología y finalmente qué son y cómo han ayudado la realidad virtual y los serious games a la recuperación de los pacientes con enfermedad vascular cerebral.

En el tercer capítulo se abordan distintos trabajos encontrados en la literatura sobre la realidad virtual y los serious games para la rehabilitación de pacientes con enfermedad vascular cerebral, pero sobre todo este capítulo profundiza en el trabajo de Ríos M. (8).

En el capítulo cuatro se describen todas las modificaciones que se hicieron al sistema junto a la justificación de por qué se hicieron. El capítulo cinco detalla los cuestionarios que se le aplicaron a los terapeutas físicos que colaboraron con este proyecto y las opiniones que obtuvieron las modificaciones al sistema.

El capítulo seis y el capítulo siete especifican como se llevaron a cabo las pruebas con sujetos sanos y cuales fueron los resultados de la aplicación de los cuestionarios Intrinsic Motivation Inventory, Nasa- Task Load Index y el cuestionario de percepción del ambiente virtual. En suma, en el capítulo siete se incluyen las discusiones de los resultados obtenidos.

Por último, en el capítulo ocho se llevan a cabo las conclusiones de este proyecto y se incluyen recomendaciones para futuros trabajos similares.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La enfermedad vascular cerebral (EVC) es un problema de salud pública, las estadísticas en México ubican a la enfermedad y a su principal factor de riesgo entre los primeros puestos de incidencia, sobre todo, pero no exclusivamente, en adultos de más de 65 años (2). El síntoma clínico habitual del EVC es la hemiparesia.

Stokes M. et al. (3) menciona dentro de su trabajo los principales obstáculos para la actividad y participación en el ejercicio durante la terapia convencional, los cuales son una limitante para la mejoría del paciente, entre ellos se encuentra el dolor y malestar, la falta de personal calificado para supervisar el ejercicio, la percepción de la sociedad y de uno mismo, la falta de motivación por parte del personal de la salud, etc. La terapia física y la terapia ocupacional buscan constantemente nuevas herramientas que ayuden a afrontar dichos obstáculos para cumplir de la mejor manera con el objetivo de la rehabilitación, es decir, que los pacientes obtengan los resultados esperados después de la terapia.

Dentro de las herramientas que ayudan a afrontar los obstáculos vistos durante la rehabilitación física encontramos los sistemas de realidad virtual (RV) con serious games (SG), los cuales han tenido un amplio desarrollo en los últimos años debido a que se ha demostrado que incrementan la participación y el compromiso de los pacientes durante la terapia pues son mucho más motivantes que la terapia convencional, asimismo los ambientes virtuales (AV) inmersivos ayudan a que el paciente no piense en el dolor que le provoca el movimiento y se concentre en el ejercicio. Por otra parte, el incluir elementos de los juegos en aplicaciones para rehabilitación motora ha demostrado ser benéfico para incrementar la participación social de los pacientes e incluso para mejorar su estado anímico, el cual en pacientes con EVC se ve afectado.

Ríos M. (8) desarrolló en 2019-2020 un sistema de realidad RV para rehabilitación de miembro superior para pacientes con EVC y/o fractura basándose en entrevistas realizadas con terapeutas físicos, y en la evidencia encontrada en la bibliografía sobre los beneficios de estos sistemas para rehabilitación de miembro superior. El sistema que creó cuenta con diferentes escenarios para romper con la monotonía, uno de los obstáculos de la terapia convencional, y se presentan en distintos grados de dificultad a los cuales el paciente podrá ir accediendo conforme a su progreso durante la terapia con el sistema. Los AV del sistema cuentan con retroalimentación visual, que puede ser inmersiva al usar el HTC vive, auditiva y háptica.

Aunque Ríos M. (8) concluye en su trabajo que su sistema cumple con las características hedónicas y pragmáticas necesarias para cualquier sistema deseable, resalta también la necesidad de probar el desempeño del sistema con pacientes que necesiten rehabilitación del miembro superior una vez que se hayan realizado las modificaciones pertinentes, pero aunque el sistema resultó usable y

deseable, es necesario hacer más pruebas antes de poder llevar a cabo un ensayo clínico.

Por lo que este trabajo se centrará en llevar a cabo las modificaciones que Ríos M. (8) detectó como necesarias durante su investigación y cualquier otra modificación que se perciba como necesaria de acuerdo a una revisión bibliográfica sobre los temas relacionados. Una vez realizados los cambios se aplicarán en sujetos sanos los cuestionarios Intrinsic Motivation Inventory (IMI), NASA-Task Load Index, cuestionario de percepción del ambiente virtual para conocer la motivación, la carga mental y la opinión sobre el ambiente virtual. De la misma manera, se pedirá la opinión de fisioterapeutas respecto a las modificaciones al sistema mediante el cuestionario AttrakDiff y un cuestionario tipo Likert.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La EVC ocupa el segundo lugar entre las causas de mortalidad, de las cuales 4.95 millones ocurren en países con ingresos medios y bajos, y se posiciona como la principal causa de discapacidad en adultos a nivel mundial (9,10). Acorde con datos del INEGI del 2018, la EVC se encuentra entre las 10 principales causas de muerte, aumentando su incidencia de acuerdo con el grupo de edad, siendo mucho más prevalente en el grupo de edad de 65 y más (2), aunque datos de la Secretaría de Salud de México han revelado que a partir del año 2000 se observa un incremento en la tasa de mortalidad por EVC en menores de 65 años (10).

Uno de los principales factores de riesgo de la EVC es la hipertensión arterial (1), según los datos del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) el 25.5% de la población padece esta enfermedad, en otros términos, 1 de cada 4 adultos padece hipertensión arterial, de los cuales el 40% desconoce que tiene esta enfermedad (11). Otro factor de riesgo importante asociado a la EVC es la edad, la Organización de las Naciones Unidas prevé que para el año 2050, 1 de cada 6 personas estará en el rango de edad de 65 años y más (1).

Considerando las anteriores estadísticas se puede prever que en unos años habrá un aumento en el número de pacientes con EVC. La afectación del área motora suele ser prevalente después de la EVC, la Stroke Foundation pronostica que habrá alrededor de un millón de sobrevivientes de EVC para el año 2050 y, la mayor parte de ellos terminará por perder su capacidad motriz (9), al menos un 80% de los pacientes con EVC sufren hemiparesia durante la fase aguda de la enfermedad (12), siendo este el signo clínico más habitual de la enfermedad.

Es importante destacar que el porcentaje de adultos mayores aumentará considerablemente con los años, pues justamente es esta población quien más necesita que se le brinden herramientas que rompan la monotonía de la terapia convencional pues con facilidad llegan a desmotivarse. Ahora bien, además de provocar discapacidad, la EVC provoca depresión en quienes la padecen, por ello, es de suma importancia reformular las terapias convencionales para que la rehabilitación no se vea afectada por el estado anímico del paciente, sino que inclusive se le proporcione al paciente un ambiente lúdico, recreativo y enganchador que indirectamente impacte en su estado de ánimo y en su compromiso para con su rehabilitación (3).

Se ha observado que la RV y los SG en aplicaciones de rehabilitación han logrado un mayor compromiso y motivación de los pacientes para con su terapia, lo cual es vital para que el paciente no abandone la misma, y por lo tanto se observen resultados positivos (13–15).

En los últimos año sistemas de RV y SG han sido desarrollados con el propósito de rehabilitar el miembro superior debido a la hemiparesia a consecuencia de EVC;

este trabajo se centra en el sistema de RV basado en serious games para rehabilitación de miembro superior en pacientes con EVC y/o fractura desarrollado por Ríos M. (8) el cual obtuvo altos puntajes en los cuestionarios de usabilidad aplicados a usuarios sanos después de interactuar con el sistema, pero que ahora, a pesar de todo, requiere de más pruebas antes de ser probado en pacientes.

1.3 META DE INGENIERÍA

Brindar una noción sobre lo que se ha estado haciendo en los últimos años sobre validación clínica de sistemas de rehabilitación con RV y/o serious games. Realizar las modificaciones pertinentes al sistema, tanto las que Ríos M. (8) detecto como necesarias durante su trabajo, así como las que se perciban como importantes de realizar de acuerdo a una revisión bibliográfica sobre RV, EVC, serious games. Verificar que los cambios realizados no afecten negativamente a los puntajes anteriormente obtenidos de experiencia de usuario (AttrakDiff) y obtener su opinión respecto a la nueva versión del sistema por medio de un cuestionario de tipo Likert. Probar en pacientes sanos la motivación, con el cuestionario IMI, y la carga mental, con el NASA-TLX, que provee el sistema, asimismo observar su opinión sobre el ambiente virtual y compararlo con la opinión que tenían otros usuarios antes de los cambios.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Realizar las modificaciones al sistema sin afectar negativamente la usabilidad y la experiencia de usuario. Analizar en usuarios sanos la motivación y la carga mental después de utilizar el sistema. Indagar sobre la manera en que se realiza la validación clínica de los sistemas de RV y/o SG.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica sobre las herramientas utilizadas para la validación clínica de sistemas de RV y/o SG para la rehabilitación de miembro superior en pacientes con EVC, el tiempo de duración de estos ensayos clínicos y los métodos estadísticos utilizados para el tratamiento de los datos obtenidos.
- Realizar las modificaciones al entorno virtual, que Ríos M. (8) identifica como necesarias antes de la validación clínica, así como cualquier otro cambio que se considere pertinente de acuerdo a la revisión de la literatura.
- Verificar que no se hayan sufrido afectaciones en los puntajes previamente obtenidos de percepción del ambiente virtual y experiencia de usuario tras haber realizado modificaciones en el sistema.
- Analizar la motivación, con el cuestionario IMI, y la carga mental, con el NASA-TLX, en sujetos sanos después de utilizar el sistema.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Miembro superior

La característica principal del miembro superior es su movilidad y su capacidad para llevar a cabo acciones de manipulación (escribir, lanzar, agarrar, levantar, etc.) (16).

Las manos son nuestra principal herramienta para interactuar con el mundo, principalmente porque están dotadas con un pulgar oponible, pero el constante uso pone en riesgo la integridad de esta parte del cuerpo y la expone a sufrir alguna lesión a lo largo de su vida; lesiones que van desde cortes, hasta fracturas y que pueden resultar incapacitantes (17).

Debido a la importancia que tiene el miembro superior para poder llevar a cabo tareas de la vida diaria, alguna lesión que resulte en la pérdida de la función de alguna parte de este miembro, o de todo el miembro, impacta directamente en la independencia de la persona y disminuye la facilidad con la que interactúa con su entorno (18).

Acorde con Moore L. K. et al. (16), el miembro superior puede dividirse en cuatro segmentos principales que a su vez se subdividen en regiones (Figuras 1 y 2):

1. Hombro
 - región pectoral.
 - región escapular.
 - región deltoidea.
2. Brazo
 - región anterior del brazo.
 - región posterior del brazo.
3. Antebrazo
 - región anterior del antebrazo.
 - región posterior del antebrazo.
4. Mano
 - carpo.
 - palma.
 - dorso de la mano.
 - dedos.

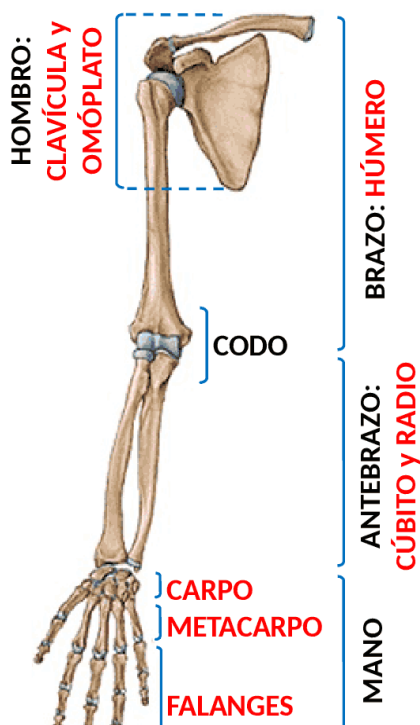


Figura 1. Segmentos del miembro superior (1).



Figura 2. Regiones del miembro superior (1).

2.2 Enfermedad vascular cerebral

La enfermedad vascular cerebral (EVC) es un síndrome clínico con signos neurológicos focales con una duración mayor a 24 h, con causa de origen vascular. La EVC se clasifica en dos principales subtipos, la isquémica y la hemorrágica (10), en la Figura 3 se presentan los subtipos de la enfermedad y su frecuencia. Aunque la EVC isquémica es más frecuente, la EVC hemorrágica es responsable de la mayor cantidad de muertes por enfermedades cerebrovasculares (1).

La EVC es un problema de salud pública, Katan M. et al. (1), menciona que esta enfermedad ocupa el segundo puesto entre las causas de mortalidad y la principal causa de discapacidad a nivel mundial (11).

En la actualidad diversos investigadores han observado un incremento en la incidencia de la EVC en los países en vías de desarrollo. Tan solo en México, de acuerdo con los datos del INEGI sobre las defunciones registradas en el 2018, las enfermedades cerebrovasculares se encuentran entre las 10 principales causas de muerte, afectando más a las mujeres que a los hombres y subiendo de puesto del décimo lugar en los grupos de edad de 35 a 44 años, hasta ser la cuarta causa de muerte para el grupo de edad de 65 años y más, por debajo de las enfermedades cardíacas, diabetes mellitus y tumores malignos (2).

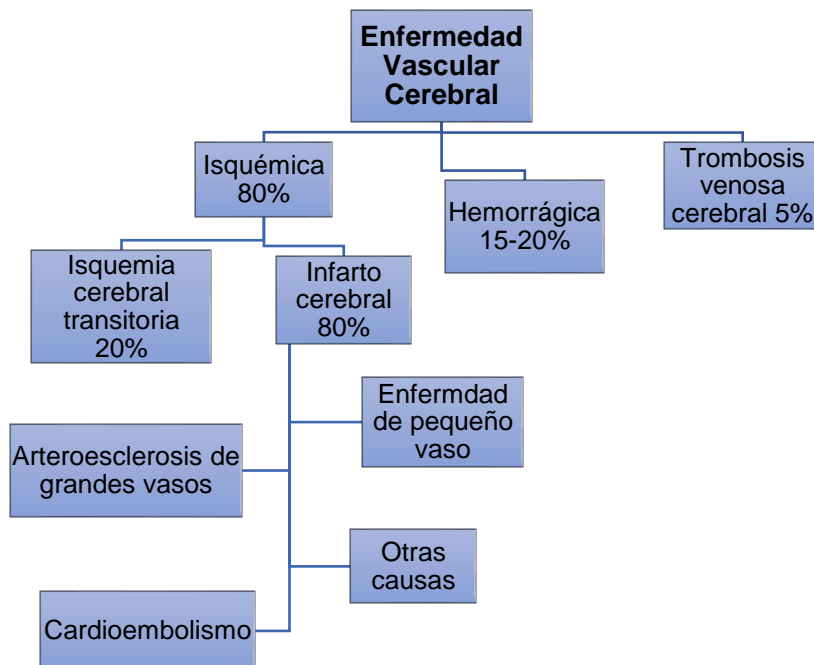


Figura 3. Subtipos de EVC y su frecuencia (9).

La Stroke Fundation prevé que para el año 2050 habrá alrededor de un millón de sobrevivientes de EVC y, la mayor parte de ellos, terminara por perder su capacidad motriz (9). La enfermedad vascular cerebral es el segundo mayor contribuyente a los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) en países en vías de desarrollo (1), tan solo después de la cardiopatía isquémica.

La EVC es distinta en cada paciente, serán los vasos cerebrales ocluidos y la zona posterior del infarto quienes brindarán una comprensión más completa de los síntomas clínicos que se esperarí ver (19), aunque habrá distintas limitaciones que afecten o alteren las actividades diarias de los sobrevivientes de EVC, como deficiencias motoras, sensitivas, déficits cognitivos, alteraciones emocionales, etc. Sin embargo, el signo clínico habitual después de la EVC es una hemiplejia o una hemiparesia (3).

La hemiparesia está caracterizada por un déficit parcial de la fuerza muscular que afecta la mitad derecha o izquierda del cuerpo humano, el lado contrario del cerebro donde se ha suscitado el evento vascular, de tal forma que las extremidades afectadas presentan dificultades motrices. Mientras que el 80% de los pacientes de EVC sufre hemiparesia en la fase aguda de la enfermedad, el 40% de ellos presenta este déficit en la fase crónica, dentro de esta fase de la enfermedad, las probabilidades de no recuperar la capacidad motora se estiman entre un 30% y un 66% y tan solo entre un 5% y un 20% tienen posibilidad de recuperar dicha capacidad en su totalidad (12). Se ha demostrado que el 86% de los pacientes con EVC sufrirán de disfunción de las extremidades superiores después del inicio de la enfermedad, del total de pacientes con afectación en miembro superior, entre el

30% y el 66% seguirán padeciendo esta secuela 6 meses después del evento cerebrovascular (20).

Otro de los aspectos que hay que considerar para la rehabilitación de los pacientes supervivientes de EVC es que la mayor parte de ellos sufrirá depresión después de padecer la enfermedad (9), lo cual afectará directamente su recuperación, por lo tanto, se necesitan distintos recursos que vuelvan la terapia física mucho más motivadora y menos monótona, que se involucre a la familia y que no se centre solo en la recuperación de la motricidad sino también en la rehabilitación de las habilidades sociales que se ven menguadas después de padecer una enfermedad incapacitante.

Por otra parte, en algunos pacientes puede presentarse dolor después de la EVC, dolor que se vuelve más agudo al incrementar la actividad física del lado con hemiparesia. Como Aspar A. (12) menciona en su trabajo de grado, la ausencia o disminución de la fuerza en el miembro superior afectado puede ocasionar falta de movimiento y, por lo tanto, desencadenar rigidez periarticular como resultado de la debilidad en los tendones. Esta consecuencia clínica se denomina síndrome del hombro doloroso y está presente en aproximadamente el 50% de los pacientes sobrevivientes de EVC (12). El dolor puede presentarse, además, a causa de comorbilidades preexistentes como artritis reumatoide, dolor crónico de espalda, gota, etc. (19), por esta razón es muy importante considerar que la rehabilitación física puede verse afectada a causa de la renuencia de los pacientes a realizar los movimientos pertinentes debido al dolor que ello les provoca. Así pues, se considera la motivación como un factor clave para obtener resultados positivos después de la terapia (9).

2.3 Rehabilitación después de EVC

Le Danseur M. et al. (19) considera que, aun cuando no sea posible una recuperación total, es importante una intervención oportuna para lograr una mejoría en la calidad de vida y en la independencia de la persona, pues finalmente ese es el objetivo de la rehabilitación.

El paciente puede requerir una intervención terapéutica multidisciplinaria que incluya: fisioterapia, terapia ocupacional, terapia de lenguaje y habla, ortesis y prótesis. La intervención para la recuperación de la movilidad y la independencia del paciente debe hacerse en la fase subaguda y crónica después de la EVC (3).

La terapia convencional incluye ejercicios de control y entrenamiento los cuales pueden ser exhaustivos para los terapeutas, y repetitivos y desmotivadores para los pacientes (9).

Entre las actividades físicas dentro de la rehabilitación después de un EVC se encuentran las siguientes técnicas específicas (3):

- *Entrenamiento en caminadora.* Técnica usada para mejorar la locomoción.

- *Terapia coercitiva (uso forzado)*. Esta técnica, aunque puede mejorar la función del miembro superior en algunos pacientes que han padecido EVC, supone problemas en relación con el compromiso y el cumplimiento de los pacientes.

Además de distintas herramientas de apoyo a la recuperación de la motricidad con un importante auge visto en los últimos años dentro del campo de la fisioterapia (3):

- *Ortesis*
- *Prótesis robóticas*
- *Entrenamiento con realidad Virtual*

2.3.1 Escalas estandarizadas o instrumentos de medida en el EVC

Como se ha mencionado anteriormente, el EVC es una de las principales causas de discapacidad en adultos, dicha discapacidad en pacientes se mide a través de la escala National Institute of Health Stroke (NIHSS) que permite cuantificar el grado de gravedad del paciente que puede encontrarse en un rango que va de leve (<4) hasta muy grave (>25) (1). De modo similar es necesario evaluar la mejoría del paciente con EVC después de la terapia física, para ello se utilizan diversas escalas estandarizadas, las escalas más utilizadas, según Stokes M. et al. (3), se enlistan a continuación:

1. *Motricity index (MI)*: evalúa la fuerza muscular isométrica de las extremidades hemiparesias. Con esta prueba se evalúa, en cuanto al miembro superior, la prensión de pinza, la flexión del codo y la abducción del hombro, más otros tres movimientos de la extremidad inferior. La puntuación total es de 200.
2. *Trunk Control Test (TCT)*: en español test de control del tronco, evalúa el control del tronco mediante cuatro maniobras: desde decúbito supino, rodar hacia el lado débil y hacia el lado fuerte, sentarse desde una posición acostado y equilibrarse sentado desde el borde de la cama. La puntuación máxima es de 100 puntos; la recuperación del paciente está estrechamente ligada al puntaje, de tal forma que puntajes altos indican buenos resultados en cuanto a la rehabilitación del paciente.
3. *Frenchay Arm Test (FAT)*: esta prueba evalúa el uso de mano y brazo con hemiparesias. Son cinco tareas distintas que el paciente debe realizar, se logra un punto por cada tarea realizada por lo tanto la puntuación total puede estar entre 0 y 5 puntos.
4. *El índice de Barthel (IB)*: evalúa el grado de dependencia durante actividades cotidianas (ir al baño, asearse, vestirse, etc.). Se puntúan las actividades en una escala ordinal de 2, 3 o 4 puntos y la puntuación total del índice oscila entre 0 y 20 puntos, aunque en algunas versiones la puntuación va de un mínimo de 0 a un máximo de 100 puntos.

En las versiones de esta escala en que la puntuación máxima es 100, las puntuaciones obtenidas pueden ser interpretadas de la siguiente forma (21):

- De 0-20 puntos: dependencia total
- De 21-60 puntos: dependencia severa
- De 61-90 puntos: dependencia moderada
- De 91-99 puntos: dependencia escasa
- 100 puntos: independencia

Asimismo, mediante una revisión bibliográfica, se encontraron otras escalas utilizadas para la evaluación de la función del miembro superior, las más mencionadas en dichos trabajos son (14,20,22–24):

- *Box and Block Test (BBT)*. Diseñado para medir la coordinación y destreza manual gruesa. La prueba está conformada por una caja de 58 cm dividida justo a la mitad por una barra de 10 cm de alto, y 150 cubos de madera de 25 cm. El objetivo es pasar la mayor cantidad de cubos de un lado de la caja al otro en un minuto, evitando arrastrar los cubos o tocar la barra al medio de la caja. Los cubos deben pasarse de uno sin ser lanzados desde un compartimento de la caja a otro. El test comprende 3 etapas: primero 15 segundos para capacitación o entrenamiento, la segunda llevar a cabo el test con la mano dominante o no afectada, y por último llevar a cabo la prueba con la mano afectada (25).
- *Escala modificada de Ashwort*. Esta escala mide la espasticidad mediante la resistencia del músculo al movimiento pasivo. Para usar la escala el terapeuta mueve las articulaciones del miembro superior y/o inferior para ver con qué facilidad lo puede realizar y anota la resistencia que siente de acuerdo la escala; esta escala va del 1 al 5, donde 1 se refiere tono muscular normal y 5 rigidez para mover la articulación en extensión y flexión.
- *Wolf Motor Function Test (WMFT)*. Diseñado para evaluar el movimiento voluntario del miembro superior mediante una serie de tareas que van incrementando su dificultad. Consta de 15 ítems para el desempeño de tareas y 2 ítems para la fuerza. Para calificar los primeros 15 ítems se cronometra la realización de la tarea y se asigna un puntaje utilizando la Escala de Capacidad Funcional de 6 puntos (26).
- *Fugl Meyer Upper Extremity (FMUE)*. Comprende varios dominios que pueden utilizarse por separado pues no tiene una puntuación global. La mayor utilización es su dominio del miembro superior de forma individual en el que se analiza el balance motor del miembro superior. Permite medir de manera objetiva la recuperación motora y sensorial de los sobrevivientes de EVC.

Para el dominio de la función motora del miembro superior se cuentan 33 ítems donde el terapeuta debe elegir entre 3 posibles respuestas. La

puntuación va de un mínimo de 0 a un máximo de 66 puntos donde una baja puntuación indica mayor disfunción motriz (21).

- Motor Activity Log-30 (MAL-30). Se trata de una entrevista estructurada que evalúa la cantidad de uso y calidad de movimiento de la mano y brazo parético en pacientes con EVC mediante 30 ítems o preguntas sobre actividades de la vida diaria (27).
- *Chedoke Arm and Hand Activity Inventory (CAHAI-7)*. Esta escala tiene como objetivo evaluar la capacidad funcional del brazo y la mano afectados mediante una escala cuantitativa de 7 puntos. El paciente debe completar las tareas de la prueba usando ambas extremidades y no solo el brazo parético (28).

En 2001, la Organización Mundial de la Salud (OMS), adoptó la Clasificación Internacional de Funcionalidad, Discapacidad y Salud, comúnmente conocida como la CIF, que constituye el marco conceptual para una nueva comprensión del funcionamiento, la discapacidad y la salud (25).

La CIF señala que la discapacidad forma parte de la vida pues las personas, en algún momento de nuestra vida, sufriremos algún tipo de discapacidad transitoria o permanente, ya sea por enfermedad, accidente o envejecimiento. Por lo tanto, la CIF define la discapacidad como una experiencia humana universal dada por la interacción entre estado de salud y factores contextuales (29).

La CIF organiza la información en dos partes. La parte 1 sobre Funcionamiento y Discapacidad, y la parte 2 sobre Factores Contextuales. Cada una de estas partes consta a su vez de dos componentes (30).

Componentes de funcionamiento discapacidad y salud (29,30):

- Funciones y estructuras corporales: sobre las funciones de los sistemas corporales y las estructuras del cuerpo como órganos, las extremidades, etc. Tiene que ver con las funciones fisiológicas/psicológicas y los elementos anatómicos, y su ausencia o la alteración de estos implica deficiencias en las funciones y estructuras.
- Actividades y participación: engloba un amplio rango de dominios que indican aspectos relacionados con el funcionamiento desde una perspectiva social e individual. La actividad se refiere a la realización de tareas o actividades por parte del individuo, mientras que la participación hace referencia a la intervención del individuo en actividades sociales.

De acuerdo con Ferrer B. (21) existe un sistema de clasificación de escalas estandarizadas relevantes en la valoración del EVC basada en función de los componentes que establece la CIF en la parte sobre Funcionamiento, Discapacidad y Salud, ver Tabla 1.

Tabla 1. Escalas estandarizadas para EVC de acuerdo con los componentes de la CIF. Modificado de (21).

Deficiencia en el funcionamiento (funciones y estructuras corporales)	Limitaciones en la actividad	Limitaciones en la participación
<ul style="list-style-type: none"> • Beck Depression Inventory • Behavioral Inattention Test • Canadian Neurological Scale • Clock Drawing Test • Fugl-Meyer Assessment • General Health Questionnaire -28 • Geriatric Depression Scale • Hospital Anxiety and Depression Scale • Line Bisection Test • Mini Mental State Examination • Modified Ashworth Scale • Montreal Cognitive Assessment • Motor-free Visual Perception Test • National Institutes of Health Stroke Scale • Orpington Prognostic Scale • Wolf Motor Function Test 	<ul style="list-style-type: none"> • Action Research Arm Test (ARM test) • Barthel Index • Modified bartel index • Berg Balance Scale • Box and Block Test • Chedoke McMaster Stroke Assessment scale • Chedoke Arm and Hand Activity Inventory • Clinical Outcome Variables Scale • Functional Ambulation Categories • Functional Independence Measure • Frenchay Activities Index • Motor Assessment Scale • Rankin Handicap Scale • Nine-hole Peg Test • Rivermead Mobility Scale • Timed Up and Go • Motor Activity log 	<ul style="list-style-type: none"> • Canadian Occupational Performance Measure • EuroQol Quality of Life Scale • London Handicap Scale • Medical Outcomes Study Short-Form 36 • Nottingham Health Profile • Reintegration to Normal Living Index • Stroke Adapted Sickness Impact Profile • Stroke Impact Scale • Stroke Specific Quality of Life

2.4 Realidad virtual

Diversos autores describen la realidad virtual (RV) como un entorno artificial con objetos y actividades que imitan el mundo real y que hacen creer al usuario de esta tecnología, al interactuar con los objetos dentro del ambiente virtual (AV) para llevar a cabo tareas específicas, que se está dentro de este mundo simulado (4,15); para que el cerebro crea que se está dentro del entorno simulado se requiere un alto nivel de inmersión que puede lograrse con la ayuda de periféricos como Head Mounted Display (HMD), guantes o dispositivos hápticos, etc. (4).

La realidad virtual puede ser inmersiva o no inmersiva, en el caso de los ambientes virtuales inmersivos es necesario el uso de periféricos, como los visores HTC VIVE®, Oculus Rift®, mandos como Oculus Touch®, PS VR Aim®, o los guantes

Manus VR®, etc., que aíslen por completo al usuario del entorno (31) mientras que para la RV no inmersiva basta con un monitor o pantalla.

Aunque podría decirse que los sistemas de RV no inmersiva son menos costosos y más fáciles de usar en comparación con los sistemas de RV inmersiva, la verdad es que gracias al acelerado avance tecnológico hoy en día es más fácil tener acceso a dispositivos como los mencionados anteriormente, que vuelven la experiencia virtual mucho más completa. Por otra parte, el desarrollo constante de estos dispositivos tecnológicos vuelve los sistemas mucho menos complejos y más cómodos para el usuario al hacerlos inalámbricos (22).

Debido a que altos niveles de inmersión impactan directamente en el compromiso y motivación del paciente, diversos autores han concluido, después de realizar metaanálisis y revisiones bibliográficas, que los sistemas de RV inmersivos logran mejores resultados que los no inmersivos para la rehabilitación del miembro superior (12,14,31,32).

Dentro de las ventajas que ofrece la rehabilitación con RV respecto a la terapia convencional (TC) Pereira M. et al. (17), consideran que, además de incrementar el compromiso y motivación de los pacientes para con su tratamiento, el uso de ambientes virtuales podría convertirse en una herramienta muy útil para los terapeutas físicos o terapeutas ocupacionales, pues la evaluación sobre cada sesión de terapia sería más objetiva e incluso podrían realizarse los ejercicios en un entorno distinto a la clínica o centro de salud (4–6) mientras que los profesionales de la salud encargados de la rehabilitación pueden planear las sesiones de fisioterapia completamente enfocadas en las necesidades de cada paciente (5) gracias a que el sistema de realidad virtual los vuelve capaces de medir y controlar las diversas respuestas proporcionadas por los usuarios (1).

Otras de las ventajas que los investigadores han encontrado con la implementación de RV y AV para la rehabilitación es que permite a los pacientes llevar a cabo actividades de la vida diaria que no podrían realizarse en un entorno clínico, encima distraen de la monotonía de la TC; tecnologías como HTC Vive®, PlayStation VR® u Oculus Rift® resultan viables para proporcionar entornos más inmersivos (17) lo cual es importante pues la sensación de presencia aumenta la estimulación y hace que los pacientes estén tan concentrados en el juego, y no como tal en el ejercicio o movimiento, que puede olvidarse del miedo al dolor (5).

2.5 Serious games.

Baptista P. et al. (33) y Pereira M. et al. (17) definen serious games (SG), o gamificación, como el uso de elementos de diseño de juego en contextos distintos o ajenos al juego, existen aplicaciones de gamificación en varias áreas: comercio, medio ambiente, desarrollo de software, idiomas, machine learning, medicina y salud, etc. En cuanto a su aplicación en el campo de la medicina, los serious games ayudan a proporcionar ejercicios de rehabilitación asequibles y fácilmente disponibles (17,33).

La meta de la gamificación es persuadir al usuario para que realice determinadas tareas, en este caso inducirlo a que realice los ejercicios de terapia física necesarios para su recuperación. Las teorías y técnicas de cambio de comportamiento, las cuales han demostrado mejorar los resultados de salud, están fuertemente relacionados con los principios en los que se basan los serious games (34).

Recordando lo mencionado en párrafos anteriores sobre la importancia de la motivación para la rehabilitación en pacientes con EVC, y agregando lo expresado por Cuesta A. (35) al respecto, donde menciona que si los pacientes que reciben algún tratamiento están motivados mejorarán los resultados terapéuticos, es conveniente destacar que, a pesar de que la motivación y el compromiso son el resultado de la interacción entre el juego y el jugador, la interacción que tendrá un sujeto sano y un paciente con EVC no será la misma por lo que se debe considerar dicha interacción para crear escenarios de juego que realmente impacten positivamente en la motivación del paciente (36).

Para evaluar la motivación que tienen los pacientes al utilizar distintas herramientas de rehabilitación una buena opción es el cuestionario IMI, siglas en inglés de Intrinsic Motivation Inventory, es una herramienta de evaluación flexible (37), y multidimensional diseñado para evaluar la experiencia subjetiva de los participantes después de un tratamiento o actividad realizada (35,36). El IMI se ha utilizado en diversos entornos, entre ellos la rehabilitación motora, para evaluar la motivación de los pacientes (35).

El IMI consiste en un cuestionario de varios ítems¹, la versión completa cuenta con 45 ítems y 7 subescalas, que evalúa los siguientes aspectos: interés-disfrute, competencia percibida, esfuerzo-importancia, presión-tensión, elección percibida, valor-utilidad y relación, ver Tabla 2, (35), al realizar una actividad o llevar un tratamiento determinado.

¹ Un **ítem** o reactivo es un enunciado que se escribe en forma interrogativa o afirmativa y que constituye el cuerpo fundamental del instrumento que se pretende analizar (55).

conceptos de elección y competencia percibida se consideran un predictor positivo de la motivación intrínseca. La presión-tensión se considera un predictor negativo de la motivación intrínseca (36).

Una de las ventajas del IMI es su capacidad para utilizar el número de ítems que mejor se adapten a la actividad que se requiere evaluar o estudiar (35,36), además, dichos ítems están redactados de forma genérica, lo que permite sustituir la tarea a estudiar en la estructura del ítem (37). Para el caso del trabajo de Mihelj M. et al. (36) se utilizó una versión de 25 ítems con 5 subescalas: interés/disfrute, competencia percibida, esfuerzo/importancia, presión/tensión y valor/utilidad. Asimismo Cuesta A. (35) utiliza una traducción al castellano del cuestionario y modifica la escala Likert para que en lugar de tener una escala que va 1 (totalmente

en desacuerdo) a 7 (totalmente de acuerdo), como en la versión original, los enunciados se contesten en una escala del 1 al 10.

Tabla 2. Versión completa de la Escala IMI. Modificado de (37).

Subescala	ítems
Interés/disfrute	<ul style="list-style-type: none"> • Disfruté mucho haciendo esta actividad. • Esta actividad fue divertida. • <u>Pensé que era una actividad aburrida.</u> • <u>Esta actividad no mantuvo mi atención en absoluto.</u> • Describiría esta actividad como muy interesante. • Pensé que esta actividad era bastante agradable. • Mientras hacía esta actividad, pensaba en lo mucho que la disfruté.
Competencia percibida	<ul style="list-style-type: none"> • Creo que soy bastante bueno en esta actividad. • Creo que lo hice bastante bien en esta actividad, en comparación con otros. • Después de trabajar en esta actividad durante un tiempo, me sentí bastante competente. • Estoy satisfecho con mi desempeño en esta tarea. • Fui bastante hábil en esta actividad. • <u>Esta fue una actividad que no pude hacer muy bien.</u>
Esfuerzo/Importancia	<ul style="list-style-type: none"> • Me esforcé mucho en esto. • <u>No me esforcé mucho para hacerlo bien en esta actividad.</u> • Me esforcé mucho en esta actividad. • Era importante para mí hacerlo bien en esta tarea. • <u>No puse mucha energía en esto.</u>

<p>Presión/Tensión</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>No me sentí nervioso en absoluto mientras hacía esto.</u> • Me sentí muy tenso mientras hacía esta actividad. • <u>Estuve muy relajado al hacer esto.</u> • Estuve ansioso mientras trabajaba en esta tarea. • Me sentí presionado mientras hacía esto.
<p>Elección percibida</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Creo que tuve alguna elección al hacer esta actividad. • <u>Creo que no tuve elección al hacer esta tarea.</u> • <u>No tuve realmente elección al hacer esta tarea.</u> • <u>Sentí que tenía que hacer esto</u> • <u>Hice esta actividad porque no tenía elección.</u> • Hice esta actividad porque quería hacerlo. • <u>Hice esta actividad porque tenía que hacerlo.</u>
<p>Valor/Utilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Creo que esta actividad podría tener algún valor para mí. • Creo que hacer esta actividad es útil para: _____ • Creo que es importante hacer porque esto puede: _____ • Estaría dispuesto a hacer esto de nuevo porque tiene algún valor para mí. • Creo que hacer esta actividad podría ayudarme a: _____ • Creo que hacer esta actividad podría ser beneficioso para mí. • Creo que es una actividad importante.
<p>Relación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Me sentí muy distante con esta persona.</u> • <u>Dudo mucho que esta persona y yo lleguemos a ser amigos.</u> • Siento que realmente puedo confiar en esta persona.

- Me gustaría tener la oportunidad de relacionarme con esta persona más a menudo.
- Realmente preferiría no relacionarme con esta persona en el futuro.
- No siento que pueda confiar realmente en esta persona.
- Es probable que esta persona y yo lleguemos a ser amigos si nos relacionamos mucho.
- Me siento cercano a esta persona.

Puntuación.

- Los ítems se califican de acuerdo con la siguiente escala Likert:

1	2	3	4	5	6	7
Para nada cierto			Un poco cierto			Muy cierto

- Para los ítems subrayados la puntuación debe revertirse, es decir, que se debe restar a ocho la puntuación dada por el participante para obtener el verdadero valor del enunciado.
- Los ítems de la subescala de utilidad que tiene una línea se pueden complementar con la actividad o tarea de estudio para volverlos más específicos.
- La puntuación de las subescalas será el promedio de estas.

En la misma medida, es importante resaltar que gran parte de los pacientes con EVC son adultos mayores que en su mayoría carecen de experiencia con videojuegos, por lo que es indispensable que los SG creados para este grupo de usuarios no se perciban como complicados, con movimientos rápidos o cargados de información. El juego debe ser fácil de entender, debe contar con la información necesaria para que el paciente pueda entender cómo hacer el ejercicio y observar si lo está haciendo correctamente; tiene que ser motivador a la par de aligerar la carga de trabajo (38).

La carga mental se define como la carga de trabajo que resulta de realizar actividades que requieren la ejecución de procesos mentales y emocionales, por ejemplo, relacionar elementos, diagnosticar y tomar decisiones, etc. La presión mental resultante del enfrentamiento a los distintos requerimientos asociados a la ejecución de una actividad determinada sea esta con énfasis físico o mental (39).

Para evaluar la carga mental se puede usar algún método subjetivo de evaluación donde se le pregunta al usuario como ha percibido la actividad después de

realizarla, o un método basado en el análisis del desempeño de la tarea, es decir, analizar datos referentes a la realización de la tarea, como el tiempo en que el usuario demora realizando la actividad y los resultados que ha obtenido (40). A pesar de que el análisis del desempeño es un método mucho más objetivo, son los métodos subjetivos de evaluación los más usados para analizar la carga de trabajo, de entre ellos el instrumento más ampliamente usado para evaluar dicho aspecto es el NASA-TLX, siglas en inglés de La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio - Índice de carga de tareas (41).

El NASA-TLX es un instrumento multidimensional validado para medir la carga de trabajo y consta de 6 subescalas diferentes (42):

- Demanda mental: *¿Cuánta actividad mental fue necesaria (por ejemplo, pensar, decidir, recordar, mirar, buscar, etc.)? ¿La tarea era fácil o compleja?*
- Demanda física: *¿Cuánta actividad física se requirió (por ejemplo, empujar, mover, controlar, etc.)? ¿Fue la tarea tranquila o agotadora, fácil o exigente, lenta o rápida?*
- Demanda temporal: *¿Sintió presión con respecto al tiempo debido a la velocidad o el ritmo al que se desarrollaron las tareas o los elementos de la tarea?*
- Frustración: *¿Cree que ha conseguido cumplir los objetivos de la tarea? ¿Está satisfecho con su rendimiento en el cumplimiento de los objetivos?*
- Esfuerzo: *¿Cuánto ha tenido que trabajar (mental y físicamente) para alcanzar tu nivel de rendimiento?*
- Desempeño/rendimiento: *¿Se sintió inseguro, irritado, estresado y molesto, o seguro, retribuido, relajado?*

Las seis subescalas se presentan al usuario en pares (por ejemplo, demanda mental frente a demanda física) y se les pide que elijan cuál de los elementos fue más importante para la experiencia de la carga de trabajo en la(s) tarea(s) que acaban de realizar. Se le da un peso a cada escala según el número de veces que el usuario la ha seleccionado y posteriormente se le pide al usuario que puntué cada subescala mediante una escala que generalmente va de 0 a 100, aunque puede usarse una con intervalos más grandes mientras después se haga una conversión para que la puntuación sea hasta 100. Con el peso asignado y la puntuación dada por el usuario a cada subescala se puede obtener un promedio de la carga de trabajo que el usuario ha requerido para realizar la actividad (40–44).

Por otra parte, estudios con participantes muestran que puntajes satisfactorios en el ambiente virtual resultan positivos para personas tanto adultas como jóvenes. De la misma forma que el dispositivo genera frustración cuando el paciente no tiene la capacidad de llevar a cabo las tareas (5), por eso es importante tener presente las capacidades del usuario al llevar a cabo el desarrollo de los serious games. Realizar el juego por niveles que vayan ajustándose al progreso del paciente es una buena alternativa para no provocar frustración, además de proporcionar una mayor

“retroalimentación positiva” durante el juego en comparación con la “retroalimentación negativa”, en otras palabras, que existan muchos estímulos visuales, auditivos y/o hápticos cuando el paciente logra exitosamente una tarea u objetivo (retroalimentación positiva) a diferencia de los iconos que muestran el puntaje bajo o las vidas restantes que indican que se va perdiendo en el juego (retroalimentación negativa) (9).

Después de la práctica, la retroalimentación es de vital importancia para el aprendizaje motor, al igual que la motivación. La retroalimentación se define como la información sensorial ocasionada como resultado del movimiento. La retroalimentación puede dividirse en *retroalimentación intrínseca (inherente al individuo)*, que es toda aquella información sensorial percibida sin necesidad de asistencia de otras fuentes externas al cuerpo de la persona, y en *retroalimentación extrínseca*, donde la retroalimentación que se percibe proviene de fuentes externas al cuerpo de la persona, como la que puede brindar el fisioterapeuta o la tecnología, p. ej. cámaras de video (45).

Subramanian S. et al. (46) señalan que la retroalimentación extrínseca puede mejorar o sustituir a la retroalimentación intrínseca. Por otra parte, los mismos autores indican que retroalimentación extrínseca, que proviene de distintas fuentes, como video, RV y los sistemas robóticos, puede proporcionar información detallada sobre los parámetros de movimiento de forma más consistente que los fisioterapeutas, de tal forma que al incorporar estas tecnologías a la terapia puede aumentar el aprendizaje motor. De la misma forma Soares M. et al. (7) encuentran mediante un análisis bibliográfico que hay suficiente evidencia para decir que los pacientes con EVC se benefician de la retroalimentación extrínseca pues induce mejores condiciones para el aprendizaje motor.

Otro aspecto importante dentro de la motivación es la interacción entre multijugadores, distintos autores la señalan como un aspecto importante para la rehabilitación pues el juego se disfruta más, a la vez que se realiza un ejercicio más extenuante, debido a la interacción con otras personas y aún más si se realiza entre personas conocidas. Asimismo, se incrementa la percepción que los individuos tienen sobre sus capacidades (5,15,17). Los investigadores informan sobre la importancia del apoyo social o acompañamiento para reducir o impedir la depresión después de un accidente y durante su rehabilitación. Se destaca la importancia de la estimulación social dentro de la rehabilitación con AV, pues incluso después de que los pacientes han recuperado el movimiento sus niveles de actividad social son bajos, lo cual a su vez se ven reflejado en el estado de ánimo, sobre todo en adultos mayores en los que el acompañamiento individual es de suma importancia (47).

Pereira F. et al. (5) realizaron un estudio en el que se comparan 3 modos de juego: cooperativo, colaborativo y coactivo, donde este último modo se diferencia de los anteriores porque requiere que los jugadores trabajen en la misma tarea para lograr el mismo objetivo, pero sin depender uno del otro. El juego fue desarrollado por los

investigadores con la finalidad de observar la motivación y el compromiso que aporta cada modo de juego y una vez obtenidos los resultados poder desarrollar juegos tipo multijugador para la rehabilitación de pacientes sobrevivientes a EVC. En este estudio se concluye que el modo colaborativo requiere un diseño cuidadoso para equilibrar entre los jugadores las habilidades motoras y cognitivas necesarias, este modo requiere una mayor demanda cognitiva, por lo tanto, sería un problema para usarlo en pacientes que sufrieron EVC.

CAPÍTULO III: ESTADO DEL ARTE.

Los ambientes virtuales se han desarrollado desde que fueron introducidos por Ivan Sutherland en 1965, pero fue hasta mediados de la década de los 90s que la realidad virtual surgió como una herramienta para rehabilitación cognitiva y motora (48). De acuerdo con Dulau E. et al. (4), la realidad virtual es una extensa rama que recientemente se comenzó a utilizar en rehabilitación, una técnica innovadora en el campo de la fisioterapia pues, a diferencia de las técnicas tradicionales, produce motivación y compromiso (2), sobre todo porque las aplicaciones de la realidad virtual en el campo clínico se diseñan con una mecánica de juegos (gamificación), lo cual conlleva a que el proceso de rehabilitación sea más corto y no se abandone gracias a su carácter lúdico.

La tecnología de RV sigue avanzando, encontramos dentro de este gran avance tecnológico el uso de head mounted displays (HMD) y sistemas de seguimiento de movimiento con una mayor resolución y mucho más ergonómicos que sus antecesores que en sus inicios eran sistemas de seguimiento de movimiento que requerían un cableado engorroso para el paciente y que limitaba su movimiento (48).

En las últimas dos décadas han sido desarrollados varios sistemas de RV, dispositivos robóticos y hápticos para rehabilitación de mano con resultados esperanzadores. Estos desarrollos incluyen la aplicación de dispositivos hápticos, cámaras de video, Leap Motion Controller®, Kinect de Microsoft Xbox®, guantes electrónicos, Oculus Rift®, PlayStation 3®. La combinación de varios de estos dispositivos ha logrado mejores resultados. No obstante, el uso combinado de estas tecnologías hace que el precio de los sistemas aumenten, y que al tener un sistema complejo haya errores al preparar todo el hardware necesario para cada sesión de terapia, por otra parte el uso de dispositivos como guantes o prótesis es inviable cuando existen heridas expuestas o malformación de las manos (17). Asimismo, el entrenamiento de rehabilitación con realidad virtual ha surgido recientemente como un método importante para promover la recuperación funcional después la EVC (15).

En el metaanálisis realizado por Ahn S. et al. De los 34 artículos seleccionados para su trabajo encontraron que la mayoría de las intervenciones aplicadas utilizaron la RV usando programas de computadora (26.5%), seguido de los videojuegos (17.6%), la Wii (11.8%) y en cuarto lugar Xbox Kinect training (5.9%) (14).

A finales de 2019 y principios de 2020 se diseñó un sistema de RV con interfaz háptica para la rehabilitación del miembro superior después de un EVC o fractura, el diseño y programación del AV estuvo a cargo de Ríos M. (8), alumna de la Universidad Autónoma del Estado de México, como parte de su trabajo de tesis. En la Figura 4 se presentan los componentes físicos de dicho sistema.

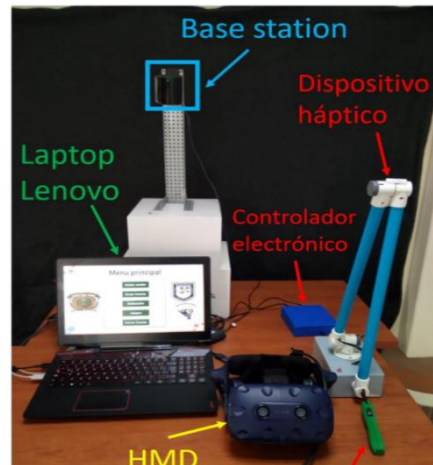


Figura 4. Componentes del Sistema de Rehabilitación de Miembro Superior. Tomado de [31].

El desarrollo de dicho sistema consistió en 4 etapas (8):

1. Identificación de ejercicios cinesioterapéuticos y caracterización del desempeño. Mediante cuestionarios aplicados a fisioterapeutas se definieron los ejercicios que los pacientes con EVC deben realizar durante la rehabilitación física, planteando para ello la situación hipotética: paciente con hemiparesia a causa de EVC, que pueda de realizar rehabilitación activa del miembro superior.

Los ejercicios que se identificaron fueron:

Hombro

- Flexión
- Extensión
- Abducción
- Aducción
- Rotaciones

Codo

- Flexión
- Extensión
- Pronación
- Supinación

Muñeca

- Flexión
- Extensión
- Desviación ulnar
- Desviación radial
- Supinación
- Pronación

2. Diseño del ambiente virtual. El desarrollo de esta etapa se realizó mediante la información recabada con la aplicación de los cuestionarios en la etapa anterior, es decir, los escenarios virtuales y las actividades que se realizan en cada uno de ellos fueron pensados y construidos para que el paciente realice únicamente los ejercicios indicados por los fisioterapeutas como necesarios y posibles de llevarse a cabo por pacientes con EVC para la rehabilitación física de la extremidad superior. Los escenarios sufrieron

diversas modificaciones de acuerdo con la retroalimentación recibida por parte de los fisioterapeutas durante todo el desarrollo del proyecto.

El sistema utiliza una computadora portátil con memoria RAM de 16 Gb, procesador Intel i7, tarjeta gráfica NVIDIA GeForce® GTX 1060 y un disco de estado sólido de 128 Gb, para el diseño y visualización del AV. Como segundo dispositivo de visualización el sistema utiliza el visor de RV Vive Pro de HTC.

Para el diseño y programación de los escenarios virtuales se utilizó la plataforma Unreal Engine 4 pues tiene como ventajas que la programación del AV se puede realizar mediante “blueprints”, o bloques, volviendo este proceso más sencillo, además de ser un motor de juegos gratuito por lo que existe mucho intercambio de herramientas e información actualizada por parte de la comunidad.

El ambiente virtual consta de 4 escenarios y una interfaz gráfica de usuario. Cada escenario cuenta con elementos de juego, por ejemplo, puntaje y cronómetro o temporizador, además de retroalimentación háptica, auditiva y visual presentada en la Tabla 3, todo con el objetivo de lograr que el paciente realice los movimientos identificados como necesarios para la rehabilitación del miembro superior mientras realiza la actividad planteada por cada escenario (8), en la Tabla 4 se muestran los movimientos y actividades que se realizan en cada escenario.

Tabla 3. Retroalimentación en cada escenario virtual (8).

Escenario Virtual	Retroalimentación		
	Auditiva	Háptica (durante colisiones)	Visual (forma del elemento terminal)
<i>Figuras</i>	Durante errores o golpes. Dos sonidos	con las figuras	Pluma
<i>Anaqueles</i>	Durante colisiones o golpes. Dos sonidos	con los productos	Mano
<i>Atrapar</i>	Durante colisiones. Tres sonidos	con rocas	Canasta
<i>Apilar</i>	No hay sonidos	con las guías, con los bloques	Gancho

Tabla 4. Movimientos y actividades que se realizan de acuerdo con el escenario virtual (8).

Escenarios virtuales	Actividad	Movimientos		
		Hombro	Codo	Muñeca
Figuras	El usuario debe arrastrar la figura que aparezca en pantalla y soltarla en el agujero que corresponda con la forma de la figura.	Rotación, extensión/ flexión		extensión/ flexión
Anaqueles	En pantalla aparece una lista de compras y el usuario debe tomar del anaquel los productos de la lista hasta completarla. Este escenario cuenta con 3 niveles de dificultad.	Rotación, extensión/ flexión, abducción/ aducción		extensión/ flexión
Atrapar	El usuario debe atrapar con una canasta las frutas que caen del cielo, esto para el primer nivel, son 4 niveles, en los siguientes niveles el usuario, además, debe evitar colisionar y atrapar gusanos en lugar de frutas.	Rotación, extensión/ flexión, abducción/ aducción		extensión/ flexión
Apilar	Este escenario cuenta con 3 niveles, la tarea aquí es apilar bloques donde la guía roja lo indica. El tamaño y número de bloques para apilar incrementa de acuerdo con el nivel.	Rotación, extensión/ flexión, abducción/ aducción		extensión/ flexión

3. Integración de la interfaz háptica con el AV. El sistema utiliza un dispositivo háptico (DH) de tres grados de libertad con un elemento terminal (ET) en forma de lápiz. Con este dispositivo (Figura 5) se determina de la posición del ET dentro del AV a la vez que se le brinda la retroalimentación háptica, mediante vibraciones, al paciente cada vez que se requiere.
4. Evaluación del funcionamiento. Esta etapa se realizó mediante cuestionarios y encuestas a terapeutas físicos, la retroalimentación recibida ayudo a mejorar aspectos del AV, se hicieron, además, pruebas de usabilidad y de funcionamiento para las que se eligieron 20 usuarios sin EVC o fractura.

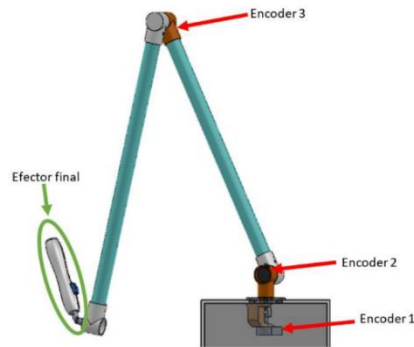


Figura 5. DH que muestra el ET (31).

Los resultados arrojaron un puntaje de usabilidad de 85.2 en una escala de 100, asimismo se contabiliza un alto puntaje en el cuestionario AttrakDiff, que se utiliza para evaluar la percepción de los usuarios sobre un producto. Por lo que se concluye que el sistema cumple con los objetivos planteados en su inicio; como trabajo futuro la autora considera importante observar el funcionamiento y usabilidad del sistema con pacientes, realizando pruebas en personas que necesitan la rehabilitación en el miembro superior, de la misma manera es necesaria la validación clínica del sistema para poder concluir finalmente si este sistema es igual de útil para la rehabilitación de pacientes con EVC y fractura que la TC (8).

3.1 Validación clínica de sistemas de RV basados en SG

Dentro de los trabajos que se han centrado en la validación clínica de sistemas de RV y SG, la mayoría coinciden en el análisis de datos. Generalmente los autores realizan una correlación entre los datos almacenados por el sistema, como la velocidad, aceleración, tiempo total en cada tarea, el número de fallas, etc., y la puntuación obtenida al aplicar escalas de resultados estandarizados para medir la función del miembro superior después de cada sesión de terapia con el sistema, como en el trabajo de Dolores M. et al. (23) donde se valida un sistema de RV para entrenar el cruce de calles en pacientes con negligencia espacial unilateral, los datos analizados fueron datos recabados por el propio sistema, como tiempos totales para realizar la tarea, número de fallas, número de advertencia, etc. Después de completar la tarea los participantes completaban el short feedback Q versión modificada (SFQM), para medir la experiencia en el entorno. Los participantes también fueron evaluados con una batería de pruebas neuropsicológicas.

En cuanto al análisis estadístico, los datos se analizaron usando ANOVA unidireccional con Bonferroni como análisis post hoc para variables continuas y pruebas de chi-cuadrada. La correlación entre las pruebas neuropsicológicas y los resultados del sistema de RV se analizó utilizando el coeficiente de correlación de rango de Spearman. Se hacen, además, correlaciones entre miembros afectados y no afectados, e incluso con los puntajes obtenidos en el juego (23).

Huang X. et al. (24) usa en su trabajo las escalas Motor Activity Assessment Scale (MAS) y Fugl Meyer Assessment (FMA) en suma con los parámetros cinemáticos asociados a la rehabilitación del miembro superior incluido el rango de movimiento activo. Ellos repitieron las pruebas tres veces para asegurar la validez y consistencia de los datos, además de usar el valor medio de sus sumas como la puntuación medida. Los autores presentan los datos medidos como media \pm desviación estándar (media \pm SD).

Por otra parte, Shahmoradi L. et al. solo usa la escala Modified Motor Assessment Scale (MMAS) y la escala de Brunnstrom antes y después de la intervención para evaluar la mejoría de los pacientes, mientras que el análisis estadístico lo hacen con el software estadístico SPSS 20 con el que se calcularon los valores de la media \pm desviación estándar de las variables. Debido al número limitado de muestras se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para examinar las variables antes y después de la intervención.

En la revisión sistemática realizada por Sánchez M. (22) se observa que en los trabajos incluidos en la revisión se utilizan escalas estandarizadas para evaluar: la función motora de la extremidad superior (usando FMUE, Manual Function Test, Box and Block Test, Jebsen Taylor Hand Function Test, Wolf Motor Function), la calidad del movimiento del miembro superior (usando Motor Activity Log), la cinemática del movimiento, función motora bimanual (usando CAHAI-7), la independencia funcional (usando Índice de Barthel), la espasticidad (usando MAS), los cambios en el estado de ánimo (usando Hamilton Depression Rating Scale), la calidad de vida relacionada con la salud (usando Study short Form-36) y la fatiga (usando la escala de gravedad de la fatiga). Los autores analizaban dichas variables antes e inmediatamente después de la intervención, solo uno de estos autores evaluaba estas variables incluso semanas después de finalizada la intervención, por lo que Sánchez M. (22) recomienda que en futuros trabajos se realice el seguimiento de los pacientes una vez finalizado el tratamiento, además de ensayos clínicos con una duración más larga, pues se han observado resultados significativos.

En el metaanálisis que llevo a cabo Destaw B. et al. (13) uno de los criterios de inclusión para los trabajos fue que las variables analizadas estuvieran basadas en los tres dominios de la CIF: funciones y estructuras corporales, actividades y participación. Se eligieron 3 escalas estandarizadas que mejor evaluaban los 3 dominios: Fugl Meyer upper extremity (FM-UE), Motor Activity Log (MAL) y Box and Block Test (BBT), por lo que solo se incluyeron los trabajos que emplearan alguna de estas escalas. Este criterio de inclusión se basa en las conclusiones que los autores del metaanálisis encontraron en su búsqueda bibliográfica. Además de concluir cuales son las mejores escalas para evaluar el progreso de en la rehabilitación del miembro superior de los pacientes, los autores concluyen que más de 15 h de intervención parecen tener mayores beneficios en comparación con intervenciones más cortas.

Al igual que (12,22), Destaw B. et al. (13) concluyen que pacientes en fase subaguda de EVC se benefician más del tratamiento con RV que los pacientes en fase crónica de la misma enfermedad.

CAPITULO IV. MODIFICACIONES AL AV

En su trabajo Ríos M. (1) concluyó que había que hacerle algunas modificaciones al sistema antes de hacer pruebas con pacientes con EVC, dichas modificaciones consisten en:

- Asegurar que el usuario inicie cada juego con el DH y el ET en la posición adecuada para evitar que tenga que realizar movimientos que pudieran lesionarlo o dañar el DH
- Limitar la retroalimentación háptica para que suceda solo en situaciones necesarias y no todo el tiempo

4.1 Instrucciones para el inicio correcto del DH

En su trabajo Ríos M. (8) observó que una de las principales razones por las que el usuario no comenzaba con el DH en la posición correcta era porque no leía las instrucciones antes de iniciar los juegos. Se infirió que el usuario podría estar iniciando con el dispositivo en posiciones incorrectas debido a que las instrucciones presentadas no eran suficientemente explicativas, además de que se presentaban en conjunto con las instrucciones de cada juego lo cual podría desviar la atención del usuario, por lo tanto, se optó por añadir pantallas de carga en cada nivel donde se explicara con imágenes e instrucciones concretas como había que posicionar el DH antes de comenzar cada juego, Figura 6.

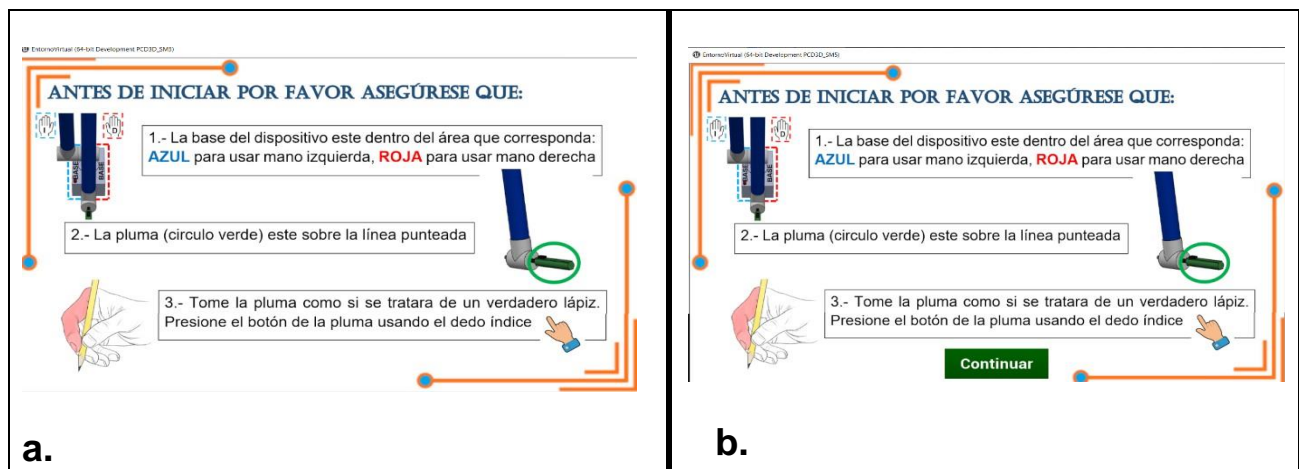


Figura 6. a.-Pantalla de carga con las instrucciones sobre la posición en la que debe estar el DH para iniciar cada nivel de juego. b.- Botón de continuar aparece 5 segundos después para forzar a que se lean las instrucciones

Contar con una pantalla donde solo se explique la posición correcta del DH y la pluma podría ayudar a que el usuario se concentre solo en esa tarea a la vez y no la pase por alto. Además, hacer que el botón de continuar aparezca después de cierto tiempo, contribuye a que el jugador lea las instrucciones, y si acaso no las

entiende puede ayudarse con las imágenes; asimismo las imágenes le servirán como guía para recordar la instrucción las siguientes veces que juegue y acatarla incluso sin haber leído el texto.

Las instrucciones se redactaron de forma sencilla, utilizando un código de colores y haciendo referencia a los apoyos visuales que se colocarían en la mesa de trabajo, todo a fin de que los pacientes con EVC, que suelen tener afectaciones cognitivas, no se frustren tratando de discernir la información o notando que no han comprendido la tarea.

De tal manera que las pantallas de carga fueron creadas a partir de las observaciones de Pérez C. (49) y Albornoz C. (50) para el diseño de interfaces sencillas donde se destaca la importancia de:

1. Instrucciones sencillas y fácilmente recordables, idealmente auditivas y/o icónicas, evitando así el uso de textos largos. Pues la memoria a corto plazo limitada de los usuarios hace difícil que se pueda asimilar más de 7 elementos de información a la vez.
2. Mensajes poco claros, demasiada información o respuesta lenta del sistema aumentan el estrés de los usuarios.
3. El uso de iconos y códigos de colores deben ser consistentes durante todo el AV (por ejemplo, verde para "sí" y rojo para "no"); los cuadros de diálogo deben permanecer en la pantalla el tiempo suficientemente.

Las instrucciones dadas en esta pantalla de carga no son más que recordatorios para observar que el DH se encuentre dentro de los límites establecidos sobre la mesa de trabajo, como se ilustra en la Figura 7, es decir, un refuerzo para localizar el DH y el ET en los señalamientos de colores pintados sobre la mesa de trabajo. Asimismo, se agregó una breve instrucción para explicar que la pluma o ET se debe tomar como si se tratara de un lápiz, presionando el botón con el dedo índice, esto con la finalidad de evitar daños al mecanismo cardan que une al ET con el DH.



Figura 7. Señalización del espacio que ocupará la base del DH de acuerdo con el lado del cuerpo a rehabilitar (azul brazo izquierdo y rojo brazo derecho).

4.2 Modificación de la posición de inicio del DH

Con la misma finalidad de evitar que el usuario inicie los juegos con el dispositivo háptico en posiciones incorrectas se modificó la posición de inicio del DH, en la Figura 8 se observa una comparación entre la posición de inicio anterior y la posición actual. Se decidió cambiar la posición de inicio pues es más sencilla de ubicar que la posición anterior, además de que con esta nueva posición los grados de abducción de hombro y rotación externa de hombro aumentan.

Con la nueva posición las distancias también se modifican, ayudando así a que el paciente no tenga que estirar completamente su extremidad superior para tomar el ET e interactuar en el AV, pues probablemente estirar completamente su brazo sea algo que no pueda hacer y el no poder lograrlo podría causarle frustración, e incluso no ser candidato al uso del sistema; las nuevas distancias se muestran en la Figura 9.

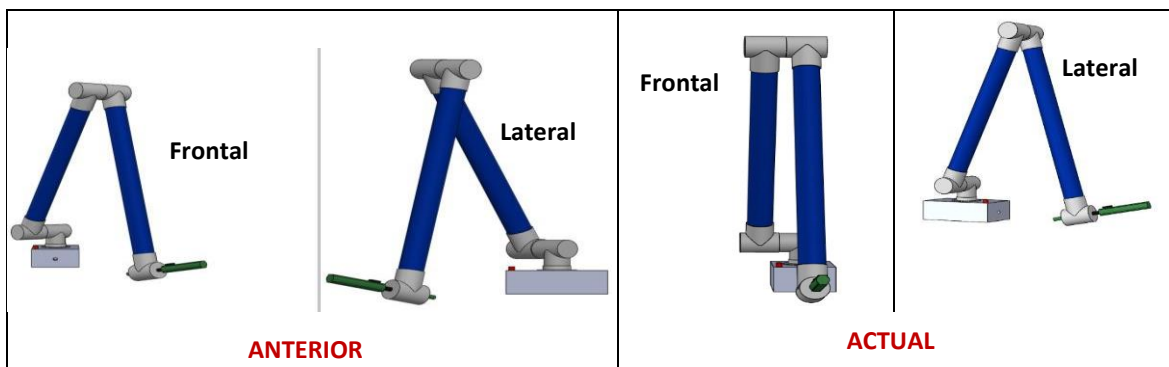


Figura 8. Se muestran las posiciones, anterior y actual, de inicio del DH en vista frontal y lateral

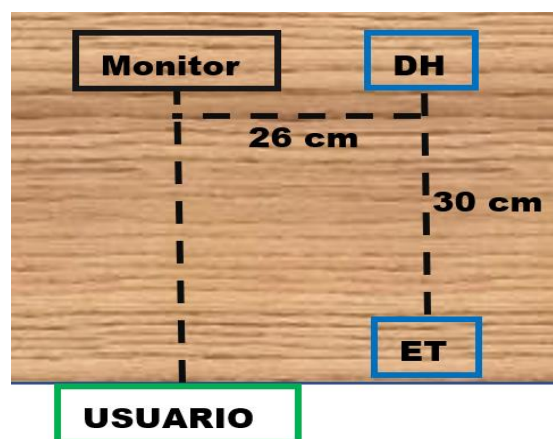


Figura 9. Se muestran las distancias actuales del DH y pluma respecto al usuario y monitor

4.3 Escala de movimiento

Retomando la posibilidad de un rango de movimiento muy reducido del paciente, se implementó un control deslizante que modifica la escala en el AV, Figura 10,

haciendo que un pequeño movimiento en el mundo real se vea multiplicado en el mundo virtual, haciendo un escalamiento en los datos de entrada, y que de esta forma pacientes con poca movilidad puedan interactuar con los entornos virtuales del sistema. El control deslizante fue construido pensando en que el terapeuta pueda modificar los valores de escala de acuerdo con sus observaciones sobre el paciente y de esta forma tener mucho más control dentro de la terapia con el sistema.



Figura 10. Control deslizante para escalar el movimiento en el escenario figuras

Para el escenario “Atrapar” no se añadió control deslizante puesto que los movimientos dentro de este escenario son de distancias muy cortas dado que al momento de su diseño se le agregó una escala de más de 10 unidades que multiplica los valores UDP recibidos de X, Y y Z. Aunque sí se redujo el intervalo de distancia en que pueden caer las frutas para evitar que el paciente llegue a realizar movimientos muy amplios.

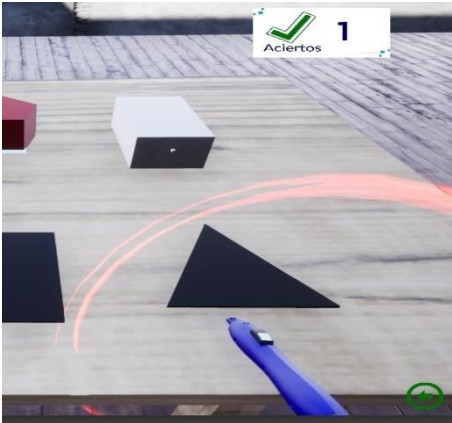


Ya que el juego podría jugarse incluso apenas moviendo la canasta unos centímetros, cualquier paciente con un rango de movimiento disminuido puede utilizar este escenario, pues el juego continua sin importar la cantidad de frutas que no se logren atrapar.

4.4 Modificaciones a la retroalimentación del sistema

En cuanto a la retroalimentación que brinda el AV, las modificaciones que se realizaron fueron:

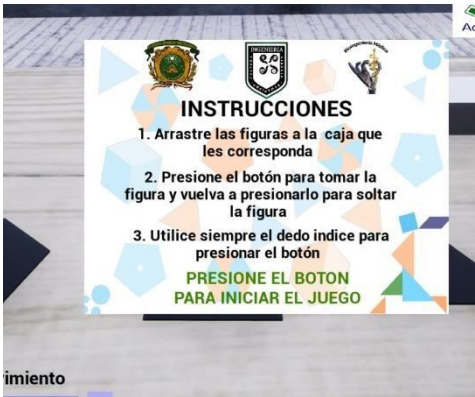
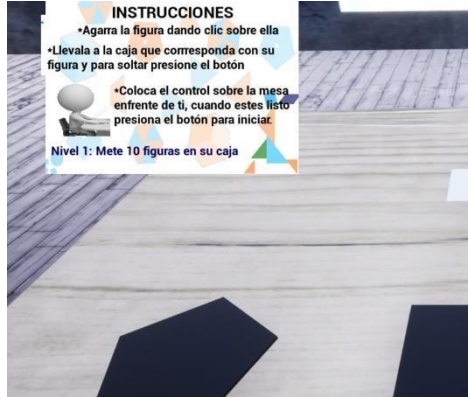
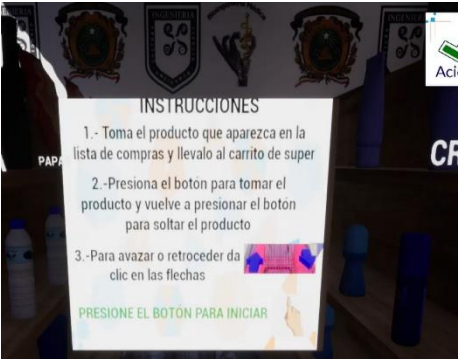
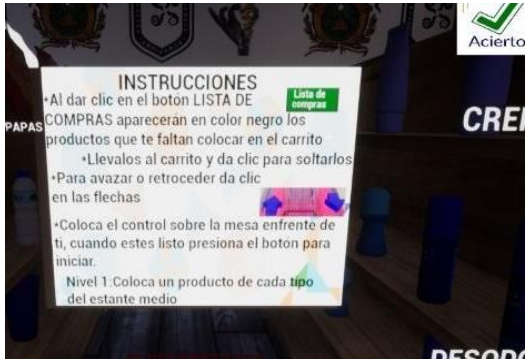
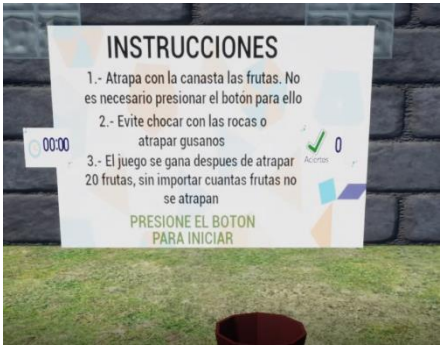
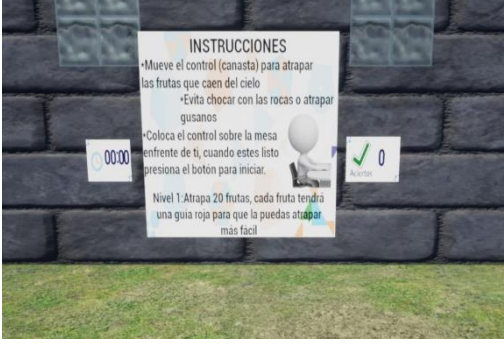
1. Se aumentó la retroalimentación visual “positiva” añadiendo efectos de partículas cada que se da un acierto, ver Tabla 5. Para el escenario “Apilar” no se agregaron efectos de partículas pues el bloque cambia de color, de verde a anaranjado, cuando está en la ubicación correcta y por lo tanto se ha ganado un acierto.

Tabla 5. Efectos de partículas añadidos a los escenarios virtuales

Escenario	Imagen	Descripción del efecto
Figuras		<p>Halo de luz rojo con destellos que gira alrededor del lápiz cada que se ingresa una figura en su caja correspondiente.</p>
Anaqueles		<p>Circulo de estrellas doradas que gira alrededor de la mano cuando se mete un producto de la lista de compras al carrito</p>
Atrapar		<p>Lluvia de hojas que caen sobre la canasta cuando se atrapa una fruta</p>

2. Como parte de las modificaciones a la retroalimentación visual del ambiente virtual se modificaron las pantallas de instrucciones dadas en cada juego, Tabla 6, de acuerdo con los requisitos comentados por Pérez C. (49) y Albornoz C. (51) para la interfaz gráfica. De modo que las pantallas de instrucciones quedaron ubicadas al centro del escenario, con instrucciones más breves y con un mayor tamaño de letra, considerando que un importante porcentaje de pacientes con EVC sufren afectaciones visuales (1). Además, se modificaron las pantallas de niveles de cada juego para la información mostrada fuera lo más concreta posible y el tamaño de letra pudiera aumentarse.

Tabla 6. Pantallas de instrucciones de cada juego modificadas

Escenario	Actual	Anterior
Figuras	 <p>INSTRUCCIONES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Arrastre las figuras a la caja que les corresponda 2. Presione el botón para tomar la figura y vuelva a presionarlo para soltar la figura 3. Utilice siempre el dedo índice para presionar el botón <p>PRESIONE EL BOTON PARA INICIAR EL JUEGO</p>	 <p>INSTRUCCIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> •Agarra la figura dando clic sobre ella •Llévala a la caja que corresponda con su figura y para soltar presione el botón •Coloca el control sobre la mesa enfrente de ti, cuando estes listo presiona el botón para iniciar. <p>Nivel 1: Mete 10 figuras en su caja</p>
Anaqueles	 <p>INSTRUCCIONES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Toma el producto que aparezca en la lista de compras y llévalo al carrito de super 2. Presiona el boton para tomar el producto y vuelve a presionar el boton para soltar el producto 3. Para avanzar o retroceder da clic en las flechas <p>PRESIONE EL BOTON PARA INICIAR</p>	 <p>INSTRUCCIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> •Al dar clic en el boton LISTA DE COMPRAS aparecerán en color negro los productos que te faltan colocar en el carrito •Llévalos al carrito y da clic para soltarlos •Para avanzar o retroceder da clic en las flechas •Coloca el control sobre la mesa enfrente de ti, cuando estes listo presiona el boton para iniciar. <p>Nivel 1. Coloca un producto de cada tipo del estante medio</p>
Atrapar	 <p>INSTRUCCIONES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Atrapa con la canasta las frutas. No es necesario presionar el botón para ello 2. Evite chocar con las rocas o atrapar gusanos 3. El juego se gana despues de atrapar 20 frutas, sin importar cuantas frutas no se atrapan <p>PRESIONE EL BOTON PARA INICIAR</p>	 <p>INSTRUCCIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> •Mueve el control (canasta) para atrapar las frutas que caen del cielo •Evita chocar con las rocas o atrapar gusanos •Coloca el control sobre la mesa enfrente de ti, cuando estes listo presiona el boton para iniciar. <p>Nivel 1. Atrapa 20 frutas, cada fruta tendrá una guia roja para que la puedas atrapar más facil</p>



3. Se restringió la retroalimentación háptica en cada escenario, de tal forma que:

- En el escenario figuras solo hay retroalimentación háptica cuando se toma la figura con la pluma. Se eliminó la retroalimentación háptica cuando se choca con la mesa virtual pues si el paciente no es capaz de levantar su brazo, algo que de por si no es indispensable para jugar ese juego, y arrastra la pluma por la mesa de trabajo estaría recibiendo retroalimentación háptica todo el tiempo.
- En el escenario anaqueles solo hay retroalimentación háptica cuando se choca con los muebles virtuales y cuando se toma el producto, se eliminó cuando la mano virtual choca con el carrito de compras o cuando toca las flechas que hacen moverse al carrito porque se percibía como una vibración constante.
- En el escenario atrapar solo hay retroalimentación háptica cuando se choca con las rocas, pero no al tocar las guías rojas pues no representan algo solido dentro del mundo virtual, tampoco hay retroalimentación háptica cuando se atrapa un gusano porque es suficiente con la retroalimentación auditiva que el sistema proporciona cuando esto ocurre.
- Para el escenario apilar la retroalimentación háptica no se modificó porque solo ocurre al tomar los bloques.

4.5 Otras modificaciones

Durante el desarrollo del proyecto se fueron observando algunos detalles extra que necesitaban ajustarse a los cambios realizados:

- Se aseguró el correcto cierre del ejecutable pues se observó que el botón de cerrar cuenta simplemente hacia aparecer en pantalla le mensaje de cierre, pero el ejecutable permanencia abierto y había que cerrarlo por otros medios, lo cual le restaba usabilidad al sistema.

- Se modificó el inicio de cada ET virtual en los juegos, todo acorde a la modificación que se hizo en la posición de inicio del DH, de tal forma que si el DH se tomaba desde la esquina izquierda de la mesa de trabajo el ET virtual se viera en la esquina inferior izquierda de la pantalla.
- Para el escenario atrapar, al cual no se le agregó escala de movimiento, se modificaron las dimensiones del área en que caen las frutas para corresponder los movimientos necesarios para atraparlas con el movimiento del DH tras su nueva posición de inicio. De igual manera se modificó el efecto rebote que se da cuando las frutas caen al suelo pues esto hacía que las frutas se fueran hacia el frente lo cual podría provocar lesiones en la extremidad del paciente o daños del dispositivo háptico al querer atraparlas.
- Tras la sugerencia de una especialista en terapia física se agregaron pantallas a todos los juegos, Figura 11, donde se indica qué movimientos realizará el paciente al jugar cada juego; asimismo se incluyó un pequeño cuadro de dialogo con información extra que podría orientarle al terapeuta a la hora de decidir que escenario utilizar con su paciente.

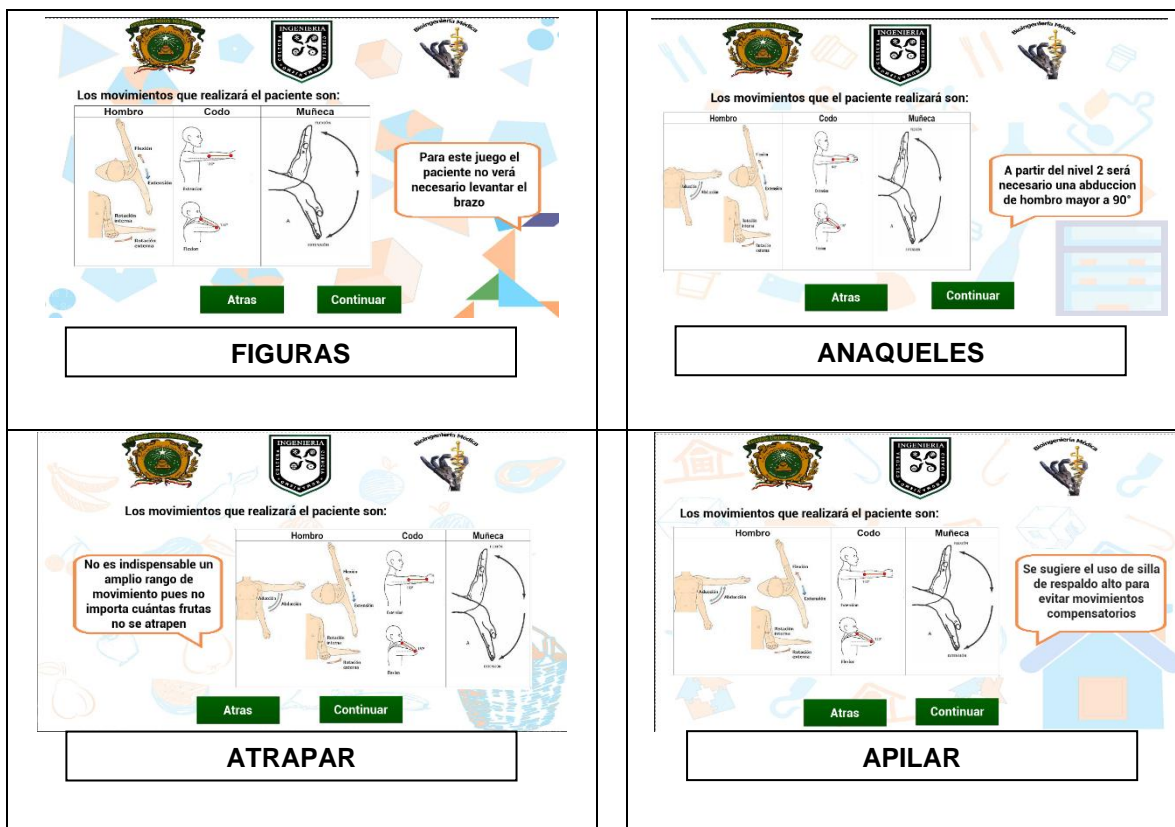


Figura 11. Pantallas agregadas a cada escenario donde se indica los movimientos que harán los pacientes al jugar cada juego.

- En el escenario "figuras" se modificaron un poco las ubicaciones de inicio de las figuras pues había que extender demasiado el brazo para alcanzarlas

- En el escenario anaqueles se aumentó el tamaño del bloque de colisión del carrito de super para que se pudieran seguir dando aciertos aun cuando el carrito estuviera muy lleno de productos.
- En el escenario “atrapar” el bloque de colisión se amplificó para que fuera un poco más sencillo capturar las frutas
- Para el escenario “apilar” se incrementó el tamaño del ganchito (ET virtual).

4.6 Modificación del escenario “Anaqueles”

Durante el desarrollo de su trabajo, Ríos M. (8) detectó que los usuarios que jugaban el escenario “Anaqueles” se confundían a la hora de tomar los productos que venían en la lista de compras pues como todos los productos existentes aparecían en la lista, lo usuarios tenían la idea de que era necesario tomarlos todos e ignoraban la casilla con la cantidad que debían tomar de cada producto, finalmente ella hizo una primera modificación para solucionar este problema marcando de un color distinto los productos que debían tomarse y los que no, pero al mantener todos los productos en la lista aún había confusión.

Por lo que se optó por hacer una reprogramación de la lista de compras, de tal manera que solo aparezcan los productos que son necesarios meter al carrito para completar cada nivel de juego, Figura 12.



Figura 12. Modificación a la lista de compras en el escenario “anaqueles”

Los productos en la lista de compras aumentan de acuerdo con el nivel, de tal forma que para el nivel 1 solo aparecen los productos del estante medio con la finalidad de que el paciente no realice una rotación tan amplia de hombro, para el nivel 2 aparece 1 producto de cada tipo y para el nivel 3 aparecen todos los productos de cada tipo, pero la cantidad que hay que tomar es aleatoria por lo que el paciente podría tomar hasta 23 productos en este nivel.

Además de dejar en la lista de compras solamente los productos que hay que meter al carrito de compras, también se reprogramó la lista para que una vez que el producto se ha tomado, y ya no es necesario tomar mas de ese producto, se elimina de la lista para evitar que se siga tomando, Figura 13; y si por confusión el paciente toma algún producto que no esté en la lista aparece un mensaje a la mitad de la pantalla que le indica que ese producto no está dentro de la lista de compras Figura 14.



Figura 13. Se muestra el antes y el después en la lista de compras tras tomar una botella de agua



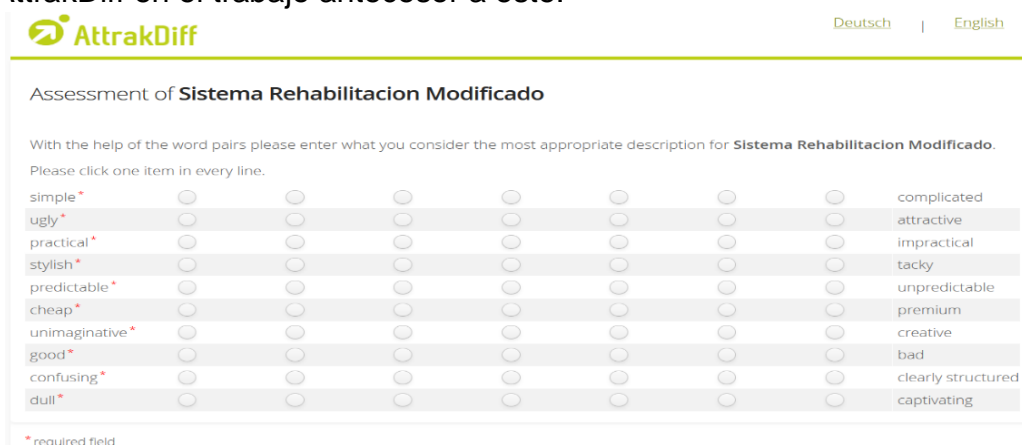
Figura 14. Se toma un producto cuando ya no está en la lista de compras y aparece un mensaje en la pantalla.

CAPITULO V. EVALUACIÓN DEL SISTEMA

Una vez que las modificaciones concluyeron se solicitó la opinión de licenciados en terapia física. Se optó por contactar a las y los fisioterapeutas de manera privada. El objetivo era conocer su opinión respecto a los cambios hechos al sistema, tener la respuesta de expertos a la pregunta de si las modificaciones hechas al sistema eran benéficas para los pacientes con EVC y para las sesiones de terapia, o si no lo eran.

Se logró ponerse en contacto con cinco licenciados en terapia física a quienes se les mostró el sistema y después se les pidió contestar un cuestionario (Anexo 1); en el cuestionario se les presentaban 19 enunciados, 2 sobre su experiencia previa en el uso de RV en pacientes con EVC y 2 sobre su opinión general del sistema, y los restantes 15 enunciados sobre las modificaciones hechas en el sistema, cada enunciado con 5 opciones de las que debían elegir con la que más concordaran, siendo 1 “totalmente en desacuerdo” y 5 “totalmente de acuerdo”.

Además, se les pidió contestar el cuestionario AttrakDiff una herramienta utilizada para conocer la experiencia del usuario y que permite, mediante dos dimensiones: hedónica y pragmática, conocer el impacto emocional que ha tenido el usuario al interactuar con algún un producto (52). El AttrakDiff consiste en 28 ítems formados por adjetivos opuestos (por ejemplo, “barato-premium”, “feo-atractivo”) y que son evaluados utilizando el método de diferencial semántico bipolar (53). Para esta evaluación se utilizó la versión modificada del cuestionario, Figura 15, disponible de manera gratuita en <http://attrakdiff.de/>, debido a que fue la versión que utilizó Ríos M. (8) en su trabajo dado que la finalidad de utilizar esta herramienta fue corroborar que el sistema no hubiera sufrido afectaciones a la experiencia del usuario debido a los cambios realizados. Se aseguró que los terapeutas fueran por lo menos 5 para obtener resultados confiables ya que este cuestionario es de tipo cualitativo, pero también porque fue el número de especialistas que contestó la misma versión del AttrakDiff en el trabajo antecesor a este.



The image shows a screenshot of the AttrakDiff assessment form. At the top left is the AttrakDiff logo, and at the top right are language options for 'Deutsch' and 'English'. The main title is 'Assessment of Sistema Rehabilitacion Modificado'. Below the title, there is a instruction: 'With the help of the word pairs please enter what you consider the most appropriate description for Sistema Rehabilitacion Modificado. Please click one item in every line.' The form contains ten rows of bipolar adjectives with seven radio buttons between them. The adjectives are: simple*, ugly*, practical*, stylish*, predictable*, cheap*, unimaginative*, good*, confusing*, and dull*. The opposite adjectives are: complicated, attractive, impractical, tacky, unpredictable, premium, creative, bad, clearly structured, and captivating. A legend at the bottom indicates that an asterisk (*) denotes a required field.

Adjective 1	Radio 1	Radio 2	Radio 3	Radio 4	Radio 5	Radio 6	Radio 7	Adjective 2
simple*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	complicated
ugly*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	attractive
practical*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	impractical
stylish*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	tacky
predictable*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	unpredictable
cheap*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	premium
unimaginative*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	creative
good*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	bad
confusing*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	clearly structured
dull*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	captivating

* required field

Figura 15. Versión corta de AttrakDiff disponible en <http://attrakdiff.de/>

Los resultados obtenidos al aplicar los cuestionarios se presentan a continuación:

Por lo que concierne al primer cuestionario, los dos primeros enunciados consistían en saber si habían usado realidad virtual como herramienta durante sus sesiones de terapia física y si específicamente habían utilizado realidad virtual con pacientes con EVC. Tres de los terapeutas dijeron tener experiencia previa en el uso de RV en sus sesiones de terapia física, pero solo 2 de ellos han utilizado sistemas de RV para la rehabilitación física de pacientes con EVC, Figura 16.

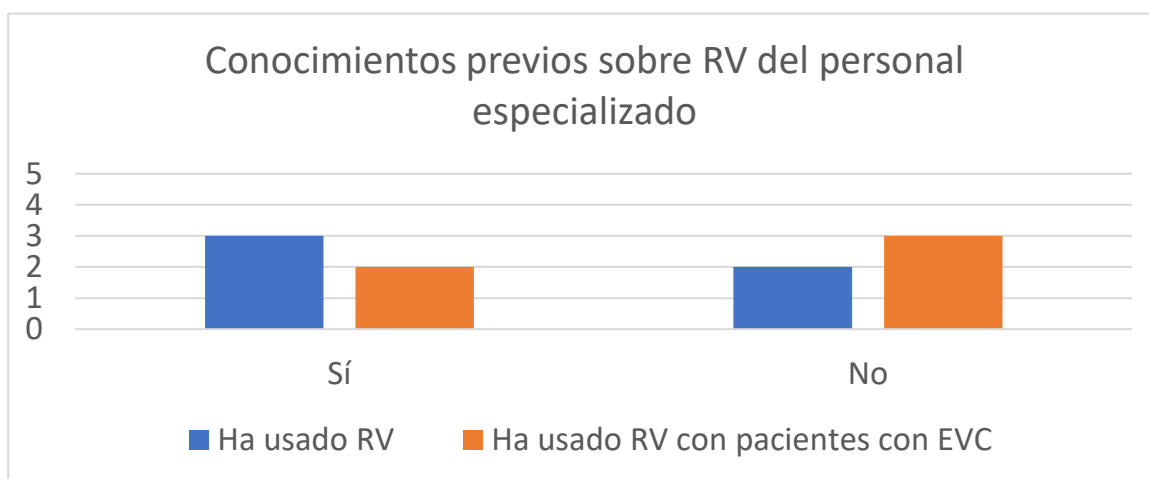


Figura 16. Gráfico sobre la experiencia previa de los terapeutas en el uso de RV con pacientes con EVC

Después de las dos preguntas sobre la experiencia en el uso de RV comenzaron los enunciados que los especialistas debían contestar sobre las modificaciones al sistema utilizando una escala de Likert del 1 al 5.

Respecto al cambio en la posición de inicio del DH el primer enunciado afirmaba que este cambio ayudaba a que los pacientes identificaran con mayor facilidad la posición de inicio, a lo que 4 de ellos dijeron estar de acuerdo, mientras que solo 1 respondió que no era ni beneficio ni perjudicial este cambio. El segundo enunciado al respecto de este cambio aseguraba que era más útil que los pacientes no tuvieran que estirar su brazo desde el inicio para poder tomar el ET del DH, a lo que 2 terapeutas estuvieron de acuerdo, 2 dijeron estar en desacuerdo y 1 de ellos se mantuvo neutral. En la figura 17 se muestra un gráfico con las respuestas a estos dos enunciados.

El objetivo de los siguientes 3 enunciados era conocer la opinión de los expertos acerca de la pantalla con las instrucciones sobre la correcta posición de inicio del DH presentada en la Figura 6. Uno de los enunciados afirmaba que las instrucciones presentadas en esta pantalla eran concretas y fácilmente entendibles para pacientes con EVC, el segundo enunciado tenía como fin saber si era mejor presentar dicha pantalla en cada nivel de cada juego y no solo al inicio de cada escenario, y el último daba por sentado la necesidad de apoyos visuales en la mesa

de trabajo que en conjunto con la pantalla de instrucciones. Los especialistas mostraron estar de acuerdo con los tres enunciados, Figura 18.

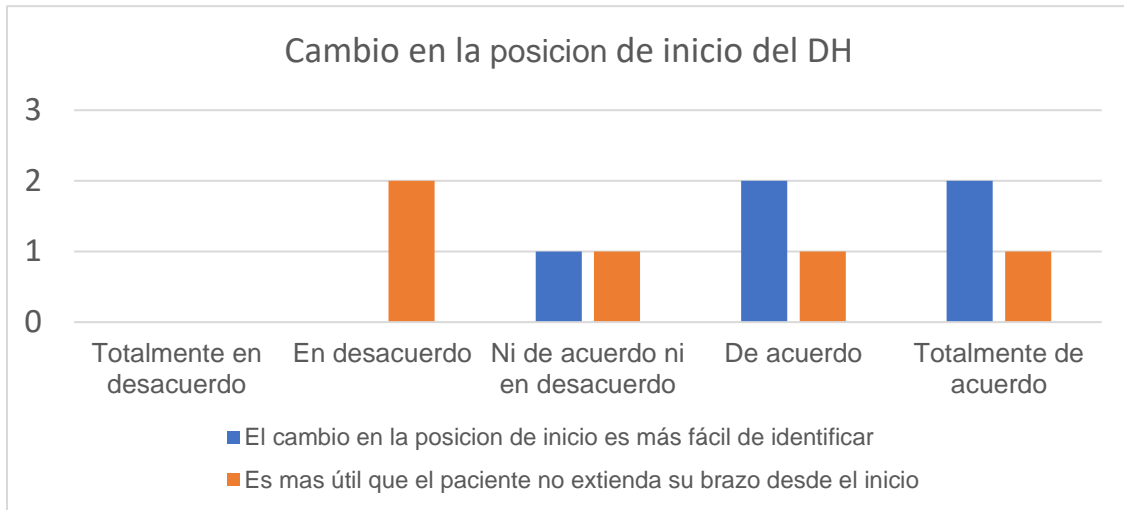


Figura 17. Gráfico que muestra la opinión de los especialistas sobre la modificación de inicio del DH

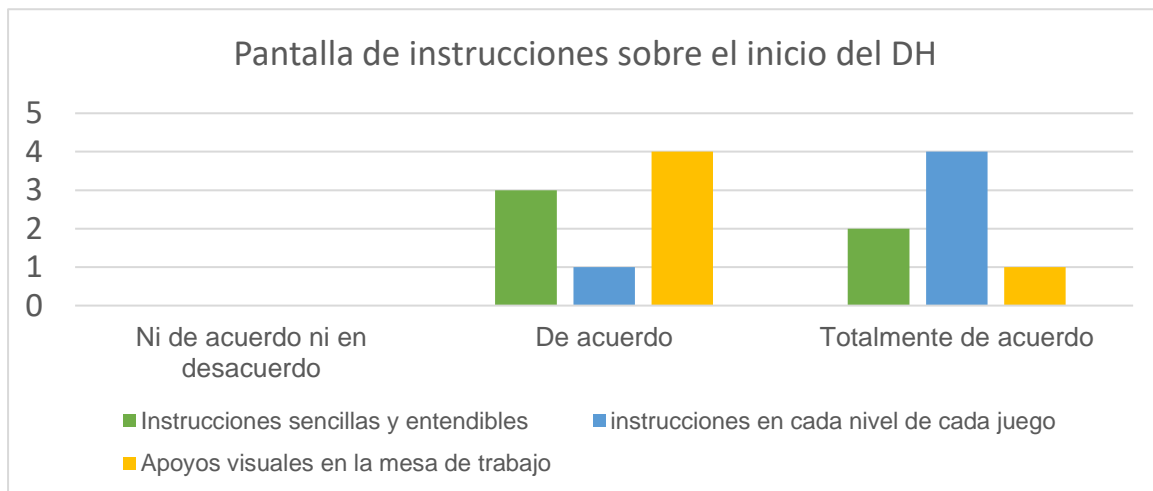


Figura 18. Gráfico que muestra las opiniones de los expertos respecto a la pantalla de instrucciones sobre el inicio del DH

En cuanto a las modificaciones de retroalimentación del sistema se incluyeron 3 enunciados en el cuestionario para conocer la opinión de los especialistas, el primero de ellos que afirmaba ser más benéfico tener mayor retroalimentación cuando se ha ganado un acierto (retroalimentación positiva) que cuando se ha cometido un error, el segundo aseguraba que los efectos visuales agregados ayudaban a mantener el interés y la motivación del paciente y el último daba por hecho que demasiada retroalimentación háptica podría ser incómoda para los pacientes e incluso causarles estrés. Los 5 terapeutas manifestaron estar de acuerdo con las aseveraciones de los 3 enunciados, Figura 19.

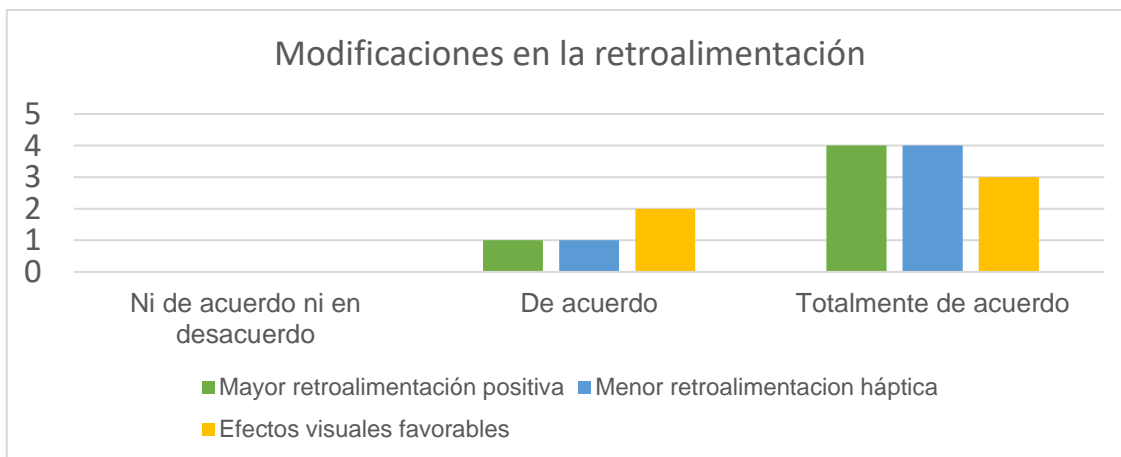


Figura 19. Gráfico que muestra las opiniones de los especialistas sobre las modificaciones en la retroalimentación

En el primer contacto con un especialista para obtener una visión general sobre el sistema nos sugirió agregar pantallas antes de cada escenario donde se especifiquen los movimientos que tendría que realizar el paciente al jugar ese juego, es por ello que se crearon las pantallas mostradas en la Figura 11 que además de incluir imágenes con los movimientos de miembro superior a realizar, también incluyen un pequeño comentario que podría orientar al terapeuta a tomar la decisión de cuál escenario poner a su paciente. Así como estas pantallas fueron creadas para que los terapeutas tuvieran un mayor control sobre su sesión de terapia, con la misma finalidad fue creado un control deslizante que aumenta la escala de movimiento (ver Figura 10).

Se abordan ambas inclusiones, control deslizante y pantalla de movimientos, en el cuestionario que contestaron los terapeutas, sus opiniones se muestran en la Figura 20. Sobre la pantalla de movimientos 4 de los 5 terapeutas confirmaron que es útil para las sesiones de terapia, mientras que solo 1 se mantuvo neutral al respecto. En cuanto al control deslizante 4 terapeutas dijeron estar totalmente de acuerdo en que es útil para que un mayor número de pacientes con EVC puedan rehabilitarse con el sistema.

Referente a las modificaciones que se hicieron en el escenario anaqueles se les cuestionó a los expertos si es realmente necesario para el paciente con EVC que aparezcan en la lista de compras solamente los productos que se deben tomar y que una vez que se hayan tomado se quiten de la lista, a lo que los 5 terapeutas expresaron que sí era un cambio necesario. Y acerca del mensaje que aparece diciendo que “X” producto no está en la lista de compras 4 de los terapeutas dijeron que tenía más ventajas que desventajas, mientras que solo uno manifestó no estar ni de acuerdo ni en desacuerdo. La figura 21 muestra la gráfica con las opiniones de los expertos sobre estas modificaciones.

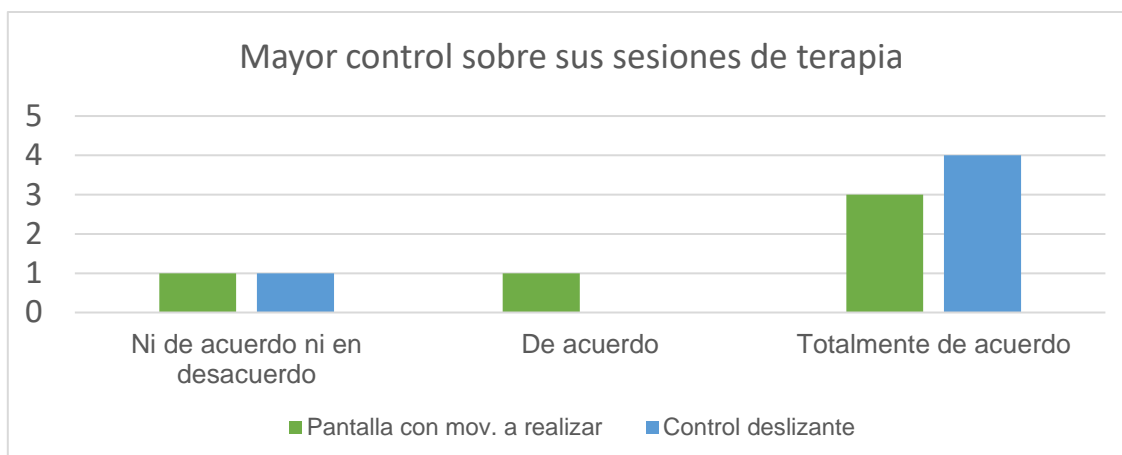


Figura 20. Gráfico que muestra las opiniones de los terapeutas a la pantalla con movimientos a realizar en cada escenario y la inclusión de un control deslizante para modificar la escala de movimiento.

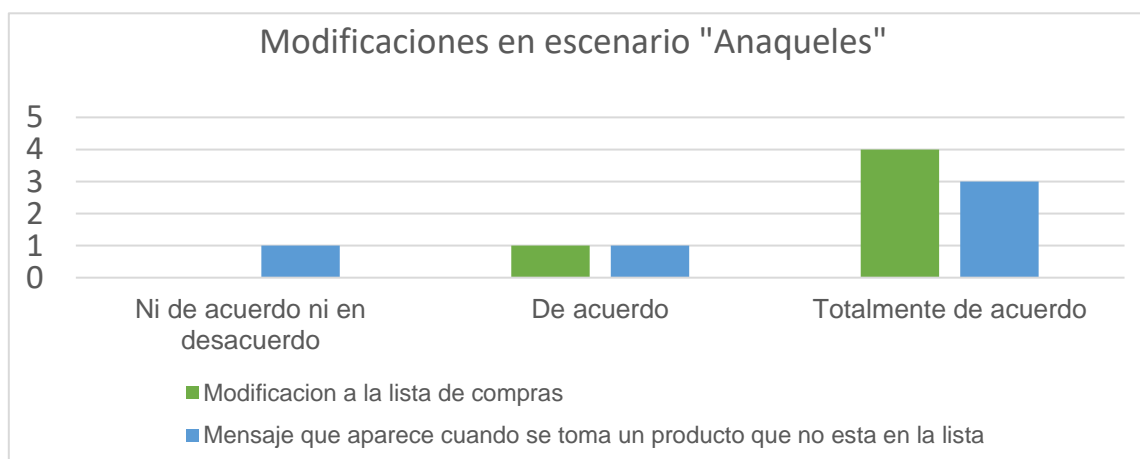


Figura 21. Gráfico que muestra las opiniones de los terapeutas a las modificaciones hechas en el escenario "Anaqueles"

En consideración al aumento del tamaño de fuente en todas las pantallas de instrucciones y de niveles, y la síntesis de las instrucciones para que fueran más breves y una menor cantidad, los 5 especialistas estuvieron de acuerdo en que ambos fueron cambios provechosos para los pacientes con EVC, Figura 22.

Los últimos dos enunciados de esta sección tenían como fin saber si los especialistas encuestados ven el sistema como sencillo de usar, incluso sin asesoría, y si creen que es un sistema útil para la rehabilitación de miembro superior de pacientes con EVC y por lo tanto lo usarían en su práctica clínica. 4 de los terapeutas consideran que es un sistema sencillo de usar y que podrían utilizarlo incluso sin asesoría, por otra parte, los 5 terapeutas manifestaron que el sistema es útil para el fin que fue creado y lo usarían en su práctica clínica, Figura 23.

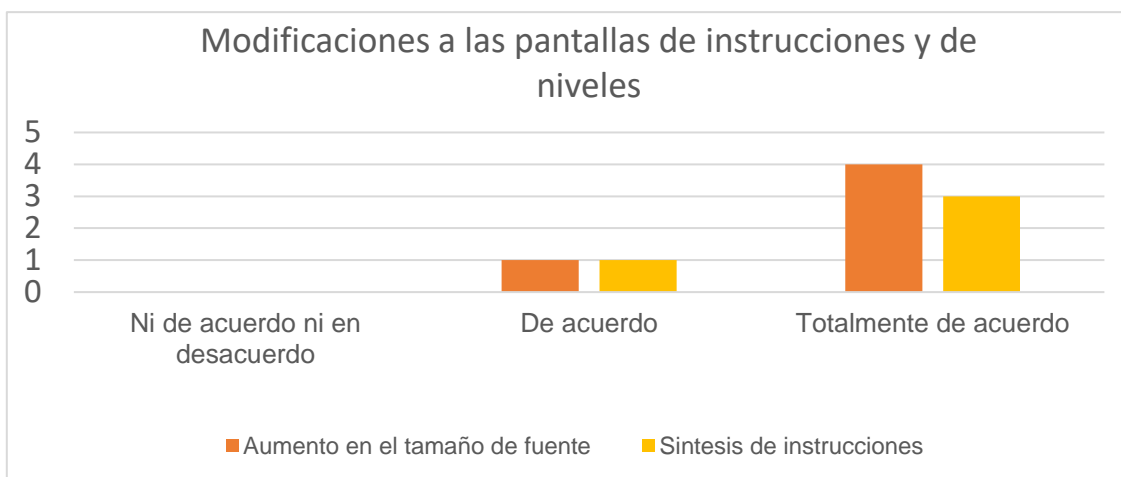


Figura 22. Gráfico que muestra la opinión de los terapeutas a las modificaciones en las pantallas de instrucciones y de niveles.

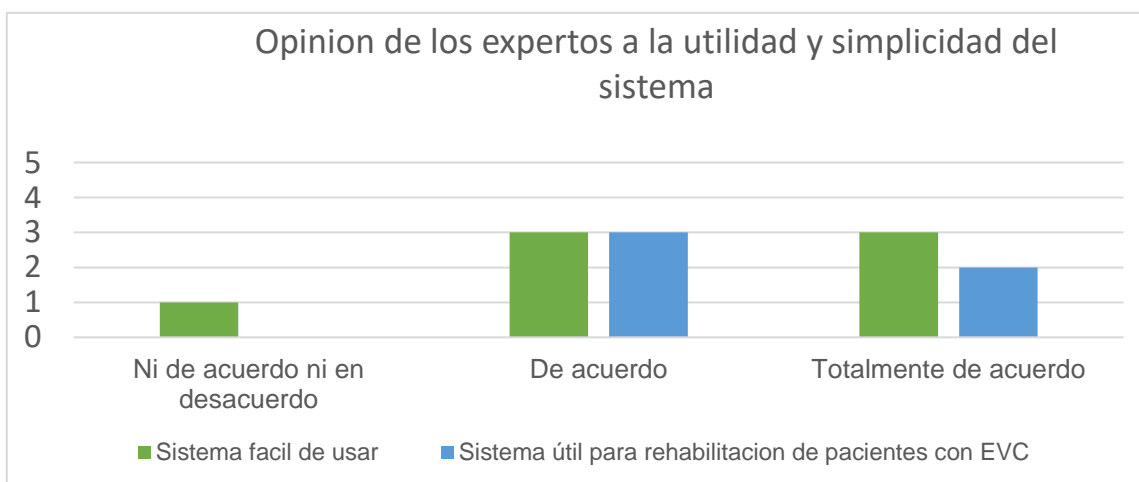


Figura 23. Gráfico que muestra la opinión de los terapeutas sobre la utilidad y sencillez de uso del Sistema.

Y Finalmente en la Tabla 7 se presenta un resumen de los datos obtenidos al aplicar la encuesta anteriormente discutida.

Podemos observar que las modificaciones fueron bien recibidas por el personal especializado encuestado, el único punto que tuvo poca aceptación fue sobre iniciar con el DH lejos de su base con el fin de que el paciente no tenga que extender su brazo desde el inicio para poder iniciar los juegos.

En cuanto a la aplicación de la versión corta del AttrakDiff, en la Figura 24 se observan del lado izquierdo la gráfica de los resultados de pares de palabras obtenidos en este trabajo y del lado derecho los resultados que obtuvo Ríos M. (8)

durante su investigación con pacientes sanos tras haber hecho algunas modificaciones de acuerdo a las recomendaciones de los especialistas que entrevistó.

Tabla 7. Opinión de los especialistas a las modificaciones del Sistema

	Ha usado antes RV	Ha usado RV con pacientes con EVC	Modificación de escenario "Anaqueles"	Inclusión de pantalla de la Figura 11 y control deslizante	Mod. de la Retroalimentación	Inclusión de la pantalla de la Figura 6	Modificación del inicio del DH	Sistema sencillo de usar	Lo usaría en su práctica clínica
Opinión de los especialistas	3: Sí 2: No	2: Sí 3: No	Ningún terapeuta en desacuerdo	Ningún terapeuta en desacuerdo	Todos los terapeutas de acuerdo	Todos los terapeutas de acuerdo	Opiniones divididas respecto a no iniciar con el brazo extendido. Todos de acuerdo con lo demás	Ningún terapeuta en desacuerdo	Todos los terapeutas de acuerdo

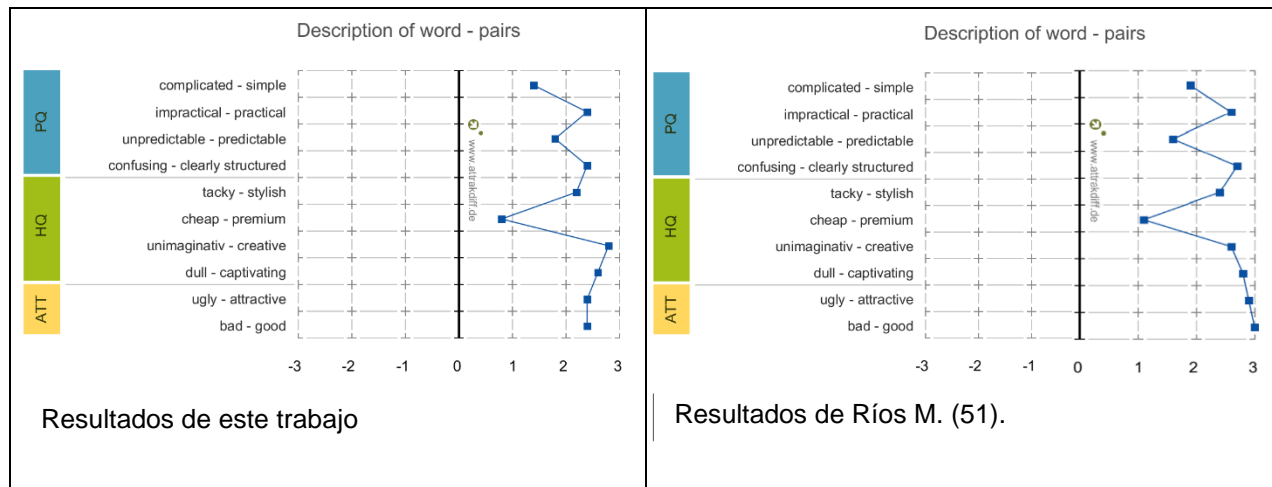


Figura 24. Comparación de pares de palabras obtenidas en este trabajo y los que obtuvo Ríos M. (8) en el trabajo anterior.

Se logra notar que los resultados de las medias que obtuvimos aparecen en la parte positiva del diagrama, siendo solo el par “barato-premium” el único en aparecer más cerca de la parte neutral de la gráfica. En lo que respecta a las preguntas sobre qué tan atractivo es el sistema (ATT) se obtuvo una media de 2.4, las cualidades hedónicas (HQ), necesidades emocionales, obtuvieron una media de 2.10, mientras que las cualidades pragmáticas (PQ), usabilidad, tuvieron una media de 2.0.

En cuanto al contraste entre los resultados del trabajo previo a este sobre el mismo sistema, podemos ver una disminución de la media en los pares de palabras “complicado- simple”, “aburrido- cautivador”, “feo- atractivo”, “bueno- malo”, y un aumento de la media de los pares de palabras “no predictivo- predictivo” y “no imaginativo- creativo”; pero ninguno de estas variaciones en las medias obtenidas es significativa y se confirma con el portafolio de resultados mostrado en la Figura

25, donde de nuevo vemos a la izquierda el obtenido en nuestro trabajo y a la derecha el obtenido por Ríos M. (8)

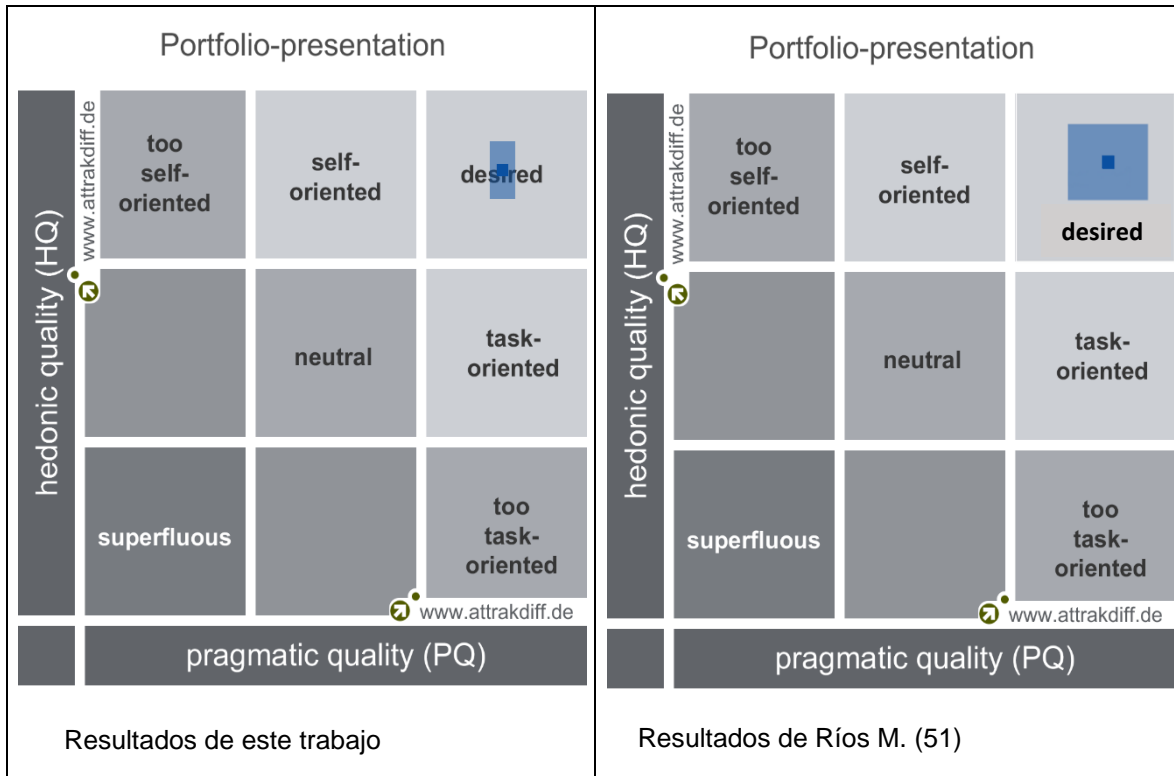


Figura 25. Comparación entre los portafolios de resultados obtenidos.

Se puede observar que el cuadrado de confianza, cuadro azul claro, es pequeño en los resultados de este trabajo, lo que implica una menor variación en los resultados y a su vez resultados más fiables. En cuanto a la comparación en los resultados entre trabajos, se puede observar que ambos cuadros están dentro de la región “deseado”.

CAPITULO VI. PRUEBAS EN SUJETOS SANOS

A la par que se consultó a licenciados en terapia física también se llevaron a cabo las pruebas del sistema con pacientes sanos. De primer momento se había planteado que este proyecto contaría con la validación clínica del sistema, es decir, que habría un grupo experimental que usaría el sistema y un grupo control que llevaría sesiones de terapia física convencional y a ambos grupos, a fin de comparar, se les aplicarían las escalas estandarizadas para pacientes con EVC: Índice de Barthel, escala modificada de Ashworth, Brunnstrom y Daniels a fin de evaluar dos de los componentes de la CIF: funcionalidad (del miembro superior) y actividad. Además, a ambos grupos se les aplicaría la prueba IMI para conocer su motivación y al grupo experimental el cuestionario NASA-TLX a fin de conocer la carga mental que les provocaría el uso del sistema.

Después de una revisión bibliográfica de estudios similares a este se concluyó que serían al menos 15 horas de terapia, 3 sesiones por semana de 50 min por 6 semanas, se planeaba aplicar la escala de Ashwort y el índice de Barthel al inicio y al final del total de sesiones de terapia, en tanto que la escala de Brunnstrom y la escala de Daniels se aplicarían cada semana o cada 3 sesiones, y finalmente el NASA-TLX y el IMI se aplicarían una vez finalizadas las 18 sesiones de terapia.

Y aunque Ahn S. et al. (14) encontró en su trabajo que por lo menos 4 de los 9 estudios incluidos, y que utilizaban escalas estandarizadas para la evaluación del funcionamiento del miembro superior y de la actividad en pacientes con EVC como medida para obtener resultados, tenían ensayos clínicos de solo 15 horas o menos, mientras que Destaw et al. (13) consideran que 15 horas de terapia como mínimo son necesarias para observar cambios benéficos, especialistas en terapia física consultados durante este proyecto consideran que son necesarios por lo menos 6 meses para observar resultados en el miembro superior parético de los pacientes con EVC. Ante las diferencias en las sugerencias de los especialistas consultados, lo encontrado en la literatura, la poca accesibilidad a los pacientes y la situación actual de pandemia por Covid-19, se decidió probar el sistema con usuarios sanos.

Antes de pensar en prolongar el ensayo clínico para adaptarlo a los 6 meses sugeridos se decidió replantearlo, pues serían los terapeutas del centro de rehabilitación que colaboraría con el proyecto quienes tendrían que aplicar las escalas de funcionamiento y actividad a los pacientes dado que son herramientas que solo los especialistas pueden aplicar, y por lo tanto la carga de trabajo que se les daría a los fisioterapeutas sería muy alta. Por otra parte, no todos los pacientes están dispuestos a participar en un estudio así, de la misma forma que sus terapeutas e instituciones tratantes no están dispuestos a dejar la recuperación de sus pacientes en manos de un sistema nuevo, mucho menos cuando son los primeros 6 meses de terapia clave en la recuperación de acuerdo con Arias A. (55) quien argumenta que después de los 6 meses se ven mejoras cada vez menores y

que una vez que ha pasado la fase subaguda la recuperación va más dirigida a la adaptación del déficit que ha dejado la enfermedad y no a la recuperación funcional, lo mismo dicen en sus trabajos Alessandro L. (56) y Montoyano A. (57) quienes confirman que la recuperación más significativa en los pacientes con EVC se da en los primeros 6 meses de la enfermedad. Es por todo esto que se optó por probar el sistema en usuarios sanos para de esta forma tener más evidencia sobre el sistema y de así poder realizar en algún momento posterior la validación clínica con pacientes.

En el trabajo previo a este Ríos M. (8) probó con sujetos sanos la usabilidad del sistema con el cuestionario SUS, además de la experiencia del usuario con el cuestionario AttrakDiff y aunque en ambos cuestionarios se incluyen preguntas para conocer la carga mental y la motivación de los usuarios después de usar el sistema lo cierto es que no son herramientas específicas para medir estos dos aspectos, de modo que para este trabajo se utilizó el test IMI para conocer la motivación de los usuarios y el NASA-TLX para conocer la carga mental tras haber utilizado el sistema.

Previo a la aplicación de los cuestionarios se citó a los usuarios a una sesión privada donde usarían el sistema, la sesión fue llevada de la siguiente manera:

- Se le entregó al usuario un documento de consentimiento informado, Anexo 2, y se le brindó el tiempo necesario para que lo leyera y decidiera si deseaba continuar con el experimento, recordándole que podía retirarse en cualquier momento durante el experimento.
- Se le mostró al usuario un video donde se explica a grandes rasgos el objetivo del sistema, las partes que lo componen, tanto de software como de hardware, los escenarios virtuales, la forma en que se puede mover el DH y la forma correcta de utilizar la pluma o ET.
- Se respondieron las dudas que haya tenido el usuario.
- Los usuarios estuvieron frente a la pantalla de la computadora portátil Acer® modelo Nitro AN515-52 donde se proyectaron los escenarios virtuales. Fue la misma distancia del ET y de la pantalla para todos los usuarios.
- Los usuarios interactuaron desde el principio con el sistema y no como fue pensado que debía usarse por lo pacientes, es decir, dejando que el terapeuta interactuara con todos los menús y tomara todas las decisiones en tanto que el paciente simplemente jugara con los juegos.
- Algunos usuarios jugaron cada escenario iniciando por el primer nivel y solo pasando al siguiente escenario hasta completar todos los niveles, mientras que otros usuarios jugaron el primer nivel de cada escenario, después el segundo nivel del siguiente escenario y así sucesivamente
- Una vez que el usuario concluyó con los cuatro escenarios en todos sus niveles se le hizo llegar una liga de Google Forms con los cuestionarios a

contestar, aunque se aseguró que los usuarios contestaran el cuestionario NASA-TLX durante la sesión debido a su complejidad de aplicación los otros dos cuestionarios podían contestarse en cualquier otro momento que el usuario quisiera.

En cuanto a los cuestionarios, los usuarios contestaron 3 evaluaciones, la primera evaluación fue una réplica del cuestionario que Ríos M.(8) utilizó en su trabajo para conocer la opinión que tenían los sujetos sanos acerca de los AV, a este cuestionario se añadieron 3 preguntas más para conocer la experiencia previa del usuario en el uso de videojuegos o juegos de computadora, sus conocimientos sobre computación y su edad, de tal manera que se pudiera hacer una correlación entre estos datos sobre el usuario y los datos que se recabarían tras haber utilizado el sistema.

El segundo cuestionario fue una versión modificada del IMI, ver Tabla 8, donde solo se incluyeron 23 ítems los cuales se modificaron para hacerlos más específicos a la actividad que se estaba investigando, además, se utilizó una escala de Likert del 1 al 5 en lugar de la escala del 1 al 7 de la prueba original con la finalidad de hacer más fácil para el usuario la aplicación.

Tabla 8. Versión modificada del IMI aplicado a los participantes.

Subescala	Ítems
Interés/disfrute	Disfrute mucho haciendo esta actividad Esta actividad fue divertida Esta actividad no mantuvo mi atención en absoluto Es una actividad aburrida Describiría esta actividad como muy interesante Pensé que esta actividad era bastante agradable Mientras hacia esta actividad pensaba en lo mucho que la disfrutaba
Competencia Percibida	Creo que soy bastante bueno en esta actividad Después de trabajar en esta actividad durante un tiempo, me sentí bastante competente Estoy satisfecho con mi desempeño en esta tarea Esta fue una actividad que no pude hacer muy bien
Esfuerzo/ importancia	Me esforcé mucho en las actividades de la sesión No me esforcé mucho para hacer las actividades bien Es importante para mi hacer las actividades bien No puse mucha energía en las actividades de la terapia

Presión/ Tensión	<p>No me sentí nervioso en absoluto mientras hacia esto</p> <p>Me sentí muy tenso mientras hacia las actividades</p> <p>Estuve muy relajado al hacer esto</p> <p>Me sentí presionado mientras hacia las actividades</p>
Valor/ Utilidad	<p>Creo que estas actividades son útiles para la rehabilitación de mi brazo</p> <p>Estaría dispuesto a hacer esto porque tiene algún valor para mi</p> <p>Creo que hacer estas actividades podría ser beneficioso para mi</p> <p>Creo que esta actividad podría ayudarme a recuperar movilidad en mi brazo</p>

El tercer cuestionario que los usuarios debían contestar era una versión en español del NASA-TLX. Aunque los otros dos cuestionarios podían contestarse en cualquier otro momento fuera de la sesión de experimentación si así lo deseaban los usuarios y si no tenían ninguna duda sobre cómo realizarlos, este cuestionario si lo contestaron todos los usuarios al finalizar la prueba, pues dada su complejidad todos los participantes requirieron ser guiados durante toda la realización de esta evaluación. Así mismo se anotaron las observaciones vistas durante la sesión, como los errores que constantemente se cometían, las dificultades que tenían los usuarios, etc., igualmente se les cuestionaron sus dudas y se escucharon sus sugerencias.

No hubo ningún tiempo determinado para la duración para la prueba, aunque el video de introducción dura 3.30 minutos más la resolución de dudas y familiarización con el DH fue un total aproximado de 10 minutos, pero para la realización de todos los niveles de dificultad de los 4 escenarios el tiempo no fue el mismo para todos los usuarios pues algunos usuarios tardaban menos en completar los niveles y algunos se tardaban un poco más que el promedio. De tal manera que el experimento se llevó a cabo como se muestra en la Figura 26.

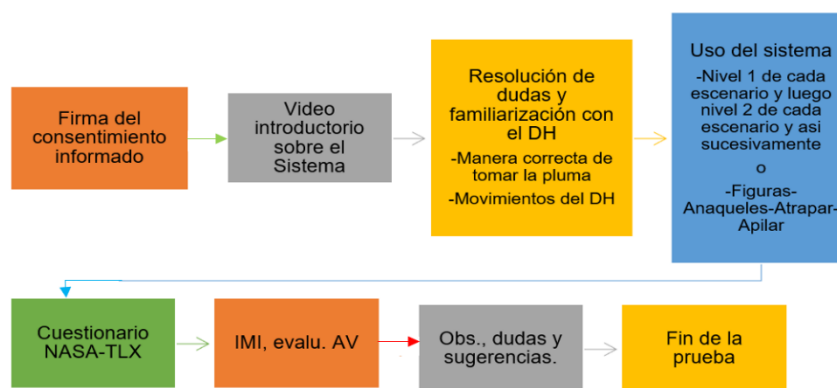


Figura 26. Diagrama que muestra el proceso de la sesión de experimentación

CAPITULO VII. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN SUJETOS SANOS

Los participantes en este estudio fueron en total 12, la Tabla 9 muestra los datos recopilados sobre estos usuarios.

Tabla 9. Datos de los participantes

Participante	Genero (F/M)	Edad (años)	Conocimientos en el uso de computadoras (del 1 al 10)	Frecuencia en el uso de Videojuegos
1	F	24	8	no
2	M	27	7	4 días a la semana
3	M	21	8	2 veces por semana
4	M	24	10	diariamente
5	M	25	10	muy a menudo
6	F	27	4	no
7	F	24	9	10hrs por semana
8	F	60	4	pocas veces
9	F	24	9	diariamente
10	F	42	8	no
11	M	61	5	no
12	F	45	10	diariamente

Aun cuando se lograron reunir a 12 usuarios interesados en participar en este estudio, para el cuestionario de evaluación del AV hubo un participante que no envió sus respuestas completas por lo tanto se presentan solamente las respuestas de 11 encuestados.

El cuestionario de evaluación del AV es una copia del que se aplicó en el trabajo predecesor a este, sobre el mismo sistema, por lo tanto, se presentan en la Figura 27 las gráficas de resultados de ambos trabajos a fin de hacer una comparación.

Como podemos notar en el gráfico, realmente los resultados entre trabajos no son tan diferentes uno de otro, incluso aunque en los resultados que obtuvimos en este experimento hay más usuarios marcando la casilla 3 a comparación del trabajo de Ríos M. (51), valor que podría representarse como un valor neutral o la respuesta del usuario a no percibir la característica como ni buena ni mala, ninguna de las

características fue considerada “mala”, es decir, ninguna característica fue calificada por debajo de 3 puntos.

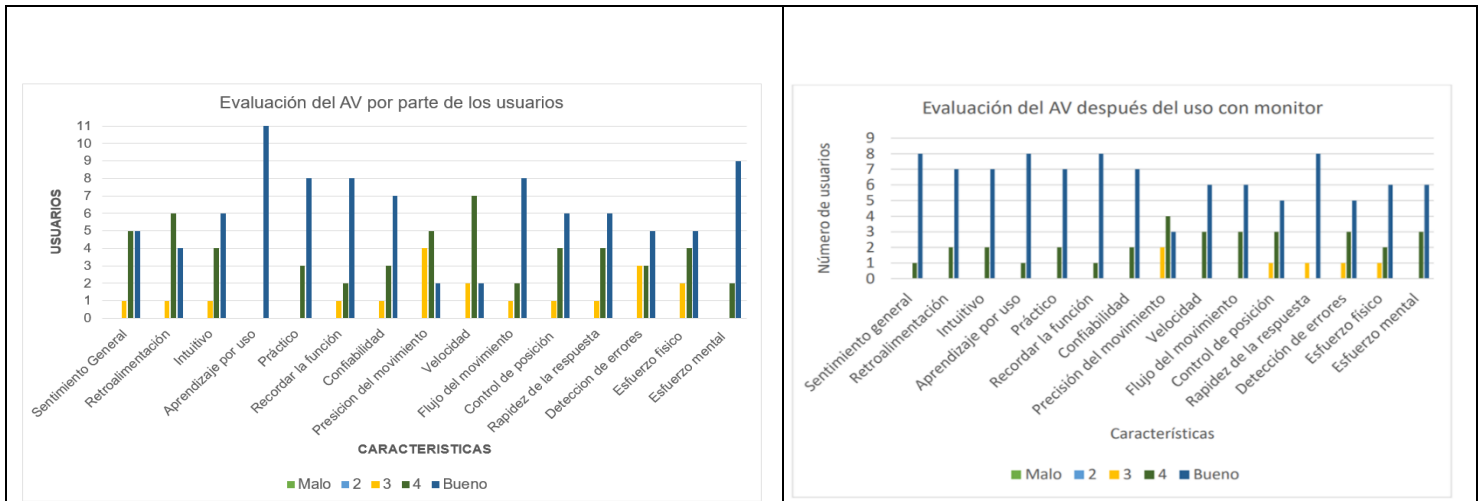


Figura 27. Gráfico que muestra los resultados obtenidos en este trabajo, a la izquierda, y los obtenidos por Ríos M. (51) a la derecha

En otro orden de ideas, analizando la frecuencia de las respuestas obtenemos la gráfica de la Figura 28 donde podemos observar que el porcentaje de percepción de las características que componen el AV es favorable pues en conjunto la opción 4 y 5 (“bueno”) representan más del 80% de aprobación, mientras que la indecisión que señala la opción 3 solo representa al 11%. Aunque de cualquier forma hay que analizar cuál es el motivo de estas evaluaciones “neutrales” al AV.

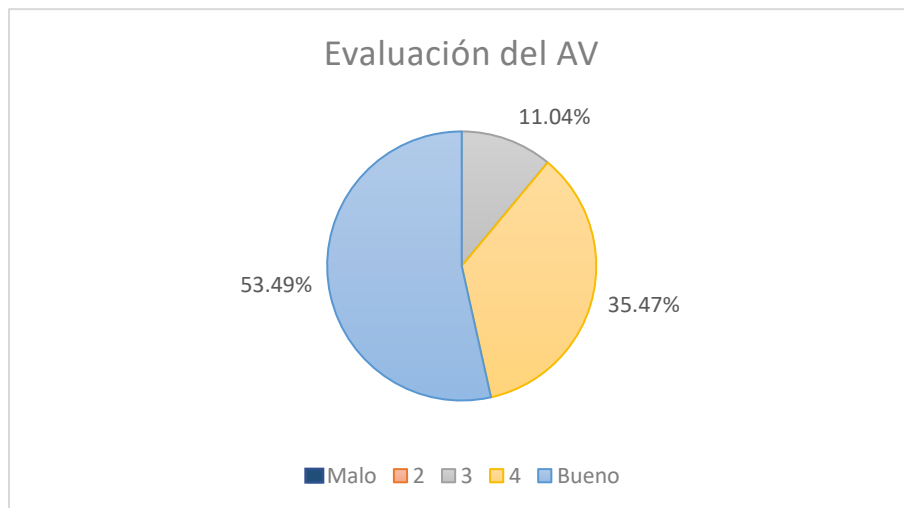


Figura 28. Grafica que muestra el porcentaje de respuestas dadas a las características del AV

Con respecto al cuestionario IMI en la Figura 29 se presentan los resultados obtenidos a modo de porcentaje, siendo el 100% una suma total de 115.

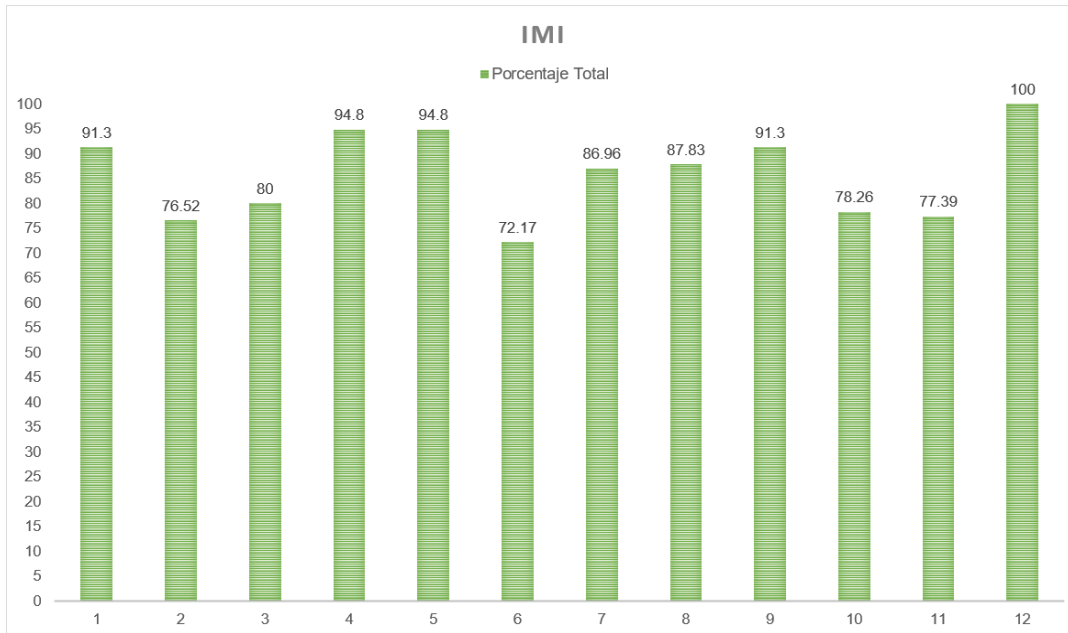


Figura 29. Porcentajes totales de cada usuario en el cuestionario IMI

Nos podemos percatar que 8 de los 12 usuarios reportaron porcentajes de arriba del 80%, en tanto que en solo 1 participante se observa el 100%, es decir que solo 1 participante percibió la actividad como completamente motivadora; por otro lado, 4 de los usuarios entrevistados muestran menos del 80% de motivación, pero nunca menos del 70%. En la Figura 30 se aborda un desglose más detallado sobre los porcentajes reportados en cada una de las 5 subescalas analizadas.

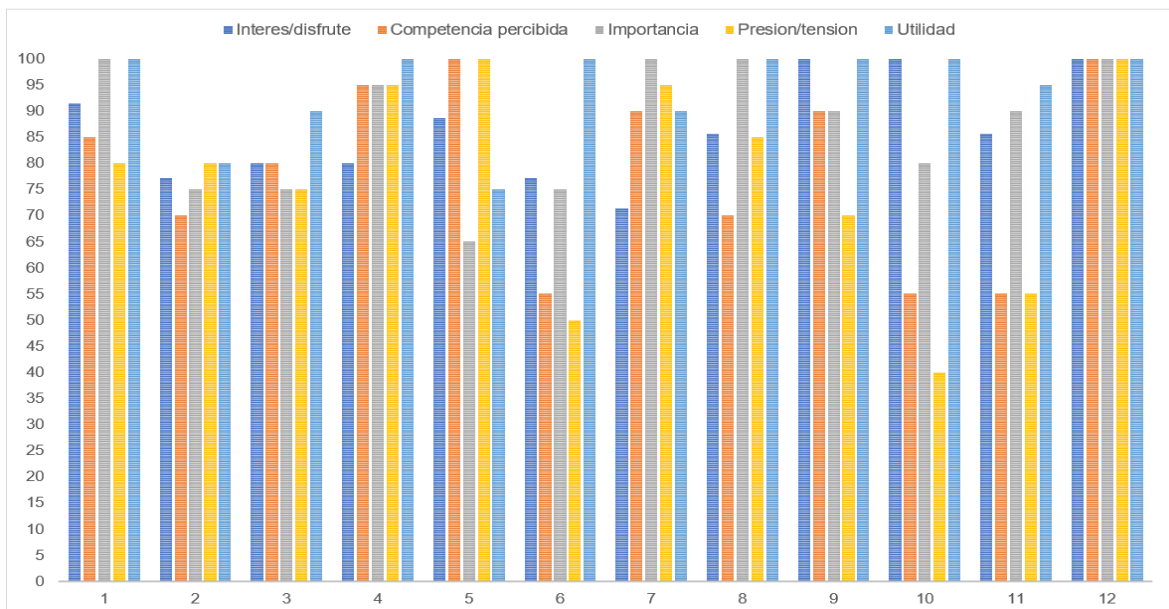


Figura 30. Grafica de los porcentajes que los usuarios reportaron en cada subescala del cuestionario IMI

Observamos que la subescala que se mantiene constante dentro de los valores superiores a 80 es la subescala de utilidad, aunque el valor inferior en esta subescala podría explicarse debido a que el usuario consideró que el sistema no era útil para él debido a que no tenían ninguna afectación de miembro superior al momento de la prueba. También podríamos decir que 4 de los usuarios dieron puntuaciones menores en la subescala de importancia al no ver ninguna necesidad de utilizar el sistema debido a su estado de salud. Es igualmente notorio que los porcentajes más bajos los tiene la subescala de competencia y que los 3 participantes que reportaron los porcentajes más bajos en esta subescala tienen a su vez bajos porcentajes en la subescala presión/tensión, de aquí, además, podemos ver la relación que existe entre la experiencia en el uso de videojuegos y los bajos puntajes en estas subescalas pues los 3 pacientes con peores porcentajes de presión/tensión y competencia son usuarios que no han jugado videojuegos nunca, dos de ellos, además, perciben bajo su conocimiento en computación, y así mismo dos de estos usuarios son mayores de 40 años.

Al mismo tiempo hay que destacar que los 3 usuarios con los porcentajes más altos en la subescala competencia dijeron jugar videojuegos diariamente, a la par que aseguraron tener un conocimiento en computación excelente. A pesar de todo, el porcentaje total obtenido entre todos los participantes es de 85.94% por lo que estaríamos hablando de que el sistema sí es motivante.

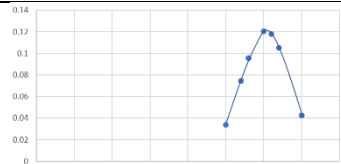
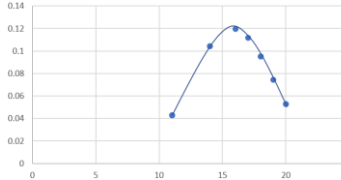
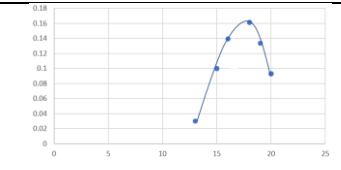
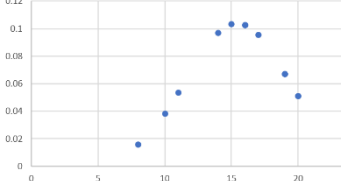
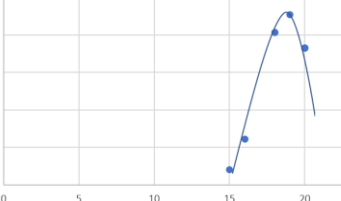
En la Tabla 10 se muestra la media aritmética (μ), la desviación estándar (σ) y una gráfica que muestra la distribución de los datos de cada subescala de la prueba aplicada. Este análisis estadístico se realizó con el programa Microsoft Excel® por la poca complejidad del análisis. Se utilizó la fórmula *DESVESTA* para la desviación estándar de una muestra y *DISTR.NORM.N* para la distribución normal, los resultados obtenidos fueron comparados en el software Matlab® utilizando la instrucción $S=STD(A)$ para la desviación estándar normalizada N-1 y la instrucción $y = normpdf(x, \mu, \sigma)$ para distribución normal; las gráficas se obtuvieron en Microsoft Excel®.

Podemos notar que los datos de cada subescala tienden a estar agrupados cerca de la media, un poco más dispersos en las subescalas competencia percibida y presión/tensión, algo que era de esperarse puesto que en esta subescala hubo participantes reportando los puntajes más bajos del cuestionario en contraste con otros participantes que incluso puntuaron estas subescalas con el valor máximo posible. Aunque son muy pocos datos, una muestra representativa de la población muy pequeña, podemos darnos una idea sobre los puntajes de motivación que es más probable observar cuando sujetos sanos utilizan el sistema.

Se decidió agregar la Tabla 10 para tener una descripción estadística de los datos recabados con el cuestionario IMI, pero sobre todo para que los siguientes investigadores que retomen el proyecto puedan hacer una comparación de estos

datos obtenidos en sujetos sanos con los que obtendrán al replicar el experimento en pacientes con EVC y de esta forma llegar a mayores conclusiones.

Tabla 10. Media aritmética, desviación estándar y distribución normal de las subescalas del cuestionario.

Subescala	μ y σ	Grafica de los valores de distribución normal
Interés/disfrute	30.25±3.44	 A normal distribution curve for the 'Interés/disfrute' sub-scale. The x-axis ranges from 0 to 25, and the y-axis ranges from 0 to 0.14. The curve is centered at approximately 18.5, with a peak density of about 0.12.
Competencia	15.75±3.47	 A normal distribution curve for the 'Competencia' sub-scale. The x-axis ranges from 0 to 25, and the y-axis ranges from 0 to 0.14. The curve is centered at approximately 15.75, with a peak density of about 0.12.
Importancia	17.42±2.503	 A normal distribution curve for the 'Importancia' sub-scale. The x-axis ranges from 0 to 25, and the y-axis ranges from 0 to 0.18. The curve is centered at approximately 17.42, with a peak density of about 0.16.
Presión/tensión	15.42±4.01	 A normal distribution curve for the 'Presión/tensión' sub-scale. The x-axis ranges from 0 to 25, and the y-axis ranges from 0 to 0.12. The curve is centered at approximately 15.42, with a peak density of about 0.10.
Utilidad	19.16±1.75	 A normal distribution curve for the 'Utilidad' sub-scale. The x-axis ranges from 0 to 25, and the y-axis ranges from 0 to 0.25. The curve is centered at approximately 19.16, with a peak density of about 0.22.

En relación con el cuestionario NASA-TLX, la manera en que se aplica este método subjetivo de carga de trabajo es mediante una fase de peso o ponderación y una fase de puntuación. La fase de peso consiste en que los sujetos seleccionen de entre 15 comparaciones de una subescala contra otra cuál es la que ellos consideran que mayor impacto ha tenido en ellos a la hora de realizar la tarea solicitada, la ponderación puede ir desde 0 hasta 5, el número de veces que ha sido seleccionada cada escala en cada par comparativo. Posteriormente, en la fase de puntuación los sujetos dan un puntaje de entre 0 y 100 a cada subescala tras haber

realizado la tarea. Multiplicando el peso y el valor de puntuación se obtiene la puntuación ponderada de cada subescala, sumando las 6 puntuaciones ponderadas obtenemos la puntuación ponderada global, que al dividirse entre el total de comparaciones (15) nos da como resultado la media ponderada global. La Figura 31 muestra la aplicación del cuestionario NASA-TLX al sujeto 1.

El método que se describió previamente y que se muestra en la Tabla 11, es el mismo que se aplicó a los 12 participantes. En la Tabla 12 se presentan los resultados de puntuación ponderada y media ponderada total obtenidos para cada dimensión de acuerdo con cada participante.

Tabla 11. Aplicación del NASA-TLX al sujeto 1.

Subescala	Peso	Puntuación	Puntuación ponderada
Demanda mental	3	10	30
Demanda física	1	15	15
Demanda temporal	2	5	10
Frustración	4	15	60
Esfuerzo	3	10	30
Desempeño	2	15	30
Puntuación ponderada total		=	175
Media ponderada total		175/15= <u>11.66</u>	

Tabla 12. Puntuaciones ponderadas y media ponderada total de cada participante.

Participante	Puntuación ponderada de cada subescala						Media ponderada total
	Demanda mental	Demanda física	Demanda temporal	Frustración	Esfuerzo	Desempeño	
1	30	15	10	60	30	30	11.66
2	10	10	0	75	20	30	9.6
3	100	240	0	90	200	15	43
4	10	240	75	5	140	15	32.3
5	0	110	325	75	40	40	39.3
6	400	200	300	5	135	200	<u>82.6</u>
7	70	0	90	250	80	180	<u>44.6</u>
8	100	50	200	0	90	170	40.6

9	35	255	150	0	60	20	34.6
10	15	30	0	125	45	240	30.3
11	100	5	50	375	0	150	<u>45.3</u>
12	5	200	150	10	60	10	29

Se resaltan en la tabla con un color más oscuro las puntuaciones ponderadas más altas que cada participante tuvo, así como las 3 medias ponderadas más altas de entre los participantes. Hay que decir que la media ponderada total siempre que se aplique el cuestionario NASA-TLX va de 0 a 100, por lo que obtener valores de media arriba de 80 nos habla de que el participante percibió el uso del sistema como muy demandante. Hay que resaltar aquí la relación entre la inexperiencia en el uso de videojuegos y la carga de trabajo, pues 2 de los participantes con las medias más altas dijeron no jugar videojuegos o haberlos jugado en muy pocas ocasiones además de reportar pocos conocimientos en el uso de computadora. Así mismo podemos ver que las subescalas en las que más participantes tienen la puntuación ponderada más alta son la subescala de frustración y la demanda física, aunque elevados valores en la subescala de demanda física eran de esperarse debido a que la finalidad del sistema es la rehabilitación física del miembro superior.

Desde otro punto de vista, vemos que de los 5 participantes que dijeron no tener, o tener muy poca, experiencia en videojuegos 4 indicaron altos puntajes en la subescala de frustración o en la escala desempeño, mientras que los 3 participantes que reportaron un uso diario de videojuegos tienen sus más bajos puntajes en las subescalas demanda mental, frustración y desempeño y su más alto puntaje en la subescala demanda física.

Retomando las medias ponderadas totales más altas, el primer lugar lo ocupa la participante número 6 señalando como la principal fuente de carga de trabajo la demanda mental con una puntuación de 400 cuando la puntuación ponderada total más alta posible en una subescala es de 500. En cuanto al segundo lugar dentro de las 3 medias ponderadas más altas lo ocupa el participante número 11 quien indica que su mayor carga de trabajo fue en la subescala frustración tal como indicó la participante 7 quien, además, tiene el tercer puntaje de media ponderada más alto.

No obstante, los participantes 7 y 11, tercera y segunda media ponderada más alta respectivamente, tuvieron valores de media por debajo de 50 siendo el máximo posible 100, es decir, 45.3 de 100 para el paciente 11 y 44.6 de 100 para la participante 7, menos del 50% de carga mental manifestado por ambos participantes.

6.1 DISCUSIONES

Analizando los resultados de los cuestionarios aplicados a los 5 especialistas, no hubo ningún especialista que se opusiera a los cambios realizados en el sistema, excepto por la idea de que el paciente no tenga que extender el brazo desde el primer contacto con el sistema, donde los terapeutas tuvieron opiniones divididas al respecto. Y, aunque algunos terapeutas entrevistados vieron innecesario o poco útil el cambio en la posición de inicio, se decidió mantener esta modificación pues se complementa con la idea de la inclusión de una escala de movimiento para que incluso los pacientes con poco rango de movimiento sean capaces de interactuar con el sistema.

Así mismo no se observó un cambio perjudicial en los resultados del cuestionario AttrakDiff, incluso se observa un cuadro de confianza más estrecho en la región “deseado” a pesar de que hubo mayores o menores puntajes en los pares de palabras a comparación de los resultados de Ríos M. (8). Por último, respecto a este punto, hay que aclarar que los resultados de la versión corta del AttrakDiff obtenidos en este trabajo se obtuvieron tras la aplicación de esta herramienta a 5 terapeutas físicos, mientras que en el trabajo de Ríos M. (8) el cuestionario se aplicó solamente a sujetos sanos.

Una vez obtenidos los resultados se cuestionaron a algunos de los participantes sobre sus puntajes altos en el cuestionario NASA-TLX o bajos en la prueba IMI, de manera que, por ejemplo, si habían tenido la puntuación ponderada total más alta en la subescala demanda temporal se les preguntaba si se habían sentido presionados respecto al tiempo o cuál era la razón o razones por la que habían sentido mayor carga en esta subescala. De manera que el participante 2, con bajos valores en el cuestionario IMI en las subescalas interés, competencia percibida e importancia, dijo que no le dio demasiada importancia a la prueba pues su brazo no necesitaba rehabilitación física y al no darle demasiada importancia tampoco disfrutó mucho con su uso. Igualmente, el participante 5, con bajo puntaje en la subescala de utilidad del IMI, comentó no ver demasiada utilidad en el uso del sistema pues él no necesita rehabilitación de miembro superior a pesar de que a todos los participantes se les pidió contestar esa subescala como si fueran pacientes con afectación del miembro superior dominante. La participante 7, con bajos puntajes en la subescala interés/disfrute del IMI, dijo no haber disfrutado tanto los juegos pues, entre otras cosas, le pareció que eran juegos muy simples. Mientras que los participantes 6, 8, 10 y 11, subescalas de competencia percibida y presión/ tensión con bajos puntajes, se percibieron a sí mismos como poco competentes al realizar las actividades de los escenarios virtuales y de la misma forma se sintieron tensos durante la realización de la prueba pues sentían que estaban fallando al hacerlo. Aun así, estos 4 participantes tuvieron altos puntajes en la subescala interés/disfrute, quizá porque, a diferencia de otros participantes, los

juegos no les parecían tan sencillos debido a su poca experiencia con juegos de computadora y eso llamaba más su atención.

La participante 1 y la participante 7, ambas con la mayor puntuación ponderada en la subescala frustración, dijeron haber sentido mucha frustración debido a que se equivocaban constantemente de figura con el pentágono y el hexágono, además de que en el escenario “anaqueles” sentían que los productos estaban muy lejos o que no podían calcular a que distancia se encontraban realmente. El participante 3 y el participante 4 constantemente olvidaban las partes del DH lo cual complicaba que entendieran las instrucciones. El participante 5, con la puntuación ponderada más alta en la subescala demanda temporal, mencionó que sintió que el ritmo en que sucedían las cosas era muy lento, por ejemplo, la velocidad en que caen las frutas para ser atrapadas con la canasta en el escenario “atrapar” o el tiempo que tardan en las pantallas de instrucciones los botones para poder pasar a lo siguiente; caso contrario a la participante 8 quien también tuvo la más alta puntuación ponderada en la subescala demanda temporal, ya que ella dice haber sentido mucha presión al realizar la prueba pues a pesar de que no se le exigió terminar en algún tiempo en específico y ningún juego fue contra reloj, salvo por un nivel en el escenario “figuras”, sintió que estaba realizando las actividades muy lento a comparación de como creía que lo habían hecho las demás personas.

El participante 4 y la participante 7 manifestaron que la música en el escenario “anaqueles” les parecía con un volumen demasiado alto y con un ritmo un poco acelerado para la actividad que se estaba desempeñando, además de que el sonido que se emite cuando se choca con un mueble es demasiado “ruidoso”. La participante 6, la participante 10 y el participante 11, con las puntuaciones ponderadas más altas en las subescalas demanda mental, desempeño y frustración respectivamente y los 3 con las puntuaciones más bajas en la subescala competencia percibida del IMI, manifestaron sentirse muy inseguros al ser la primera vez jugando un juego de computadora y utilizando un DH y en suma los participantes 10 y 11 insinuaron también sentirse inseguros respecto a su edad porque, a sus palabras, era muy probable que alguien más joven pudiera haberlo hecho mejor; aunque solo la participante 6 reporto valores muy altos en las subescalas de carga de trabajo, quizá por cuestiones personales y/o emocionales que estaba viviendo al momento de la prueba, por ejemplo, algún periodo depresivo, ansiedad, o simple mal humor, pues al ser un cuestionario subjetivo es susceptible a que estados emocionales de la persona influyan en las respuestas, aunque no se descarta la posibilidad de una carga de trabajo muy alta totalmente producida por el sistema. En cuanto a la desviación estándar de los datos se observa que los datos están muy cerca de la media, es decir, hay poca dispersión, por lo que la media representa a la muestra.

Adicionalmente, gran parte de los participantes comentaron directa o indirectamente durante la prueba o cuando se les preguntó sobre sus puntajes altos en el NASA-

TLX o bajas en el IMI que la perspectiva del juego les hacía más complicado jugar los juegos pues no se distinguía a que distancia estaban los objetos y por ello, se les dificultaba saber que tanto debían mover el DH para poder tomar o atrapar los objetos virtuales.

Fue por todos estos comentarios y sugerencias recibidos, en adición a las observaciones hechas durante la prueba, que se decidió hacer algunos cambios al AV.

1. Con la finalidad de que los usuarios, pacientes y terapeutas, comprendan mejor las instrucciones dadas durante los escenarios virtuales, se agregó al menú de inicio el botón “Conoce el DH” que al presionarse abre una pantalla con los componentes del DH a fin de que esa información este siempre disponible para ser consultada, Figura 31.

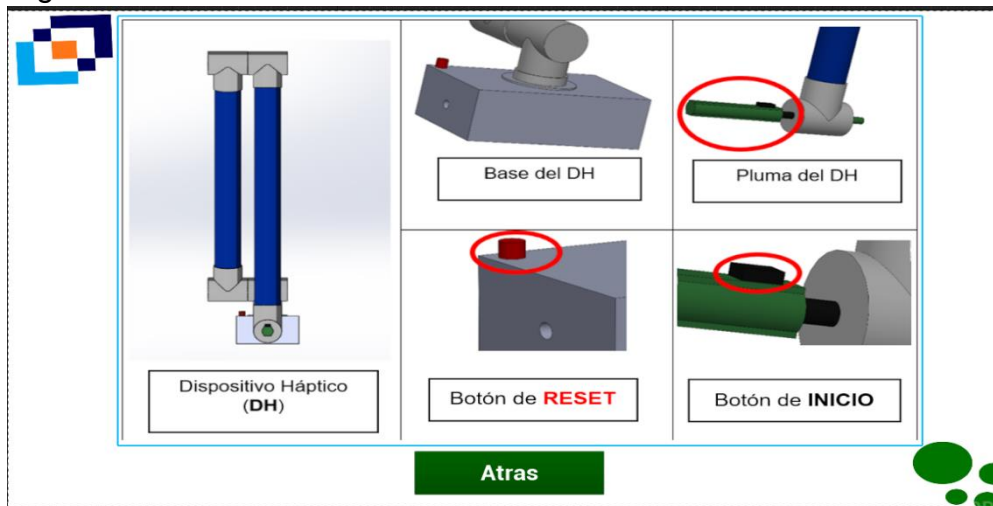


Figura 31. “Conoce el DH”

2. Se modificó la pantalla de instrucciones que indica la posición inicial del DH, pues la instrucción sobre la posición de la base del dispositivo era repetitiva e incluso innecesaria una vez que se ha empezado el juego porque difícilmente la posición de la base cambia con cada juego. Así mismo se empezó a emplear, desde la pantalla de información del DH, los sustantivos inicio y reset para los botones del DH y de esta forma que puedan ser identificados más rápidamente por los usuarios, Figura 32.
3. Aunque no se observó que los participantes tuvieran muchos problemas para ubicar la posición de inicio del DH, podemos ver en la Figura 32 que se agregó una marca adicional a la mesa de trabajo, ya que algunos usuarios ubicaban el DH unos pocos centímetros más adelante o más atrás de lo establecido.

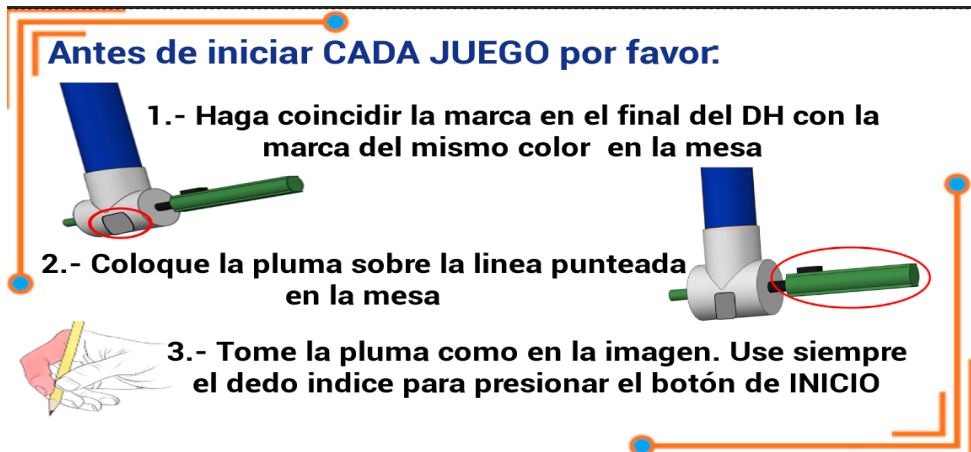


Figura 32. Pantalla de instrucciones sobre el inicio del DH modificada

4. Se cambió el sonido del escenario “anaqueles” y se disminuyó su volumen al igual que el volumen del sonido que se emite al chocar con los muebles.
5. Se agregó la pantalla que se muestra en la Figura 33 con instrucciones graficas sobre el reinicio de la posición del DH, reset o reinicio de los encoders, acción necesaria si se modifica la escala de movimiento durante algún escenario, pues se encontró que era un dato que se les olvidaba frecuentemente a los usuarios y que por lo tanto podría ser también fácilmente olvidado por los terapeutas que utilizarán el sistema y que el pedirles simplemente recordarlo o instruirles que tenían que hacerlo cada que usaran la escala de movimiento era agregarles más carga mental. La pantalla se despliega cada que se finaliza un juego de cualquier nivel y no solo cuando se ha usado la escala de movimiento.



Figura 33. Pantalla con instrucciones para el reset de los encoders

6. Por último, dados todos los comentarios recibidos sobre la poca perspectiva de los escenarios virtuales, se decidió rediseñar la iluminación en los escenarios “anaqueles”, “figuras”, “atrapar” (ver Figura 34). El escenario “apilar” no sufrió ningún cambio en la iluminación pues este escenario si proyectaba sombras, por lo que los usuarios no tuvieron problemas al determinar la ubicación de los objetos virtuales en este entorno.

La iluminación de los escenarios se rediseño principalmente con la finalidad de que todos los objetos virtuales, sobre todo los que cambian de lugar, proyecten sombras y con ello ayudar a los usuarios a que identifiquen con mayor facilidad la ubicación de los objetos virtuales. Igualmente, la iluminación y las sombras son clave para que los AV sean más cercanos a la realidad y logren una mayor inmersión, aunque lograr escenarios hiperrealistas, muy iluminados y con sombras en tiempo real, requiere de mayor procesamiento y/o de más memoria (58) por lo que se optó por hacer un juego entre los colores de luces y los colores de los objetos para que el cambio de la iluminación no generara un archivo mucho más pesado.

Las nuevas texturas en los escenarios “atrapar” y “figuras” se eligieron a fin de reflejar mejor la luz, pero también para crear un entorno más cálido que hiciera ver la iluminación más natural, esto de acuerdo con Heydarian A. et al. (59) quienes utilizaron RV inmersiva para poder obtener datos sobre la preferencia de iluminación de los usuarios y después poder usar estos datos en la construcción de edificios; los resultados mostraron que el 70% de los usuarios prefirieron luces naturales simuladas en comparación con la iluminación eléctrica (luces mas blancas) y encima los participantes con mayores niveles de luz natural simulada realizaron significativamente mejor las tareas de comprensión que los participantes sin acceso a este tipo de luz.

Para las luces se hicieron combinaciones de colores amarillos F39F18, EFDD3E, anaranjados FFC858, EBAA76 y blanco FFFFFFFF con el propósito de crear una iluminación parecida a la de un atardecer ya que los colores cálidos influyen un estado anímico de relajación y calma, y vuelven acogedores los espacios; En cuanto a los materiales que simulan madera, principalmente rojiza, fueron seleccionados porque la madera influye serenidad en las personas (60).

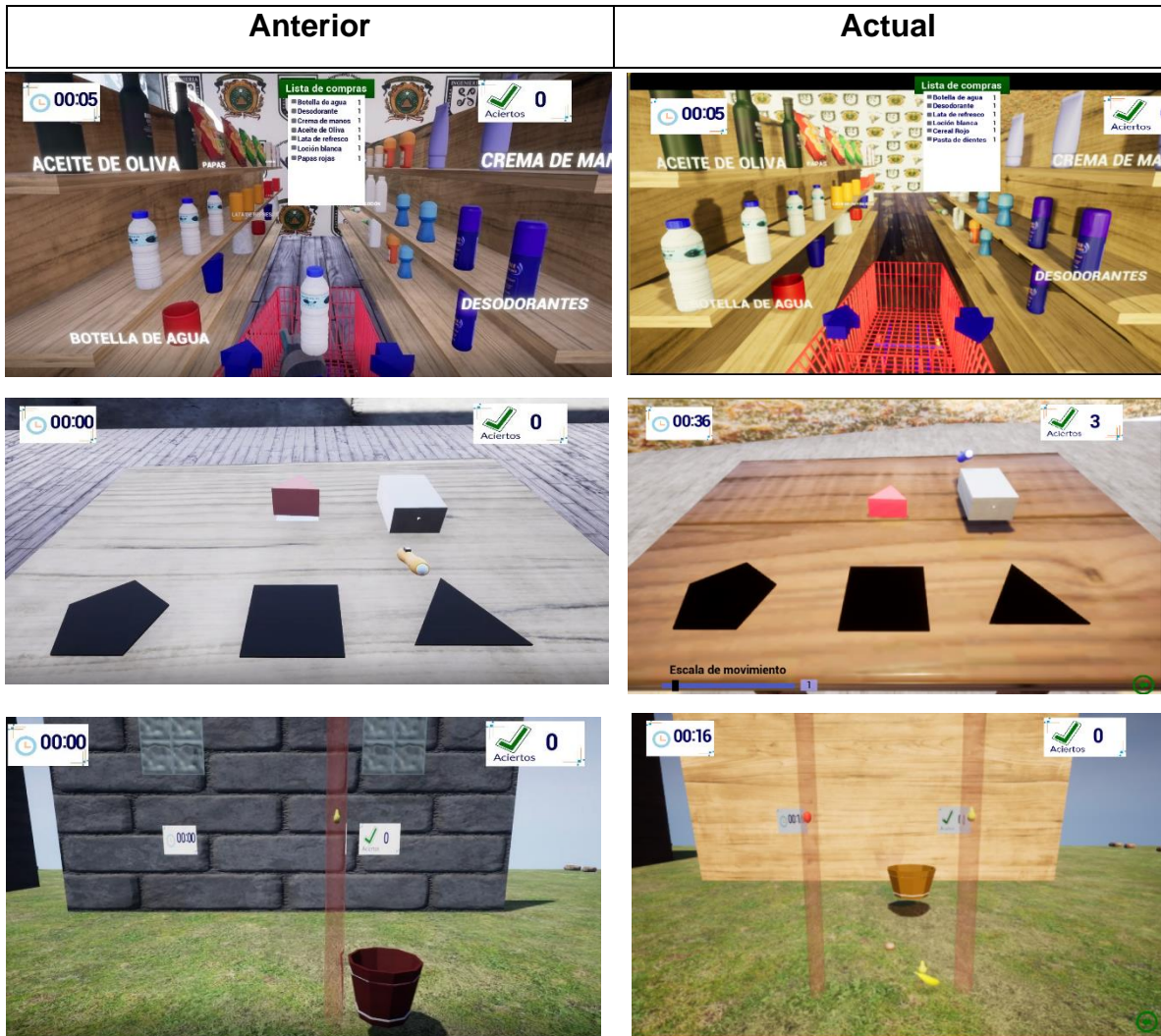


Figura 34. Rediseño de la iluminación en los AV

Y, finalmente, este trabajo muestra una perspectiva sobre las herramientas que son más utilizadas para la validación clínica de sistemas de RV en rehabilitación de miembro superior en pacientes con EVC donde principalmente se observa el uso de las escalas MAL y FMA (ambas con versiones validadas en español) como escalas para evaluar la funcionalidad y el IB para evaluar la actividad. Se encuentra también dentro de la literatura que el mínimo tiempo para observar cambios en los pacientes con EVC tras un nuevo tratamiento es de 15 horas, pero algunos de los especialistas consultados durante el desarrollo de este proyecto comentan que es necesario un experimento de al menos 6 meses. Es posible que el tiempo del ensayo clínico se pueda reducir si solo se utilizan escalas de actividad, pero como comentan Destaw B. et al. (13) es importante evaluar la salud de los pacientes de acuerdo con los componentes de la CIF, por ello es valioso agregar escalas para analizar las limitaciones de la función, así como las escalas sobre limitaciones en la actividad e

incluso, aunque no se observa mucho en la literatura, la adición de escalas para evaluar la participación.

CAPITULO VIII. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta un acercamiento a la validación clínica que en los últimos años se ha estado haciendo en torno a los sistemas de realidad virtual y/o serious games para la rehabilitación de miembro superior en pacientes con EVC y aunque existe evidencia respecto al tiempo que debería durar un ensayo clínico, algunos de los terapeutas contactados durante el desarrollo de este proyecto manifiestan la importancia de realizar el experimento con una duración de por lo menos 6 meses, por lo que se resalta lo conveniente de que el proyecto de validación clínica de este sistema sea realizado por una persona con formación académica en terapia física o incluso terapia ocupacional, pues al tener un mayor acercamiento a los centros de rehabilitación física en el país será más sencillo poder plantear una metodología a seguir que se adapte a los procesos de dichos centros. Así mismo, una formación en terapia física es valiosa para poder involucrarse más en un ensayo clínico y de esta forma no incrementar la carga de trabajo de los terapeutas de los centros de rehabilitación que colaborarían con el proyecto, inclusive la cantidad de terapeutas que tendrían que buscarse para colaborar podría ser menor si se tiene una formación en terapia física.

Retomando los resultados obtenidos en este trabajo, podemos concluir que las modificaciones al sistema no afectaron negativamente a criterio de los expertos. En cuanto a la evaluación que se hizo con los usuarios sanos tampoco se observan diferencias considerables entre un trabajo y otro. Por lo que corresponde a la carga mental y motivación del sistema, hay que decir que no se observan a simple vista resultados desfavorables, aunque en la literatura no existen parámetros que nos indiquen qué puntajes deben considerarse como negativos en el cuestionario NASA-TLX pues está diseñado para aun análisis subjetivo de los resultados y que mejor se ajuste a las necesidades del experimento, razón por la que se definió, aunque no explícitamente para que quien consulte este trabajo pueda hacer su propia deducción, que un puntaje mayor a 50 sobre 100 en la media ponderada del cuestionario NASA-TLX y un puntaje menor a 60% en el IMI eran considerados como una carga de trabajo muy alta y una motivación subjetiva muy baja respectivamente. De manera que ninguno de los participantes manifestó motivación baja tras el uso del sistema, y solo un participante mostró una alta carga de trabajo; pero aun cuando se podría pensar que el reporte tal alto de carga de trabajo en este participante pudiera ser influenciado por situaciones personales, emocionales o incluso patológicas (simplemente un valor atípico), es importante que los cuestionarios NASA-TLX e IMI vuelvan a aplicarse, pero esta vez en pacientes con EVC para poder concluir si el sistema sería apto o no.

Es importante repetir la prueba, pero esta vez con pacientes pues, aunque los participantes sanos no mostraron resultados desfavorables, hay que recordar que muchos de los pacientes con EVC padecen depresión, por lo que sus niveles de

carga mental o de trabajo podrían ser sumamente considerables debido a esta patología, además de afectar los niveles de motivación subjetiva y, en suma, impedir que el sistema cumpla su objetivo de disminuir la deserción o el ausentismo a las sesiones de terapia, romper la monotonía, distraer del dolor y finalmente, rehabilitar. Del mismo modo, vale la pena repetir los cuestionarios en pacientes con EVC antes de realizar un protocolo de validación clínica pues los resultados obtenidos en este trabajo muestran una relación (no estadística) entre el aumento en la carga de trabajo y la inexperiencia en el uso de videojuegos y/o el poco conocimiento en computación, ya que, aun cuando se ha observado un aumento en los casos de pacientes jóvenes con EVC, gran parte de los pacientes con esta patología son personas mayores de 40 años que posiblemente no tengan experiencia en el uso de juegos de computadora.

Y aun cuando los pacientes tengan una mayor carga de trabajo con el uso del sistema en comparación con usuarios sanos, esto no quiere decir que no deban utilizar el sistema pues en los resultados obtenidos pudimos notar que aquellos participantes que tuvieron bajas puntuaciones en las subescalas de carga de trabajo también tuvieron bajas puntuaciones en el IMI, por lo que podríamos decir que al percibir el uso del sistema como sumamente sencillo se aburririeron, lo sintieron poco útil y le dieron poca importancia, caso contrario a aquellos pacientes con poca experiencia en videojuegos y con cargas de trabajo más altas quienes reportaron haberse sentido motivados durante el uso del sistema, aunque su competencia percibida haya sido muy pobre. Es por todo esto que es de consideración la repetición de esta prueba en pacientes para poder de esta forma saber qué pacientes podrán beneficiarse mucho más de este sistema y así poder delimitar mejor quiénes podrán participar en la validación clínica y de esta forma conseguir resultados más contundentes acerca de la inserción de este sistema en la práctica clínica pública de nuestro estado.

A propósito, vale la pena decir que el cuestionario IMI y NASA-Task Load Index deberían aplicarse a los pacientes antes, durante y al finalizar la prueba pues solo de esta manera se encontrará una verdadera relación entre los datos de carga mental, motivación y recuperación funcional y entonces así poder finalmente discernir qué características deberá tener el paciente al que el sistema sea capaz de proveer rehabilitación física.

IMPLICACIONES ÉTICAS

Las implicaciones éticas de este proyecto fueron anteriormente analizadas por Ríos M. (8) dado que fue ella quien desarrollo el sistema y lo se diseñó de tal manera que sea capaz de cumplir con los criterios para ser usado en un estudio clínico.

Conforme lo escrito por Ríos M. (8) de acuerdo con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki (1964) y en el Capítulo 1, artículo 17, Título Segundo del Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud que establece los aspectos éticos de investigación en seres humanos esta investigación está considerada de riesgo mínimo, por lo que este proyecto se desarrolló y se evaluará bajo los siguientes criterios:

La enfermedad vascular cerebral se considera como un problema de salud pública de orden prioritario en México (8), ocupa el segundo lugar entre las causas de mortalidad, de las cuales 4.95 millones ocurren en países con ingresos medios y bajos, y se posiciona como la principal causa de discapacidad en adultos a nivel mundial (9,10). La literatura menciona que los principales obstáculos para la actividad y participación en el ejercicio durante la terapia convencional son el dolor y malestar, la falta de personal calificado para supervisar el ejercicio, la percepción de la sociedad y de uno mismo, la falta de motivación por parte del personal de la salud, entre otros, lo cual conlleva a que el paciente abandone la terapia física (3,8).

Se ha observado que la RV y los serious games en aplicaciones de rehabilitación han logrado un mayor compromiso y motivación de los pacientes para con su terapia, lo cual es vital para que el paciente no abandone la misma, y por lo tanto se observen resultados positivos (13–15). En los mencionados trabajos, y en otros citados por Ríos M. (8), se observó que el uso de realidad virtual y los serious games en sistemas de rehabilitación física es segura y aceptada por los pacientes. Sin embargo, el paciente tendrá la libertad de dejar el estudio en el momento en que lo desee.

Dentro de su documento Ríos M. (8) indica que los riesgos que se podrían presentar durante el estudio son que con el sistema de rehabilitación no se obtengan los resultados esperados en el tiempo en el que se hubieran obtenido con terapia tradicional y que el paciente sienta algún mareo por el ambiente virtual. Por consiguiente, el uso del sistema estará supervisado por un fisioterapeuta quien informará al equipo de investigación que el estudio ha sido detenido debido a la observación de algún posible daño al paciente.

A cada paciente se le entregará un consentimiento informado, además de explicarle en que consiste el proyecto y contestar a todas las dudas que podrían surgirle (8).

Con base en esta información se obtuvo la aprobación del protocolo de investigación por parte del Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Medicina (Anexo 3).

BIBLIOGRAFÍA

1. Katan M, Luft A. Global Burden of Stroke. *Semin Neurol* [Internet]. 2018 Apr 1 [cited 2020 Oct 24];38(2):208–11. Available from: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0038-1649503>
2. INEGI. Características de las defunciones registradas en México durante 2019 [Internet]. 2020. Available from: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/EstSociodem/DefuncionesRegistradas2019.pdf>
3. Stokes M, Emma S. *Fisioterapia en la rehabilitación neurológica*. Elsevier, España. 2013;
4. Dulau E, Botha-Ravyse CR, Luimula M. Virtual reality for physical rehabilitation: A Pilot study How will virtual reality change physical therapy? 10th IEEE Int Conf Cogn Infocommunications, *CogInfoCom 2019 - Proc.* 2019;277–82.
5. Pereira F, Bermudez I, Badia S, Jorge C, Da Silva Cameirao M. Impact of Game Mode on Engagement and Social Involvement in Multi-User Serious Games with Stroke Patients. *Int Conf Virtual Rehabil ICVR.* 2019;2019-July:1–13.
6. Lee SH, Jung HY, Yun SJ, Oh BM, Seo HG. Upper Extremity Rehabilitation Using Fully Immersive Virtual Reality Games With a Head Mount Display: A Feasibility Study. *PM R.* 2020;12(3):257–62.
7. Arlindo Soares MA, Gatinho Bonuzzi GM, Coelho DB, Torriani-Pasin C. Effects of extrinsic feedback on the motor learning after stroke. *Motriz Rev Educ Fis* [Internet]. 2019 [cited 2021 Mar 1];25(1). Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-65742019000100707&tlng=en
8. Ríos M. Desarrollo de un sistema de rehabilitación de miembro superior en un ambiente virtual para la recuperación de la movilidad después de un accidente cerebrovascular y fracturas. Universidad del Estado de México; 2020.
9. Mubin O, Alnajjar F, Al Mahmud A, Jishtu N, Alsinglawi B. Exploring serious games for stroke rehabilitation: a scoping review. *Disabil Rehabil Assist Technol* [Internet]. 2020;0(0):1–7. Available from: <https://doi.org/10.1080/17483107.2020.1768309>
10. Antonio A. Enfermedad vascular cerebral. *Rev Mex Neurocienc.* 2006;7(6):617–21.
11. Piña-Pozas M, Araujo-Pulido G. Hipertensión arterial un problema de salud pública en México [Internet]. INSP. 2020 [cited 2020 Dec 6]. Available from: <https://www.insp.mx/avisos/5398-hipertension-arterial-problema-salud-publica.html>

12. Aspar A. Efectividad de la realidad virtual combinada con la terapia convencional sobre la funcionalidad del miembro superior en los pacientes post-avc revisión bibliográfica [Internet]. Facultat de ciencies de la salut UMANRESA; 2019. Available from: http://212.121.254.205/bitstream/handle/1/509/TFG_FINAL_Agathe_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y
13. Mekbib DB, Han J, Zhang L, Fang S, Jiang H, Zhu J, et al. Virtual reality therapy for upper limb rehabilitation in patients with stroke: a meta-analysis of randomized clinical trials. *Brain Inj* [Internet]. 2020;34(4):456–65. Available from: <https://doi.org/10.1080/02699052.2020.1725126>
14. Ahn S, Hwang S. Virtual rehabilitation of upper extremity function and independence for stroke: a meta-analysis. 2019; Available from: <http://www.e-jer.org>
15. Lee HS, Park YJ, Park SW. The effects of virtual reality training on function in chronic stroke patients: A systematic review and meta-analysis. *Biomed Res Int*. 2019;2019.
16. Moore K, Dalley II A, Agur A, D'Antoni A V. Anatomía con orientación clínica, 6ta Edición. *Clinical Anatomy*. 2014.
17. Pereira M, Prahm C, Kolbenschlager J, Oliverira E, Rodrigues N. A Virtual Reality Serious Game for Hand Rehabilitation Therapy. 8th Int Conf Serious Games Appl Heal IEEE SeGAH. 2020;
18. Grant VM, Gibson A, Shields N. Somatosensory stimulation to improve hand and upper limb function after stroke—a systematic review with meta-analyses [Internet]. Vol. 25, *Topics in Stroke Rehabilitation*. Taylor and Francis Ltd.; 2018 [cited 2020 Oct 15]. p. 150–60. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10749357.2017.1389054>
19. Le Danseur M. Stroke Rehabilitation [Internet]. Vol. 32, *Critical Care Nursing Clinics of North America*. W.B. Saunders; 2020 [cited 2020 Oct 24]. p. 97–108. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899588519300802>
20. Qureshi HH, Wong DH Ten. Usability of user-centric mobile application design from visually impaired people's perspective. Vol. 12188 LNCS, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2020. 431–439 p.
21. Ferrer González Begoña María. Adaptación y validación al español de la escala Fugl-Meyer en el manejo de la rehabilitación de pacientes con ictus. [Sevilla]: Universidad de Sevilla ; 2015.
22. Sánchez M. Efectividad de los sistemas de realidad virtual no inmersivos en la recuperación funcional del miembro superior en pacientes que se encuentren en la fase crónica del ictus: Una revisión sistemática [Internet]. Universidad de Lleida; 2018 [cited 2020 Nov 9]. Available from: <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/66058/msanchez.pdf?seq>

uence=1&isAllowed=y

23. Navarro MD, Lloréns R, Noé E, Ferri J, Alcañiz M. Validation of a low-cost virtual reality system for training street-crossing. A comparative study in healthy, neglected and non-neglected stroke individuals. *Neuropsychol Rehabil.* 2013;
24. Huang X, Naghdy F, Naghdy G, Du H. Clinical effectiveness of combined virtual reality and robot assisted fine hand motion rehabilitation in subacute stroke patients. *IEEE Int Conf Rehabil Robot.* 2017;511–5.
25. Oña ED, Jardón A, Balaguer C, Cuesta A, Carratalá M, Monge E. El “automatizado Box & Blocks Test” sistema automático de evaluación de destreza manual gruesa. Madrid;
26. Woodbury M, Velozo CA, Thompson PA, Light K, Uswatte G, Taub E, et al. Measurement Structure of the Wolf Motor Function Test: Implications for Motor Control Theory. *Neurorehabil Neural Repair* [Internet]. 2010;791–801. Available from: <http://nnr.sagepub.com>
27. Arlette Doussoulin S, Saiz JL, Blanton S. Psychometric properties of a spanish version of Motor Activity Log-30 in patients with hemiparetic upper extremity due to stroke. *Rev Chil Neuropsiquiatr.* 2013;51(3):201–10.
28. Chedoke Arm and Hand Activity Inventory (CAHAI) [Internet]. [cited 2021 Mar 5]. Available from: <https://www.cahai.ca/>
29. López Espuela Fidel. Estudio longitudinal de la calidad de vida, estado de ánimo y dependencia funcional de los pacientes afectados por ictus en Extremadura [Internet]. Universidad de Extremadura; 2014 [cited 2021 Mar 1]. Available from: http://dehesa.unex.es/flexpaper/template.html?path=/bitstream/10662/2252/1/TDUEX_2014_Lopez_Espuela.pdf#page=78
30. Organización Mundial de la Salud. CIF: Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud. Ginebra; 2000.
31. Muñoz Boje R, Calvo-Muñoz I. Effects of virtual reality therapy for the upper limb in stroke patients: a systematic review. *Rehabilitacion.* 2018;52(1):45–54.
32. Ricciardi F, De Paolis LT. A Comprehensive Review of Serious Games in Health Professions. *Int J Comput Games Technol.* 2014;2014.
33. Baptista G, Oliveira T. Gamification and serious games: A literature meta-analysis and integrative model [Internet]. Vol. 92, *Computers in Human Behavior.* Elsevier Ltd; 2019 [cited 2020 Oct 25]. p. 306–15. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S074756321830565X>
34. Randriambelonoro M, Perrin C, Blocquet A, Kozak D, Fernandez JT, Marfaing T, et al. Hospital-to-Home Transition for Older Patients: Using Serious Games to Improve the Motivation for Rehabilitation – a Qualitative Study. *J Popul Ageing* [Internet]. 2020 Jun 19 [cited 2020 Oct 26];13(2):187–

205. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12062-020-09274-7>
35. Ángel Ruiz de Alarcón Cuesta Resumen. Uso de la wii balance board® en terapia ocupacional: estudio de la mejoría del control del centro de gravedad en parálisis cerebral y análisis de los niveles de satisfacción de los profesionales que la aplican. *Rev electrónica Ter Ocup Galicia* [Internet]. 2018 [cited 2021 Mar 7];15(28):237–48. Available from: www.revistatog.com<http://www.revistatog.com/num28/pdfs/original5.pdf>
 36. Mihelj M, Novak D, Milavec M, Zihelr J, Olenšek A, Munih M. *Virtual Rehabilitation Environment Using Principles of Intrinsic Motivation and Game Design*. Slovenia; 2012.
 37. McAuley ED, Duncan T, Tammen V V. Psychometric properties of the intrinsic motivation inventory in a competitive sport setting: A confirmatory factor analysis. *Res Q Exerc Sport*. 1989;60(1):48–58.
 38. Omholt KA, Waerstad M, Nawaz A. Exercise Games for Elderly People Identifying important aspects, specifying system requirements and designing a concept [Internet]. 300. Institutt for telematikk; 2013 [cited 2021 Mar 13]. Available from: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/262864>
 39. Canepa CD. Carga mental, Mental workload. *Laboreal*. 2013 Jul 1;9(1).
 40. Lira H. Medición de cargas cognitivas durante actividades de interacción humano computador en ambiente móvil usando sensores psico-fisiológicos. [Santiago de Chile]: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas; 2015.
 41. Ahram TZ, editor. *Advances in Human Factors in Wearable Technologies and Game Design*. In Orlando, Florida: Springer International Publishing; 2018 [cited 2021 Mar 13]. (*Advances in Intelligent Systems and Computing*; vol. 795). Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-94619-1>
 42. Hart SG, Staveland LE. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Adv Psychol*. 1988 Jan 1;52(C):139–83.
 43. Xu W, Liang HN, Zhang Z, Baghaei N. Studying the Effect of Display Type and Viewing Perspective on User Experience in Virtual Reality Exergames. *Games Health J*. 2020 Dec 1;9(6):405–14.
 44. Matamala-Gomez M, Swidrak J, Serino S, Iosa M, Aydin M, Candelise C, et al. The Michelangelo Effect: Art Improves the Performance in a Virtual Reality Task Developed for Upper Limb Neurorehabilitation. 2021; Available from: www.frontiersin.org
 45. Montenegro Arjona OA. Aprendizaje motor y realimentación: Consideraciones prácticas. *Lúdica Pedagógica*. 2015 May 2;1(22):75–83.
 46. Subramanian SK, Massie CL, Malcolm MP, Levin MF. Does provision of extrinsic feedback result in improved motor learning in the upper limb poststroke? a systematic review of the evidence. Vol. 24, *Neurorehabilitation*

and Neural Repair. 2010. p. 113–24.

47. Sanchez Montoya KA. Separación familiar de un adulto mayor y su incidencia en su estado emocional [Internet]. Babahoyo: UTB, 2020; 2020 [cited 2020 Oct 26]. Available from: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8126>
48. Levin MF. What is the potential of virtual reality for post-stroke sensorimotor rehabilitation? *Expert Rev Neurother* [Internet]. 2020;20(3):195–7. Available from: <https://doi.org/10.1080/14737175.2020.1727741>
49. Pérez-Salas CP. Realidad Virtual: Un Aporte Real para la Evaluación y el Tratamiento de Personas con Discapacidad Intelectual. *Ter psicológica* [Internet]. 2008 [cited 2022 May 2];26(2):253–62. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-48082008000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=en
50. Albornoz María Claudia. Diseño de interfaz gráfica de usuario. In: XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación [Internet]. 2014 [cited 2022 May 2]. p. 540–4. Available from: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/41578>
51. Albornoz María Claudia. Diseño de interfaz gráfica de usuario. In: XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación [Internet]. 2014 [cited 2022 May 2]. p. 540–4. Available from: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/41578>
52. Lovos EN. Material Educativo Aumentado. Análisis de la Experiencia de Usuario. *EDUTEC Rev Electrónica Tecnol Educ* [Internet]. 2019 [cited 2022 May 24];70:57–67. Available from: <https://doi.org/10.21556/edutec.2019.70.1331>
53. Carlos Andrés Córdoba Cely. *La Experiencia de Usuario Extendida*. [Barcelona]: Universidad Politécnica de Cataluña; 2013.
54. Aguilar-Lazcano CA, Rechy-Ramirez EJ, Hu H, Rios-Figueroa HV, Marin-Hernandez A. Interaction Modalities Used on Serious Games for Upper Limb Rehabilitation: A Systematic Review. *Games Health J*. 2019;8(5):313–25.
55. Arias Cuadrado Á. Rehabilitación del ACV: evaluación, pronóstico y tratamiento. *Rehabilitation of the stroke: evaluation, prognosis and treatment. Galicia Clin* . 2009;25–40.
56. Alessandro L, Olmos EL, Bonamico L. Rehabilitación multidisciplinaria para pacientes adultos con accidente cerebrovascular . *Med (Buenos Aires)* [Internet]. 2020 [cited 2022 Jun 19];80. Available from: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802020000100008
57. Montoyano A. El accidente cerebrovascular desde la mirada del rehabilitador. *Rev Hosp Clin Univ Chile*. 2010;
58. Cabrera Amaya Y, Frómeta Estévez A, Muguercia Torres L, Nodarse Valdés

- Y. Luces y Sombras dinamicas para Sistemas de Realidad Virtual [Internet]. Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI); 2008 [cited 2022 Jun 7]. Available from: https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/ident/TD_1626_08
59. Heydarian A, Pantazis E, Wang A, Gerber D, Becerik-Gerber B. Towards user centered building design: Identifying end-user lighting preferences via immersive virtual environments. *Autom Constr.* 2017 Sep 1;81:56–66.
60. Montoya Arbeláez V. *NEUROARQUITECTURA HOSPITALARIA*. [Medellin]: Universidad Pontificia Bolivariana ; 2020.
64. Cvc.cervantes.es. 2021. CVC. Diccionario de términos clave de ELE. Ítem.. [online] Available at: <https://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/item.htm> [Accessed 11 May 2021].

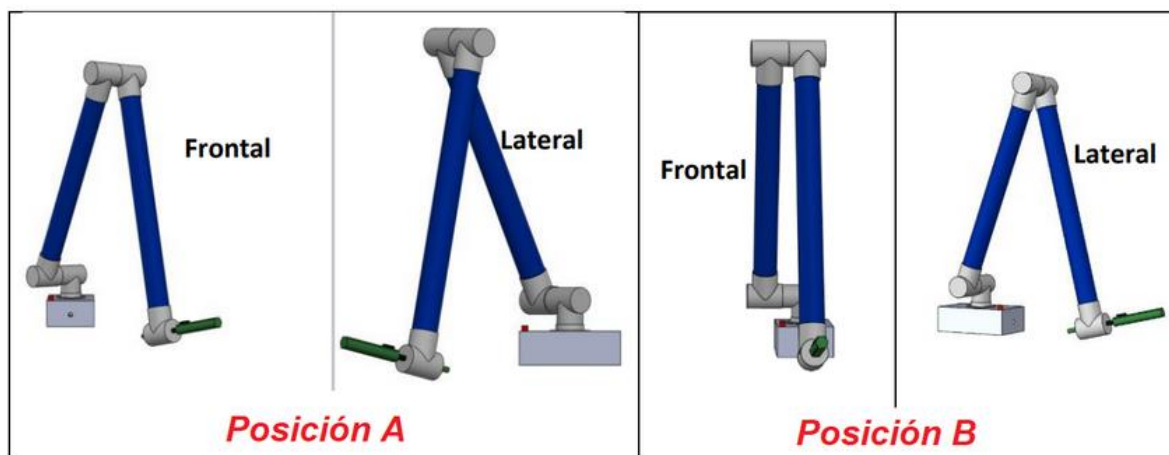
ANEXOS

ANEXO 1: Cuestionario presentado a los terapeutas con la finalidad de conocer sus opiniones respecto a las modificaciones del sistema.

Cuestionario. Evaluación por parte de personal especializado a las modificaciones realizadas al sistema

Instrucciones: Se le ha solicitado su apoyo como especialista para saber si los cambios realizados en el sistema son realmente provechosos para la rehabilitación de miembro superior de pacientes con Enfermedad Vascolar Cerebral (EVC), por favor lea cuidadosamente cada enunciado y elija la opción que considere.

1. ¿Ha usado sistemas de realidad virtual para rehabilitación física?
 - Sí
 - No
2. ¿Ha usado sistemas de realidad virtual para rehabilitación física de pacientes con Enfermedad Vascolar Cerebral?
 - Sí
 - No
3. Cambiar la posición de inicio del dispositivo háptico, de la posición A a la posición B, ayuda a que el paciente identifique con mayor facilidad la posición de inicio



- *Totalmente en desacuerdo*
 - *En desacuerdo*
 - *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
 - *De acuerdo*
 - *Totalmente de acuerdo*
4. Es más útil que los pacientes no tengan que estirar su brazo para tomar la pluma del dispositivo e iniciar los juegos, a diferencia de tener que iniciar con el brazo extendido

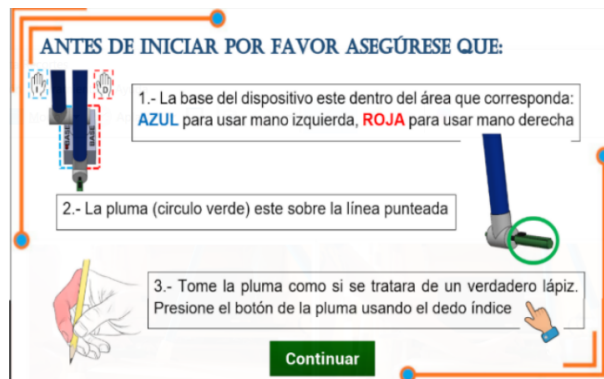


- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

5. Apoyos visuales en la mesa de trabajo (p. ej. pintar el área donde debe estar la base del dispositivo) son necesarios para que el paciente identifique la posición correcta de inicio del dispositivo háptico

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

6. Las instrucciones presentadas en pantalla son sencillas para los pacientes con EVC y comunican concretamente qué es lo que se debe hacer



- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

7. Es útil que la pantalla de instrucciones mostrada en el enunciado anterior le aparezca al paciente antes de cada juego de cada nivel y no solo una vez durante

el uso del sistema; esto con la finalidad de que no olvide el inicio correcto del dispositivo háptico antes de cada juego

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

8. Los efectos visuales que aparecen cada que se ha ganado un acierto pueden ayudar a que el paciente se motive y se interese más en el sistema y en su sesión de terapia

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

9. Excesiva retroalimentación háptica (vibración) podría resultar confusa para el paciente e incluso estresarlo. Por eso es conveniente limitar la retroalimentación háptica para que suceda solo en situaciones muy específicas durante los juegos

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

10. Disminuir el número de instrucciones y hacer enunciados más concretos ayuda a que el paciente no perciba la tarea como muy difícil o pesada de realizar

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

11. Aumentar el tamaño de letra y centrar la pantalla de instrucciones era necesario pues muchos pacientes con EVC sufren afectaciones visuales

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

12. Pantallas con los movimientos que el paciente realizará según el escenario resultan útiles para que usted como terapeuta pueda seleccionar cuál de los 4 escenarios usará su paciente durante su sesión de terapia

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*

- *De acuerdo*
 - *Totalmente de acuerdo*

13. Para evitar confusiones es necesario que en el entorno "anaqueles" se vayan quitando de la lista de compras los productos que ya se han echado al carrito

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

14. Tiene más ventajas que desventajas que aparezca el mensaje que se muestra en la imagen cada que se toma un producto que no está en la lista de compras



- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
 - *Totalmente de acuerdo*

15. Que exista mayor retroalimentación (principalmente visual y auditiva) cuando se obtiene un acierto, en comparación a cuando se comete un error, tiene más ventajas que desventajas

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

16. La inclusión de un control deslizante para la modificación de la escala de movimiento es útil para rehabilitación de pacientes con rango de movimiento reducido

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

17. Con lo visto anteriormente ¿cree que el sistema es sencillo de usar y que podría utilizarlo sin asesoría?

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*

18. El sistema presentado es útil para la rehabilitación de miembro superior en pacientes con EVC y por lo tanto lo usaría en su práctica clínica

- *Totalmente en desacuerdo*
- *En desacuerdo*
- *Ni de acuerdo ni en desacuerdo*
- *De acuerdo*
- *Totalmente de acuerdo*



ANEXO 2: Consentimiento informado.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
LICENCIATURA EN BIOINGENIERÍA MÉDICA

“MODIFICACIONES AL AMBIENTE VIRTUAL Y DISPOSITIVO HÁPTICO PARA REHABILITACIÓN DE MIEMBRO SUPERIOR EN PACIENTES CON EVC”

Investigadores: Dr. Juan Manuel Jacinto Villegas, Dra. Adriana H. Vilchis González, P.L.B.M. Adriana Natali Garcia Contreras.

La Facultad de Medicina en colaboración con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del estado de México está realizando un proyecto de investigación que tiene por objetivo identificar como perciben los usuarios el sistema de rehabilitación de realidad virtual y serious games después de que se le han hecho ciertas modificaciones, además de conocer el porcentaje de motivación y carga mental después de utilizar el mencionado sistema.

Si usted acepta participar en este estudio ocurrirá lo siguiente: realizará una sesión de terapia física para miembro superior (brazo) con un sistema compuesto de un entorno virtual (juego de computadora) y un dispositivo háptico, el cual vibrará dependiendo de las acciones que realice en el entorno virtual. Al finalizar la sesión tendrá que contestar 3 cuestionarios donde se le preguntará cómo ha sido su experiencia con el sistema y cuál es su opinión sobre el mismo.

La información que se obtenga de este cuestionario permitirá concluir el trabajo de tesis que lleva por nombre: “Modificaciones al ambiente virtual y dispositivo háptico para rehabilitación de miembro superior en pacientes con EVC”. Es preciso mencionar que no habrá retribución por la participación en este estudio y que toda la información recabada será solamente utilizada con fines de la presente investigación, asimismo todos los datos personales que usted nos brinde serán tratados de manera confidencial.

Por último, debe saber que, aun cuando ya haya firmado este documento, está en total libertad de negar su participación o retirarse en cualquier momento durante la investigación.

Firma de aceptación del participante

ANEXO 3. Dictamen Comité de Ética

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN

Documento para revisión y autorización de protocolos de investigación

Nombre del alumno: MONSERRAT RIOS HERNÁNDEZ

No. De Cuenta: ___1112623 Teléfono:7224125233

E-mail: ___r.h.monse@gmail.com_____

Licenciatura: Posgrado: _____

Maestría _____ Doctorado: _____ Especialidad Médica: _____

Nombre del Proyecto:

Desarrollo de un sistema de rehabilitación de miembro superior en un ambiente virtual para la recuperación de la movilidad después de un accidente cerebrovascular y fracturas.

Director del Proyecto: DR. JUAN MANUEL JACINTO VILLEGAS

Teléfono: 2140855 ext 1203

Tipo de investigación: Bibliográfica: _____ Con animales: _____

Con personas: _____

Riesgo de perder o modificar la función: _____ la vida: _____

Aprobado: Rechazado: _____

RESPONSABLE DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN
M.A.M. RICARDO PAULINO JOSÉ GALLARDO DÍAZ

