

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Programa de Posgrado en Ciencias
en Ciencias de la Computación**

**Juegos serios basados en movimiento para apoyar las
terapias vestibulares de niños con autismo**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Oscar Peña Ramírez

Ensenada, Baja California, México
2016

Tesis defendida por

Oscar Peña Ramírez

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Director de tesis

Dr. Jesús Favela Vara

Dr. Salvador Villarreal Reyes



Dra. Ana Isabel Martínez García
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Computación

Dra. Rufina Hernández Martínez
Director de Estudios de Posgrado

Oscar Peña Ramírez © 2016

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor

Resumen de la tesis que presenta **Oscar Peña Ramírez** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Computación.

Juegos serios basados en movimiento para apoyar las terapias vestibulares de niños con autismo

Resumen aprobado por:

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Director de tesis

Los niños con autismo comúnmente exhiben posturas anormales, como espalda arqueada o hiperextensión del cuello. Además, tienen problemas de equilibrio. Realizan movimientos extraños con los ojos, caminan en círculos, y encuentran difícil el subir y bajar escaleras, o caminar sobre terrenos irregulares. Las terapias vestibulares involucran la realización de repeticiones de ejercicios no locomotores que estimulan el aparato vestibular y permiten aprender a modular e interpretar con precisión los estímulos sensoriales que el niño con autismo recibe. Sin embargo, los ejercicios no locomotores que se imparten durante la terapia tradicional de estimulación vestibular son repetitivos, los niños con autismo encuentran las terapias aburridas, por lo que comúnmente pierden la atención y no terminan las repeticiones de los ejercicios. Como consecuencia no se logra generar los estímulos sensoriales necesarios para mejorar su postura y equilibrio. Además, al no terminar las repeticiones, se limita la activación física de los niños por lo tanto no desarrollan las habilidades motoras que permiten mejorar su balance y postura. Los niños con autismo encuentran los juegos serios basados en movimiento divertidos y apropiados para apoyar las terapias motoras. Sin embargo, no se ha explorado como los juegos serios basados en movimiento pueden apoyar los ejercicios no locomotores de los niños con autismo. En esta tesis se explora como un juego serio basado en movimiento puede apoyar la práctica de ejercicios no locomotores que se imparten durante una terapia tradicional de estimulación vestibular y evaluar si este juego permite mejorar la activación física de los niños durante la terapia en comparación las terapias tradicionales. Siguiendo una metodología de diseño centrada en el usuario, se diseñó, desarrolló y evaluó el juego serio basado en movimiento llamado Circo del cuerpo. Circo del cuerpo consta de cuatro escenarios que permiten practicar ejercicios que imitan a una terapia de estimulación vestibular. Circo del cuerpo utiliza un sensor Kinect y un proyector, los cuales se conectan a una computadora de escritorio. El sensor Kinect detecta la ubicación, y mediante operaciones trigonométricas se infieren los movimientos del usuario. Para evaluar el impacto de Circo del cuerpo se realizó un estudio de usuario con 12 niños con autismo con distinta funcionalidad que asisten a “Pasitos, Centro psicopedagógico” A.C –un clínica escuela especializada en el cuidado de niños con autismo localizada en Tijuana Baja California. El estudio siguió un diseño intra-sujetos donde todos participantes fueron expuestos a dos condiciones. En la primera condición, los niños con autismo utilizaron el Circo del cuerpo como parte de la terapia. En la segunda condición, los niños con autismo utilizaron los soportes visuales para realizar la terapia tradicional. Los niños con autismo se asignaron de manera aleatoria para iniciar en cada una de las condiciones. Los resultados indican que los niños con autismo incrementaron su

nivel de actividad física y el número de repeticiones utilizando Circo del cuerpo en comparación a los soportes visuales utilizados con la terapia tradicional.

Palabras clave: juego serio basado en movimiento, autismo, sistema vestibular, diseño centrado en el usuario

Abstract of the thesis presented by **Oscar Peña Ramírez** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Computer Science

Exergame for support vestibular therapy in children whit autism

Abstract approved by:

PhD. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Thesis director

Children whit autism commonly show abnormal postures such as arching of the back or hyperextension of the neck. They find challenging to maintain their balance and they usually walk in circles or spin. Their eye movements are atypical and have difficulties when walking and navigating in uneven grounds. Vestibular therapies involve the repetition of non-locomotor movements to allow individuals to learn how to interpret and manage sensory stimuli that the child with autism receives. However, children with autism find these therapies boring, and they frequently disengage, lose attention, and do not complete the repetitions being scheduled for the day. As a consequence, such therapies fail in generating the necessary sensory stimuli to improve the posture and balance of children with autism. Furthermore, by not completing the repetitions, the physical activity of children is limited so they are unable to develop the motor skills appropriate to improve their balance and posture. Children with autism find exergames engaging and are appropriate to support motor therapies. However, it has not been explored how exergames could support the practicing of non-locomotor exercises. This thesis seeks to understand how an exergame could support the practice of non-locomotor exercises and evaluate its impact in improving physical activity of children with autism against traditional therapies using paper-based visual supports. To design, develop and evaluate an exergame called Circus in motion, we followed a user-center methodology. Circus in motion includes four scenarios that allow practicing of non-locomotor exercises frequently used in vestibular therapies. Circus in motion uses the Kinect sensor, a multimedia projector and a computer. We define basic trigonometric functions to track user movements. To evaluate the impact of Circus in motion we conducted a within-subjects user study with 12 children whit autism attending to “Pasitos” – a school-clinic specializing in the care of children with autism located in Tijuana, B.C. The 12 children were exposed to two conditions. In the first condition, children with autism used Circus in motion as a part of the therapy. In the second condition, children with autism used paper-based visual supports to conduct the traditional therapy. The children with autism were randomly assigned to start in each condition. Our results show children with autism experienced more physical activation and increased the number of repetitions using Circus in motion against the traditional vestibular therapy using paper-based visual supports.

Keywords: exergames, autism, vestibular system, user-centered design

Dedicatoria

A mis padres, Erasmo y Josefina.

Gracias por su amor, cariño y apoyo.

Por su educación, enseñanza y consejos que me hacen ser la persona que soy y me permitieron lograr esta meta.

A mis hermanos Jonatán, Aldo, Daniel

A mi hermana Zayin☺.

Por contar con su apoyo y motivarme para seguir adelante.

A toda mi familia que me ha animado a seguir adelante.

Agradecimientos

Sobre todo gracias a Dios, el Magnífico Instructor, por darme la salud, capacidad y fortaleza para lograr este meta.

A mi directora de tesis, Dra. Mónica Tentori Espinosa por sus consejos, observaciones, enseñanzas para poder culminar este trabajo. También por su apoyo y paciencia brindados durante mi estancia en CICESE.

A los miembros de mi comité: Dr. Jesús Favela Vara y Dr. Salvador Villarreal Reyes, por su tiempo y sus valiosas observaciones y sugerencias durante el desarrollo de este trabajo de tesis.

A mi compañera de cubo, pero sobre todo mi amiga Deysi por el tiempo e inolvidables momentos que compartimos.

A Hilde, Rodrigo, Alejandro, José, Daniel y Guillermo por las comidas y momentos de ocio y diversión. A Darién y América por el tiempo que pasamos juntos.

A las personas con las que conviví un año en la casita #13 y que tuve la oportunidad de trabajar con ellos: Adriana, Esteban, Marco y Tona.

A las personas que en el transcurso de este trabajo conocí y participaron en su realización: Alejandro Hernández, Lizbeth Escobedo, Keren García, Ariel Molina, al personal de Pasitos, en especial a las psicólogas Mar, Juliana y Gaby.

A los maestros, personal técnico y administrativo del Departamento de Computación porque siempre estuvieron dispuestos a brindarme su ayuda.

A CICESE por esta oportunidad y al CONACYT por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios.

Tabla de Contenido

Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Lista de figuras.....	x
Lista de tablas	xii

Capítulo 1. Introducción

1.1 Autismo	1
1.2 Sistema Vestibular	1
1.2.1 Sistema vestibular y el autismo	2
1.2.2 Terapias de estimulación vestibular	3
1.3 Juegos serios basados en movimiento	3
1.4 Planteamiento del problema.....	4
1.5 Preguntas de investigación	4
1.6 Objetivos general y específicos.....	5
1.7 Metodología	5
1.8 Organización de la tesis.....	7

Capítulo 2. Trabajo relacionado

2.1 Equilibrio	9
2.2 Postura.....	11
2.3 Sistema vestibular integral	14
2.4 Resumen y conclusiones	15

Capítulo 3. Diseño e implementación del JSBM Circo del cuerpo

3.1 Sesiones de diseño.....	17
3.1.1 Sesión 1: Definición de ejercicios.....	17

	viii
3.1.2 Sesión 2: Alternativas de prototipos de baja-fidelidad.....	19
3.1.3 Sesión 3: Especificación de ejercicios.....	21
3.1.4 Sesión 4: Modos de interacción	21
3.1.5 Sesión 5: Selección de prototipo final y conciencia corporal.....	22
3.1.6 Sesión 6: niveles por escenario.....	23
3.2 Diseño del sistema.....	23
3.2.1 Dinámica de juego / Movimientos motrices	23
3.2.2 Elementos de la interfaz	25
3.2.3 Recompensas y ayudas	26
3.3 Implementación.....	27
3.3.1 Transiciones de juego	27
3.3.2 Arquitectura del sistema.....	29
3.4 Resumen y conclusiones	33

Capítulo 4. Evaluación de Circo del cuerpo

4.1 Objetivos	35
4.2 Diseño de experimento	35
4.2.1 Participantes.....	35
4.2.2 Paradigma de diseño y condiciones del experimento	36
4.2.2.1 Instalación de Circo de cuerpo (Condición Circo del cuerpo).....	37
4.2.2.2 Instalación de la terapia tradicional (Condición muñeco)	38
4.2.3 Procedimientos de control.....	39
4.2.3.1 Actividades equivalentes.....	39
4.2.3.2 Ayudas	40
4.3 Recolección de datos.....	40
4.4 Análisis de datos	41
4.5 Resultados	44
4.5.1 Practica de habilidades motoras	44
4.5.1.1 Repeticiones.....	44
4.5.2 Ayudas	45
4.5.3 Actividad física	47
4.5.4 Emociones.....	48

4.6 Conclusiones.....	50
Capítulo 5. Conclusiones	
5.1 Aportaciones	53
5.2 Limitaciones	53
5.3 Trabajo Futuro.....	54
Lista de referencias bibliográficas	56
Apéndice A.....	59
A.1 Estudio contextual	59
A.1.1 Análisis de datos.....	60
A.1.2 Resultado.....	60
Apéndice B.....	62

Lista de figuras

Figura 1 Metodología Simple para el Diseño de Sistemas interactivos	6
Figura 2 XR- Board simulador de una tabla de nieve	10
Figura 3 Interfaz de pixel balance. Imagen verde es la postura a imitar, mientras que la imagen gris es un distractor.....	11
Figura 4 Interfaz de Bubble game, se pueden capturar burbujas con la cabeza, las dos manos y los dos pies	12
Figura 5 Interfaz de Space Game. Se observa los diferentes objetos que se deben de evitar.....	13
Figura 6 Interfaz de Shape Game. Sombra roja representa al niño con autismo, sombra es la silueta a imitar y la sombra azul es la intersección entre la sombra roja y la sombra gris.	14
Figura 7 Visión Imitación de posturas. Pantalla inicial (izquierda) Representación 1. Silueta de la extremidad del cuerpo a trabajar (centro) Representación 2. Analogía de la extremidad del cuerpo a trabajar para imitar (derecha) ..	19
Figura 8 Prototipo de control de objetos. Máquina de tragamonedas (izquierda), diferentes escenarios (centro), pantalla de juego Bubble Witch (derecha).	20
Figura 9 Sesión de diseño 4. Ideas técnicas (izquierdo), ideas de diseño (centro), conciencia corporal (derecha)	22
Figura 10 Interfaz para la selección aleatoria de escenario y ejercicio	25
Figura 11 Mapa del juego (izquierda) Interfaz principal de juego (derecha).....	26
Figura 12 Distintos avatars. Pirámide humana (a), trapecista (b), aro de fuego (c), payasos (d).....	26
Figura 13 Interfaz de felicitación.....	27
Figura 14 Representación gráfica de las transiciones entre las pantallas y modos del JSBM Circo de cuerpo.....	28
Figura 15 Diagrama de emplazamiento	30

Figura 16	Articulaciones detectadas por el Kinect. Recuperado de: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131025.aspx (izquierda). Articulaciones usadas por movimiento (derecha).....	31
Figura 17	Diagrama de estados para instrucciones audibles y ejecución automática del ejercicio	32
Figura 18	Algoritmo de ayudas y recompensas de Circo del cuerpo	33
Figura 19	Instalación de Circo de cuerpo. Instalación de computadora, Kinect y altavoces (izquierda), bosquejo de la instalación (centro) Instalación de proyector (derecha).	38
Figura 20	Instalación terapia tradicional.....	39
Figura 21	Participantes haciendo uso de Circo del cuerpo	41
Figura 22	Formulario para la codificación de eventos	43
Figura 23	Gráfica que muestra el porcentaje de repeticiones que realizadas sin ayuda.....	45
Figura 24	Gráfica que muestra el porcentaje de tiempo que los participantes recibieron ayuda física o verbal.....	46
Figura 25	Gráfica que muestra el porcentaje del tiempo que los participantes recibieron ayuda física.....	46
Figura 26	Grafica que muestra el porcentaje de tiempo que los participantes recibieron ayuda verbal	47
Figura 27	Gráfica que muestra el nivel de actividad física	48
Figura 28	Gráfica que muestra el tiempo en que los niños presentaron algún tipo de emoción.....	49
Figura 29	Gráfica que muestra de forma separa el tiempo que se presentaron emociones positivas y negativas en ambas condiciones.....	50
Figura 30	Diagrama de afinidad	61

Lista de tablas

Tabla 1 Agrupación del trabajo relacionado de los JSBM de acuerdo a los objetivos que apoyan 1	9
Tabla 2. Algunos ejercicios para la terapia de estimulación vestibular.....	18
Tabla 3 Ejercicios asociados a un escenario.....	21
Tabla 4 Ejercicios por niveles.....	24
Tabla 5 Fórmulas que se utilizaron para detectar los movimientos de los ejercicios disponibles en el JSBM Circo del Cuerpo.....	31
Tabla 6 Lista de sonidos. Instrucciones y recompensas de Circo del cuerpo	32
Tabla 7 Datos demográficos de los participantes.....	36
Tabla 8 Organización de los participantes en cada una de las condiciones del estudio.....	37
Tabla 9 Participante por día	40
Tabla 10 Esquema de codificación.....	42
Tabla 11 Resultados de Índice Kappa para IOA	44
Tabla 12 Resumen de los datos que se recolectaron durante el estudio contextual	59

Capítulo 1. Introducción

1.1 Autismo

El autismo es un trastorno neurológico y de desarrollo complejo que se caracteriza por dificultades en la comunicación, comportamiento, y lenguaje (APA, 2015). Comúnmente los individuos con autismo también presentan problemas en la integración sensorial y exhiben movimientos repetitivos y estereotipados. La mayoría de los individuos con autismo también poseen capacidades motoras limitadas (Bartoli, Garzotto, Gelsomini, Oliveto, and Valoriani, 2014). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) una de cada 160 personas en el mundo padece algún grado de autismo (World Health Organization, 2013) y la Secretaría de Salud estimó en el año 2010 que en México 1 de cada 300 niños tiene autismo (Cumi García, Guillen García, and Zúñiga Carrasco, 2015). La severidad del trastorno suele clasificarse en tres niveles de funcionalidad: baja, media y alta.

Las personas con autismo tienen diferentes maneras de procesar e integrar los estímulos sensoriales, en particular tienen limitaciones en el sistema vestibular (Kern et al., 2007).

1.2 Sistema Vestibular

El sistema vestibular se encuentra dentro del oído interno y se compone por: vestíbulo (sacos vestibulares: utrículo y sáculo) y canales semicirculares (Barcelona, 2001). El vestíbulo es sensible a la fuerza de gravedad e informa al cerebro sobre la posición de la cabeza. Los canales semicirculares responden a la aceleración angular y a la aceleración lineal (Carlson, 1996). El aparato vestibular es un órgano sensorial que se estimula por la motricidad (Loos and Hoinkis, 2007) y que controla la postura, el equilibrio, la locomoción, y la coordinación de la visión con los movimientos. El sistema vestibular comúnmente se encuentra en un estado de excitación general permitiendo a los individuos estar conscientes, alertas y responder ante diferentes estímulos sensoriales (Hannaford, 2009). Durante los primeros 15 meses de vida, el sistema vestibular está muy activo. Durante este tiempo, los individuos exploran, empiezan a conocer el ambiente físico a través del movimiento, y desarrollan el sentido de la gravedad (Loos

and Hoinkis, 2007). El sistema vestibular es importante para la orientación mediante la percepción de la aceleración lineal y angular (Pastor, 1998; Carlson, 1996)).

El sentido del equilibrio es un proceso sensorial que integra la cabeza como entrada sensorial y el cuerpo como salida (Kern et al., 2007). De esta forma, el individuo se orienta en el espacio y el cuerpo reacciona a respuestas motoras apropiadas, como mantener la postura y evitar el movimiento atípico de ojos. Hay dos formas de equilibrio: el estático y el dinámico. El equilibrio estático regula la orientación del cuerpo; mientras que el equilibrio dinámico controla el mantenimiento de la posición del cuerpo respecto al movimiento (Loos and Hoinkis, 2007).

De todas las funciones del sistema vestibular, la postura es especialmente importante porque impacta en el desarrollo de las habilidades motrices básicas; permite realizar adaptaciones posturales, apoya la coordinación motriz fina y gruesa, y facilita los procesos de atención permitiendo el aprendizaje. En particular, las habilidades motoras gruesas permiten al individuo desarrollar funciones como caminar, saltar, dar patadas, sentarse derecho, levantar y lanzar objetos, y controlar la cabeza y la estabilidad del tronco para mantener el equilibrio.

1.2.1 Sistema vestibular y el autismo

Los niños con autismo comúnmente exhiben posturas anormales, como espalda arqueada o hiperextensión del cuello (Kohen-Raz, Volkman, and Cohen, 1992). Además, tienen problemas de equilibrio, realizan movimientos extraños con los ojos, caminan en círculos, y encuentran difícil el subir y bajar escaleras o caminar sobre terrenos irregulares (Kern et al., 2007).

Esta diferencia en el procesamiento de estímulos vestibulares puede explicar ciertos problemas del autismo en especial aquellos problemas relacionados con la integración sensorial. Pero también permite que se tenga un mejor entendimiento de las necesidades que tienen las personas con autismo y de esta forma influenciar los protocolos de tratamiento (Kern et al., 2007).

1.2.2 Terapias de estimulación vestibular

En cuanto a la rehabilitación del sistema vestibular, se han desarrollado terapias físicas vestibulares que tienen la meta de crear situaciones en donde los pacientes compensan o corrigen las alteraciones en el equilibrio y la postura (Lafuente, n.d.). Estas situaciones se crean mediante la repetición de ejercicios que estimulan el aparato vestibular y permiten aprender a modular e interpretar con precisión los estímulos sensoriales que el paciente recibe (Ayres and Tickle, 1980; Whitney et al., 2002).

Los ejercicios que se imparten durante una terapia vestibular incluyen movimientos simples y complejos, que son principalmente movimientos no locomotores con cambio en la base de sustentación para agregar retos al equilibrio del paciente. Por ejemplo, se le pide al paciente mantener un brazo inmóvil mientras salta en un pie (Bartoli et al., 2014). Los terapeutas incrementan la dificultad de la terapia al aumentar la velocidad con que el paciente tiene que realizar los ejercicios (Whitney et al., 2002).

1.3 Juegos serios basados en movimiento

Los juegos serios basados en movimiento (JSBM) son: “juegos que requieren que los usuarios realicen movimientos físicos combinando diversión y el ejercicio”. Los JSBM permiten a los jugadores mantener una activación física durante el juego; en contraste, con los juegos típicos que incluyen actividades altamente sedentarias (Sheehan and Katz, 2013). Los doctores, fisioterapeutas y centros de salud han incorporado los JSBM a las terapias que imparten (Albiol-Pérez, Gil-Gómez, Alcañiz, Llorens, and Colomer, 2012), ya que ofrecen beneficios clínicos importantes en apoyo a niños con problemas neurodegenerativos (Hernandez, Ye, Graham, Fehlings, and Switzer, 2013). El uso de JSBM mejora las condiciones de los pacientes durante el proceso de rehabilitación (Whitney et al., 2002), y además permite a los terapeutas capturar información clínica relevante y detallada para monitorear el avance del paciente.

Las ventajas que presentan los JSBM es que permiten al niño con autismo realizar la rehabilitación en casa reduciendo los viajes al hospital (Garrido Navarro, R. Penichet, Lozano, and Marset, 2013). Además, son poco intrusivos permitiendo a los niños con

autismo moverse libremente y de manera natural sin el uso de sensores o dispositivos sujetos a sus cuerpos (Rahman et al., 2014).

En este trabajo se pretende explorar las características que debe de tener un JSBM para apoyar las terapias vestibulares de niños con autismo.

1.4 Planteamiento del problema

Dado que los ejercicios no locomotores que se imparten durante la terapia tradicional de estimulación vestibular son repetitivos, los niños con autismo encuentran las terapias aburridas, por lo que comúnmente pierden la atención y no terminan las repeticiones de los ejercicios. Como consecuencia no se logra generar los estímulos sensoriales necesarios para el sistema vestibular reduciendo la posibilidad de una mejora en su postura y equilibrio. Además, al no terminar la repeticiones, se limita la activación física de los niños por lo tanto no se desarrollan las habilidades motoras que permiten mejorar el equilibrio y postura.

En esta tesis se pretende explorar como un JSBM puede apoyar la práctica de ejercicios no locomotores que se imparten durante una terapia tradicional de estimulación vestibular y evaluar si este juego permite mejorar la activación física de los niños durante la terapia.

1.5 Preguntas de investigación

Esta tesis se va a guiar en base a las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué movimientos corporales que los niños con autismo practican durante las terapias vestibulares pueden apoyarse por JSBM?
- ¿Cuál es la factibilidad de utilizar los JSBM durante las terapias vestibulares de niños con autismo?
- ¿Cuál es la experiencia de uso y utilidad de los JSBM para apoyar las terapias vestibulares de niños con autismo?

1.6 Objetivos general y específicos

Tomando como base nuestra experiencia previa (Zalapa Cardiel, 2014) y las oportunidades que los JSBM ofrecen para apoyar la problemática que se presentó, en este proyecto nos enfocaremos en el siguiente objetivo general:

Diseñar e implementar un JSBM que apoye a las terapias de estimulación vestibular, y evaluar el impacto que tiene en apoyar a los niños con autismo en la práctica de ejercicios no locomotores en comparación a las terapias tradicionales.

Como objetivos específicos se propone:

[OE1] Identificar escenarios de diseño que muestren como las terapias vestibulares pueden apoyarse con JSBM.

[OE2] Identificar las características de diseño que debe tener un JSBM para apoyar las terapias de estimulación vestibular.

[OE3] Diseñar e implementar un JSBM que permita a los niños con autismo practicar movimientos no-locomotores que los niños realicen durante las terapias vestibulares.

[OE4] Identificar los beneficios en términos de práctica de ejercicios no locomotores y activación física que otorga el JSBM en un escenario real en comparación a los métodos tradicionales.

1.7 Metodología

Para el desarrollo del JSBM se siguió el modelo simple de diseño de interacción (Preece, Rogers & Sharp, 2002)) (Ver Figura 1), siguiendo una filosofía de diseño centrado en el usuario.

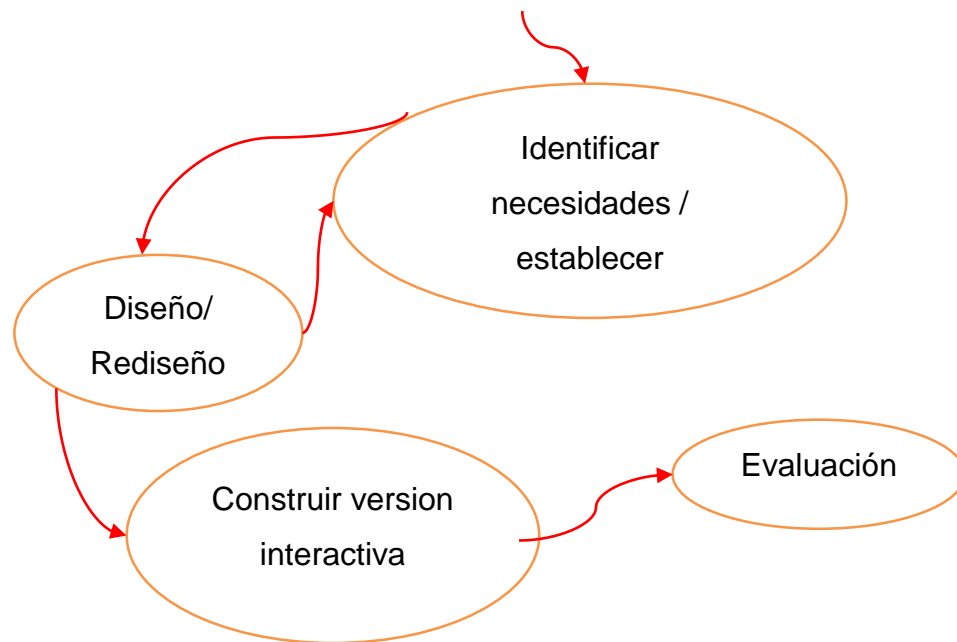


Figura 1 Metodología Simple para el Diseño de Sistemas interactivos

Las etapas de esta metodología son:

1.- Identificar necesidades/establecer requerimientos: Primeramente, se realiza una revisión de la literatura para entender el estado del arte del problema. El estudio de la literatura se complementa con un estudio contextual para entender en el contexto final de uso como se pueden diseñar JSBM para apoyar a los niños con autismo. Se usan técnicas de investigación cualitativa (e.g., diagramas de afinidad) y de diseño centrado en el usuario que consisten en obtener la información relevante de entrevistas previas y análisis de videos. Este estudio contextual permite entender las prácticas actuales durante las terapias de estimulación vestibular y encontrar escenarios realistas para el uso de JSBM.

2.- Diseño/Rediseño: Tomando como base los datos obtenidos durante el estudio contextual, se realizan varias sesiones de diseño participativo para diseñar escenarios y prototipos (e.g., prototipos en papel, maquetas) que permitan materializar las ideas de diseño en bosquejos, y establecer los requerimientos del sistema. En las sesiones de diseño participativo y la prueba de los prototipos en los escenarios reales se espera obtener la retroalimentación necesaria (i.e., implicaciones de diseño) que sirva para el diseño de la versión final del JSBM.

3.- Construcción de versión interactiva. Enseguida, se realiza la especificación del diseño del prototipo a evaluarse. Y se implementa el prototipo siguiendo las implicaciones de diseño, observaciones y sugerencias que se obtuvieron en la fase anterior.

4.- Evaluación. Finalmente, se realiza un estudio en sitio del JSBM para poder analizar el impacto de la tecnología en un contexto real y la utilidad del sistema para apoyar a los niños con autismo a practicar movimientos no locomotores que promuevan el adecuado equilibrio y postura.

1.8 Organización de la tesis

Capítulo II. Se describe el estado del arte de los JSBM que buscan apoyar cuestiones del sistema vestibular como lo son, el equilibrio y la postura.

Capítulo III. Se describen los métodos utilizados para diseñar el JSBM Circo del cuerpo. También se explica la implementación de este diseño.

Capítulo IV. Se explica el diseño del estudio de usuario de Circo del cuerpo, las actividades realizadas durante la evaluación, y se presentan los resultados obtenidos.

Capítulo V. Se presentan las conclusiones, aportaciones y limitaciones de este trabajo; así como, el trabajo a futuro para mejorar Circo del cuerpo.

Capítulo 2. Trabajo relacionado

En este capítulo se presentan los JSBM que se han propuesto en la literatura para mejorar la actividad física de los individuos y apoyar el sistema vestibular –se pone especial énfasis en aquellos JSBM que mejoren las habilidades motrices de los individuos como el equilibrio y la postura (Sheehan and Katz, 2013).

Para la revisión bibliográfica se hizo una búsqueda en las bibliotecas de ACM digital library¹, IEEE Xplore Digital Library² y Google Académico³. Para esta búsqueda se utilizaron los siguientes términos en inglés: “estabilidad de la postura”, “equilibrio”, “control de postura”, “juegos serios basados en movimiento”, “juegos serios”, “superficies interactivas”, y “terapias vestibulares”. La búsqueda se realizó de la siguiente manera: (“estabilidad de la postura” O “equilibrio” O “control de postura”) Y (“juegos serios basados en movimiento” O “juegos serios” O “superficies interactivas”) Y “terapias vestibulares”. En esta revisión, se incluyeron aquéllos artículos que describieran el diseño e implementación de un JSBM. La mayoría de estos artículos presenta un estudio de usuario investigando el uso, y el potencial impacto de los sistemas desarrollados.

Los trabajos que se seleccionaron de la literatura se clasificaron de acuerdo a dos aspectos (ver Tabla 1):

1. El problema que abordan como el equilibrio, postura y sistema vestibular; y
2. La forma de interacción con el usuario, mediados por un dispositivo como el Wii mote, o activados por gestos o movimientos del cuerpo.

¹ Acm digital library <http://dl.acm.org/>

² Springer Link <http://link.springer.com/>

³ Google Académico <https://scholar.google.com.mx/>

Tabla 1 Agrupación del trabajo relacionado de los JSBM de acuerdo a los objetivos que apoyan 1

	Mediados por dispositivos	Movimientos corporales
<i>Mejora al equilibrio</i>	XR-Board , iDance, Wii Fit(Sheehan and Katz, 2013) Liberi (Hernandez et al., 2013) SilverBalance (Gerling, Schild, and Masuch, 2010) Dynamic balance y Golf balance game (Billis et al., 2010)	Lightspace(Sheehan and Katz, 2013) Balance disorder rehabilitation system(Garrido Navarro et al., 2013) Kinect Sports, Rabbids Alive & Kicking6 (Bartoli, Corradi, Garzotto, and Valoriani, 2013) Pixel Balance (Bartoli et al., 2014)
<i>Mejora en la Postura</i>	SilverBalance(Hernandez et al., 2013)	Harmonix AntiGrav7 (McConville and Milosevic, 2014) Shape Game, Bubble game, Space Game8 (Bartoli et al., 2014) Eyes-Free Yoga
<i>Apoyo a la terapias de, sistema vestibular integral</i>	Vestibular Virtual Rehabilitation (Albiol-Pérez et al., 2012)	

2.1 Equilibrio

Algunos JSBM que abordan el problema del equilibrio requieren de un dispositivo especial para su funcionamiento (e.g, Liberi, XR-Board⁴, iDance⁵, SilverBalance, Dynamic balance game, Wii fit⁶). Por ejemplo, iDance y DanceDanceRevolution⁷, son plataformas comerciales de baile en las cuales se sigue un patrón visual con los pies al

⁴ Creada por iTech Fitness, Inc.

⁵ <http://www.positivegaming.com/positivegaming/>

⁶ <http://wiifit.com/>

⁷ <https://www.konami.com/ddr/>

ritmo de la música. Similarmente, XR-Board (ver Figura 2) es un simulador de una tabla de nieve que simula hacer un recorrido a través de una serie de obstáculos en una pista virtual de esquí. Estos juegos se evaluaron con 21 niños de cuarto grado, 10 hombres y 11 mujeres. La evaluación duró 6 semanas, donde los individuos utilizaron los juegos diariamente por 45 minutos. Los resultados muestran que el equilibrio se puede mejorar mediante el uso estratégico e intencional del JSBM (Sheehan and Katz, 2013). Sin embargo, ninguno de estos juegos se ha probado con niños con autismo por lo cual no está claro si este tipo de tecnología puede funcionar para esta población con problemas motores más severos y con problemas cognitivos que pueden limitar el entendimiento de los elementos digitales disponibles en el JSBM.



Figura 2 XR- Board simulador de una tabla de nieve

En esa dirección se ha propuesto el uso de JSBM comerciales para dar apoyo que apoyan a las habilidades motrices de niños con autismo. Por ejemplo, el conjunto de juegos de “Kinect Sports, Rabbids Alive & Kicking” promueven el equilibrio de niños con autismo mediante la práctica de movimientos coordinados de todo el cuerpo (Bartoli et al., 2013). También se han diseñado juegos que apoyan el equilibrio con el fin de mejorar la forma de caminar (Balance Disorder Rehabilitation) al seguir un patrón de luces en la pared (LightSpace) o mediante la imitación de siluetas (Pixel Balance).

Pixel Balance proyecta dos siluetas mostrando una postura correcta y otra incorrecta entre las cuáles el niño con autismo tiene que elegir la postura que le corresponde imitar (Figura 3). La silueta incorrecta se presenta en color oscuro y la correcta en color claro (ver Figura 3). Pixel Balance consta de 5 niveles, y la actividad de cada nivel se determina

de dos formas: cuando el niño logra cubrir un porcentaje de la silueta o cuando se agota un tiempo determinado (30 segundos). Como recompensa el niño obtiene un video de una caricatura con una duración aproximada de 3 segundos. Pixel Balance se probó con 5 niños con autismo de baja y media funcionalidad entre 6 y 8 años. Los niños utilizaron el sistema por 6 sesiones con una duración de 10 minutos por cada sesión y en un periodo de 3 meses. Para la evolución de este juego se tomó en cuenta el tiempo en que el niño mantenía la posición, porcentaje cubierto de la silueta y el tiempo que tardo en realizar la postura. Los resultados indican que este juego promueve el desarrollo de habilidades de imitación y facilita a los niños con autismo mantener una postura, especialmente mientras avanzan en niveles (Garzotto, Gelsomini, Oliveto, and Valoriani, 2014).

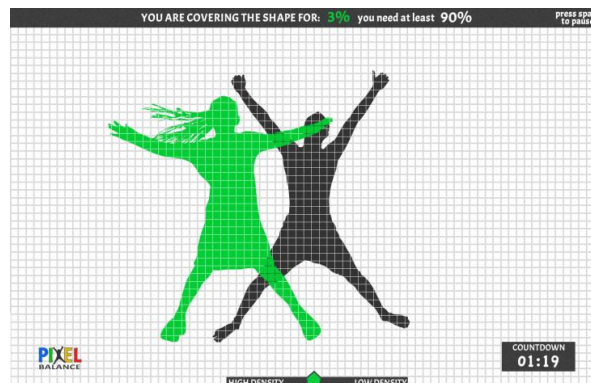


Figura 3 Interfaz de pixel balance. Imagen verde es la postura a imitar, mientras que la imagen gris es un distractor.

Estos sistemas requieren de un dispositivo adicional, con el cuál el niño con autismo no se puede mover libremente ni de manera natural, ya que debe de estar atento o pendiente de este dispositivo (Rahman et al., 2014). Otro aspecto es que no cuentan con la serie de ejercicios no locomotores que se imparten durante una terapia tradicional de estimulación vestibular.

2.2 Postura

También se han desarrollado JSBM que se enfocan a mejorar la postura al promover la práctica de posiciones de yoga (Rector, Bennett, and Kientz, 2013) o de movimientos de

cabeza (McConville and Milosevic, 2014) y de diferentes partes del cuerpo (Bartoli et al., 2014). A continuación nos enfocaremos en aquellos JSBM que implican mover varias partes del cuerpo, como lo son Bubble Game, Space Game y Shape Game.

Bubble game, Space Game y Shape Game, son tres JSBM que se utilizan en conjunto para apoyar las habilidades motoras, cognitivas, y sociales de los niños con autismo. En cuestión de las habilidades motoras estos juegos buscan mejorar la coordinación, la estabilidad de una postura, y mejorar el tiempo de reacción a estímulos externos. Por ejemplo, Bubble Game, se enfoca en apoyar al niño con autismo a mejorar la rapidez, precisión de movimientos y coordinación visual-movimiento de los elementos en la pantalla. BubbleGame representa al niño con autismo con un avatar articulado, en donde las partes del cuerpo se representan mediante formas simples (puntos, líneas, círculos, etc..) y cada parte sigue los movimientos del niño con autismo. El objetivo del juego es atrapar en un tiempo dado el mayor número de elementos que aparecen en pantalla por un periodo limitado de tiempo (alrededor de 10 segundos, Ver Figura 4). Este juego le permite al terapeuta modificar la parte o las partes del cuerpo que el niño tiene que practicar incluyendo, la cabeza, la mano derecha o izquierda, pie derecho o izquierdo, o una combinación de estos. El terapeuta también puede especificar: el tiempo de juego, el tamaño, y el número y posición de los elementos que aparecerán en la pantalla.



Figura 4 Interfaz de Bubble game, se pueden capturar burbujas con la cabeza, las dos manos y los dos pies

Space Game busca incrementar la velocidad, precisión y coordinación de movimientos de los niños con autismo; así como, su atención sostenida y selectiva. El niño con autismo se representa por un “avatar de puntos”, en donde el cuerpo completo o una parte del

cuerpo se representa como una figura única que sigue los movimientos horizontales del niño con autismo. El objetivo es evitar que los elementos que caen en la pantalla golpeen al avatar para mantener el mayor número de vidas. Los objetos que caen tienen diferentes tamaños y velocidades de caída. En este juego el terapeuta puede modificar el tiempo de juego, la parte del cuerpo que el niño con autismo va a trabajar (es decir, cuerpo completo, mano derecha o mano izquierda), y el número, tamaño y duración de la caída de los objetos (ver Figura 5). En Bubble Game y Space Game el niño con autismo controla una representación de su cuerpo, pero para que tenga mayor conciencia corporal y espacial se diseñó Shape Game (Bartoli et al., 2014)..

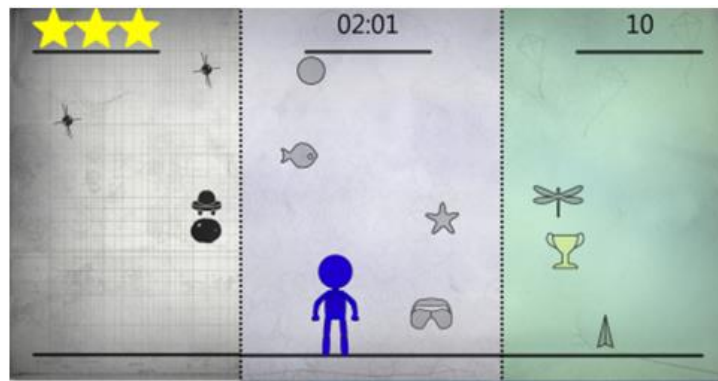


Figura 5 Interfaz de Space Game. Se observa los diferentes objetos que se deben de evitar

Shape Game (Bartoli et al., 2014) se enfoca en incrementar la correlación entre el cuerpo del niño con autismo y una imagen, apoyar habilidades de abstracción, imitación y autocontrol de los niños con autismo. El objetivo de este juego es que el niño con autismo imite con un grado de precisión una posición objetivo dada y representada con una silueta coloreada en color gris. La silueta de la posición actual del niño con autismo se muestra en color rojo. El objetivo del niño es maximizar la intersección entre la silueta roja (posición actual) y la silueta gris (posición objetivo). El porcentaje que se ha cubierto de la sombra se encuentra en la parte izquierda de la interfaz y se colorea en azul (ver Figura 6).

Para la evaluación de estos tres juegos participaron 10 niños de media y baja funcionalidad clínicamente homogéneos entre los 6 y 8 años de edad. Nueve de estos

niños eran hombres y uno mujer. Se separó a los niños con autismo en dos grupos, uno de control y uno de tratamiento. El grupo de tratamiento utilizó los tres juegos a lo largo de 3 meses, mientras que el grupo de control mantuvo sus actividades diarias de forma normal. Las sesiones se realizaron semanalmente y el tiempo para cada juego era de 10 minutos. El total de la sesión fue de 30 minutos. Los resultados mostraron que los niños en el grupo de tratamiento aumentaron su coordinación motriz y la percepción visual, en comparación al grupo de control. También se encontró un aumento en la atención selectiva y sostenida.

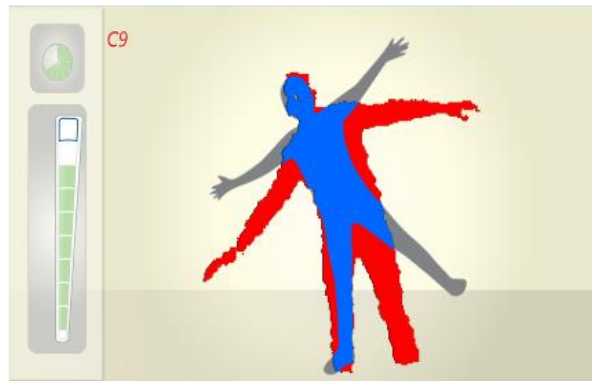


Figura 6 Interfaz de Shape Game. Sombra roja representa al niño con autismo, sombra es la silueta a imitar y la sombra azul es la intersección entre la sombra roja y la sombra gris.

En estos juegos no se sigue una serie de ejercicios que se practiquen en una terapia tradicional, también la carga cognitiva que se le da al niño es relativamente alta, ya que las figuras abstractas son difíciles de interpretar por los niños y mucho más difícil establecer la relación entre los elementos.

2.3 Sistema vestibular integral

En cuanto a los JSBM que se enfoquen a apoyar el sistema vestibular, se encontró a Vestibular Virtual Rehabilitation (V2R).

V2R (ver Figura 6) es un JSBM que utiliza el Nintendo Wii Balance Board⁸ (WBB) para imitar algunas actividades que se presentan en la terapia tradicional, en especial las actividades relacionadas con caminar. Las actividades que se realizan en V2R son: pararse en la WBB de forma normal y poniendo un pie delante de otro y sentarse en la WBB. Estas actividades se realizan tanto con los ojos abiertos y los ojos cerrados. V2R cuenta con un sistema de calibración que corresponde al nivel de progreso o necesidades de paciente. V2R se probó con personas entre los 18 y 80 años, que tuvieran la capacidad de caminar 10 metros sin ayuda. Se realizaron 20 sesiones por paciente, cada sesión tenía una duración de 1 hora, 30 minutos con V2R y 30 minutos de terapia tradicional. Se encontró que con VR2 se podría acelerar el proceso de recuperación del paciente y que con el uso de este tipo de sistemas los pacientes pueden ser más independientes (Albiol-Pérez et al., 2012).

Este juego a pesar de que permite la práctica de ejercicios impartidos en una terapia tradicional de estimulación vestibular, se enfoca en aquellos ejercicios que apoyan a la marcha. Otro aspecto es que hace uso del WBB que tiene riesgos asociados a potenciales caídas durante los ejercicios (Gerling et al., 2010).

2.4 Resumen y conclusiones

Los trabajos analizados ofrecen evidencia de que los JSBM pueden tener un impacto positivo en las terapias vestibulares(Albiol-Pérez et al., 2012) y cuestiones de equilibrio y postura. Algunos juegos se dirigen por objetivos apoyando a una sola tarea como caminar (e.g. Balance disorder rehabilitation system (Albiol-Pérez et al., 2012) o imitar una postura (Eyes-Free Yoga (Rector et al., 2013), Shape Game, Bubble game (Bartoli et al., 2014), Pixel(Garzotto et al., 2014)); mientras otros apoyan a múltiples tareas como la práctica de diferentes movimientos del cuerpo (Kinect Sports, Rabbids Alive & Kicking (Bartoli et al., 2013)], Lightspace).

⁸ <http://wiifit.com/es/>

Esta revisión indica que los JSBM son de bajo costo (Garzotto et al., 2014) y han tenido buenos resultados en cuestiones terapéuticas. Los beneficios terapéuticos incluyen el mejorar las habilidades motoras (*e.g.*, equilibrio, postura, coordinación), cognitivas, y sociales de los niños con autismo (Bartoli et al., 2014) en diferentes contextos (*e.g.*, centros terapéuticos, escuelas).

Capítulo 3. Diseño e implementación del JSBM Circo del cuerpo

En este capítulo se muestra el proceso de diseño e implementación del JSBM que llamamos Circo del cuerpo.

Para el diseño de Circo de cuerpo se tomaron en cuenta las consideraciones de diseño resultantes del estudio contextual y se realizaron sesiones de diseño, algunas de ellas participativas. En una sesión de diseño participativa se cuenta con la presencia de usuarios finales, como los terapeutas en rehabilitación física y psicólogos. (Jennifer Preece, Yvonne Rogers and Sharp, 2002).

Se utilizaron técnicas de diseño contextual rápido (RCD, por sus siglas en inglés, Rapid Contextual Design; Wendell, Shelley, & Karen, 2004), para iterar en el proceso de diseño y generar diferentes prototipos de baja-fidelidad y escenarios de uso que guiaron el diseño de Circo del cuerpo.

En este capítulo, se describen las sesiones de diseño y el juego que resultó de este proceso. También se presentan detalles de su implementación.

3.1 Sesiones de diseño

Se realizaron cinco sesiones de diseño, tres de ellas participativas, durante estas sesiones participaron un terapeuta en rehabilitación física, un experto en superficies interactivas, una psicóloga, y expertos en IHC y UBICOMP. A continuación se describe cada una de estas sesiones.

3.1.1 Sesión 1: Definición de ejercicios

En esta sesión participaron un terapeuta de rehabilitación física y un estudiante en IHC. El objetivo de esta sesión fue el de conocer los ejercicios de la terapia de rehabilitación

vestibular, y conocer los artefactos e instrumentos que los terapeutas utilizan durante la terapia.

En esta sesión el terapeuta en rehabilitación física selecciono un conjunto de ejercicios no-locomotores (ver Tabla 2), que ayudan a mejorar el equilibrio y la postura. También se concluyó que se debía variar el orden en que se realizan los ejercicios, sin seguir una secuencia fija, para evitar el efecto de acomodación del cuerpo⁹. Además se acordó que los ejercicios se debían de realizar de forma bilateral, promoviendo la práctica de ejercicios con la parte derecha e izquierda del cuerpo.

Tabla 2. Algunos ejercicios para la terapia de estimulación vestibular

Actividad	Artefactos	Ejercicio físico
<i>Mantener equilibrio en una base inestable</i>	Pelota yoga	Movimiento de cadera. Acostarse.
	Balancín	Mover el peso de cuerpo para mantener el equilibrio Pararse en un pie ojos abiertos y ojos cerrados. Pararse con un pie delante de otro con los ojos abiertos y ojos cerrados.
	Columpio Soga/cuerda	Movimiento de abdomen para balancearse en el objeto
<i>Ejercicios de repetición</i>	Pelota	Lanzar la pelota por arriba de la cabeza. Lanzar la pelota por debajo o a la altura de las rodillas.
	Sin objeto	Movimiento de cabeza de un lado a otro. Movimiento de los ojos de un lado a otro Movimiento de cabeza y ojos en direcciones contrarias. Mover el cuerpo de un lado a otro manteniendo la vista en un objetivo. Pararse de puntas. Pararse de puntas y después en el talón. Sentadillas
	Silla	Pararse y sentarse primero con los ojos abiertos, después con los ojos cerrados

⁹ **Efecto de acomodación:** que el niño con autismo se acostumbre a realizar los ejercicios en el mismo orden, dejando así de dar el estímulo correcto al sistema vestibular.

3.1.2 Sesión 2: Alternativas de prototipos de baja-fidelidad

En esta sesión participaron un experto en IHC y un estudiante de IHC. El objetivo de esta sesión fue el diseñar dos prototipos de baja fidelidad considerando los ejercicios que se obtuvieron en la sesión anterior, y los resultados del estudio contextual (ver Apéndice A). El primer prototipo tiene como objetivo promover la imitación; mientras, que el segundo prototipo apoya en el control de objetos.

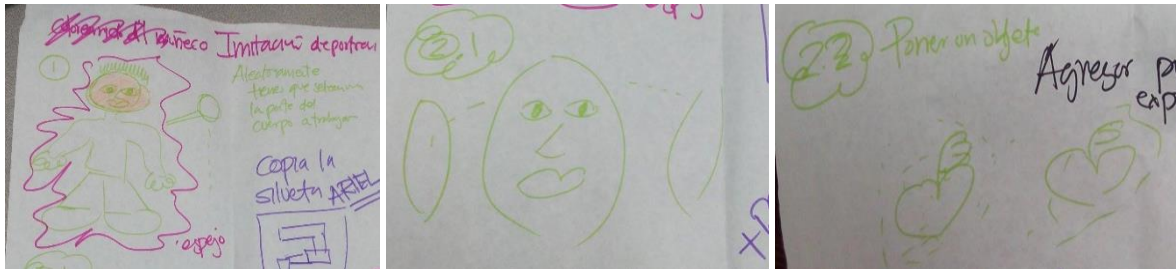


Figura 7 Visión Imitación de posturas. Pantalla inicial (izquierda) Representación 1. Silueta de la extremidad del cuerpo a trabajar (centro) Representación 2. Analogía de la extremidad del cuerpo a trabajar para imitar (derecha)

Prototipo #1 para imitación: el objetivo de este prototipo es que el niño con autismo imite un ejercicio. El ejercicio se le presenta en forma de una animación. Inicialmente se le muestra al niño con autismo una silueta del cuerpo humano, como un espejo, y al lado al lado derecho de esta silueta se encuentra una palanca que se activa cuando la persona hace el gesto de jalar (Figura 7 izquierda). Cada vez que se jale la palanca se selecciona de forma aleatoria el ejercicio que el niño con autismo debe practicar. Una vez seleccionado el ejercicio, en la silueta se colorean las extremidades que se van a trabajar. Después se despliega un tutorial que muestra el ejercicio que se va a practicar. Finalmente se despliega una nueva pantalla la cual tiene una representación del ejercicio que debe de realizar el niño con autismo. La representación del ejercicio se da de dos formas: usando una silueta de la extremidad a trabajar (Figura 7 centro) o con una analogía; por ejemplo, representar la cabeza con una manzana (Figura 7 derecha).

Prototipo #2 para el control de objetos: el objetivo es realizar movimientos para controlar las animaciones que se muestran en pantalla. En este prototipo se le presenta al niño con autismo una representación de una maquina tragamonedas (Figura 8, izquierda). Cuando el usuario “jale la palanca” el sistema seleccionará de manera

aleatoria el escenario a visitar y el ejercicio que el usuario tiene que practicar. Posteriormente, se le presenta al niño con autismo un mini-tutorial del objeto que debe de controlar. Los objetos a controlar se presentan en dos escenarios potenciales (Figura 8 centro):

Controlar objetos. En este escenario el niño con autismo deberá evitar que caiga el menor número de huevos de una cesta que un moniciclista lleva en la cabeza. Los huevos que se caen al suelo empezarán a crear una torre de huevos que provocarán el término del juego cuando estos lleguen al techo como sucede en el juego de "Bubble Witch 2 saga"¹⁰(Figura 8 derecha).

Ejercicios de malabarismo en el circo: El segundo escenario cuenta la historia de un circo donde el usuario tiene que visitar varios actos de circo y resolver retos de malabarismo para ir obteniendo aplausos y estrellas. Los escenarios que se presentan son: malabarismo, monociclo, cuerda floja, saltar aro de fuego, trampolín.

Este conjunto de escenarios podrían combinarse o mantenerse de forma separada.

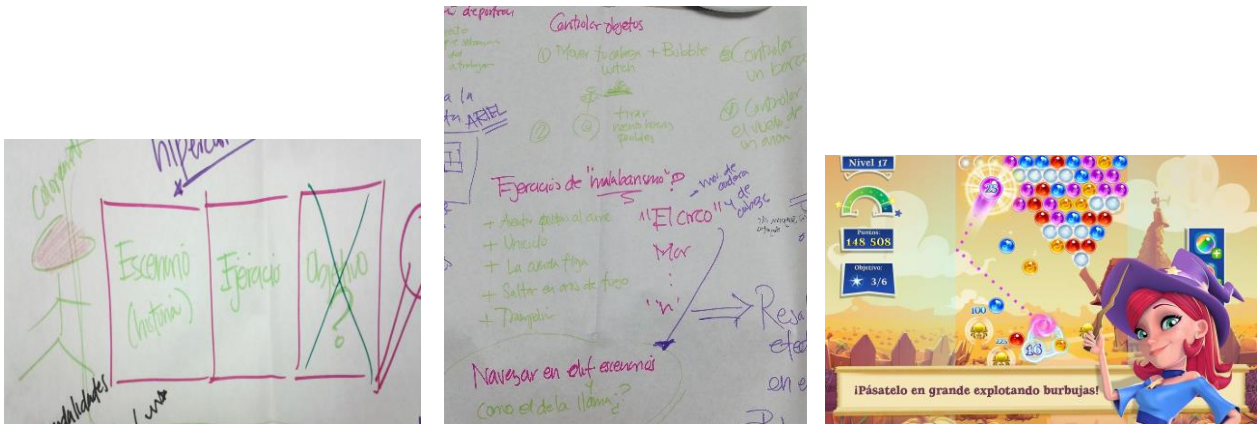


Figura 8 Prototipo de control de objetos. Máquina de tragamonedas (izquierda), diferentes escenarios (centro), pantalla de juego Bubble Witch (derecha).

¹⁰**Bubble With 2 saga:** cada nivel tiene un objetivo que se logra al combinar tres o más burbujas del mismo color para hacerlas explotar. Recuperado de: <https://king.com/es/#!/play/bubblewitch2>

3.1.3 Sesión 3: Especificación de ejercicios

Para la tercera sesión de diseño se volvió a visitar al terapeuta en rehabilitación física con el objetivo de mostrarle los prototipos y ver las analogías de los escenarios con los ejercicios que se imparten en la terapia. De esta reunión se obtuvo una serie de ejercicios para integrarse a los prototipos planteados. También se agregaron nuevos escenarios como la pirámide humana para la historia del circo (ver Tabla 3). Para los escenarios de *variedad de objetos*, el terapeuta asignó los ejercicios que se realizan sobre el balancín; mientras que para los escenarios de *circo*, el terapeuta asignó los ejercicios no-locomotores que se practican por repetición.

Tabla 3 Ejercicios asociados a un escenario

Escenario	Ejercicios
<i>Aro de fuego (No locomotor – Saltar)</i>	Saltar con los dos pies separados. Saltar con pie izquierdo. Saltar con pie derecho. Alternar salto de un pie izquierdo-derecho. Saltar con los pies juntos.
<i>Trapequista (cabeza)</i>	Mover la cabeza de izquierda-derecha Mover la cabeza de derecha-izquierda Mover la cabeza de arriba – abajo Mover la cabeza de abajo – arriba Mover la cabeza en círculos
<i>Pirámide humana (Modificar base de sustentación)</i>	Pararse de puntas Levantar pie derecho Levantar pie izquierdo Levantar pie derecho, mano izquierda Levantar pie izquierdo, mano derecha
<i>Monociclo (descarga de peso)</i>	Mantener el equilibrio sobre el balancín

3.1.4 Sesión 4: Modos de interacción

En la cuarta sesión de diseño se contó con un experto en superficies interactivas, un estudiante de IHC y un experto en IHC. En esta sesión se discutieron aspectos técnicos incluyendo técnicas para inmersión y programación del JSBM en 3D y la posibilidad de

integrar retos tanto en el piso como en la pared. También se discutieron aspectos técnicos en relación a métodos y tecnologías para la detección de movimientos como el uso de acelerómetros, lenguajes, plataformas para el desarrollo del juego y rastreo de movimientos (Figura 9 izquierda). Se dieron otras ideas de actividades que se podrían realizar: copiar siluetas o la animación de un payaso que lance pasteles y el usuario representado en primera persona que los esquive (Figura 9 centro).

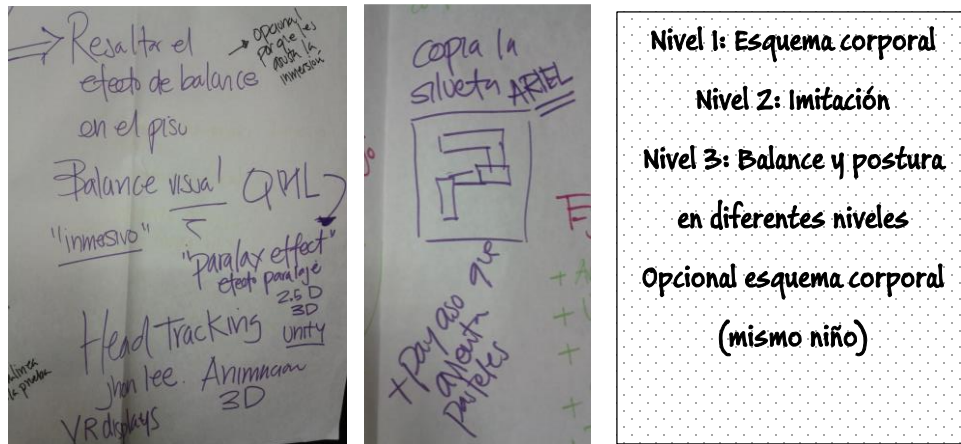


Figura 9 Sesión de diseño 4. Ideas técnicas (izquierdo), ideas de diseño (centro), conciencia corporal (derecha)

3.1.5 Sesión 5: Selección de prototipo final y conciencia corporal

En la quinta sesión participaron dos expertos en IHC/UBICOMP, una psicóloga que trabaja en Pasitos y un estudiante de IHC. En esta sesión se realizó una votación para elegir un prototipo de entre las alternativas propuestas. Cada participante describió las ventajas y desventajas de cada uno de los prototipos propuestos como alternativas, y después de este ejercicio de reflexión y tomando en cuenta los argumentos del equipo de desarrollo cada participante de manera individual seleccionó por su preferido. Todos los participantes seleccionaron el prototipo del circo como el diseño más pertinente para apoyar las necesidades de niños con autismo. De esta sesión se vio la importancia de contemplar la conciencia corporal en el diseño (Figura 9 derecha), y se agregaron actividades para fomentar la práctica de ejercicios que promovieran el esquema corporal.

3.1.6 Sesión 6: niveles por escenario

Durante esta sesión de diseño se volvió a visitar al terapeuta en rehabilitación física esta vez para que corroborara los ejercicios. En particular aquellos ejercicios que se agregaron para fomentar la conciencia corporal. Además, se revisó el orden de los niveles para que estos se presentarán por dificultad y no por cambio de actividad.

3.2 Diseño del sistema

Como resultado del estudio contextual y de las sesiones de diseño se obtuvo el diseño de Circo del cuerpo. El Circo del Cuerpo es un JSBM que permite a los niños con autismo practicar ejercicios no-locomotores imitando las actividades de las terapias de estimulación vestibular.

La historia del juego es ayudarlo a un niño a visitar todos los actos del circo para obtener estrellas y aplausos. La visita a los escenarios se da de forma aleatoria sin pasar por un escenario dos veces. A excepción del escenario de consciencia corporal que el usuario tiene que completar varias veces durante el juego.

3.2.1 Dinámica de juego / Movimientos motrices

Para cada escenario se tiene un conjunto de ejercicios que se acomodaron por niveles, tomando en cuenta la dificultad que el realizar cada ejercicio representa para el niño (ver Tabla 4). Por ejemplo, levantar pie derecho no implica más trabajo que levantar el pie derecho, sin embargo pararse de puntitas implica un reto en cuestión de fuerza y equilibrio.

Tabla 4 Ejercicios por niveles

Escenario	Nivel
<i>Pirámide humana (cambio de base de sustentación)</i>	0 Levantar pie derecho, mano izquierda 0 Levantar pie izquierdo, mano derecha 1 Pararse de puntas
	0 Mover la cabeza izquierda – derecha 0 Mover la cabeza derecha – izquierda 1 Mover la cabeza de arriba - abajo 1 Mover la cabeza de abajo-arriba 2 Mover la cabeza en círculos
<i>Trapecista (No locomotor – cabeza)</i>	0 Saltar con los dos pies separados 1 Saltar con pie derecho 1 Saltar con pie izquierdo 2 Saltar con pies juntos 3 Saltar alternando pie izquierdo-derecho
	- Mover brazo derecho - Mover brazo izquierdo - Mover pie derecho - Mover mano izquierda
<i>Aro de fuego (No locomotor – Saltar)</i>	
<i>Payasos (Esquema corporal)</i>	

Para evitar el efecto de acomodación y para que el orden que se realicen los ejercicios no sea siempre el mismo, la elección de ejercicios se realiza de manera aleatoria (ver Figura 10). El usuario deberá de “jalar una palanca” para que de manera aleatoria el sistema seleccione el escenario (izquierda), y el ejercicio a practicar (derecha). En esta pantalla se tiene un mensaje en la parte superior para proporcionarle retroalimentación al usuario, y en la parte inferior se tiene el tiempo restante (en forma descendente) para seleccionar la actividad a realizar.

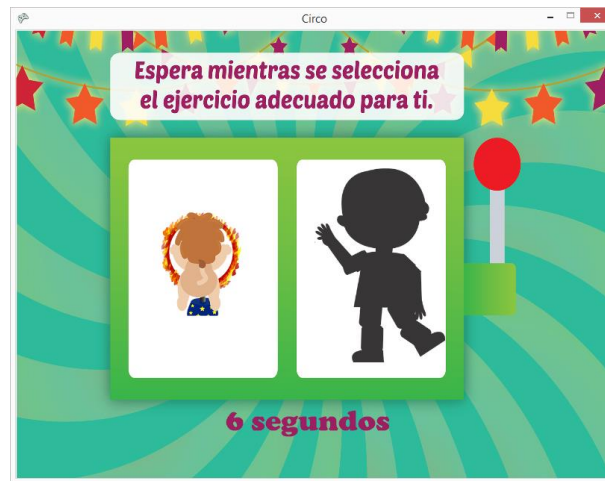


Figura 10 Interfaz para la selección aleatoria de escenario y ejercicio

3.2.2 Elementos de la interfaz

Una vez que se selecciona el ejercicio, el sistema muestra un mapa con una animación mostrando como el niño entra a algún acto del circo (ver Figura 11 izquierda). Una vez seleccionando el acto, se presenta un mini-tutorial que muestra mediante modelamiento el ejercicio que el niño debe de practicar. Posteriormente, se presenta la pantalla de ejercicios (ver Figura 11 derecha). Esta pantalla cuenta con una barra del lado izquierdo que proporciona de manera visual el estado de avance y el ejercicio que el usuario debe de practicar:

- en la parte superior se tiene una estrella con el número de actividades que el usuario debe de realizar, 10 por defecto.
- en la parte central una animación se muestra mediante modelamiento el ejercicio que el usuario debe de realizar.
- en la parte inferior se tiene una barra de progreso que indica la cantidad de ensayos que el usuario ha completado de 0 a 5.

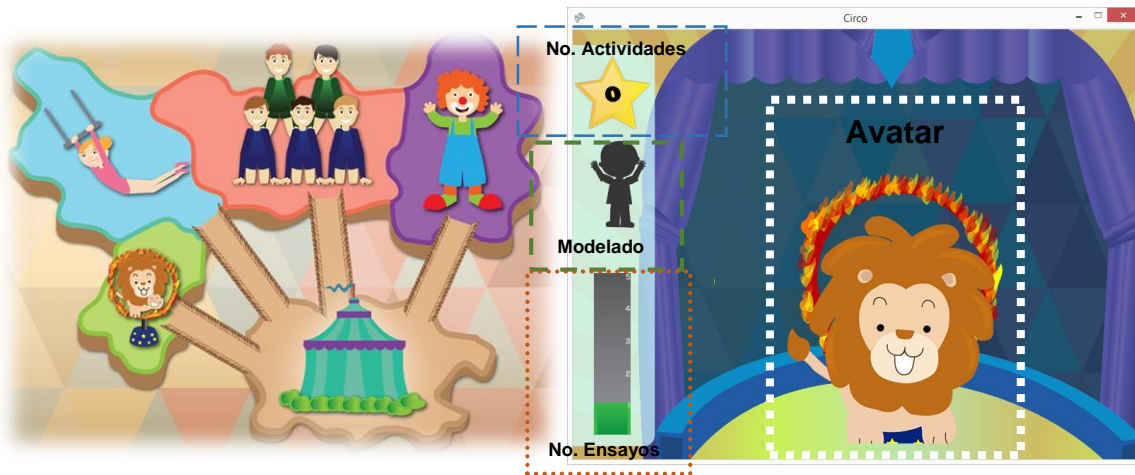


Figura 11 Mapa del juego (izquierda) Interfaz principal de juego (derecha)

En la parte central de la pantalla, se tiene al personaje el cual resolverá el reto de acuerdo al desempeño del niño; por ejemplo, el león saltará el aro del fuego si el niño salta. El personaje varía dependiendo del escenario (Ver figura 12).

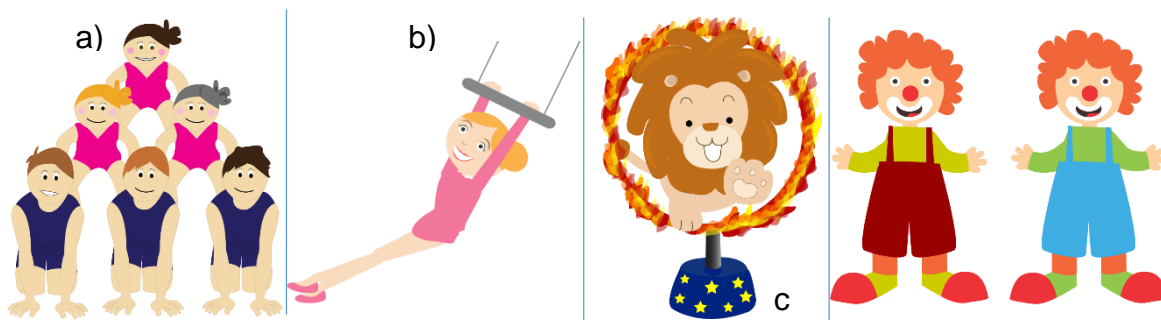


Figura 12 Distintos avatars. Pirámide humana (a), trapecista (b), aro de fuego (c), payasos (d)

3.2.3 Recompensas y ayudas

El sistema recompensa a los niños cada vez que completen de manera correcta el ejercicio, y cuando terminen un ensayo y una actividad. Las recompensas incluyen una imagen visual como una pantalla de felicitación que muestra el número de ensayos completados, globos animados y el tiempo total en segundos que le llevó al niño

completar la actividad (ver Figura 13). La recompensa visual se complementa con mensajes auditivos y felicitaciones.

Durante el juego las instrucciones de las actividades, se dan como modelado mediante la animación de la barra izquierda y mediante instrucciones verbales audibles –por ejemplo, “salta el aro fuego”. Las instrucciones verbales se repiten a los 5, 10 y 15 segundos cuando el niño con autismo no está realizando la tarea. Para evitar la frustración del niño con autismo, el sistema permitirá finalizar un ejercicio inclusive si después de cierto tiempo el niño no termina la repetición.



Figura 13 Interfaz de felicitación

3.3 Implementación

3.1.1 Transiciones de juego

Para ejemplificar las transiciones del Circo del cuerpo (Figura 14) y mostrar cómo se utiliza el JSBM en la práctica, enseguida se presenta un escenario de uso.

Marcos, es un niño con autismo de 8 años con problemas de equilibrio y postura. Marcos se encuentra en el cuarto de juegos con su maestra Carla practicando ejercicios no locomotores utilizando el Circo del Cuerpo.

Carla activa la palanca de la maquina tragamonedas. El Circo del Cuerpo muestra una animación donde de manera aleatoria se selecciona el movimiento y el escenario. Después de 10 segundos el sistema muestra el escenario de payasos y el ejercicio de levantar el pie derecho. Esta selección le indica a Carla el ejercicio que Marcos debe de practicar. Enseguida el sistema, muestra el mapa del juego y una animación donde las huellas de los pies del niño entran a la carpa del escenario de los payasos. Cuando las huellas llegan al escenario de los payasos, este escenario comienza a parpadear.

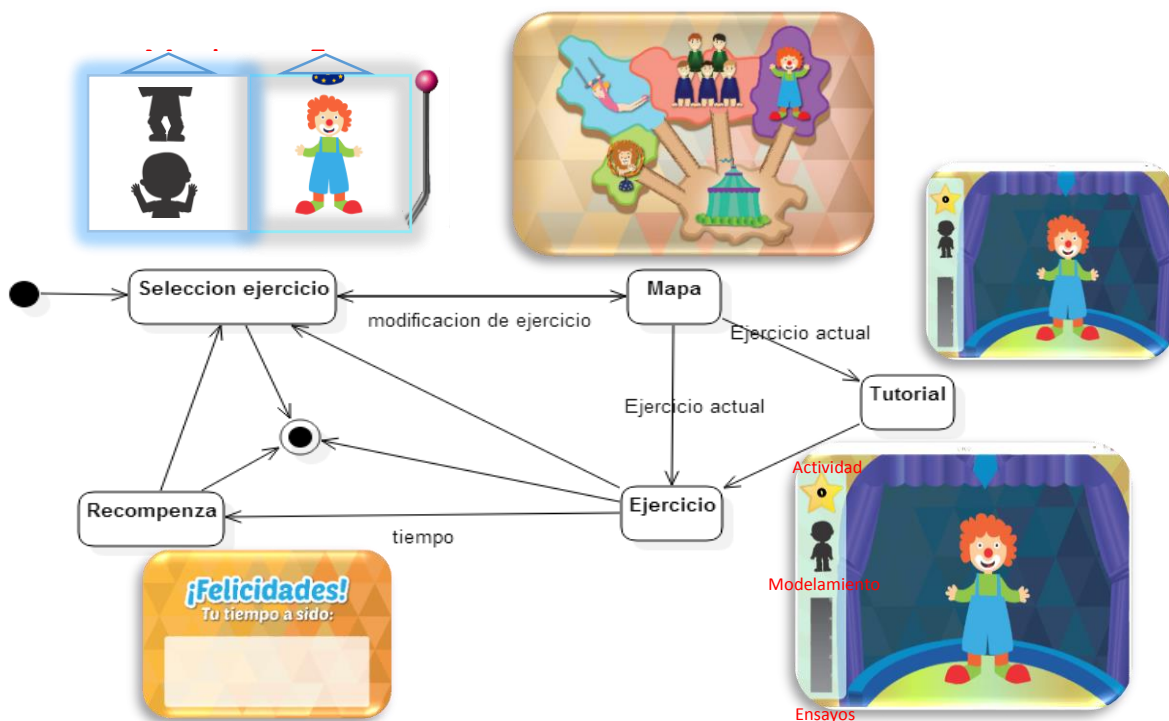


Figura 14 Representación gráfica de las transiciones entre las pantallas y modos del JSBM Circo de cuerpo

Enseguida Marcos inicia con la práctica de los ejercicios no locomotores. El sensor Kinect comienza a rastrear los movimientos de Marcos cuando detecta su presencia. Primero, se le muestra a Marcos un tutorial modelando el ejercicio de levantar el pie derecho.

Después, el sistema muestra la pantalla de práctica de ejercicios y le indica por voz a Marcos: “levanta tu pie derecho”. Marcos levanta su pie derecho y el sensor Kinect reconoce el movimiento. Al levantar el pie derecho, el avatar trabajando en espejo levanta su pie izquierdo para mostrar a Marcos que ejecutó el ejercicio de manera correcta. Además, el sistema reproduce un sonido de “trompeta” indicando a Marcos que completó satisfactoriamente el primer ensayo de diez.

En el segundo ensayo, Marcos no realiza el movimiento. Y después de 5 segundos de inactividad por Marcos, Circo del Cuerpo le envía una ayuda audible a Marcos solicitándole: “levanta tu pie derecho”. Marcos decide ignorar la ayuda y después de otros 10 segundos sin actividad, nuevamente se le solicita a Marcos: “levanta tu pie derecho”. Marcos se equivoca y levanta el pie izquierdo. El sensor Kinect detecta un error en la actividad y después de 15 segundos sin el reconocimiento de la actividad correcta, el sistema automáticamente levanta el pie izquierdo del avatar y reproduce el sonido calificando el ensayo como incorrecto (es decir, no se cuenta como un ensayo realizado por Marcos). Este tipo de ayuda además de proporcionar modelamiento al niño fomenta el reforzamiento positivo. Marcos comprende el ejercicio y comienza a realizarlo correctamente hasta terminar los diez ensayos. Al final, el sistema muestra la pantalla de felicitación acompañada con sonido de aplausos. Marcos sonríe y solicita a la maestra que busque otro ejercicio para practicar.

3.3.2 Arquitectura del sistema

Los componentes físicos de Circo del cuerpo son: un sensor Microsoft Kinect, una computadora, un proyector, y un reproductor de audio. El Kinect se encuentra conectado vía USB a la computadora y en conjunto se encargan de hacer el seguimiento de los movimientos de las personas. El proyector y reproductor de audio muestran las visualizaciones del juego. El juego se desarrolló en C# utilizando el kit de desarrollo de software (SDK, por sus siglas en inglés Software Development Kit) de Kinect, y el uso del marco de trabajo XNA para el manejo de eventos multimedia (Figura 15).

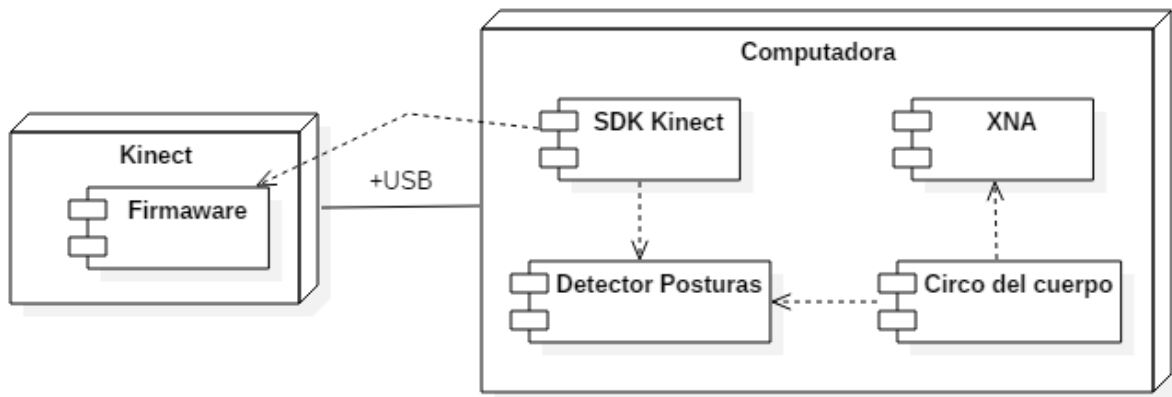


Figura 15 Diagrama de emplazamiento

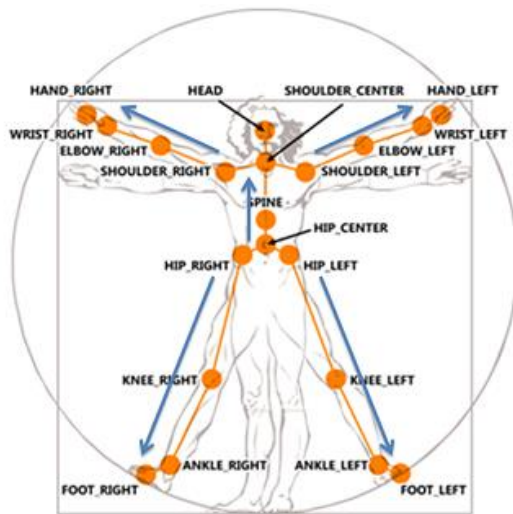
3.3.3 Detección de movimiento

Para la detección de movimientos se usó la cámara de profundidad del sensor Microsoft Kinect, y la clase Skeleton¹¹ que viene integrada en el SDK de Microsoft Kinect¹². Esta librería lee los datos crudos del Kinect de las 20 articulaciones del cuerpo humano que el Kinect detecta (Figura 16) y los convierte a coordenadas X, Y, Z (Ver Figura 16 izquierda).

Con la información que se recibe de los tres ejes se utilizaron funciones trigonométricas para determinar la postura del usuario. Si el resultado de la operación excede de un umbral entonces se activa una regla que otorga la representación gráfica adecuada en el sistema (Tabla 5). Los umbrales se definieron de manera empírica de acuerdo al ángulo que se forma entre las diferentes articulaciones del cuerpo. Por ejemplo, para detectar si el usuario está saltando se calcula la distancia entre el piso y los pies. Las articulaciones implicadas para cada ejercicio se pueden ver en la Figura 16 derecha y en la tabla 5 se ven las fórmulas para detectar algunos movimientos. No se implementaron todos los ejercicios que se definieron en el diseño, solo el nivel 0 de cada escenario.

¹¹ <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.skeleton.aspx>

¹² <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=40278>



Movimiento	Articulaciones
Saltar	Pie derecho, pie izquierdo
Levantar mano	Muñeca, mano, hombro, codo
Levantar pie	Rodilla, pie
Mover cabeza	Cuello, cabeza

Figura 16 Articulaciones detectadas por el Kinect. Recuperado de: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131025.aspx> (izquierda). Articulaciones usadas por movimiento (derecha).

Tabla 5 Fórmulas que se utilizaron para detectar los movimientos de los ejercicios disponibles en el JSBM Circo del Cuerpo

Movimiento	Formulas detección de ejercicios	Umbral
<i>Saltar</i>	$\left(\frac{\text{piederecho.y} + \text{pieizquierdo.y}}{2} \right)$	$\approx 5 \text{ cm}$
<i>Levantar la mano</i>	$\tan^{-1} \frac{\text{mano.y} - \text{hombro.y}}{\text{mano.x} - \text{hombro.x}}$ muñeca.z \approx mano.z \approx hombro.z \approx codo.z,	$\approx 45^\circ$
<i>Levantar el pie</i>	$\cos^{-1} \frac{(\text{pie.x} * \text{rodilla.x}) + (\text{pie.y} * \text{rodilla.y}) + (\text{pie.z} * \text{rodilla.z})}{(\sqrt{\text{rodilla.x}^2 + \text{rodilla.y}^2 + \text{rodilla.z}^2}) * (\sqrt{\text{pie.x}^2 + \text{pie.y}^2 + \text{pie.z}^2})}$	$\approx 18^\circ$
<i>Mover la cabeza</i>	$\tan^{-1} \frac{\text{cabeza.y} - \text{cuello.y}}{\text{cabeza.x} - \text{cuello.x}}$	$77^\circ < x < 103^\circ$

3.3.3.1 Instrucciones audibles

Durante el juego se tienen diferentes instrucciones audibles, estas instrucciones se dan para que el usuario conozca el modo de juego que se encuentra activo (tutorial o práctica de ejercicio) y que ejercicio debe de realizar (ver Tabla 6).

Tabla 6 Lista de sonidos. Instrucciones y recompensas de Circo del cuerpo

<i>Tiempo de instrucción</i>	Sonido
<i>Modo de juego</i>	Modo tutorial Practica tu ejercicio
<i>Ejercicios</i>	Levanta tu pierna izquierda Levanta tu pierna derecha Levanta tu brazo izquierdo Levanta tu brazo derecho Salta Mueve tu cabeza de derecha a izquierda Levanta tu brazo derecho y tu pierna izquierda Levanta tu brazo izquierdo y tu pierna derecha

Las Figura 17 (diagrama de estados) y 18 (algoritmo) muestran la forma en que se otorgan las ayudas y recompensas al niño con autismo. Las ayudas audibles se otorgan mientras el niño con autismo no realice el movimiento adecuado. Cuando se realiza el movimiento adecuado se le otorga el sonido correspondiente (es decir, sonido de ensayo realizado, actividad finalizada o terminación de ejercicio).

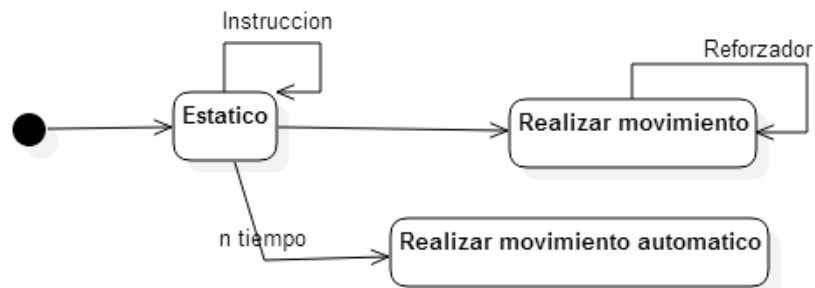


Figura 17 Diagrama de estados para instrucciones audibles y ejecución automática del ejercicio

Algoritmo 1 Ayudas y recompensas de Circo del cuerpo

Entrada: estado de movimiento del niño

Salida: ayuda o recompensa visual y audible

1. **mientras** estado estático y la repetición de ayuda < 4
 2. Repetir instrucción de ejercicio a realizar
 3. Incrementar repetición de ayuda
 4. **Si** estado movimiento o repetición de ayuda = 4
 5. Mover animación de avatar correspondiente
 6. Reproducir sonido de ensayo realizado
 7. **Si** que se ha cumplido con una actividad
 8. Reproducir sonido de actividad finalizada
 9. **Si** finalizar las repeticiones
 10. Desplegar pantalla de fin
 11. Reproducir sonido de aplausos
-

Figura 18 Algoritmo de ayudas y recompensas de Circo del cuerpo

3.4 Resumen y conclusiones

En este capítulo se mostró el proceso que se siguió para diseñar e implementar el JSBM llamado Circo del cuerpo.

Circo del cuerpo se diseñó tomando en cuenta los resultados del estudio contextual y las sesiones de diseño con expertos en IHC(n=2), en superficies interactivas (n=1), en terapias físicas (n=1) y en psicología (n=1). Este equipo multidisciplinario trabajo reunido en el ambiente de cada experto para definir el diseño final de Circo del cuerpo.

Circo del cuerpo es un JSBM que permite a los niños con autismo practicar ejercicios motrices no locomotores que son parte de las terapias de estimulación vestibular. Circo del Cuerpo consta de diferentes ejercicios y diferentes escenarios, como el escenario de payasos, de la pirámide humana, trapecionista y aro de fuego. También se cuentan con mecanismos que intentan mantener la atención del usuario, como el uso de recompensas. Finalmente, se tienen un conjunto de ejercicios no-locomotores que específicamente apoyan a la conciencia corporal.

Circo del cuerpo utiliza el sensor Microsoft Kinect encargado de detectar las posturas del usuario, un proyector que despliega las interfaces, y un reproductor de sonido que toca

instrucciones audibles y recompensas. Todos estos dispositivos se encuentran conectados a una computadora que ejecuta los componentes de software.

Para el desarrollo de Circo del cuerpo, este trabajo ejemplifica la importancia de la colaboración interdisciplinaria con los expertos en las áreas de rehabilitación física y psicología, ya que ellos aportaron ideas muy interesantes en cuanto a la interacción y diseño de Circo del cuerpo.

Capítulo 4. Evaluación de Circo del cuerpo

En este capítulo se describen las actividades que se llevaron a cabo para evaluar Circo del cuerpo. Esta evaluación se llevó a cabo en “Pasitos Centro Psicopedagógico A.C.”, localizado en la ciudad de Tijuana Baja California, donde cerca de 15 psicólogas-maestras atienden a 60 niños con autismo.

4.1 Objetivos

Los objetivos específicos de la evaluación son:

- Evaluar el impacto de Circo del cuerpo en la práctica de habilidades motoras que apoyan el equilibrio y la postura en comparación con la terapia tradicional.
- Determinar el nivel de activación física del jugador y compararlo con el que se produce con la terapia tradicional.

4.2 Diseño de experimento

4.2.1 Participantes

La evaluación se realizó con niños del centro “Pasitos Centro Psicopedagógico A.C.”. Se tuvo una muestra de 12 niños con autismo de baja, media y alta funcionalidad, entre los 5 y los 12 años de edad (ver Tabla 7). Se definieron como criterios de inclusión cualquier niño con autismo asistiendo a Pasitos. Como criterios de exclusión se eliminaron a los niños con autismo asistiendo a pasitos medicados o que presentaran alguna fractura y/o esguince.

Tabla 7 Datos demográficos de los participantes

Participante	Funcionalidad	Edad
<i>P1</i>	Baja	9 años
<i>P2</i>	Media	7 años
<i>P3</i>	Alta	7 años
<i>P4</i>	Media	6 años
<i>P5</i>	Alta	8 años
<i>P6</i>	Media	8 años
<i>P7</i>	Media	6 años
<i>P8</i>	Alta	9 años
<i>P9</i>	Media	6 años
<i>P10</i>	Media	12 años
<i>P11</i>	Alta	5 años
<i>P12</i>	Baja	11 años

4.2.2 Paradigma de diseño y condiciones del experimento

Para realizar este experimento los participantes se expusieron a dos condiciones:

- Condición Circo del cuerpo. Los niños con autismo utilizaron el Circo del cuerpo durante una terapia vestibular y practicaron por 30 minutos ejercicios no-locomotores.
- Condición “Muñeco”. Los niños con autismo utilizaron soportes visuales durante una terapia vestibular tradicional y practicaron por 30 minutos ejercicios no-locomotores.

Para llevar a cabo el estudio se utilizó un paradigma de diseño “intra sujetos”, ya que la misma muestra realizó la terapia en ambas condiciones. Los participantes de manera aleatoria se dividieron en dos grupos que diferían en la condición de inicio (ver Tabla 8). El primer grupo inició jugando el Circo del cuerpo y después los niños utilizaron soportes

visuales tradicionales durante la terapia vestibular. Las condiciones de inicio para el segundo grupo fueron al revés.

Tabla 8 Organización de los participantes en cada una de las condiciones del estudio

Participante	Condición 1	Condición 2
1	Circo del cuerpo	Muñeco
2	Muñeco	Circo del cuerpo
3	Circo del cuerpo	Muñeco
4	Muñeco	Circo del cuerpo
5	Circo del cuerpo	Muñeco
6	Muñeco	Circo del cuerpo
7	Circo del cuerpo	Muñeco
8	Muñeco	Circo del cuerpo
9	Circo del cuerpo	Muñeco
10	Muñeco	Circo del cuerpo
11	Circo del cuerpo	Muñeco
12	Muñeco	Circo del cuerpo

Ambas condiciones se instalaron en el salón de juegos dentro de las instalaciones de Pasitos con dimensiones de 3m x 1.85 m. Este salón esta acondicionado para realizar la evaluación de prototipos, ya que cuenta con 2 cámaras de vigilancia, 1 computadora, altavoces y 1 proyector.

4.2.2.1 Instalación de Circo de cuerpo (Condición Circo del cuerpo)

Para la instalación de Circo del cuerpo se requirió de una computadora, un sensor Microsoft Kinect, 1 proyector, y altavoces (Figura 19). El Kinect se colocó a una distancia de 2.5 metros de la posición de usuario. El proyector se encuentra a 3 metros de distancia

del área de proyección y a una altura de 2 metros. La posición en la que el usuario debería colocar sus pies para mejor desempeño del sistema se enmarcó con cinta de color roja.

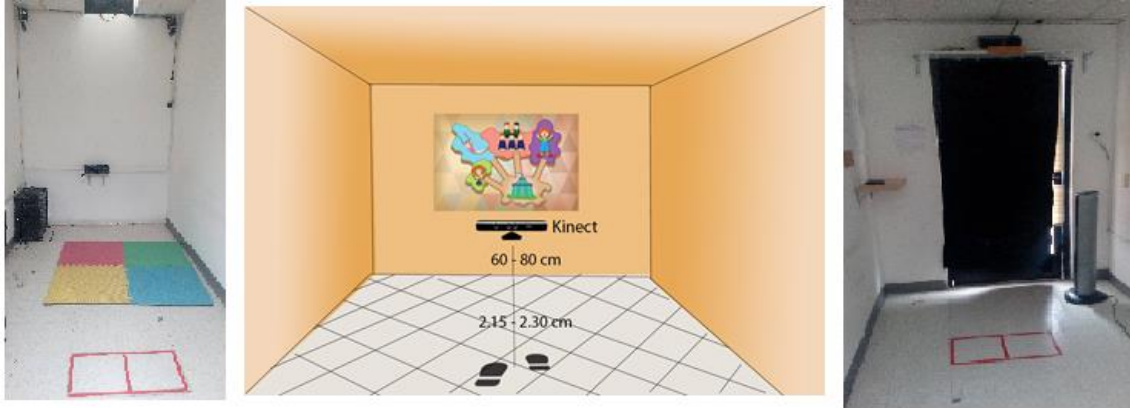


Figura 19 Instalación de Circo de cuerpo. Instalación de computadora, Kinect y altavoces (izquierda), bosquejo de la instalación (centro) Instalación de proyector (derecha).

A continuación se describen las características de los materiales.

- Sensor Microsoft Kinect Beta
- Proyector Infocus
- Servidor DELL XPS
 - Intel i7
 - 64 bits
 - 12 GB de RAM
 - 1 TB de almacenamiento

4.2.2.2 Instalación de la terapia tradicional (Condición muñeco)

La terapia tradicional se instaló en el mismo salón donde se instaló el Circo del cuerpo. Para esta terapia se construyó un muñeco (ver Figura 20 derecha) con un cartón corrugado que mostraba el ejercicio a realizar. Se utilizó foami de color negro (ver Figura 20 centro) para resaltar las partes del cuerpo que el niño tenía que practicar y resaltar la extremidad que el niño tenía que mover (ver Figura 20 izquierda). El foami se adhería al muñeco de cartón con velcro. Este muñeco imita la animación de modelamiento que proporciona el Circo del Cuerpo.



Figura 20 Instalación terapia tradicional

4.2.3 Procedimientos de control

Para poder evitar variaciones entre ambas condiciones, se controlaron las actividades, y las ayudas verbales, físicas y de modelado de la siguiente manera.

4.2.3.1 Actividades equivalentes

Para que las actividades que los participantes realizaron fueran equivalentes, ambas condiciones contaron con los mismos ejercicios y el mismo número de repeticiones por ejercicio. Cada ejercicio consto de 10 repeticiones y los ejercicios que se realizaron fueron:

- Levantar pie derecho
- Levantar pie izquierdo
- Levantar brazo derecho
- Levantar brazo izquierdo
- Mover cabeza izquierda a derecha
- Levantar brazo derecho y pierna izquierda
- Levantar brazo izquierdo y pierna derecha
- Brincar

4.2.3.2 Ayudas

Se construyó el muñeco de papel corrugado descrito anteriormente (ver sección 4.3.5) que imitaba la animación disponible en el juego de Circo del Cuerpo para proporcionar el mismo modelado en ambas condiciones.

Se controlaron el número de ayudas y el tiempo en que éstas se proporcionaron al niño en ambas condiciones. La primera ayuda se otorgaba a los 5 segundos, la segunda a los 10 segundos y la tercera a los 15 segundos. La misma psicóloga impartió la terapia a todos los niños, y la psicóloga fue entrenada con respecto a los tiempos en que debía de brindar la ayuda verbal o la ayuda física.

4.3 Recolección de datos

Tabla 9 Participante por día

Día	Participantes
1	P1, P2, P3, P4
2	P5, P6, P7
3	P8, P9, P10
4	P11, P12

Este estudio se realizó a lo largo de cuatro días (ver Tabla 9). La duración del estudio de cada participante fue de aproximadamente 12 minutos por condición, dando un total de 24 minutos por participante. Estas sesiones se video grabaron, obteniendo 400 minutos de video. Al final de cada día se realizó una entrevista a la psicóloga, y al final de toda la intervención se le realizó una entrevista final (5 entrevistas en total, 4 diarias y 1 final, ver Apéndice B). Los tópicos que se discutieron en la entrevistas incluyeron la práctica de habilidades motoras, actividad física, desarrollo cognitivo y funciones ejecutivas, impacto en áreas de desarrollo, atención, y problemas durante la intervención.

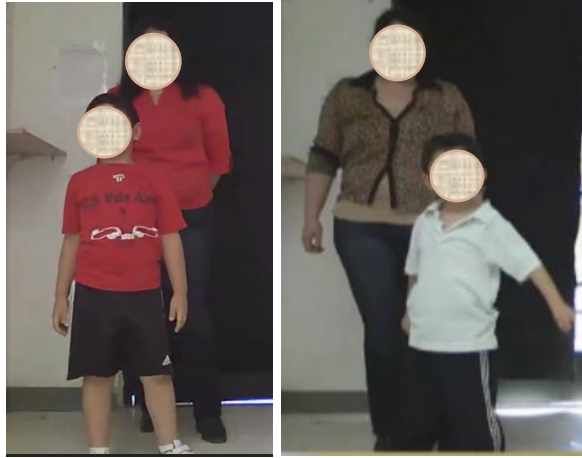


Figura 21 Participantes haciendo uso de Circo del cuerpo

4.4 Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizaron técnicas cuantitativas de análisis secuencial¹³ para la codificación de los 400 minutos de video que se obtuvieron de las cámaras de video vigilancia disponibles en Pasitos.

Se definieron diferentes categorías relacionadas con la práctica de ejercicios no-locomotores y la activación física. La codificación de estas variables está basada en el esquema de codificación Escala de la Actividad de los niños (CARS por sus siglas en inglés *Children's Activity Rating Scale*,). Este esquema mide la actividad física a través de 5 categorías, *estacionario sin movimiento* (p. ej., mantenerse parado), *estacionario con movimiento* (p. ej., mantenerse parado moviendo un brazo), *translocación con movimientos lentos* (p. ej., caminar lentamente), *translocación movimientos medio/moderados*, (p. ej., saltar), *translocación rápido/agotador* (p. ej., correr). En cuanto a las emociones se utilizaron otros esquemas de codificación disponibles en la literatura (Zalapa Cardiel, 2014). La descripción de las categorías y los eventos se encuentra en la Tabla 10.

¹³ **Análisis secuencial:** método que mide la ocurrencia de un comportamiento.

Tabla 10 Esquema de codificación

Categoría	Comportamiento	Definición
<i>Actividad física.</i> <i>Los movimientos que el niño realiza durante el juego</i>	Estacionario	Mantenerse inmóvil durante 3 segundos o más. Movimientos de dedos o pies.
	Movimiento extremidades	Movimientos del tronco, brazos y piernas sin mover todo el cuerpo de un lugar a otro
	Translocación lento	Mover el cuerpo de un lugar a otro con una velocidad lenta.
	Translocación medio	Mover el cuerpo de un lugar a otro con una velocidad moderada.
<i>Ayudas</i> <i>El nivel de ayuda que el niño necesita durante el juego</i>	Translocación rápido	Mover el cuerpo de un lugar a otro con una velocidad rápida.
	Verbal	Se refiere cuando la psicóloga da ayuda al niño de manera verbal (ej. “levanta tu pie derecho”)
	Física	Cuando la psicóloga agarra al niño y le muestra cómo hacer la actividad.
	Ninguna	Cuando la psicóloga no incita al niño a realizar ninguna acción.
<i>Emociones</i> <i>Emociones que el niño expresa durante el juego.</i>	Sistema	Ayudas para que el sistema detecte el ejercicio.
	Positivas	Cuando el niño está contento (hay sonrisas, risas, etc.), alegre, o presenta emociones similares a estas
	Negativas	Cuando el niño está triste (llora), enojado (ceño fruncido) o presenta emociones similares a estas.
	Ninguna	No está expresando ninguna emoción o no la podemos identificar/ no se ve en el video

Dos investigadores, una psicóloga y un estudiante de IHC, realizaron la codificación de los videos sobre un formulario para la codificación de eventos (Ver Figura 22). Ambos tuvieron un entrenamiento en el uso del esquema de codificación propuesto por aproximadamente 40 minutos. Para medir el acuerdo entre estos codificadores (IOA, por sus siglas en ingles *Inter-Oberver Agreement*) ambos investigadores analizaron un mismo video de manera independiente y se calculó el índice Kappa. Este índice se utiliza para medir la variación que se tiene cuando dos observadores están catalogando de manera independiente la misma variable. El IOA fue aceptable (ver Tabla 11).

Tiempo	Ejercicio	Actividad física					Ayuda				Emociones			Repeticiones
		Estacionario estacionario sin movimiento	Extremidades Parado con el movimiento de las extremidades o el tronco	Translocación movimiento lento y fácil	Translocación medio / moderado	Translocación rápido / agotador	Verbal	Física	Ninguna	Sistema	Positivas	Negativas	Ninguna	
00:00:00	mano derecha, pierna izquierda													1
00:00:01			1						1					1
00:00:02			1						1					1
00:00:03			1						1					1
00:00:04			1						1					1
00:00:05			1						1					1
00:00:06			1						1					1
00:00:07			1						1					1
00:00:08			1					1						1
00:00:09			1					1						1
00:00:10			1					1						1
00:00:11			1					1						1

Figura 22 Formulario para la codificación de eventos

El análisis cualitativo realizado a las entrevistas consistió de una búsqueda sistemática de citas que ejemplificaran el resultado de los datos cuantitativos.

Para poder determinar si existía diferencia significativa se aplicaron las pruebas estadísticas de *Prueba T*, en el caso de los datos normales y la *prueba de rangos con signo de Wilcoxon*, para los datos no normales. Para determinar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk*. Con un grado de confianza (α) de 0.05.

Tabla 11 Resultados de Índice Kappa para IOA

Categoría	Código	Índice Kappa
<i>Actividad física</i>	Estacionario	1
	Movimiento extremidades	0.992231
	Translocación lento	1
	Translocación medio	1
	Translocación rápido	0.992231
<i>Ayudas</i>	Verbal	0.870696
	Física	0.872093
	Ninguna	0.829612
	Sistema	0.856455
<i>Emociones</i>	Positivas	0.855761
	Negativas	0.940472
	Ninguna	0.82413

4.5 Resultados

4.5.1 Practica de habilidades motoras

4.5.1.1 Repeticiones

Los resultados indican que los niños realizaron 4.7% más repeticiones con el Circo del cuerpo que con el muñeco (Figura 23). Una repetición se consideró como el intento de realizar la acción que se le estaba solicitando con cierto margen de precisión. También se puede ver que 66.67% de los participantes realizaron más repeticiones sin requerir ayuda de la psicóloga con el Circo del cuerpo. En contraste, los participantes p2, p7, p9 (25 % de la población) realizaron más número de repeticiones con el muñeco. Una prueba t ($p=0.01539$) indica que sí existe diferencia significativa entre el número de repeticiones realizadas. La psicóloga además percibió una mejora en los niños utilizando Circo del cuerpo en comparación al muñeco.

PS: “[Con Circo del Cuerpo] marcaban más el ejercicio..., que los detectara la cámara, entonces siento que como que marcaban más un poco más, y en la convencional, siento

que si llevaban un poquito más un ritmo, pero muchas veces levantaban la mano así como que "Ok, ya la levante", porque no tenían como ese, ese reforzador del juego que lo marcaba...".

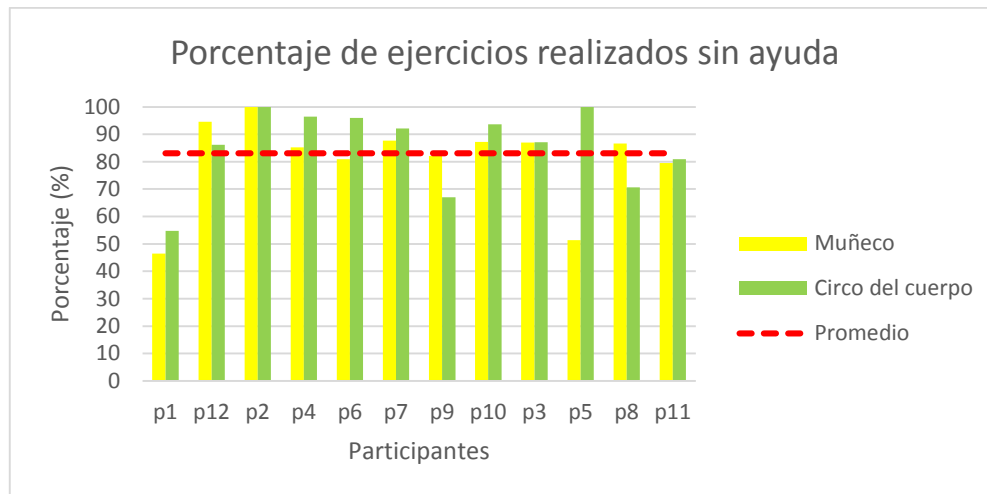


Figura 23 Gráfica que muestra el porcentaje de repeticiones que realizadas sin ayuda.

4.5.2 Ayudas

En la Figura 24 se muestra el porcentaje de tiempo en que los niños con autismo recibieron algún tipo de ayuda (es decir, ayuda física y verbal). De la gráfica se puede obtener que observa que los niños con autismo recibieron en promedio 1.51% más tiempo de ayuda con el Circo del cuerpo que con el muñeco. Sin embargo, al realizar una prueba de rangos con signo de Wilcoxon a los datos y el resultado ($p = 0.34722$) indica que no se puede determinar si existe diferencia significativa en el porcentaje de tiempo de ayuda recibida comparando las dos condiciones.

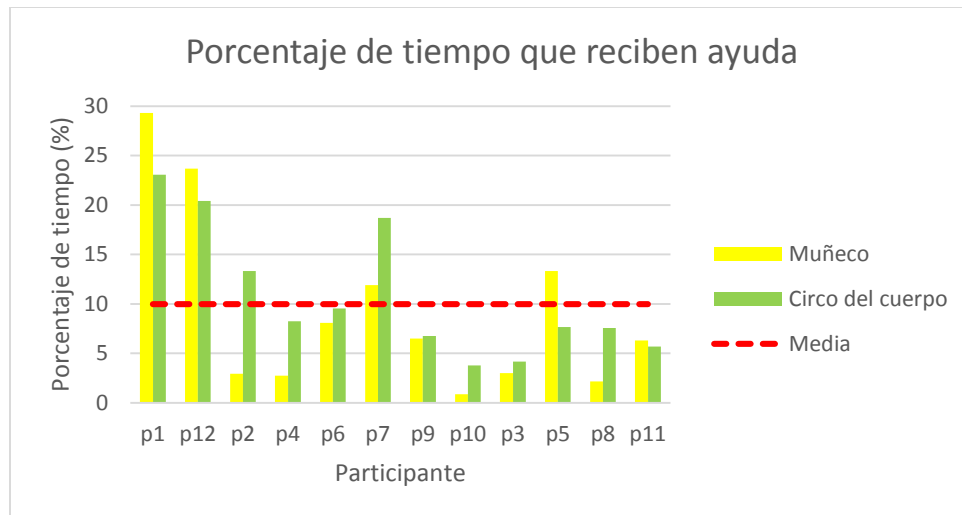


Figura 24 Gráfica que muestra el porcentaje de tiempo que los participantes recibieron ayuda física o verbal

En cuestión de la ayuda física (Figura 25) se encontró que los niños con autismo en promedio ($\bar{X} = 2.7\%$) recibieron más tiempo de ayuda física cuando hacían uso de Circo del cuerpo que con el muñeco. Durante el análisis del video se observó que la mayor parte de las ayudas físicas se otorgaron en el tiempo de espera del nuevo ejercicio. Lo que indica que se debe de reducir el tiempo de espera entre los ejercicios y la implementación de un sistema que permita otorgar ayudas físicas de forma automática.

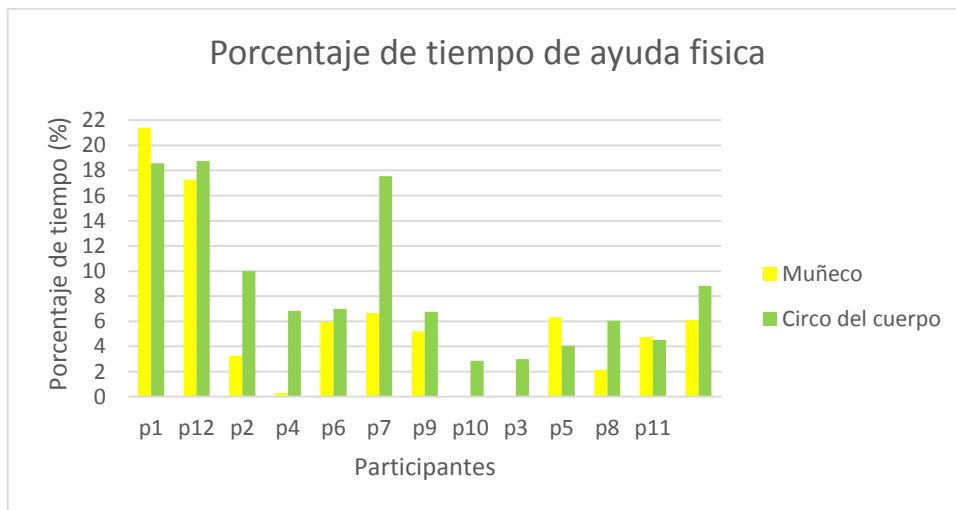


Figura 25 Gráfica que muestra el porcentaje del tiempo que los participantes recibieron ayuda física.

Nuestros resultados indican que con Circo del cuerpo en promedio se recibió 4% de tiempo ayuda verbal y con el muñeco recibió 5.5% del tiempo este tipo de ayuda (Figura 26). Una prueba estadística a los datos ($p = 0.298012$) indica que no se puede determinar si existe diferencia significativa en las ayudas verbales.

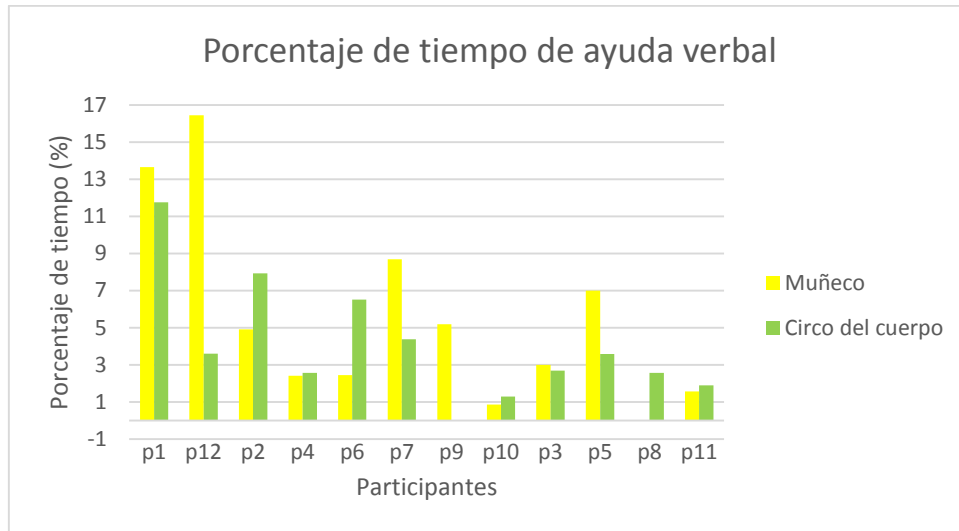


Figura 26 Grafica que muestra el porcentaje de tiempo que los participantes recibieron ayuda verbal

4.5.3 Actividad física

Como se puede ver en la Figura 27 el nivel de actividad física es mayor en todos los participantes cuando utilizaron el Circo del Cuerpo en comparación contra la terapia tradicional utilizando el muñeco. Se tuvieron en promedio 98 puntos más en los niveles de gasto de energía cuando se hacía uso de Circo del cuerpo ($\bar{X} = 171.75$) en comparación al muñeco (en promedio ($\bar{X} = 73.333$)).

Para determinar si la diferencia entre ambas condiciones era significativa se realizó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon a los datos y se obtuvo un valor de $p = 0.00001$, que indica que si existe una diferencia significativa. De esto se deduce que con Circo de cuerpo se podría incrementar de forma significativa la actividad física de los niños con autismo que tengan las mismas características de los participantes (ver sección 5.3.1). Este aumento en la actividad puede atribuirse a que con Circo del cuerpo el niño se esforzaba más para hacer el ejercicio. Ya que se necesita un poco más de precisión para que el ejercicio sea detectado por el sistema.

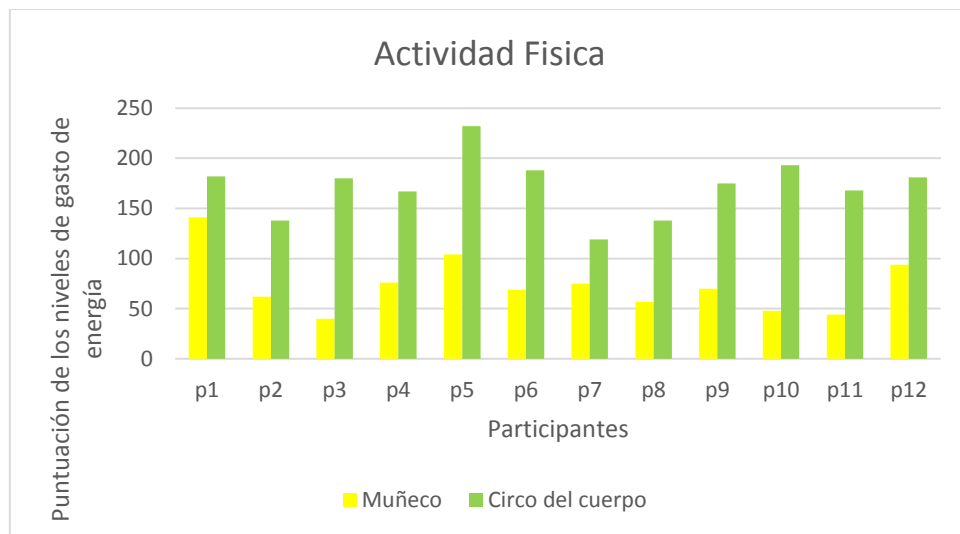


Figura 27 Gráfica que muestra el nivel de actividad física

La psicóloga además resaltó que Circo del Cuerpo potencia la activación física de mejor manera que el muñeco.

PS: *“Hacen inclusivo otro tipo de ejercicios porque cuando es la convencional miraban el muñeco y es como que ah! si pues hago el ejercicio y ya..., pero no era como que tanta la emoción o saltar, porque muchos llegaba el muy bien y saltaban”*

4.5.4 Emociones

Para determinar la diferencia entre las emociones, se tomó en cuenta el tiempo en que se presentaban tanto emociones negativas, como emociones positivas. De la Figura 28 se puede obtener que en promedio con Circo del cuerpo los participantes mostraron emociones 13.54% del tiempo; en comparación con únicamente 3.12% de tiempo con el muñeco. Se realizó la prueba T la cuál arrojó que sí existe diferencia significativa ($p = 0.000855$) en cuestión del tiempo que los participantes presentan emociones.

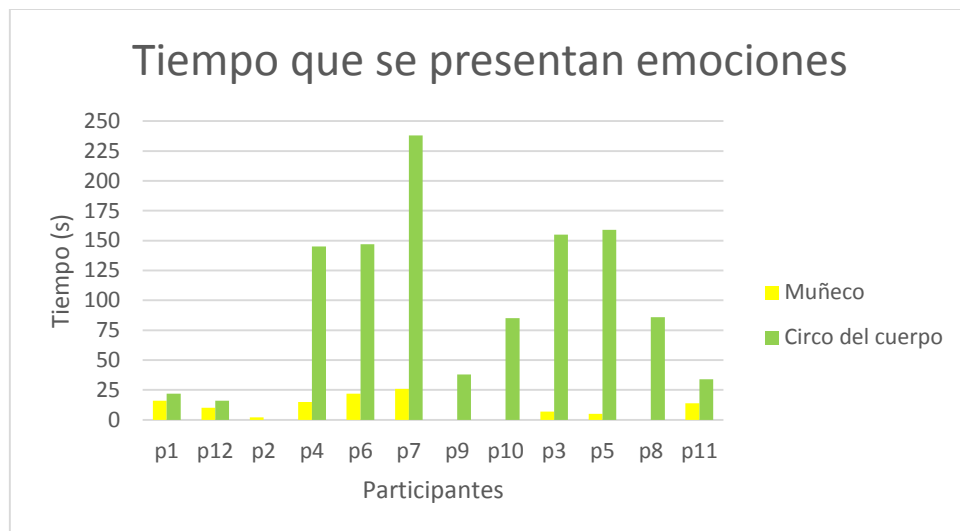


Figura 28 Gráfica que muestra el tiempo en que los niños presentaron algún tipo de emoción

La psicóloga observó que algunos niños con autismo mostraron algunos cambios en sus emociones cuando hacían uso de Circo del cuerpo.

PS: "Casi siempre cuando era la convencional [muñeco] sus emociones era más como o no expresaban nada, en cambio con el juego [Circo del cuerpo] había niños que se notaba que se emocionaban, como la música, por los globos,.....".

En la Figura 29 se muestra detalladamente el tiempo que los participantes mostraron emociones positivas y negativas. Como se ve, los participantes p2 y p7 tienen más emociones negativas en el uso de Circo del cuerpo que con el muñeco. El participante p7 mostró la mayor cantidad de emociones negativas, esto se debe a que le cuesta adaptarse a cosas nuevas. Sin embargo, en general los participantes mostraron más emociones positivas ($p= 0.00758$). En particular los participantes mostraron más emociones positivas durante el escenario del aro de fuego.

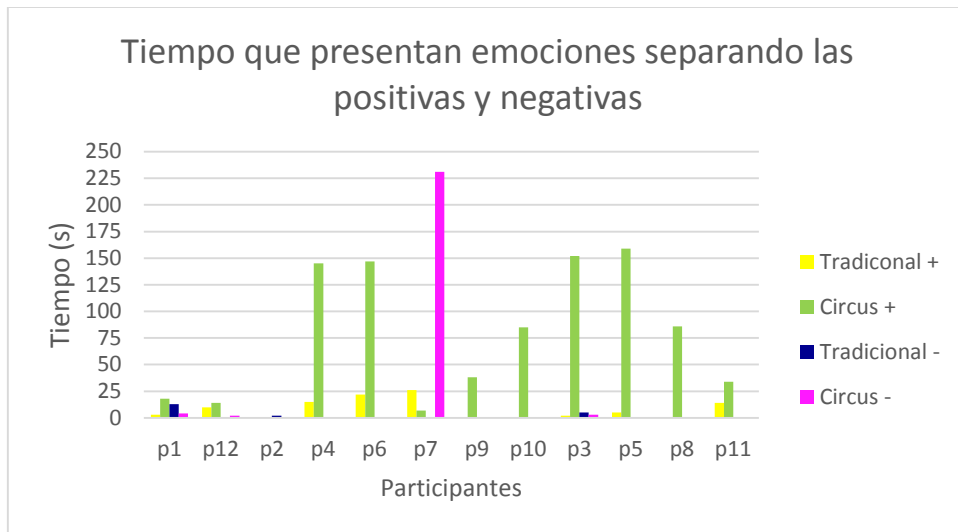


Figura 29 Gráfica que muestra de forma separa el tiempo que se presentaron emociones positivas y negativas en ambas condiciones

PS: “.... [con Circo del cuerpo] se entretenía y hasta se reía con el juego, en cambio en la tradicional... No lo hacía consciente, lo hacía por inercia”.

4.6 Conclusiones

Los resultados muestran que Circo del cuerpo ayuda a los niños a realizar mayor número de repeticiones de ejercicios no locomotores en comparación a la condición tradicional utilizando un muñeco. El que se realicen más movimientos es importante ya que se genera un mayor generar un mayor estímulo al sistema vestibular y de esta forma .También muestran que Circo del cuerpo podría aumentar el nivel de activación física comparado con la terapia tradicional utilizando un muñeco. Sin embargo, en cuestión de ayudas a pesar de no tener evidencias significativas, permitió ver que es importante que se diseñe algún mecanismo que otorgue ayudas físicas.

En cuanto a las emociones la psicóloga apreció que los elementos multimedia y los escenarios que se escogieron permitieron a los participantes mantenerse emocionados, estar atentos, y sentir satisfacción por sus acciones.

Capítulo 5. Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolló un JSBM que ayuda a los niños con autismo a practicar ejercicios no locomotores que apoyan al equilibrio y la postura.

Para entender las terapias vestibulares y las actividades que realizan los niños con autismo se realizó un estudio contextual en Pasitos Centro psicopedagógico, ubicado en Tijuana, Baja California, México. Para este estudio se analizaron entrevistas y videos de intervenciones previas realizadas en Pasitos y se realizaron entrevistas semiestructuradas y sesiones de observación no participativa.

Las información recabada durante el estudio contextual se analizó utilizando técnicas cualitativas. Como resultado se obtuvieron las características de diseño; el diseño del sistema Circo del cuerpo, y el tipo de ejercicios no-locomotores que los niños con autismo pueden practicar para mejorar su equilibrio y postura, y que se puedan modelar en un JSBM. Como características de diseño se encontró que es necesario que el juego serio incorpore una historia corta y que posea un conjunto de actividades cuya selección sea libre y aleatoria.

Tomando en consideración estas características de diseño se desarrollaron cinco sesiones de diseño participativo, en las cuales se especificaron dos ideas iniciales de juegos potenciales. Durante las sesiones de diseño un equipo multidisciplinario, incluyendo a un terapeuta en rehabilitación física, un experto en superficies interactivas, una psicóloga, y expertos en IHC y UBICOMP, se reunieron en grupos para discutir y especificar las ideas, y proponer el prototipo final.

Con base en los resultados de las sesiones de diseño, se diseñó Circo del cuerpo, un JSBM que permite a los niños con autismo practicar ejercicios no-locomotores. Circo del cuerpo consta de 4 escenarios en los cuales se practican ejercicios que imitan a una terapia de estimulación vestibular tradicional.

Circo del cuerpo utiliza un sensor Kinect y un proyector, los cuales se conectan a una PC. El sensor Kinect detecta la ubicación y los movimientos del usuario. El proyector funciona como un actuador y despliega la información del juego. En la PC se ejecuta la dinámica del videojuego. Para la detección de las posturas se utilizó la librería Skeleton, que viene integrada en el SDK de Microsoft Kinect. El manejo de los elementos multimedia se realizó con el entorno de programación para la creación de juegos XNA¹⁴. El lenguaje de programación utilizado fue C#.

Para evaluar el impacto de Circo del cuerpo se realizó un estudio de usuario en la clínica Pasitos, localizada en Tijuana, que siguió un paradigma entre sujetos. En este estudio, 12 niños con autismo de baja, media, y alta funcionalidad, entre los 5 y los 12 años de edad, asistieron por 30 minutos a terapias de estimulación vestibular en dos condiciones. En la primera condición, los niños con autismo utilizaron el Circo del cuerpo como parte de la terapia. En la segunda condición, los niños con autismo utilizaron soportes visuales durante una terapia tradicional. Los niños con autismo se asignaron de manera aleatoria para iniciar en cada una de las condiciones.

A lo largo del experimento se contó con el apoyo de una psicóloga, la cual fue capacitada en la frecuencia y la forma de otorgar ayuda verbal o física al niño con autismo. La duración del experimento fue de cuatro días. Todas las sesiones fueron videograbadas y al término de cada día se realizó una entrevista a la psicóloga.

Para el análisis de los datos se utilizaron técnicas cuantitativas de observación directa basada en eventos. Con esta técnica, y para ambas condiciones, se midió el nivel de actividad física y el número de repeticiones que los niños realizaron durante las sesiones de terapia. Para conocer el nivel de actividad física se utilizó la Escala de la Actividad de los niños (CARS por sus siglas en inglés *Children's Activity Rating Scale*, (Puhl, Greaves, Hoyt, and Baranowski, 1990)), y las repeticiones se definieron como intentos de realizar la acción que se le estaba solicitando con cierto margen de precisión.

¹⁴ [https://msdn.microsoft.com/es-mx/library/bb200104\(v=xnagamestudio.40\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-mx/library/bb200104(v=xnagamestudio.40).aspx)

Los resultados indican que los niños con autismo incrementaron su nivel de actividad física y el número de repeticiones utilizando Circo del cuerpo en comparación a los soportes visuales utilizados con la terapia tradicional. La psicóloga que asistió durante la intervención percibió que los niños con autismo mostraban una mayor satisfacción al realizar un ejercicio con Circo del cuerpo comparado con la terapia tradicional.

5.1 Aportaciones

Las principales aportaciones de este trabajo son:

- Un video JSBM que contiene ejercicios que imitan una terapia vestibular tradicional para mejorar la postura y el equilibrio.
- Una base de datos que contiene material audio-visual que documenta las actividades que se realizan en la terapia tradicional de estimulación vestibular.
- Evidencia empírica del uso de Circo del cuerpo en un escenario real, donde se comparó el uso de Circo del Cuerpo en contraste a una sesión de una terapia de estimulación vestibular tradicional.
- Instalación del juego serio Circo del cuerpo para su uso a largo plazo por parte de las psicólogas de la clínica Pasitos localizada en Tijuana, Baja California.

5.2 Limitaciones

Aunque muchas decisiones fueron acertadas, se tuvieron limitaciones en distintos aspectos en el desarrollo de la tesis, entre los que destacan los siguientes:

- El sensor Kinect no es lo suficientemente robusto al detectar a niños de estatura baja o múltiples usuarios, y es propenso a falsos positivos en el rastreo de las 20 articulaciones con las que hace el seguimiento de movimientos del niño con autismo. Esto ocasionó durante el estudio que muchas veces de manera manual

se tuviera que modificar los umbrales de los ejercicios, en especial el del salto y que se redujeran significativamente el número de ayudas físicas proporcionadas en ambas condiciones. Las ayudas físicas se redujeron ya que se le pidió a la psicóloga que no se acercará mucho al niño para evitar errores de precisión con el sistema.

- No se tiene una pantalla de configuración que permita hacer personalizable a las limitaciones físicas de cada niño con autismo para poder ejecutar un ejercicio.
- La muestra con la que se contó para realizar la evaluación se limitó a 12 niños con autismo con las condiciones particulares de la población e infraestructura de Pasitos. Aunque, el tamaño de esta prueba es suficiente para realizar un estudio piloto, se requiere realizar un estudio con más niños y en otros ambientes para mejorar la validez externa de los resultados presentados en esta tesis.

5.3 Trabajo Futuro

En la evaluación de Circo del cuerpo se encontró que es importante buscar una manera de integrar las ayudas físicas en el sistema. Sin embargo, existen muchos retos técnicos y de interacción para modelar una retroalimentación física. Tecnología háptica con capacidades para la estimulación táctil pudiera ser una solución para modelar de manera adecuada la ayuda física. El integrar las ayudas físicas con otro tipo de ayudas podría mejorar la precisión de los movimientos no-locomotores que practican los usuarios.

Otro reto que quedó abierto es permitir la configuración automática de los ejercicios de acuerdo a las capacidades físicas de los usuarios. En la actualidad se realizaron pre-evaluaciones con cada uno de los usuarios que participaron en el estudio de usuario, y el programador de manera directa modificó el sistema para personalizarlo a cada usuario. Sin embargo, esta solución no es flexible ni escalable para su uso a largo plazo. Proponer algoritmos adaptativos para la configuración y calibración automática de las capacidades físicas de los individuos sigue siendo un problema abierto.

Además, los resultados de la evaluación también evidenciaron problemas de usabilidad en el diseño del prototipo actual. Por ejemplo, la psicóloga observó que la animación que

muestra el modelamiento de los ejercicios era la mayor parte del tiempo imperceptible y muchos usuarios la encontraron confusa. También, el tiempo de transición entre actividades fue considerado demasiado por la mayoría de los usuarios.

Finalmente, la evaluación que se realizó estuvo limitada por el tiempo y el número de usuarios que participaron. Por lo que no se pueden realizar aseveraciones respecto al impacto clínico y la mejora en términos de equilibrio y postura de los individuos. Se recomienda una evaluación a largo plazo utilizando pruebas clínicas y de tamizaje para conocer el impacto que puede tener el Circo del cuerpo en el equilibrio y la postura de los niños con autismo.

Lista de referencias bibliográficas

- Albiol-Pérez, S., Gil-Gómez, J.-A., Alcañiz, M., Llorens, R., and Colomer, C. (2012). Use of the Wii balance board system in vestibular rehabilitation. In *Proceedings of the 13th International Conference on Interacción Persona-Ordenador - INTERACCION '12* (pp. 1–4). New York, New York, USA: ACM Press. Retrieved from: <http://doi.org/10.1145/2379636.2379647>
- APA, A. P. A. (2015). What is Autism Spectrum Disorder? Retrieved October 30, 2015, from <http://www.psychiatry.org/patients-families/autism/what-is-autism-spectrum-disorder>
- Ayres, A. J., and Tickle, L. S. (1980). Hyper-responsivity to Touch and Vestibular Stimuli as a Predictor of Positive Response to Sensory Integration Procedures by Autistic Children. *The American Journal of Occupational Therapy*, 34, 375–381. Retrieved from: <http://doi.org/10.5014/ajot.34.6.375>
- Barcelona, U. autónoma de. (2001). Sistema Vestibular-Equilibrio. Retrieved December 3, 2015, from <http://www.neuropsicol.org/NP/sisvest.html>
- Bartoli, L., Corradi, C., Garzotto, F., and Valoriani, M. (2013). Exploring motion-based touchless games for autistic children's learning. In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '13* (pp. 102–111). New York, New York, USA: ACM Press. Retrieved from: <http://doi.org/10.1145/2485760.2485774>
- Bartoli, L., Garzotto, F., Gelsomini, M., Oliveto, L., and Valoriani, M. (2014). Designing and evaluating touchless playful interaction for ASD children. In *Proceedings of the 2014 conference on Interaction design and children - IDC '14* (pp. 17–26). New York, New York, USA: ACM Press. Retrieved from: <http://doi.org/10.1145/2593968.2593976>
- Billis, A. S., Konstantinidis, E. I., Mouzakidis, C., Tsolaki, M. N., Pappas, C., and Bamidis, P. D. (2010). A Game-Like Interface for Training Seniors' Dynamic Balance and Coordination. In *XII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2010* (pp. 691–694). Retrieved from: http://doi.org/10.1007/978-3-642-13039-7_174
- Carlson, N. R. (1996). *Fundamentos de psicología fisiológica*. Pearson Educación. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=wHzuBykqn8cC&pgis=1>
- Corbin, J., and Strauss, A. (2014). *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory* (Vol. 2014). SAGE.

- Cumi García, C. A., Guillen García, L. M. del C., and Zúñiga Carrasco, I. R. (2015). *El autismo en la actualidad. Boletín Epidemiológico. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Sistema Único de Información* (Vol. 32).
- Garrido Navarro, J. E., R. Penichet, V., Lozano, Ma., and Marset, I. (2013). Balance Disorder Rehabilitation through Movement Interaction. In *Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 319–322). ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering). Retrieved from: <http://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2013.252368>
- Garzotto, F., Gelsomini, M., Oliveto, L., and Valoriani, M. (2014). Motion-based touchless interaction for ASD children. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces - AVI '14* (pp. 117–120). New York, New York, USA: ACM Press. Retrieved from: <http://doi.org/10.1145/2598153.2598197>
- Gerling, K. M., Schild, J., and Masuch, M. (2010). Exergame design for elderly users. In *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology - ACE '10* (p. 66). New York, New York, USA: ACM Press. Retrieved from: <http://doi.org/10.1145/1971630.1971650>
- Hernandez, H. a., Ye, Z., Graham, T. C. N., Fehlings, D., and Switzer, L. (2013). Designing action-based exergames for children with cerebral palsy. In *Human Factors in Computing Systems: Proceedings of the SIGCHI Conference, (CHI 2013)* (pp. 1261–1270). ACM Press. Retrieved from Retrieved from: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2470654.2466164>
- Jennifer Preece, Yvonne Rogers, H., and Sharp. (2002). *Interaction design beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kern, J. K., Garver, C. R., Grannemann, B. D., Trivedi, M. H., Carmody, T., Andrews, A. A., and Mehta, J. A. (2007). Response to vestibular sensory events in autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 1(1), 67–74. Retrieved from: <http://doi.org/10.1016/j.rasd.2006.07.006>
- Kohen-Raz, R., Volkman, F. R., and Cohen, D. J. (1992). Postural control in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 22(3), 419–432. Retrieved from: <http://doi.org/10.1007/BF01048244>
- Lafuente, D. A. D. (n.d.). Rehabilitación vestibular y del equilibrio. Retrieved October 23, 2015, from <http://www.sorderayvertigo.com/vestibular-equilibrio>

- Loos, S., and Hoinkis, U. (2007). *Las personas discapacitadas también juegan: 65 juegos y actividades para favorecer el desarrollo físico y psíquico*. Narcea Ediciones. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=StEQG2IYUHgC&pgis=1>
- McConville, K. M. V., and Milosevic, M. (2014). Active video game head movement inputs. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(1), 253–257. Retrieved from: <http://doi.org/10.1007/s00779-013-0662-2>
- Pastor, J. B. (1998). *El Sistema Vestibular y Sus Alteraciones, Volume 1*. Elsevier España. Retrieved from https://books.google.com/books?id=Igv0Sd_jB7sC&pgis=1
- Puhl, J., Greaves, K., Hoyt, M., and Baranowski, T. (1990). Children's Activity Rating Scale (CARS): description and calibration. *Res Q Exerc Sport*, 61(1), 26–36. Retrieved from: <http://doi.org/10.1080/02701367.1990.10607475>
- Rahman, M. A., Hossain, D., Qamar, A. M., Rehman, F. U., Toonsi, A. H., Ahmed, M., ... Basalamah, S. (2014). A Low-cost Serious Game Therapy Environment with Inverse Kinematic Feedback for Children Having Physical Disability. In *Proceedings of International Conference on Multimedia Retrieval - ICMR '14* (pp. 529–531). Retrieved from: <http://doi.org/10.1145/2578726.2582619>
- Rector, K., Bennett, C. L., and Kientz, J. A. (2013). Eyes-free yoga. In *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '13* (pp. 1–8). New York, New York, USA: ACM Press. Retrieved from: <http://doi.org/10.1145/2513383.2513392>
- Sheehan, D. P., and Katz, L. (2013). The effects of a daily, 6-week exergaming curriculum on balance in fourth grade children. *Journal of Sport and Health Science*, 2(3), 131–137. Retrieved from: <http://doi.org/10.1016/j.jshs.2013.02.002>
- Wendell, J. B., Shelley, W., and Karen, H. (2004). *Rapid contextual design A How-To Guide to Key Techniques for User-Centered Design*. Elsevier. Retrieved from: <http://doi.org/10.1145/1066322.1066325>
- Whitney, S. L., Sparto, P. J., Brown, K. E., Furman, J. M., Jacobson, J. L., and Redfern, M. S. (2002). The Potential Use of Virtual Reality in Vestibular Rehabilitation: Preliminary Findings with the BNAVE. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 26(2), 72–78.
- World Health Organization. (2013). *Autism spectrum disorders & other developmental disorders From raising awareness to building capacity*. Geneva, Switzerland.
- Zalapa Cardiel, C. R. (2014). *Cómputo tangible en apoyo en las terapias sensoriales para niños con autismo*. Tesis de maestría de CICESE.

Apéndice A

A.1 Estudio contextual

Un estudio contextual, es un estudio cualitativo que se realiza en sitio con los usuarios finales del sistema para encontrar los requerimientos del sistema, considerando el contexto de uso y las características de los usuarios potenciales.

Para este estudio contextual se analizaron 90 minutos de video y 15 entrevistas que se recabaron de evaluaciones anteriores realizadas en “Pasitos”, con la finalidad de entender las terapias y la forma en que se trabaja con los niños en este centro. Se realizó un protocolo de entrevista en el cual se abordaron temas como la comprensión de las terapias de estimulación vestibular, los instrumentos y el arreglo del lugar donde se realiza la terapia, las medidas de seguridad y los incentivos que otorgan. Este protocolo se aplicó a una Licenciada en lenguaje y aprendizaje y a un Licenciado en terapias físicas. También se realizó observación directa no participativa por 15 horas en las instalaciones de Pasitos. El objetivo de la observación era conocer las actividades relacionadas con la estimulación vestibular que se realizaban en Pasitos (ver Tabla 12).

Tabla 12 Resumen de los datos que se recolectaron durante el estudio contextual

Rol	Actividad	Duración (Hrs.)
<i>Maestras - psicólogas del grupo de trabajo en “Pasitos” Preescolar Especial, A. C.</i>	16 entrevistas semiestructuradas de estudios anteriores	07:20:12
<i>Lic. en lenguaje y aprendizaje</i>	1 Entrevista semiestructurada	00:40:00
<i>Lic. en terapias físicas</i>	1 Entrevista semiestructurada	00:40:00
<i>Grupos de alumnos de “Pasitos” Preescolar Especial, A. C. con edades entre 2-9 años</i>	Observación directa no participativa	15:00:00
	Total de horas	23:40:12

A.1.1 Análisis de datos

Para el análisis de la información recabada en la observación directa y en las entrevistas, se utilizaron técnicas de teoría fundamentada¹⁵ como es la codificación axial y abierta. Para la codificación abierta se analizó párrafo por párrafo cada entrevista para categorizar características del diseño. Con estas categorías se realizó la codificación axial, que consta de agrupar categorías y de generar una nueva categoría que las represente de mejor manera.

A.1.2 Resultado

El resultado de este análisis fue un diagrama de afinidad (ver Figura 1) que consta de con cuatro temas emergentes:

- Problemas en la terapia: muestra aquellos problemas con los que se enfrenta los terapeutas y los niños con autismo al momento de realizar una terapia de estimulación vestibular.
- Características de terapia: incluye las características de las terapias, cosas que independientes de los ejercicios que se realizan, como lo son: los estímulos que recibe el niño, la secuencia de las actividades y la duración de la terapia.
- Características de diseño: engloba las características que permite mantener y regresar la atención a la tarea en los niños con autismo, así como las ayudas que se les debe de otorgar en una terapia tradicional.
- Tipo de ejercicio: se encontraron diferentes tipos de ejercicios que se realizan en una terapia de estimulación vestibular.

¹⁵ **Teoría fundamentada:** metodología para generar teoría a partir de datos sistemáticamente capturados y analizados (Corbin and Strauss, 2014).

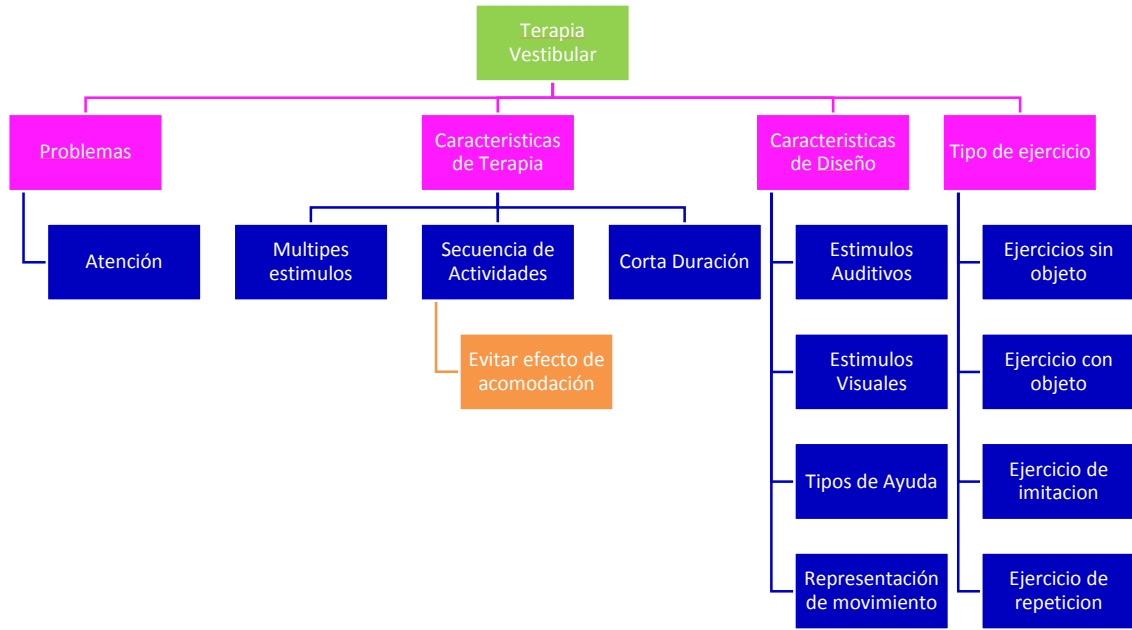


Figura 30 Diagrama de afinidad

Apéndice B

Protocolo de entrevista a psicóloga en la intervención

Preámbulo (objetivos y aseguramiento de confidencialidad):

Buenos días mi nombre es Oscar Peña Ramírez, soy estudiante de maestría del CICESE en Ciencias de la Computación. El objetivo de esta investigación es el desarrollo de tecnología innovadora para apoyar a niños con autismo durante las terapias de estimulación vestibular. El equipo de investigación que encabeza este estudio, se especializa en temas referentes a computación y al desarrollo de tecnología de acuerdo al estudio de las necesidades de una comunidad. Su apoyo y retroalimentación es muy importante para nosotros ya que no nos especializamos en los temas referentes a autismo y terapias de estimulación vestibular. La presente entrevista tiene intereses estrictos de investigación y la información recopilada de entrevistas y grabaciones serán de uso confidencial. Es importante mencionar que NO es objetivo de la entrevista evaluarlo a usted, simplemente quiero conocer la percepción que tiene en cuanto a algunas herramientas tecnológicas que hoy se proporcionan y el uso que puede dársele.

La entrevista tendrá una duración aproximada de 30 minutos.

La entrevista es sobre lo que observó durante las sesiones de intervención en el estudio de usuario.

Practica de habilidades motoras

1. ¿Cómo practican habilidades motoras los niños al hacer uso de Circo del cuerpo, en comparación a la terapia tradicional?
2. ¿Qué habilidades motrices practicaron los niños de mejor manera al hacer uso de Circo del cuerpo, en contra de la terapia tradicional?
3. ¿Cuáles problemas presenta Circo del cuerpo en comparación a la terapia tradicional?

Actividad física

4. ¿Cómo es la actividad física que desarrollan los niños al hacer uso de Circo de cuerpo en comparación con la terapia tradicional? Ejemplo

Desarrollo cognitivo y funciones ejecutivas

5. ¿Cómo Circo del cuerpo ayuda en el desarrollo cognitivo del niño en comparación con la terapia tradicional? Ejemplo

Impacto en otras áreas del desarrollo

6. ¿En qué otras áreas del desarrollo puede impactar el uso de Circo del cuerpo, para los participantes del día de hoy? Ejemplo
7. ¿Qué beneficios presenta el apoyo a estas áreas?

Atención y enganchamiento

8. ¿Cómo fue el enganchamiento del niño mientras hace uso de Circo del cuerpo comparada con la terapia tradicional? Ejemplo
9. ¿Cómo fue la atención del niño al hacer uso de Circo del cuerpo en comparación de la terapia tradicional?
10. ¿Qué cambio en las acciones que realiza el niño se vieron mientras usaban Circo del cuerpo?

Problemas durante la intervención

11. ¿Cuáles son los problemas a los que se enfrentan los niños al usar Circo del cuerpo?
12. ¿Cuáles son los problemas a los que se enfrentan los niños al realizar la terapia tradicional?