

Ensenada, B.C., a 22 de septiembre de 2016

**Dr. Silvio Guido Lorenzo Marinone Moschetto**

Director General del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)

PRESENTE

El suscrito, **José Guillermo Cemé Canul**, bajo protesta de decir verdad declaro que me encuentro adscrito al Programa de Posgrado del **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California**, en lo sucesivo **CICESE**, denominado **Ciencias de la Computación y** que soy autor de la tesis de **Maestría en Ciencias**, titulada:

**Videojuego interactivo en apoyo a niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves**

De igual forma declaro que dicha Tesis fue realizada como parte de los resultados de los estudios de posgrado que me encuentro realizando en el CICESE, Tesis que ha sido dirigida por **Ana Isabel Martínez García**, por lo que reconozco que la tesis fue realizada como consecuencia de las actividades desarrolladas por el suscrito en colaboración y bajo la dirección del personal del CICESE, inclusive con el uso de su infraestructura e información propiedad del CICESE, en tal sentido ratifico que el CICESE es titular de los derechos patrimoniales de la Tesis, conforme a lo previsto en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor, reservando para el suscrito los derechos morales de la misma obra.

Conforme a los intereses de CICESE la obra citada puede estar disponible en el catálogo de su Biblioteca, en texto completo (formato PDF), en el sitio Web de la biblioteca (<http://biblioteca.cicese.mx>) y pueda ser copiada, reproducida, distribuida, transmitida, difundida y almacenada en cualquier tipo de formato impreso y medio electrónico, analógico o digital que se disponga en el presente y el futuro, así como de explotar cualquier parte de la misma.

De igual manera, es de mi conocimiento que la publicación de la tesis no tiene una finalidad lucrativa, sino académica; por lo que otorgo la autorización correspondiente para que la difusión pueda efectuarse ampliamente, a través de cualquier tipo de medios, tanto en red local como por vía Internet o de cualquier otro sistema o tecnología creada o por crearse, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

Así mismo, manifiesto que el CICESE queda liberado y deslindado de cualquier responsabilidad moral, social y jurídica que pueda darse u ocasionar conflictos con terceros a raíz de la información contenida en la tesis de mi autoría, como lo es el contenido, el estilo de la redacción y uso de las gráficas, imágenes, fotografías, tablas, datos, textos y el uso del software que se hubiera utilizado.

Sin otro asunto en particular, quedo de usted como su atento y seguro servidor.

Atentamente,



---

José Guillermo Cemé Canul

---

13263490

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



---

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

---

**Videojuego interactivo en apoyo a niños con problemas  
cognitivos y de la marcha, leves.**

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

Presenta:

**José Guillermo Cemé Canul**

Ensenada, Baja California, México  
2016

Tesis defendida por  
**José Guillermo Cemé Canul**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dra. Ana Isabel Martínez García**  
Director de tesis

**Dra. Beatriz Cordero Esquivel**

**Dr. José Antonio García Macías**



---

**Dr. Jesús Favela Vara**  
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Computación

---

**Dra. Rufina Hernández Martínez**  
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **José Guillermo Cemé Canul** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Computación.

### **Videojuego interactivo en apoyo a niños con problemas cognitivos y de la marcha leves**

Resumen aprobado por:

---

Dra. Ana Isabel Martínez García  
**Director de tesis**

La discapacidad intelectual es una condición que incide de muchas maneras en el desenvolvimiento diario de las personas que la padecen, la mayoría de las veces se presenta desde la niñez y afecta las habilidades motrices tal como la marcha. Para hacer frente a estos problemas, se emplea la terapia física, pero suele traer inconvenientes como la pérdida de compromiso, aburrimiento y como consecuencia, el abandono de la terapia. Por otro lado, los exergames (juegos basados en movimiento), pueden ser empleados como alternativas para apoyar estas terapias, proporcionando motivación y actividad física para niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves. En este trabajo se describe el diseño e implementación de un exergame sobre un piso interactivo, para el apoyo de terapias de dichos niños. Para el diseño de este exergame se siguió una metodología centrada en el usuario, se realizaron sesiones de diseño participativo con profesionales en la atención de niños con discapacidad intelectual y sesiones de diseño con expertos en interacción humano – computadora. Como resultado se obtuvo un prototipo de bajo nivel, el cual fue implementado en un framework de desarrollo de aplicaciones interactivas. Se hizo uso de dos sensores Kinect para la entrada de datos al exergame y un proyector para la proyección del piso interactivo. Finalmente se realizó la evaluación en un Centro de Atención Múltiple, participaron 10 niños con discapacidad intelectual leve, de entre 12 a 15 años. Para la evaluación se comparó el exergame con un circuito de actividades físicas similar. Los resultados obtenidos muestran la equivalencia en la actividad física del exergame con el circuito de actividades. Además de una experiencia de juego muy positiva. Se puede concluir que el exergame es un complemento ideal para el apoyo de terapias de niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves.

**Palabras clave: Exergame, discapacidad intelectual, niños, marcha, piso interactivo.**

Abstract of the thesis presented by **José Guillermo Cemé Canul** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Computer Science.

**Interactive videogame in support children with mild cognitive and gait problems.**

Abstract approved by:

---

Ph.D. Ana Isabel Martínez García  
**Thesis Director**

Intellectual disability affects in many ways the daily activities of people, this condition can appear since childhood and affects motor skills, including the gait. Physical therapy is one approach used to address these problems, but it usually presents disadvantages such as the loss of engagement and boredom, and as consequence the abandonment of the therapy. On the other hand, exergames (games based in movement), can be used to support these therapies, providing motivation and physical activity for children with mild cognitive and gait problems. This thesis presents the design and implementation of an exergame on an interactive floor for supporting these children. For the design of this exergame, we followed a user centered methodology, we conducted participatory design sessions with professionals in the care of children with intellectual disabilities, and design session with experts in human computer interaction. As a result we obtained a low functionality prototype, which was implemented in a framework for the development of interactive applications. We used two Kinect sensors for data input, and a projector to present the interactive floor. Finally an evaluation was conducted in a center for the attention of multiple educational conditions, with 10 children with intellectual disabilities, between 12 – 15 years old. The exergame was compared with a similar activity circuit. The results showed equivalence in physical activity between the exergame and the activity circuit. Also, a there was a very positive game experience. From the results obtained, we can conclude that the exergame is an ideal complement for supporting therapy of children with mild cognitive and gait problems.

**Keywords: Exergame, intellectual disability, children, gait, interactive floor**

## **Dedicatoria**

**A mis padres, que me han brindado su apoyo incondicional**

## Agradecimientos

*Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por permitirme la oportunidad del desarrollo de esta investigación*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante la realización de esta investigación como becario con el número 300709*

*A mis padres que estuvieron en todo momento apoyándome*

*A mi directora de tesis que gracias a su apoyo y orientación pude concluir este trabajo de investigación*

*A mi comité de tesis conformado por la Dra. Beatriz Cordero Esquivel y el Dr. José Antonio García Macías por las observaciones y el apoyo a lo largo de este trabajo*

*Al Centro de Atención Múltiple “Alma Evelia Llamas Arias” por brindarme el acceso y apoyo necesario para la investigación*

*Al M.C. Iván Rentería y a María de Jesús Grajeda Coronado por su colaboración y apoyo en actividades de este trabajo de tesis*

*A mi novia Yazmin del Rosario Och Tec por su apoyo y amor incondicional*

*Finalmente a mis amigos y compañeros de la generación 2013 de MCC de CICESE*

## Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas.....	xi
<b>Capítulo 1. Introducción. ....</b>	<b>1</b>
1.1 Discapacidad Intelectual .....	1
1.2 Clasificación de la capacidad motriz.....	1
1.3 Terapia física .....	2
1.4 Planteamiento del problema .....	4
1.5 Metodología .....	5
1.6 Estructura de la tesis .....	6
<b>Capítulo 2. Pisos interactivos para el apoyo a terapia de problemas en la marcha.....</b>	<b>7</b>
2.1 Terapia física .....	7
2.2 Exergames como apoyo terapéutico.....	9
2.2.1 Pisos interactivos.....	11
2.3 Resumen.....	15
<b>Capítulo 3. Estudio y diseño contextual .....</b>	<b>16</b>
3.1 Recolección de datos.....	16
3.2 Análisis de datos.....	17
3.2.1 Temas emergentes .....	18
3.3 Resultados del estudio contextual .....	20
3.3.1 Persona.....	20



3.3.2	Escenario .....	21
3.4	Ideas preliminares de diseño .....	21
3.5	Diseñando el videojuego .....	22
3.5.1	Sesión de diseño participativo: Presentación de ideas preliminares.....	22
3.5.2	Sesión de diseño participativo: Obtención de mini juegos. ....	23
3.5.3	Sesión de diseño: Evaluación del prototipo de baja fidelidad .....	24
3.5.4	Sesión de Diseño Participativo: Evaluación del prototipo de alta fidelidad .....	26
3.6	Diseño del videojuego .....	26
3.6.1	Calibración de posición de usuario .....	28
3.6.2	Capturemos animales.....	29
3.6.3	Tiempo de reventar.....	29
3.6.4	El rincón de la música.....	30
3.6.5	A conducir.....	31
3.6.6	Flujo del videojuego .....	32
3.7	Resumen.....	34
 <b>Capítulo 4. Implementación del piso interactivo .....</b>		<b>35</b>
4.1	Introducción .....	35
4.2	Diseño de alto nivel.....	35
4.3	Arquitectura lógica .....	37
4.4	Tecnología usada en la implementación del videojuego en el piso interactivo .....	41
4.4.1	Kinect.....	41
4.4.2	Processing.....	41
4.4.3	OpenNI .....	42
4.4.4	SimpleOpenNI .....	42
4.4.5	Esqueleto.....	42
4.4.6	Detección de salto .....	43
4.5	Configuración física del piso interactivo .....	45
4.6	Resumen.....	46
 <b>Capítulo 5. Evaluación del piso interactivo. ....</b>		<b>48</b>

5.1	Introducción .....	48
5.2	Objetivo de la evaluación .....	48
5.3	Diseño del experimento. ....	48
5.3.1	Participantes.....	49
5.3.2	Configuración física del piso interactivo .....	49
5.3.3	Configuración física del circuito de actividades .....	50
5.3.4	Instrumentos .....	51
5.3.5	Procedimientos .....	52
5.4	Desarrollo del experimento .....	53
5.5	Análisis de datos.....	54
5.6	Resultados de la evaluación .....	55
5.6.1	Intensidad de actividad física .....	55
5.6.2	Experiencia de juego .....	56
5.7	Resumen.....	58
<b>Capítulo 6. Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro .....</b>		<b>59</b>
6.1	Conclusiones.....	59
6.2	Aportaciones .....	60
6.3	Limitaciones .....	60
6.4	Trabajo futuro .....	61
<b>Lista de referencias bibliográficas .....</b>		<b>62</b>
<b>Anexos.....</b>		<b>65</b>
Anexo A.....		65
Anexo B.....		69
Anexo C.....		71
Anexo D.....		73

## Lista de figuras

Figura 1. Cuarto para terapia física de niños y sesión de terapia física con una niña. ....	3
Figura 2. Metodología del proyecto.....	5
Figura 3. La figura muestra un ambiente típico y artefactos convencionales usados en la terapia física para apoyo a la marcha.....	8
Figura 4. Terapeuta proporcionando terapia acuática a un niño.....	8
Figura 5. Terapeuta físico proporcionando terapia física a través de la hipoterapia.....	9
Figura 6. Pantalla del videojuego Falling Fruit de Growing with Timocco.....	10
Figura 7. Estación de exergaming, un juego implementado y la plataforma utilizada.....	11
Figura 8. Exergame denominado Stepstone sobre la plataforma iGameFloor.....	12
Figura 9. Diversos videojuegos sobre el piso interactivo Stomp.....	12
Figura 10. Videojuego “pong” sobre el piso interactivo Smartfloor.....	13
Figura 11. Niños jugando las reliquias del explorador.....	13
Figura 12. Izquierda: Piso interactivo diseñado. Derecha: Niños jugando Hop Hop Frog y Bubble Pop.....	15
Figura 13. Fragmento de entrevista sobre la cual se realizó microanálisis.....	18
Figura 14. Categoría Aspecto cognitivo.....	19
Figura 15. Categoría Terapia.....	19
Figura 16. Categoría Motivación lúdica.....	20
Figura 17. Ejemplo de la lluvia de ideas.....	23
Figura 18. Diseño de mini juegos, sesión de diseño participativo.....	24
Figura 19. Sesión de Diseño con expertos en HCI.....	25
Figura 20. Prototipo resultado de la sesión de diseño.....	25
Figura 21. Sesión de Diseño Participativo, evaluación.....	26
Figura 22. Pantalla inicial.....	27
Figura 23. Pantalla de configuración.....	28
Figura 24. Calibrando la posición del jugador.....	28
Figura 25. Mini juego “Capturemos animales”. Izquierda: Nivel libre. Derecha: Niveles bajo, medio y alto.....	29
Figura 26. Mini juego “Tiempo de reventar”. Izquierda: Nivel libre. Derecha: Niveles bajo, medio y alto.....	30
Figura 27. Minijuego “El rincón de la música”. Izquierda: Nivel libre. Derecha: Niveles bajo, medio y alto.....	31
Figura 28. Mini juego “A conducir”. Izquierda: Nivel libre. Derecha: Niveles bajo, medio y alto.....	31
Figura 29. Flujo del videojuego.....	33
Figura 30. Diagrama de Casos de Uso del videojuego en el piso interactivo.....	35

Figura 31. Diagrama de clases de alto nivel de la estructura general de los mini juegos.....	36
Figura 32. Clase Escenario con sus atributos y métodos .....	37
Figura 33. Diagrama de Emplazamiento .....	37
Figura 34. Arquitectura Lógica .....	38
Figura 35. Diagrama de secuencia .....	40
Figura 36. Vista de los dispositivos del Kinect.....	41
Figura 37. Representación del esqueleto por medio de articulaciones.....	43
Figura 38. Patrón de un salto humano (Chen <i>et al.</i> , 2013). .....	44
Figura 39. Señal del eje Y de la articulación del torso a lo largo del tiempo. ....	44
Figura 40. Ejemplos del patrón de salto de la recolección de datos realizada. ....	45
Figura 41. Configuración física del videojuego en el piso interactivo.....	46
Figura 42. Proyector y kinect colocados en un aula del CAM .....	50
Figura 43. Izquierda: segundo kinect colocado en el techo. Derecha: Proyección del videojuego en el aula del CAM.....	50
Figura 44. Arriba izquierda: ruta con aros. Arriba derecha: Reventar globos. Abajo izquierda: piso con burbujas de plástico. Abajo derecha: juego del semáforo.....	51
Figura 45. Arriba: Smileyometer. Abajo: algunas tarjetas usadas en el FunSorter representando mini juegos y actividades del circuito. ....	52
Figura 46. Escala Likert empleada en el cuestionario de experiencia de juego.....	54
Figura 47. Resultados del módulo núcleo .....	57
Figura 48. Resultados del módulo pos juego .....	58

## Lista de tablas

Tabla 1. Niveles generales del GMFCS. ....	2
Tabla 2. Características de los informantes .....	16
Tabla 3. Observación directa no participativa en el CAM “Alma Evelia Llamas Arias” .....	17
Tabla 4. Características de las sesiones de diseño .....	22
Tabla 5. Análisis de técnicas para la inferencia del salto. ....	43
Tabla 6. Información demográfica de los participantes.....	49
Tabla 7. Condición de cada participante .....	53
Tabla 8. Promedio de Minutos, Porcentaje de Tiempo por Actividad del Sujeto y Contexto de la Sesiones. ....	56
Tabla 9. Resultados del Smileyometer .....	56

## **Capítulo 1. Introducción.**

---

En el siguiente trabajo se propone el diseño, desarrollo y evaluación de un piso interactivo con el fin de apoyar a niños con discapacidad intelectual y problemas de la marcha leves. Se describe la discapacidad intelectual y cómo afecta la marcha, así como el tratamiento de estos problemas

### **1.1 Discapacidad Intelectual**

La discapacidad intelectual se define como una capacidad intelectual menor al promedio, la cual repercute en la manera en que las personas con esta condición se adaptan a la vida cotidiana; así como en la autonomía que se espera de estos individuos según la edad correspondiente, es decir, capacidad de mantenimiento propio y autosuficiencia (American Psychiatric Association, 2002). Esta condición también afecta las capacidades de equilibrio, motrices y el desplazamiento o marcha (Enkelaar *et al.*, 2012; Rintala *et al.*, 2013). En general, aunque los niños con discapacidad intelectual aprenden a caminar y otras habilidades motrices fundamentales, sus movimientos carecen de precisión, tienen pobre coordinación y son menos eficientes que los movimientos de sus pares con desarrollo normal (Henderson *et al.*, 1981). En México, según el INEGI (2013), en el censo de 2010 más de 94 mil niños padecían de discapacidad intelectual.

### **1.2 Clasificación de la capacidad motriz**

La marcha humana se define como un fenómeno periódico, el cual se compone de dos fases, una fase de doble apoyo y una fase de apoyo individual. Durante la fase de doble apoyo, ambos pies están en contacto con el suelo. Esta fase inicia cuando el talón del pie de adelante toca el suelo y finaliza cuando la punta del pie trasero deja de tocar el suelo. En la fase de apoyo simple, solamente un pie está apoyado en el suelo, mientras el otro se desplaza de atrás hacia adelante (Huang *et al.*, 2001).

Para medir el grado de afectación de los niños con problemas motrices o de la marcha, existe una clasificación de las habilidades motoras gruesas que puede tener un niño con problemas de movilidad (Palisano *et al.*, 2007). Dicha clasificación se denomina Sistema de Clasificación de la Función Motora

Gruesa (Gross Motor Function Classification System- GMFCS por sus siglas en inglés) y divide en cinco niveles las habilidades motoras de los niños, de tal manera que reflejan diferencias significativas entre los niveles en las actividades de la vida diaria. En general cada nivel se caracteriza de la siguiente manera (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Niveles generales del GMFCS.

Nivel	Característica general
<b>Nivel 1</b>	Camina sin restricciones
<b>Nivel 2</b>	Camina con limitaciones
<b>Nivel 3</b>	Camina utilizando un dispositivo manual auxiliar
<b>Nivel 4</b>	Auto-movilidad limitada, es posible el uso de dispositivos motorizados para la movilidad
<b>Nivel 5</b>	Uso de silla de ruedas y dispositivos motorizados.

Los niños de 6 a 12 años del nivel I son capaces de caminar cuesta arriba y cuesta abajo sin asistencia física y utilizan las escaleras sin sujetarse del pasamanos, pueden correr y saltar, pero la velocidad, equilibrio y coordinación en la actividad están limitadas. En contraste con el nivel I, los niños del nivel II pueden manifestar dificultad o perder el equilibrio al caminar largas distancias, en terrenos irregulares, inclinados o muy concurridos, en espacios pequeños y mientras cargan objetos; los niños utilizan las escaleras con ayuda del pasamanos o de otra persona, en espacios exteriores suelen requerir ayuda de dispositivos auxiliares para la marcha, así como utilizar sillas de ruedas, tienen una habilidad mínima para correr o saltar. En este trabajo nos enfocaremos en niños que se encuentren en estos dos niveles, nivel I y II de la GMFCS.

### 1.3 Terapia física

De acuerdo con (Kurtz, 2008), para los problemas leves relacionado con el desarrollo motriz, se utilizan dos enfoques de terapias: la terapia ocupacional que está dirigida a tratar los problemas relacionados con la motricidad fina y desarrollo de la percepción que puedan interferir con el rendimiento del auto-cuidado, el juego y la escuela, las cuales son las “ocupaciones” primarias de la niñez; en contraste, la terapia física (Figura 1) está dirigida a los problemas relacionados con la motricidad gruesa y la habilidad de moverse en el ambiente.



**Figura 1.** Cuarto para terapia física de niños y sesión de terapia física con una niña.

Greef *et al.* (2013), mencionan que los niños con necesidades especiales a menudo necesitan someterse a largos periodos de terapia física, por lo que frecuentemente se aburren, una de las consecuencias de esto es el decremento de la eficacia de la terapia; por ello, el añadir juegos a éstas pueden hacerlas más motivantes. La efectividad de la fisioterapia a largo plazo está asociada directamente con el esfuerzo y el compromiso durante el proceso de rehabilitación. De acuerdo con (Leo & Tan, 2010), las terapias de rehabilitación de la marcha y el balance de niños pequeños involucran actividades repetitivas que pueden extenderse por periodos de meses e incluso años, adicionalmente, el nivel de compromiso tiende a disminuir, a medida que la tasa de mejora disminuye después de los primeros meses. Además, uno de los principales retos al que se enfrentan los terapeutas, es mantener la atención de los niños durante las terapias a fin de obtener los efectos terapéuticos, pues es necesario que se mantenga la atención durante periodos continuos de tiempo.

Una alternativa actual para apoyar las terapias de coordinación motriz son los denominados videojuegos serios. Los cuales son aquellos que fueron diseñados con un propósito específico fuera del mero entretenimiento, a menudo dirigidos para una población en específico (Alvarez & Djaouti, 2011). Como ejemplos del uso de estos videojuegos en apoyo a las terapias están: Growing with Timocco (Tresser, 2012), Stepstone (Iversen *et al.*, 2007) y Stomp (Wyeth *et al.*, 2011). Sin embargo, estos están centrados en niños con discapacidad intelectual leve o no se enfocan en terapias en apoyo a la marcha, por lo que es importante desarrollar estos videojuegos de acuerdo a las características cognitivas para proporcionar un apoyo adecuado a las terapias de niños con discapacidad intelectual; además de proveer la intensidad de ejercicio suficiente para obtener beneficios en la motricidad gruesa, ya que existe evidencia en la



literatura de los beneficios del ejercicio moderado en apoyo a la marcha en personas con discapacidades intelectuales, incluidas personas jóvenes y niños (Johnson, 2009; Lee *et al.*, 2014).

## 1.4 Planteamiento del problema

Las terapias tradicionales para apoyar problemas de movilidad, incluyendo problemas leves en la marcha, presentan en los niños pérdida de atención y aburrimiento, en particular aún más de los niños con problemas cognitivos leves, al realizar acciones repetitivas, así como la pérdida del compromiso debido a los periodos de tiempo que duran estas terapias, por lo que existe la necesidad de proporcionar alternativas terapéuticas que apoyen problemas leves en la marcha. Dado que los videojuegos que involucran actividad física proveen de motivación en aspectos terapéuticos relacionados con la movilidad, aunado al beneficio que éstos han brindado en terapias a niños con capacidades diferentes, en este trabajo se propone el desarrollo de videojuegos que estén orientados específicamente a problemas leves de la marcha para niños con problemas cognitivos leves, de acuerdo a los objetivos que se describen enseguida.

### **Objetivo general:**

Desarrollar y evaluar un exergame sobre un piso interactivo para el apoyo de terapias en niños con problemas leves en la marcha.

### **Objetivos específicos:**

- Definir ideas de diseño para el desarrollo de un exergame sobre un piso interactivo para el apoyo de terapias en niños con problemas de discapacidad intelectual y de la marcha leves por medio de un estudio conceptual.
- Desarrollar un exergame sobre un piso interactivo para el apoyo de terapias en niños con discapacidad intelectual con problemas leves en la marcha.
- Evaluar el exergame sobre un piso interactivo para el apoyo de terapias en niños con problemas cognitivos y de la marcha leves.

## 1.5 Metodología

Para el desarrollo del trabajo de investigación se siguió la metodología que se muestra en la Figura 2.

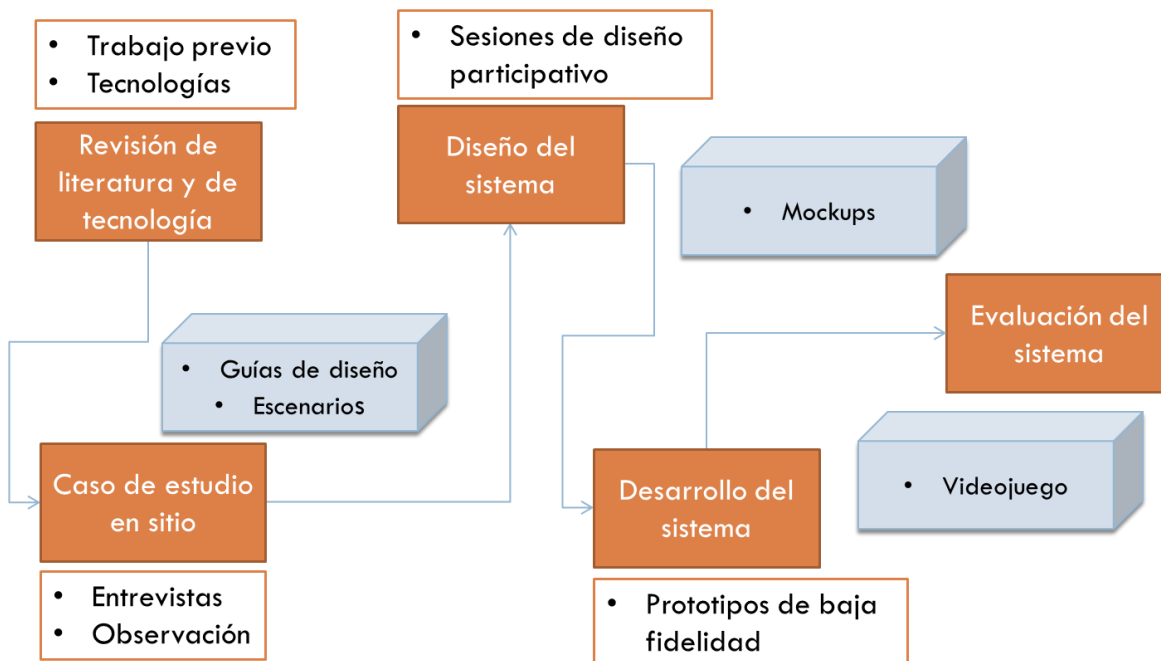


Figura 2. Metodología del proyecto

- **Revisión de literatura y de tecnología.** Se revisaron artículos y literatura en general referentes al tema, para lograr un mejor entendimiento del problema. De igual manera se revisó la tecnología, aspectos de desarrollo para el uso de la misma, incluyendo algoritmos y métodos de utilidad, factibles de implementar de acuerdo al desarrollo del proyecto.
- **Caso de estudio en sitio.** Se realizó un estudio en sitio, en un Centro de Atención Múltiple (CAM), para establecer las guías de diseño y generar escenarios útiles para la implementación del sistema. En esta etapa se realizaron entrevistas con personal del CAM que atiende a los niños con discapacidad intelectual leve y se realizó observación de los profesores, terapeutas y niños, mientras realizaban sus actividades, poniendo especial atención en los problemas cognitivos y de la marcha, leves.
- **Diseño del sistema.** Se generó el diseño del videojuego, esto es de un piso interactivo en apoyo a la mejora de la marcha, mediante un proceso iterativo, usando una metodología centrada en el

usuario, sesiones de diseño participativo, técnicas cualitativas, y con los datos obtenidos de las fases anteriores.

- **Desarrollo del sistema.** Se realizaron prototipos de baja fidelidad mediante la implementación del diseño obtenido del proceso anterior; para finalmente obtener una versión final del piso interactivo en apoyo a la marcha.
- **Evaluación del sistema.** Se realizó la evaluación del sistema en el CAM con el propósito de obtener información sobre su utilidad y usabilidad en el apoyo a la mejora de problemas leves de la marcha para niños con problemas cognitivos leves.

## 1.6 Estructura de la tesis

Este documento de tesis está organizado en capítulos. En el capítulo 2 se presenta la terapia física para el tratamiento de los problemas de la marcha y trabajo relacionado.

En el capítulo 3 se describe el estudio en sitio realizado en un CAM en la ciudad de Ensenada, B. C., México. Así como el análisis realizado a la información obtenida. Posteriormente se detalla el diseño obtenido, realizado mediante sesiones de diseño participativo.

En el capítulo 4 se detalla la implementación del piso interactivo basado en el diseño obtenido y las herramientas utilizadas para este desarrollo.

En el capítulo 5 se presenta la ejecución de la evaluación del piso interactivo realizada en el CAM y los resultados de dicha evaluación

Por último, las conclusiones y trabajo futuro son presentados en el capítulo 6.

## Capítulo 2. Pisos interactivos para el apoyo a terapia de problemas en la marcha.

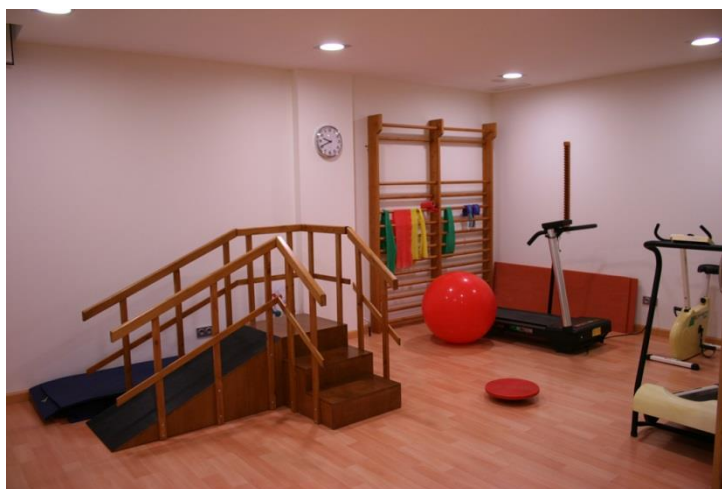
---

En este capítulo se aborda con más detalle cómo se lleva a cabo actualmente el tratamiento de problemas de la marcha a través de la terapia física; seguido por el trabajo previo del uso de los exergames como complemento a estas terapias, en particular los exergames en pisos interactivos.

### 2.1 Terapia física

La terapia física desempeña un papel fundamental en el apoyo a niños con problemas en la marcha; se centra en la funcionalidad, movimiento y uso óptimo del potencial del niño. En la terapia física se utilizan métodos físicos para promover, mantener y restaurar el bienestar físico, psicológico y social. Cuando los niños no tienen movilidad, los fisioterapeutas también enseñan a los padres cómo manejar a sus hijos en casa para alimentarse, bañarse, vestirse y otras actividades, y los orientan acerca del uso de aparatos que apoyen su movilidad (Anttila *et al.*, 2008). En la terapia física se realizan ejercicios tales como estiramientos, movilizaciones ya sea de miembros superiores e inferiores o el cuerpo en general, se realizan ejercicios de fuerza con el apoyo de ligas, pesas o usando el mismo peso del cuerpo, ejercicios de coordinación y equilibrio como desplazamientos siguiendo determinados patrones (recto, curvo, zig-zag). Los ejercicios anteriormente mencionados tienen como meta el mantenimiento y/o incremento del rango de movimiento, previniendo deformidades y contracciones, incrementando la fuerza de los músculos y mejorando la coordinación de los movimientos; con el objetivo de maximizar la comodidad y optimizar la movilidad del paciente (Geurts *et al.*, 2011).

Existen diversas técnicas para la terapia física, las más comunes son sesiones diseñadas por expertos específicamente para el paciente (Figura 3), que dependen de los problemas que éstos tengan. Regularmente estas terapias inician con movimientos de calentamiento, seguido de ejercicios que apoyan diversas áreas como el equilibrio y la coordinación; estas incluyen, caminata en línea recta, en movimiento zig-zag, caminata lateral, en reversa, con ojos abiertos y cerrados; así como el uso de artefactos como pelotas, bandas elásticas, colchonetas, combinando estos elementos, se realizan ejercicios como estirar, aventar y recibir, empujar, entre otros (Carmeli *et al.*, 2005).



**Figura 3.** La figura muestra un ambiente típico y artefactos convencionales usados en la terapia física para apoyo a la marcha

También existen técnicas basadas en el uso de agua (Figura 4). Al igual que las técnicas anteriores, éstas se diseñan con base en las características de los pacientes y sus problemas de la marcha, y se puede hacer uso de diversas temperaturas, así como de diversos ejercicios. Esta terapia permite el movimiento de todo el cuerpo sin poner presión excesiva en alguna parte específica. Permite la iniciación de movimientos independientes que son menos eficaces de alcanzar en tierra (Getz *et al.*, 2007).



**Figura 4.** Terapeuta proporcionando terapia acuática a un niño

Otro tipo de terapia física es con el uso de caballos (Figura 5), mediante la monta de éstos. Existen dos tipos de intervención de la equitación, la equitación terapéutica (therapeutic horseback riding, THR por sus siglas en inglés) y la hipoterapia. En la THR un jinete entrenado enseña las habilidades básicas al

paciente, mientras que en la hipoterapia, es un fisioterapeuta entrenado el que administra los ejercicios (Snider *et al.*, 2007).



**Figura 5.** Terapeuta físico proporcionando terapia física a través de la hipoterapia

## 2.2 Exergames como apoyo terapéutico

En los últimos años los videojuegos serios están siendo utilizados como herramientas para el apoyo a tratamiento de múltiples discapacidades, ya que pueden ayudar en la motivación, desarrollo de habilidades y manejo del dolor en los pacientes (Annema *et al.*, 2012). En el campo de la terapia física se hace uso de los exergames, denominados así debido a la unión entre la actividad física y los videojuegos (Sinclair *et al.*, 2007), para el apoyo en terapias. Los exergames pueden ser diseñados y utilizados dependiendo de las capacidades de los niños, pueden ser jugados en casa, haciendo de lado toda la logística del traslado hacia un centro de rehabilitación (Hernandez *et al.*, 2012). Los exergames han sido usados en niños con parálisis cerebral para motivarlos a hacer terapia física, permitiendo el mejoramiento del rango de movimiento, equilibrio y condición física (Hernandez *et al.*, 2013).

El exergame “Growing with Timocco” (Tresser, 2012) fue diseñado para propósitos terapéuticos en miembros superiores, tales como, el incremento de tono muscular, el mejoramiento de la coordinación bilateral, el incremento del rango de movimiento y el movimiento cruzado. Dicho exergame consta de cinco juegos y un mono llamado Timocco como personaje principal. Con este exergame se realizó un estudio con un niño de 5 años con capacidades diferentes, entre los problemas que presentaba fueron: trastorno del desarrollo de la coordinación, alteración de la estructura postural, integración y coordinación bilateral insuficiente. Durante este estudio el niño jugaba directamente un juego llamado

Falling Fruit (Figura 6), en este juego se controlan las manos de Timocco usando las propias manos del jugador, este juego consiste en capturar las frutas que caen desde arriba de la pantalla y colocarlas en la cesta que le corresponde de acuerdo al tipo de fruta que sea. Durante dicho estudio se realizaron tres sesiones de 15 minutos cada una, durante la primera sesión del juego se registró un rendimiento bajo del niño, sin embargo, éste presentó una motivación alta, las sesiones dos y tres mostraron un incremento significativo en su rendimiento, así como su interés por jugar dicho juego y explorar otros similares.



**Figura 6.** Pantalla del videojuego Falling Fruit de Growing with Timocco

Debido al corto número de sesiones, no se pudo concluir si hubo un mejoramiento significativo en las habilidades motrices del niño, pero si se observó un mejoramiento en su funcionalidad, lo cual se corroboró por medio de entrevistas con la terapeuta y los padres del niño. La exposición a la plataforma, la cual presentaba un nivel apropiado de desafío, generó interés en el niño y una sensación de éxito, estimulando al niño para realizar otras actividades que anteriormente evitaba.

(Hernandez *et al.*, 2012) desarrollaron una estación para exergaming para niños con parálisis cerebral (Figura 7); para desarrollarlo tomaron en cuenta la participación de siete niños en el nivel III y uno del nivel IV del Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa (Gross Motor Function Classification System- GMFCS por sus siglas en inglés), descrita en el capítulo 1. Este trabajo estuvo centrado en la realización de ejercicio físico vigoroso para el mejoramiento de su salud, el cual ha sido aplicado exitosamente en la rehabilitación de personas con discapacidad motriz. El diseño final permitió que siete de los ocho niños lo utilizaran, y seis de esos siete fueron capaces de alcanzar la recomendación de ejercicio vigoroso del American College of Sport Medicine (ACSM), el cual especifica que 150 minutos por semana de actividad moderada en sesiones de 10 minutos son suficientes para alcanzar beneficios a la salud. La actividad moderada se define en este caso como 64% - 76% del máximo del ritmo cardiaco. Como se ha reportado en la literatura (Johnson, 2009), estos resultados ofrecen la posibilidad de mejorar la motricidad gruesa.



**Figura 7.** Estación de exergaming, un juego implementado y la plataforma utilizada

### 2.2.1 Pisos interactivos

En el ámbito de los exergames podemos encontrar los pisos interactivos, los cuales son aquellos que involucran el suelo para proyección de elementos con los cuales el jugador interactúa. Dentro de los trabajos en pisos interactivos están los siguientes:

- a) Stepstone (Iversen et al., 2007) es un exergame multijugador colaborativo para el aprendizaje, está dirigida a niños con implante auditivo, para brindarles terapia de aprendizaje lingüístico, ya que existe relación entre el movimiento corporal y la adquisición del lenguaje; esta aplicación está implementada sobre una plataforma denominada iGameFloor (Figura 8) (Grønbaek et al., 2007); este exergame soporta de 1 a 4 jugadores, con el objetivo de conseguir el mayor puntaje colectivo, el sistema realiza preguntas a los jugadores y las respuestas aparecen en el piso en forma de piedras, los jugadores deben escoger las respuestas adecuadas usando sus pies y manos. La versión *Stepstone Ling Game* (Iversen et al., 2007) se basa en la prueba de los sonidos de Ling, una terapia para niños con implante auditivo, esta consta de 6 sonidos que se deben escuchar diariamente: *m, s, sh, u, i y a*, dicha prueba se hace monótona y aburrida para los niños; el juego entonces pregunta sobre cada uno de los 6 sonidos en cada ronda del juego, por ejemplo un imagen de una serpiente o un sol para el sonido *s*. La evaluación preliminar tuvo como resultados la colaboración de los niños en los juegos, así como una alta motivación y diversión en el proceso de aprendizaje.





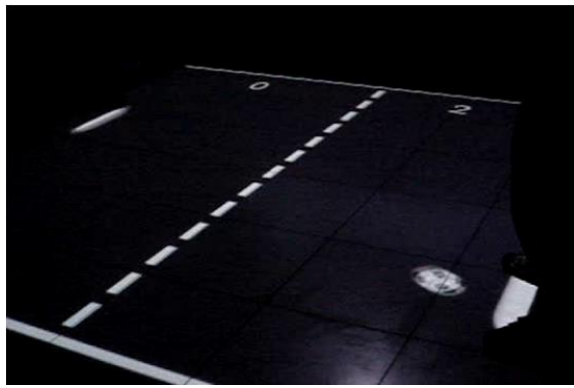
**Figura 8.** Exergame denominado Stepstone sobre la plataforma iGameFloor

- b) Stomp (Wyeth *et al.*, 2011) es un exergame en piso interactivo, éste está dirigido a personas con discapacidades intelectuales, con este piso interactivo se realizó un estudio cualitativo con 40 participantes con un amplio rango de discapacidades intelectuales, tales como parálisis cerebral, desordenes de comunicación, retraso mental, autismo y síndrome de Down; tomando como base los resultados de este estudio, se desarrollaron múltiples aplicaciones, las cuales incluyeron instrumentos musicales, experiencias de juego arcade, juegos de experiencia deportiva, así como una experiencia de pintado creativa, adicionalmente se desarrollaron juegos educativos (Figura 9). El objetivo de este sistema fue promover las interacciones sociales y físicas de las personas con discapacidad intelectual. El estudio concluye que tecnología como este piso interactivo, puede formar parte de un rol significativo en las interacciones sociales físicas de personas con discapacidad intelectual.



**Figura 9.** Diversos videojuegos sobre el piso interactivo Stomp.

- c) The Smartfloor (Heller *et al.*, 2014) (Figura 10) tiene como motivación investigar el balance dinámico en personas mayores propensos a sufrir caídas, así como impulsar la realización de ejercicio en niños con obesidad. Se implementaron tres pruebas de balance dinámico, los cuales fueron las siguientes: el test *Star Excursión*, el test *Multiple Single-Leg-Hop-Stabilization* y el test *Hexagon Agility*. También se implementaron dos juegos que buscaban promover la activación física, un juego de *pong* que requiere a los jugadores moverse rápidamente en el piso interactivo, y *smartdance*, que promovía el equilibrio al reproducir música con la cual los usuarios bailan y que se detiene abruptamente, a fin de que el usuario se detenga de igual manera. Se midió el balanceo mientras el usuario se detenía por completo.



**Figura 10.** Videojuego “pong” sobre el piso interactivo Smartfloor.

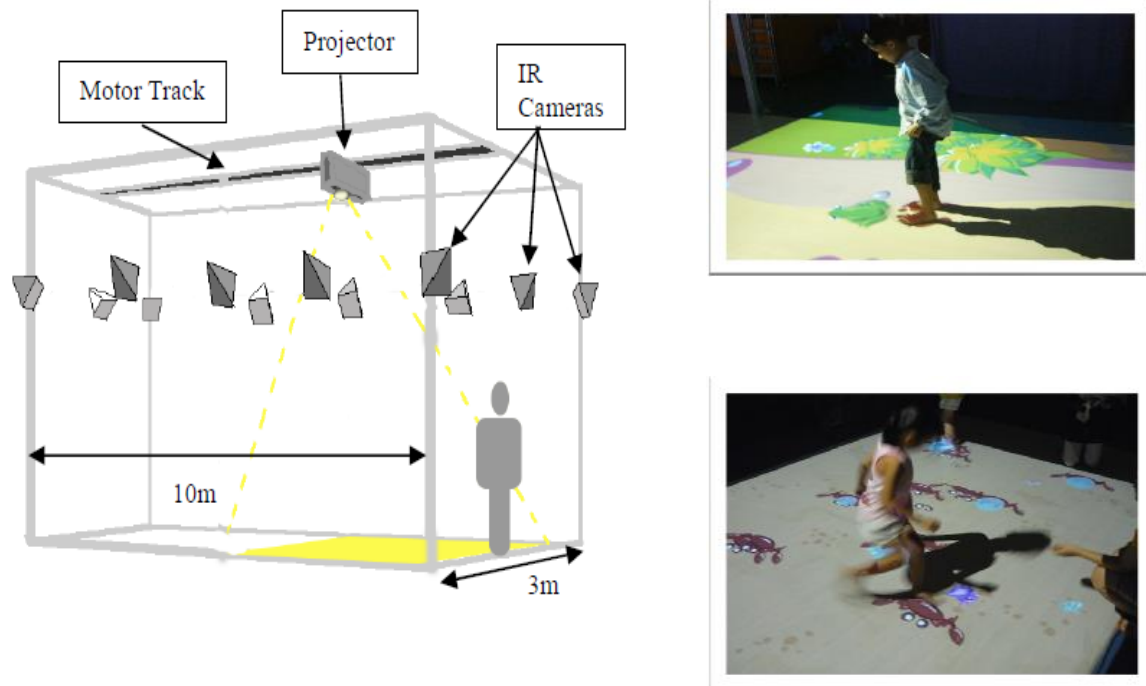
- d) “Las reliquias del explorador” (Cibrian *et al.*, 2014) es un piso interactivo orientado a la activación física y colaboración de niños en edad escolar (Figura 11). Consta de siete niveles que imitan una sesión de ejercicio, además incorpora mecanismos de colaboración. Los resultados mostraron que “Las reliquias del explorador” es propicio para asistir la clase de educación física en ambientes cerrados, además de una experiencia de juego positiva, les resultó divertido y generó un interés en los niños para continuar jugándolo.



**Figura 11.** Niños jugando las reliquias del explorador

- e) Leo & Tan (2010) implementaron dos juegos en un piso interactivo (Figura 12 izquierda), estos juegos denominados Hop Hop Frog y Bubble Pop (Figura 12 derecha) están dirigidos para niños típicos y tienen como objetivo el entrenamiento de la marcha y apoyo al equilibrio en dichos niños, sin embargo, no se realizó una evaluación completa.

De todos los trabajos anteriores se puede ver como los exergames han sido usados para apoyo a diversos tipos de terapias, en particular se puede observar como los exergames en pisos interactivos han resultado divertidos, atractivos y útiles para los niños típicos y con capacidades diferentes, tanto en algunas terapias en donde se han usado, como para activación la física. Lo que demuestra una gran oportunidad de utilizar los pisos interactivos para apoyo a terapia de la marcha para niños con problemas de motricidad. Sin embargo el trabajo en el uso de los pisos interactivos para terapias de la marcha es escaso e incompleto, ya que entre otras cosas no se presentan evaluaciones del trabajo desarrollado y en particular falta explorar el apoyo a la marcha para niños con discapacidades cognitivas.



**Figura 12.** Izquierda: Piso interactivo diseñado. Derecha: Niños jugando Hop Hop Frog y Bubble Pop

### 2.3 Resumen

Los pisos interactivos son herramientas con un gran potencial para el apoyo a niños con problemas motrices, como se ha visto, ofrecen motivación para los niños a la vez que pueden ayudar en aspectos físicos. Estos exergames no buscan sustituir a la terapia física, sino actuar como un complemento para ellas. Sin embargo, un aspecto no explorado es el apoyo específico a niños con problemas de la marcha y cognitivos leves. Por lo cual surge el interés en diseñar un exergame para dichos niños.

## Capítulo 3. Estudio y diseño contextual

---

En este capítulo se describe el estudio contextual realizado en el Centro de Atención Múltiple (CAM): Alma Evelia Llamas Arias el cual se complementó con entrevistas realizadas a expertos en la marcha del Centro de Rehabilitación Integral (CRI) del DIF. Mediante técnicas de investigación cualitativas se obtuvieron ideas preliminares de diseño, las cuales fueron la base para el diseño del videojuego. El objetivo de este estudio fue el de conocer las características de los problemas motrices, así como las técnicas usadas en su tratamiento de niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves. Como primer paso se realizó una recolección de datos, seguido de su análisis y con los resultados obtenidos se procedió a obtener un diseño mediante sesiones de diseño participativo. Estos procedimientos son descritos en las siguientes secciones.

### 3.1 Recolección de datos.

Como primer paso, se solicitó autorización en el CAM para la realización del estudio, así como la autorización de cada profesional involucrado. Se realizaron 3 entrevistas semi estructuradas<sup>1</sup> a fisioterapeutas (n=3 t=01:46:21 h) (Tabla 2); el objetivo de estas entrevistas fue el conocer las causas de los problemas motrices, las consecuencias de dichos problemas, así como las estrategias empleadas para hacerles frente.

**Tabla 2.** Características de los informantes

Profesión	Experiencia	Lugar	Duración
Fisioterapeuta	17 años	CAM Alma Evelia Llamas Arias	00:35:24
Fisioterapeuta	5 años	Centro de Rehabilitación Integral del DIF	00:36:37
Fisioterapeuta	1 año	Centro de Rehabilitación Integral del DIF	00:35:20

---

<sup>1</sup> **Entrevista semi estructurada:** Se realiza basándose en guión básico previamente diseñado por el investigador con preguntas cerradas y abiertas (Anexo A).

Las entrevistas fueron complementadas mediante observación directa no participativa<sup>2</sup> (n=21 t=2:05:00 hrs) (Tabla 3), para conocer el desenvolvimiento de los niños en el ambiente escolar, principalmente en el aspecto motriz. El audio de las entrevistas fue transcrito y de la observación se tomaron notas de campo.

**Tabla 3.** Observación directa no participativa en el CAM “Alma Evelia Llamas Arias”

Observación	Participantes	Duración
Sesión de Educación física	6 niños, 1 profesor de educación física, 1 profesora de grupo	00:25:00
Jornada activación física	18 niños, 1 profesor de educación física, 3 profesores de grupo	01:07:00
Clase	5 niños, 1 profesora de grupo	00:48:00
Clase	5 niños, 1 profesora de grupo	00:55:00
Sesión de Educación física	5 niños, 1 profesora de grupo	00:35:00

### 3.2 Análisis de datos

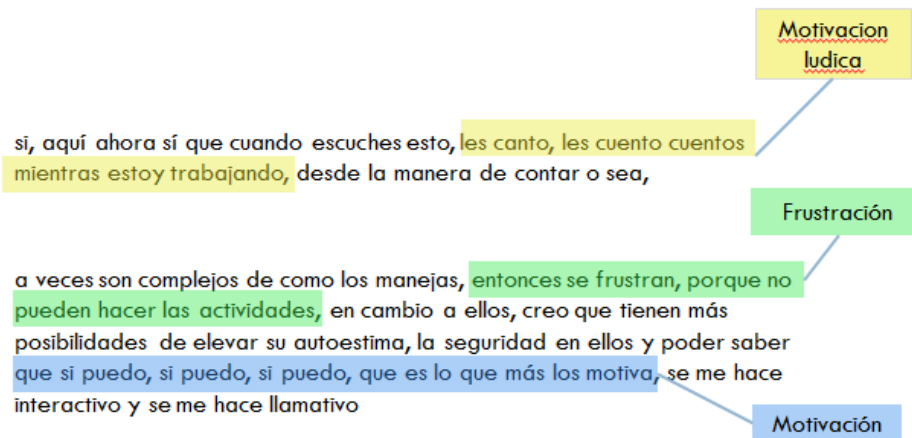
En esta sección se describe el análisis de las entrevistas hechas a los fisioterapeutas, para este fin se emplearon técnicas basadas en la teoría fundamentada<sup>3</sup> (Strauss & Corbin, 1998). Como primer paso se empleó el microanálisis<sup>4</sup> (Figura 13) para la obtención de conceptos recurrentes, estos conceptos fueron agrupados para obtener ideas preliminares de diseño mediante sesiones de interpretación.

---

<sup>2</sup> **Observación directa no participativa:** consiste en observar el fenómeno de estudio de manera pasiva, es decir, no interfiriendo con las actividades normales de los participantes.

<sup>3</sup> **Teoría fundamentada:** análisis de datos recopilados de manera sistemática por medio de un proceso de investigación, para generar una teoría que guarde estrecha relación con los datos obtenidos.

<sup>4</sup> **Microanálisis:** es un análisis detallado, línea por línea, de los datos que se obtienen de entrevistas, observación, con el objetivo de obtener categorías para el entendimiento del fenómeno de estudio



**Figura 13.** Fragmento de entrevista sobre la cual se realizó microanálisis

Del microanálisis y las sesiones de interpretación realizados en el paso anterior, se obtuvo un diagrama de afinidad<sup>5</sup> (Holtzblatt *et al.*, 2004) con el cual se realizó una representación categorizada de los aspectos relevantes del problema y fue complementado con las notas de las observaciones que se describe enseguida.

### 3.2.1 Temas emergentes

A continuación se describen los temas emergentes encontrados del estudio contextual:

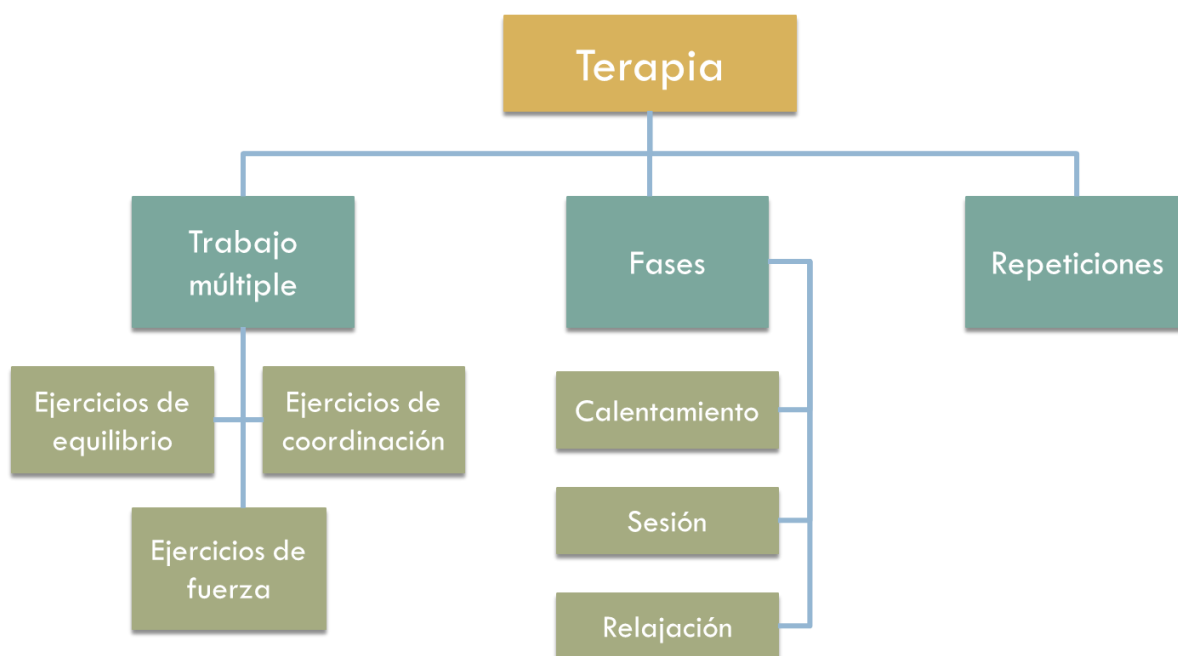
- **Aspecto cognitivo.** Dadas las características de la población de estudio, se encontró que un aspecto a considerar es el cognitivo (**Figura 14**), en el cual encontramos problemas de frustración al no poder realizar determinadas actividades solicitadas, por lo cual es necesario repetirles las instrucciones. De igual manera, estas instrucciones deben ser sencillas y claras, debido a la limitación para entender conceptos complejos.

<sup>5</sup> **Diagrama de afinidad:** técnica que nos permite agrupar citas o conceptos de acuerdo con su relación entre sí



**Figura 14.** Categoría Aspecto cognitivo

- **Terapia.** Se obtuvieron las actividades que apoyan a las terapias (**Figura 15**) para problemas de la marcha, así como los aspectos relevantes en este tema, tal como las fases de una terapia y la necesidad de hacer repeticiones. Las actividades para el apoyo a la coordinación, el equilibrio y la fuerza en su mayoría se trabajan en conjunto.



**Figura 15.** Categoría Terapia



- **Motivación lúdica.** Para la realización de las actividades escolares, incluyendo las actividades físicas, es muy importante la motivación en forma de juego, así como las recompensas y estímulos que los incentiven a la realización de las tareas que se les piden (Figura 16).



**Figura 16.** Categoría Motivación lúdica

Estos temas emergentes son puestos en contexto mediante dos técnicas de diseño contextual rápido, los cuales son presentados en la siguiente sección.

### 3.3 Resultados del estudio contextual

En esta sección se describen los resultados del análisis de datos presentado en la sección anterior, como parte del diseño contextual rápido, se utilizaron las siguientes dos técnicas:

#### 3.3.1 Persona

Representa un usuario que engloba características relevantes al sistema que se desarrolla, no representa a una persona en específico.

*Pablo* es un niño de 11 años que acude al CAM, presenta discapacidad intelectual leve; lo cual provoca, entre otras cosas, problemas en la motricidad gruesa, es decir, menor equilibrio y coordinación que un niño promedio de su edad.

### 3.3.2 Escenario

Representa una situación en la que la *Persona* (*Pablo*) realiza tareas relacionadas con el sistema que se desarrolla.

*Pablo* acude a clases a un CAM. Las actividades que realiza durante clase son guiadas cercanamente por la profesora del grupo, al igual que las de sus compañeros. En la clase de educación física, el profesor pone actividades de equilibrio y coordinación, *Pablo* tiene dificultades al hacerlas, por ejemplo, se le pide que recorra un camino en zig-zag, el cual puede recorrer a una baja velocidad, pero al intentar hacerlo más rápido, tiene que detenerse para recuperar el equilibrio, también se le tiene que repetir las instrucciones. Además *Pablo*, en actividades como lanzar y recibir una pelota con un compañero, se le muestra que tiene que pararse enfrente de su compañero, tomar una pelota y lanzarla para que su compañero la atrape, luego debe esperar que el compañero se la lance para atraparla; en estas actividades muestra buena disposición si se le apoya y se le incentiva con palabras de ánimo, paciencia y sin regaños si hace algo equivocado, al contrario, se le orienta para realizar la actividad en la medida de su capacidad.

## 3.4 Ideas preliminares de diseño

Se obtuvieron 3 ideas preliminares de diseño:

- **Aspecto cognitivo:** el estudio indica que se deben usar historias sencillas, dada la limitación cognitiva inherente a la población, por lo cual el exergame debe tener historias sencillas mediante mini juegos.
- **Terapia:** se encontró que las actividades realizadas para apoyar el aspecto motriz involucran ejercicios de coordinación, de equilibrio y fuerza, y estas son trabajadas de manera simultánea en las actividades. Por lo cual los mini juegos deberán contener niveles que apliquen estos aspectos.

- **Motivación lúdica:** un aspecto importante es la motivación hacia los niños para realizar las actividades, esto se consigue mediante el uso de estímulos llamativos y recompensas, estos aspectos se deben incorporar al exergame.

### 3.5 Diseñando el videojuego

En esta sección se describe el proceso de diseño e implementación del videojuego. Basándose en las ideas preliminares obtenidas del estudio contextual, se realizaron varias sesiones de diseño con el fin de obtener un prototipo de baja fidelidad, para su posterior implementación (Tabla 4). Estas sesiones de diseño participativo<sup>6</sup> se realizaron con profesionales en el área de atención a niños con capacidades diferentes, así como una sesión de diseño con expertos en Interacción Humano Computadora (Human Computer Interaction – HCI por sus siglas en inglés).

**Tabla 4.** Características de las sesiones de diseño

Sesión de Diseño	Participantes	Lugar y duración
Presentación de ideas preliminares	Profesor de educación física Profesor de computación Fisioterapeuta Profesor de grupo	CAM Alma Evelia Llamas Arias. 48 min
Obtención de Mini juegos	Profesor de educación física Profesor de computación Profesor de grupo	CAM Alma Evelia Llamas Arias. 63 min
Evaluación de Prototipo de baja fidelidad	2 Expertos en HCI	CICESE. 50 min
Evaluación de Prototipo de alta fidelidad	Profesor de educación física Profesor de computación Profesor de grupo	CAM Alma Evelia Llamas Arias. 27 min

#### 3.5.1 Sesión de diseño participativo: Presentación de ideas preliminares

En esta sesión participaron 4 profesionales del CAM con experiencia en atención y educación de niños con problemas cognitivos (profesor de educación física, profesor de computación, fisioterapeuta y

---

<sup>6</sup> **Sesión de diseño participativo:** Consiste en la obtención de ideas con la participación de los usuarios involucrados en el uso de un sistema a desarrollar, exponiendo ideas y obteniendo retroalimentación de las mismas por parte de los usuarios.

profesor de grupo). El objetivo principal fue obtener un bosquejo del videojuego, así como los elementos que lo conformarían. Como primer paso se les presentó el objetivo de esta investigación y se les informó sobre la privacidad de la información obtenida; que ésta sería solo para el uso estricto del equipo de investigación. Posteriormente se realizó una lluvia de ideas (Figura 17), con el fin de obtener los elementos que conformarían el videojuego.

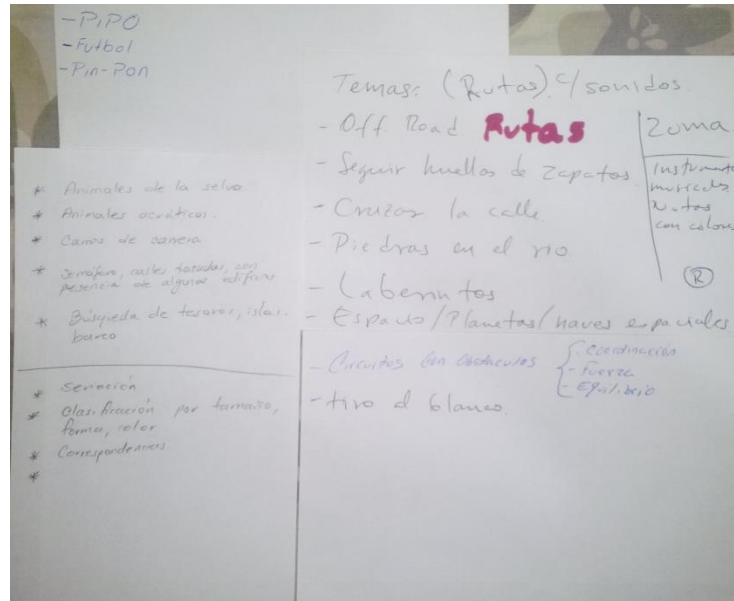


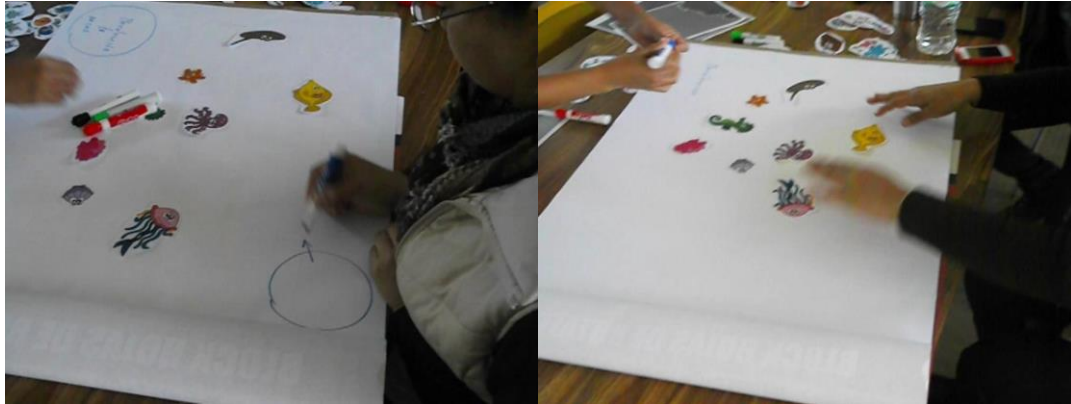
Figura 17. Ejemplo de la lluvia de ideas

De esta sesión se obtuvieron los siguiente resultados: el uso de mini juegos, modo de juego mono – jugador (un solo jugador), posibles temáticas para los juegos, así como el uso de un personaje como guía.

### 3.5.2 Sesión de diseño participativo: Obtención de mini juegos.

En esta segunda sesión participaron 3 profesionales del CAM con experiencia en atención y educación de niños con problemas cognitivos (profesor de educación física, profesor de computación, profesor de grupo). El objetivo fue el establecimiento de los mini juegos; para dicho fin, se hizo uso de material

basado en los resultados de la sesión anterior. Para esta sesión se utilizó material impreso con diversas imágenes y elementos que pudieran ser usados en la obtención de mini juegos, también se les pidió plasmar sus ideas en un rotafolio (Figura 18).



**Figura 18.** Diseño de mini juegos, sesión de diseño participativo

Como resultado de esta sesión se obtuvieron los modos de interacción: caminar y saltar; un bosquejo de los niveles de dificultad, 4 mini juegos: seguimiento de rutas (apoyo en coordinación y equilibrio), saltar sobre objetivos (apoyo en la fuerza, equilibrio), juego musical (incorpora elementos musicales) y juego del semáforo (para el apoyo de marcha en un ambiente real). Además, el uso de 2 temas para ambientar el videojuego, los cuales son: tema del mar y tema de la selva.

### **3.5.3 Sesión de diseño: Evaluación del prototipo de baja fidelidad**

Tomando los resultados de la sesión anterior se diseñó un prototipo de baja fidelidad, el cual se evaluó en una sesión de diseño con 2 expertos en HCI en el CICESE (Figura 19). Se planteó como objetivo principal la validación del prototipo, se introdujo el objetivo de la investigación, así como los resultados de las sesiones anteriores. Posteriormente se presentó un prototipo de baja fidelidad con los mini juegos obtenidos, así como los niveles propuestos para cada uno.

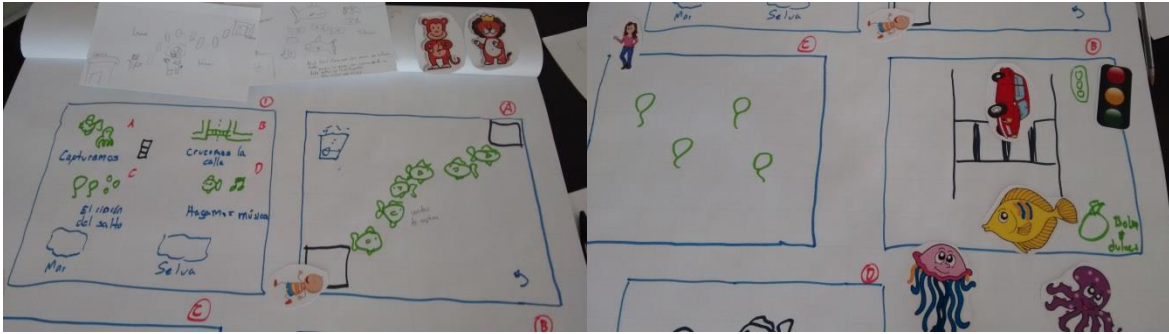


Figura 19. Sesión de Diseño con expertos en HCI

Se obtuvieron los siguientes resultados: a) detallado más específico de los niveles de dificultad, b) modificación del juego del semáforo, c) definición de los objetos a reventar en el mini juego de saltar sobre objetivos. Con estos resultados, se desarrolló un prototipo de alta fidelidad del mini juego de seguimiento de rutas y saltar sobre objetivos (Figura 20).



Figura 20. Prototipo resultado de la sesión de diseño.

### 3.5.4 Sesión de Diseño Participativo: Evaluación del prototipo de alta fidelidad

El objetivo de esta sesión fue la validación del prototipo de alta fidelidad. Participaron 3 profesionales del CAM con experiencia en atención y educación de niños con problemas cognitivos (profesor de educación física, profesor de computación y profesor de grupo). Como primer paso se presentó el prototipo de baja fidelidad con los 4 mini juegos y los niveles de dificultad. Enseguida, se proyectaron los prototipos de alta fidelidad del mini juego de seguimiento de rutas y saltar sobre objetivos; se explicó la dinámica de juego, simulando el movimiento del jugador con el ratón (Figura 21).



**Figura 21.** Sesión de Diseño Participativo, evaluación

Los resultados fueron los siguientes: a) ambientar el videojuego con melodías, dependiendo del tema elegido, b) incorporar varias melodías en el mini juego de música, c) no penalizar a los niños cuando pierdan, dar retroalimentación, los niños pueden continuar jugando hasta completar el mini juego. En la siguiente sección se describe el videojuego.

### 3.6 Diseño del videojuego.

El videojuego está conformado por 4 mini juegos, cada uno con 3 niveles de dificultad y un nivel libre que puede ser usado de calentamiento. Adicionalmente, se nombró cada mini juego: el mini juego de seguimiento de rutas se denominó “Capturemos animales”. El mini juego de salto sobre objetivos se denominó “Tiempo de reventar”, el mini juego musical se denominó “El rincón de la música” y el mini juego del semáforo se denominó “A conducir”. El videojuego tiene 2 temas (mar y selva) que pueden seleccionarse, modificando los escenarios y elementos, pero no la lógica del videojuego. Así como una pantalla de calibración la cual será explicada posteriormente. En la Figura 22 se presenta la pantalla

inicial, la cual nos permite elegir alguno de los cuatro mini juegos, así como elegir el nivel y entrar a la sección de configuración.



**Figura 22.** Pantalla inicial

En la Figura 23 se puede configurar el tema para el videojuego y calibrar la posición de usuario, en la siguiente sección se describe el proceso de calibración. Cada mini juego presenta al inicio de los niveles bajo, medio y alto, una animación de lo que el jugador debe hacer en el mini juego, esto a modo de tutorial.





Figura 23. Pantalla de configuración

### 3.6.1 Calibración de posición de usuario

En esta pantalla se presentan 4 cuadrantes, cada uno con un objetivo marcado por un círculo blanco; para cada cuadrante, el usuario se posicionará en el objetivo y mediante el teclado se ajustará la posición (Figura 24).



Figura 24. Calibrando la posición del jugador

### 3.6.2 Capturemos animales

Este mini juego se basa en el seguimiento de rutas. El objetivo es el desplazamiento de un punto a otro siguiendo una ruta indicada por objetivos, los cuales se irán capturando. Adicionalmente, se muestran objetos que deben esquivarse. En el nivel libre (Figura 25. Izquierda), no hay ruta para seguir, los animalitos se moverán aleatoriamente y se debe de saltar sobre ellos para capturarlos. El nivel bajo presenta una ruta aleatoria predefinida (Figura 25. Derecha), la cual se tiene que recorrer caminando, si el jugador se sale de la ruta, el animalito a evitar realiza una animación y se le indica al jugador que lo intente de nuevo. A medida que el jugador recorra la ruta, irá descubriendo una recompensa oculta. El nivel medio sigue la misma dinámica del nivel bajo, adicionalmente a seguir la ruta, el jugador debe saltar de cualquier manera sobre los objetivos para capturarlos. Mientras que el nivel alto, al momento de saltar, el jugador debe hacerlo con un pie.

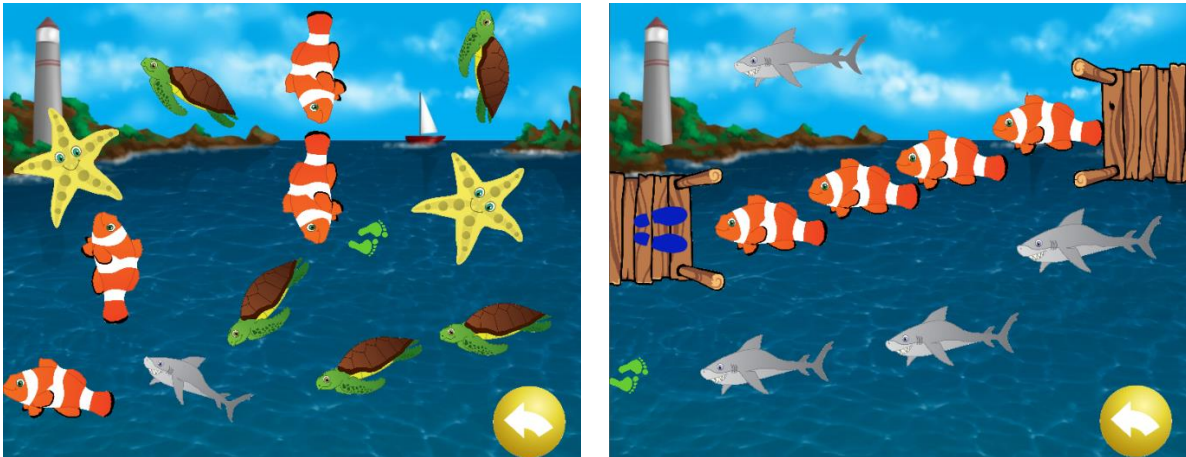
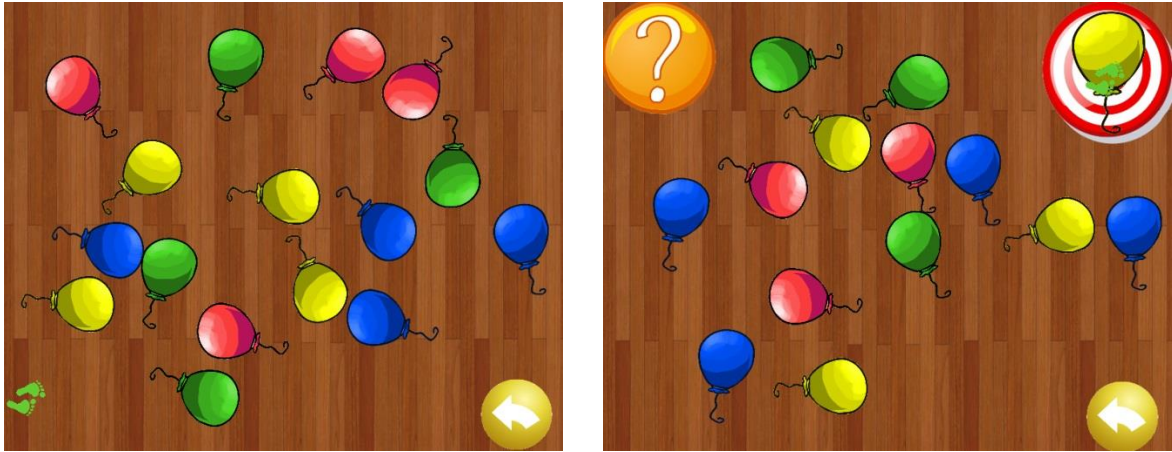


Figura 25. Mini juego "Capturemos animales". Izquierda: Nivel libre. Derecha: Niveles bajo, medio y alto

### 3.6.3 Tiempo de reventar

En este mini juego se incorpora el manejo de colores, con el objetivo de apoyar el aspecto cognitivo de los niños. El nivel libre (Figura 26. Izquierda) se presenta como el nivel libre del mini juego anterior, pero en lugar de animalitos, estarán los objetos de este mini juego, los cuales son: globos y burbujas. En el nivel bajo (Figura 26. Derecha), se presenta un objetivo (globo o burbuja) de determinado color y varios objetos de diferentes colores de manera estática, el jugador debe saltar de cualquier manera sobre los objetos marcados en el objetivo. El nivel medio le añade movimiento a los objetos a reventar y se

requiere saltar de cualquier manera para reventar los objetos. El nivel alto es similar al nivel medio, con la dificultad de que el salto debe ser en un pie.

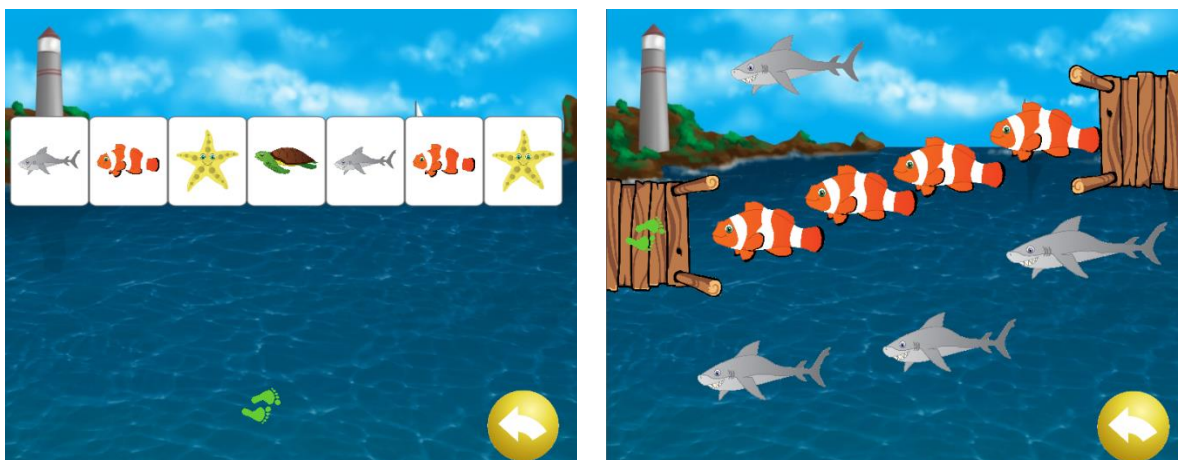


**Figura 26.** Mini juego “Tiempo de reventar”. Izquierda: Nivel libre. Derecha: Niveles bajo, medio y alto

### 3.6.4 El rincón de la música

Este mini juego incorpora estímulos auditivos en forma de notas musicales. El nivel libre (Figura 27. Izquierda) presenta un piano con un animalito en cada tecla, al saltar sobre las teclas se reproduce una nota. En el nivel bajo (Figura 27. Derecha) se presenta una ruta a seguir, esta ruta se debe completar caminando, mientras se avanza, se reproducirá una melodía. En el nivel medio el jugador debe completar la ruta saltando sobre los animalitos. Finalmente, en el nivel alto, se presenta un animalito como objetivo, y varios en movimiento, para completar el mini juego, el jugador debe saltar sobre los animalitos marcados en el objetivo.

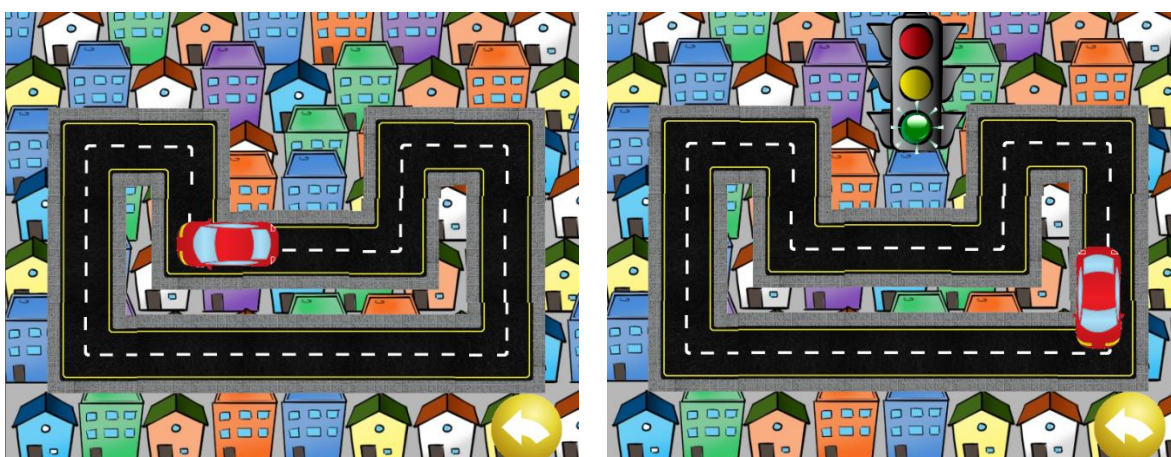




**Figura 27.** Minijuego “El rincón de la música”. Izquierda: Nivel libre. Derecha: Niveles bajo, medio y alto

### 3.6.5 A conducir

En este mini juego el jugador controla un carro, se presenta un circuito cerrado y un semáforo que le indicará al jugador que es lo que debe hacer, el color verde indica que el jugador puede recorrer la ruta, el color amarillo, que lo haga lentamente; mientras que el color rojo indica detenerse por completo. En el nivel libre (Figura 28. Izquierda) el jugador es libre de moverse para familiarizarse con el juego. El nivel bajo (Figura 28. Derecha) tiene un tiempo de cambio de 8 segundos, el nivel medio cambia el color cada 5 segundos y el nivel alto, tiene un cambio cada 2 segundos



**Figura 28.** Mini juego “A conducir”. Izquierda: Nivel libre. Derecha: Niveles bajo, medio y alto

### **3.6.6 Flujo del videojuego**

El flujo del videojuego se presenta en la Figura 29, en donde se puede observar como el profesor o terapeuta puede configurar el uso de los mini juegos de acuerdo a las necesidades y capacidades de los niños, permitiéndoles de esta manera realizar las actividades y avanzar de acuerdo a sus capacidades, hasta lograr avanzar en la ejecución total de las mismas.

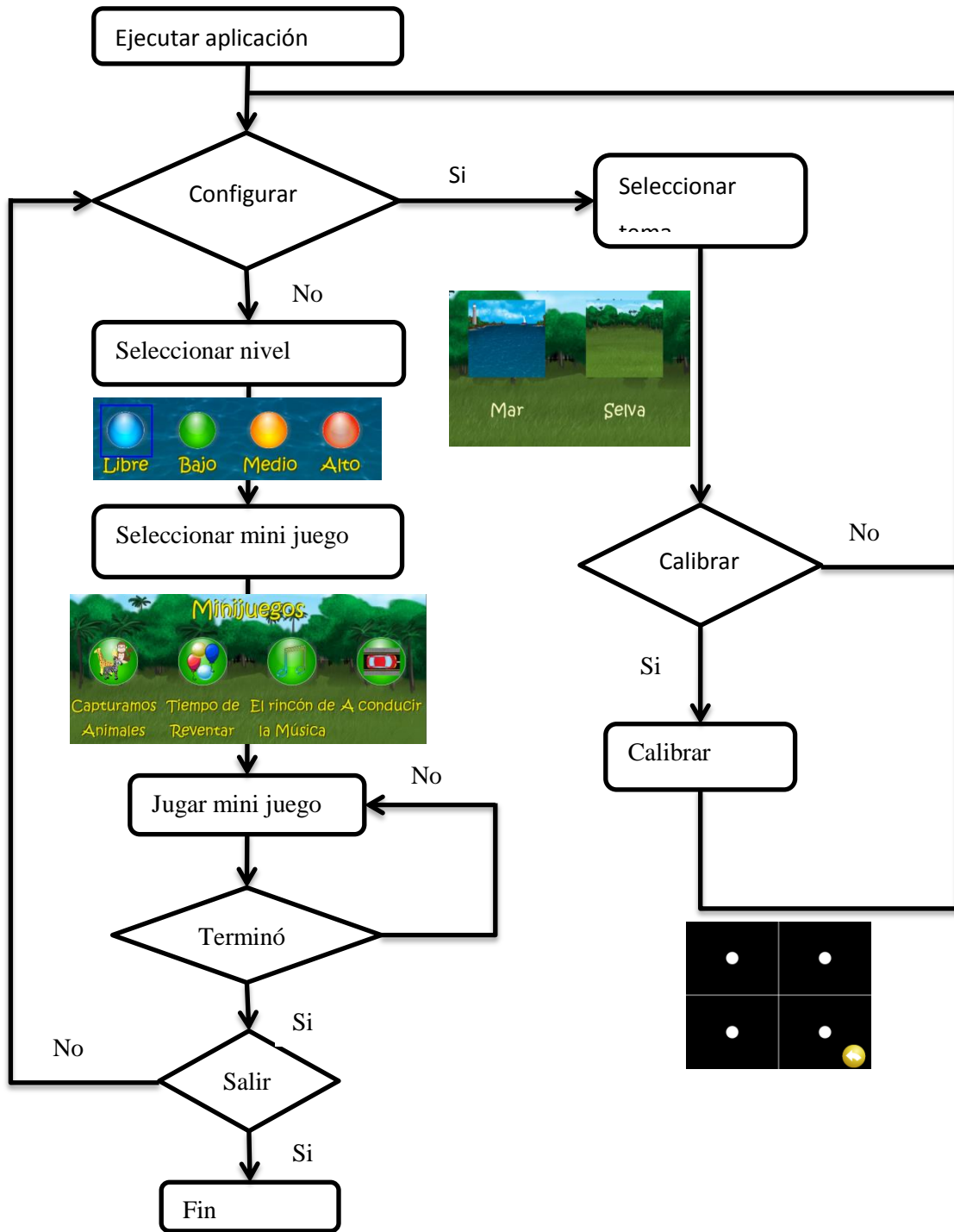


Figura 29. Flujo del videojuego

### 3.7 Resumen

En este capítulo se describió como se llevó a cabo el estudio contextual realizado en un Centro de Atención Múltiple (CAM) de Ensenada, B.C. Este estudio tuvo como objetivo conocer las características de los niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves, así como las actividades que los profesores realizan para el apoyo de la mejora de la marcha de estos niños.

Se describieron los métodos utilizados para obtener los datos, así como las técnicas utilizadas para el análisis la información y los resultados obtenidos.

Con los resultados preliminares se realizó el diseño de un exergame en un piso interactivo para el apoyo de los niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves.

El juego se diseñó siguiendo una metodología centrada en el usuario. Para obtener un prototipo de baja fidelidad, se realizaron sesiones de diseño participativo con profesionales del CAM y sesiones de diseño con expertos en interacción humano-computadora.

Como resultado se obtuvo un prototipo de baja fidelidad. El cual consta de cuatro mini juegos con varios niveles de dificultad, así como la posibilidad de elegir dos temas de ambientación diferentes. Cada mini juego tiene un tutorial e incentivos audiovisuales.

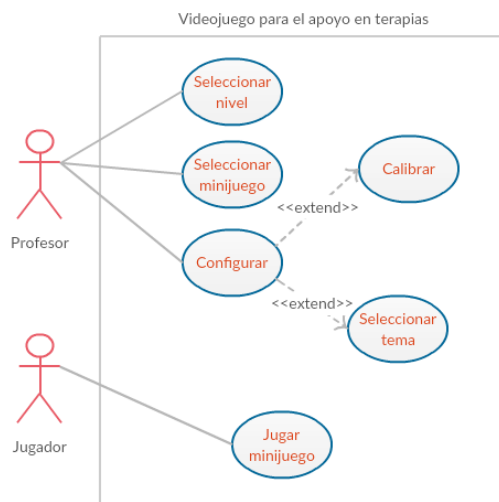
## Capítulo 4. Implementación del piso interactivo

### 4.1 Introducción

En esta sección se describe la implementación del piso interactivo; se presenta el diseño de alto nivel, el funcionamiento del piso mediante su arquitectura lógica. Así como la tecnología y los dispositivos empleados para su implementación, estos son el sensor kinect, y las herramientas de desarrollo processing, openNI, SimpleOPenNI. Para finalmente describir la configuración física del piso interactivo.

### 4.2 Diseño de alto nivel

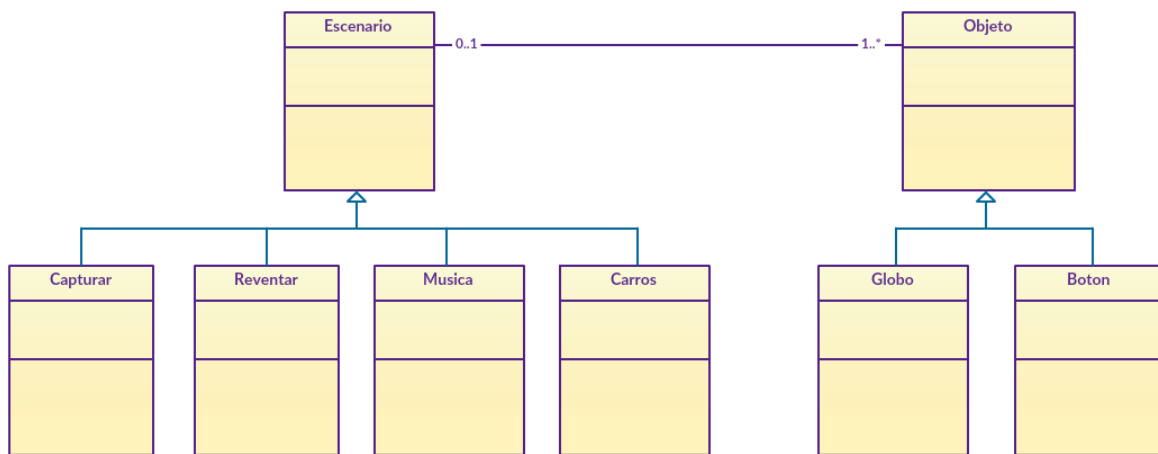
Se establecieron las especificaciones del prototipo utilizando el lenguaje unificado de modelado (Unified Modelling Language – UML por sus siglas en inglés). Los casos de uso (Figura 30) nos permiten establecer los usuarios principales (actores) y la funcionalidad que el sistema proporciona a cada uno de ellos. En el piso interactivo participan dos actores: el usuario (profesor o terapeuta) es el que elige el tema, nivel y mini juego de acuerdo al niño que jugará; el jugador (niño) es el que juega cada mini juego.



**Figura 30.** Diagrama de Casos de Uso del videojuego en el piso interactivo



En la Figura 31. Se presenta el diagrama de clases, que presenta la relación de elementos del piso interactivo, cada clase es una abstracción de un elemento de un sistema, éste consta de un conjunto de atributos y un conjunto de métodos, con los cuales puede interactuar con otras clases del sistema. Cada mini juego hereda de la clase Escenario sus atributos y métodos. La clase Objeto se relaciona con la clase Escenario ya que cada mini juego consta de varios objetos; así mismo la clase Globo y la clase Objeto heredan de la clase Objeto, la clase Globo es un objeto que se puede hacer “estallar”, mientras que la clase Boton, como su nombre indica, presenta la funcionalidad de un botón con el cual interactuar con el videojuego.



**Figura 31.** Diagrama de clases de alto nivel de la estructura general de los mini juegos.

En la Figura 32 se presenta la clase Escenario, la cual tiene como atributos un nivel y un tema, ambos son de tipo entero, la clase consta de métodos que para modificar los atributos, un ejemplo es el método setNivel(), el cual permite establecer el nivel actual del Escenario.

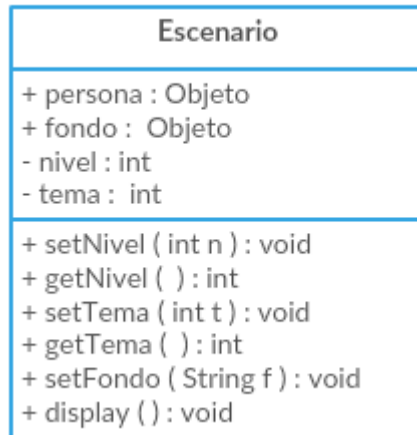


Figura 32. Clase Escenario con sus atributos y métodos

### 4.3 Arquitectura lógica

En esta sección se describe el funcionamiento del videojuego por medio de la arquitectura lógica. Como se mencionó anteriormente, los dispositivos que interactúan entre sí en el videojuego, son una PC, dos kinects y un proyector, como se puede ver en el diagrama de emplazamiento (Figura 33), los datos de entrada son recibidos mediante los dos kinect, mientras que en la PC se realiza el procesamiento de estos datos, así como la ejecución del videojuego, finalmente, la salida se realiza mediante el proyector.

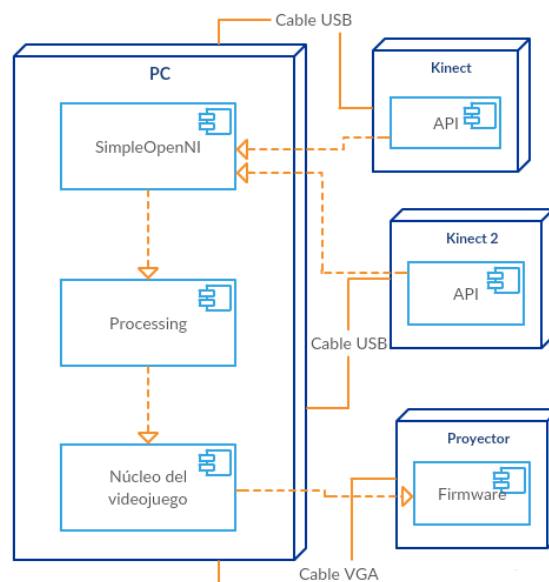
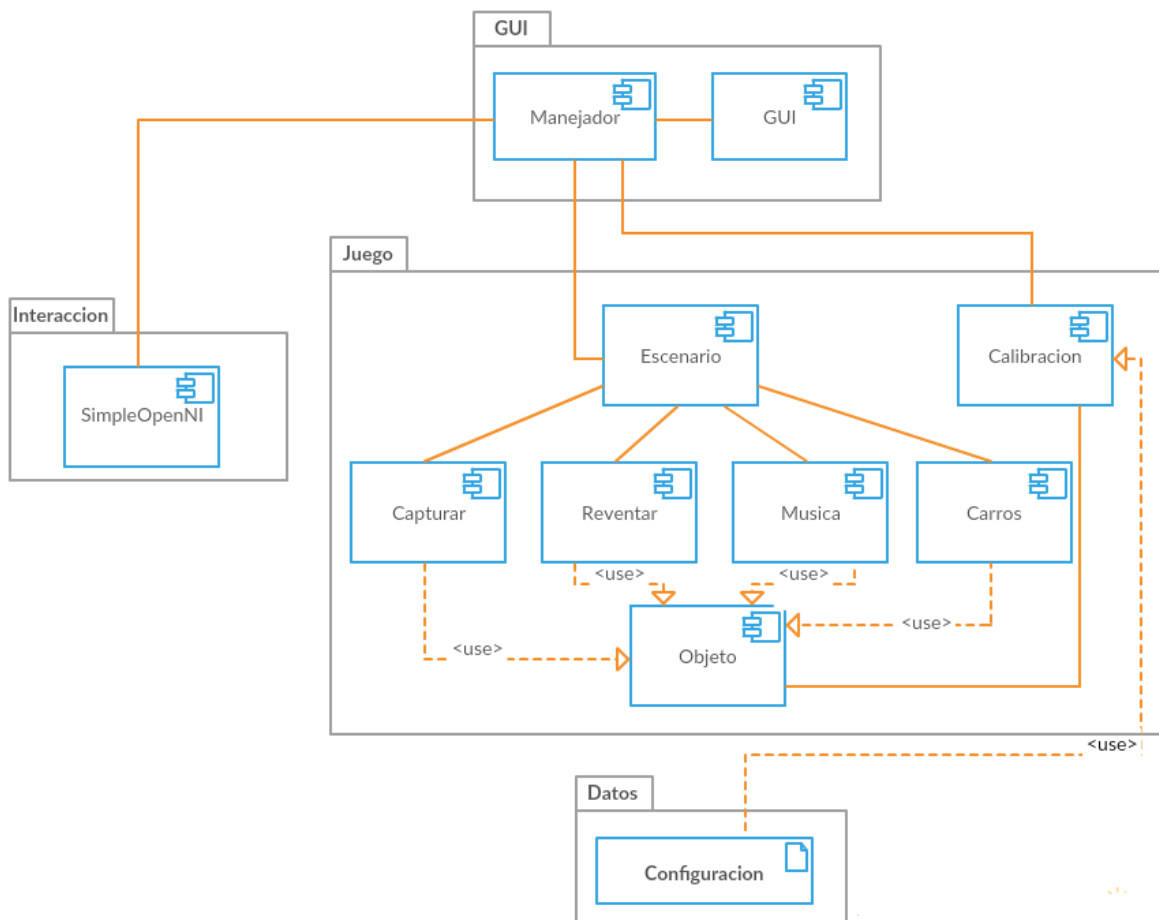


Figura 33. Diagrama de Emplazamiento

De manera más detallada, la arquitectura lógica nos muestra el funcionamiento interno del videojuego, que está dividido en tres capas (Figura 34); la primera capa es la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI en inglés), esta capa es la encargada de proveer el medio para que los usuarios interactúen con el videojuego, ya sea configurando los mini juegos, eligiendo un mini juego o jugando un mini juego. La segunda capa es la que se encarga de procesar los datos de entrada y la ejecución de cada mini juego. Finalmente, la tercera capa se encarga de la calibración de la posición del jugador en el videojuego.



**Figura 34.** Arquitectura Lógica

Los diagramas de secuencia ejemplifican la interacción de los actores y los objetos de un sistema a lo largo del tiempo. En la Figura 35 se presenta el diagrama de secuencia del mini juego Reventar, donde se presenta la interacción del jugador con el mini juego; el jugador inicia el mini juego, por lo que este crea los objetos necesarios en un ciclo, se obtienen los datos de posición del jugador para compararlo con la posición de los objetos a reventar, al haber completado el mini juego, habiendo reventado todos los Objetos Globo, el juego finaliza, mostrando una recompensa.

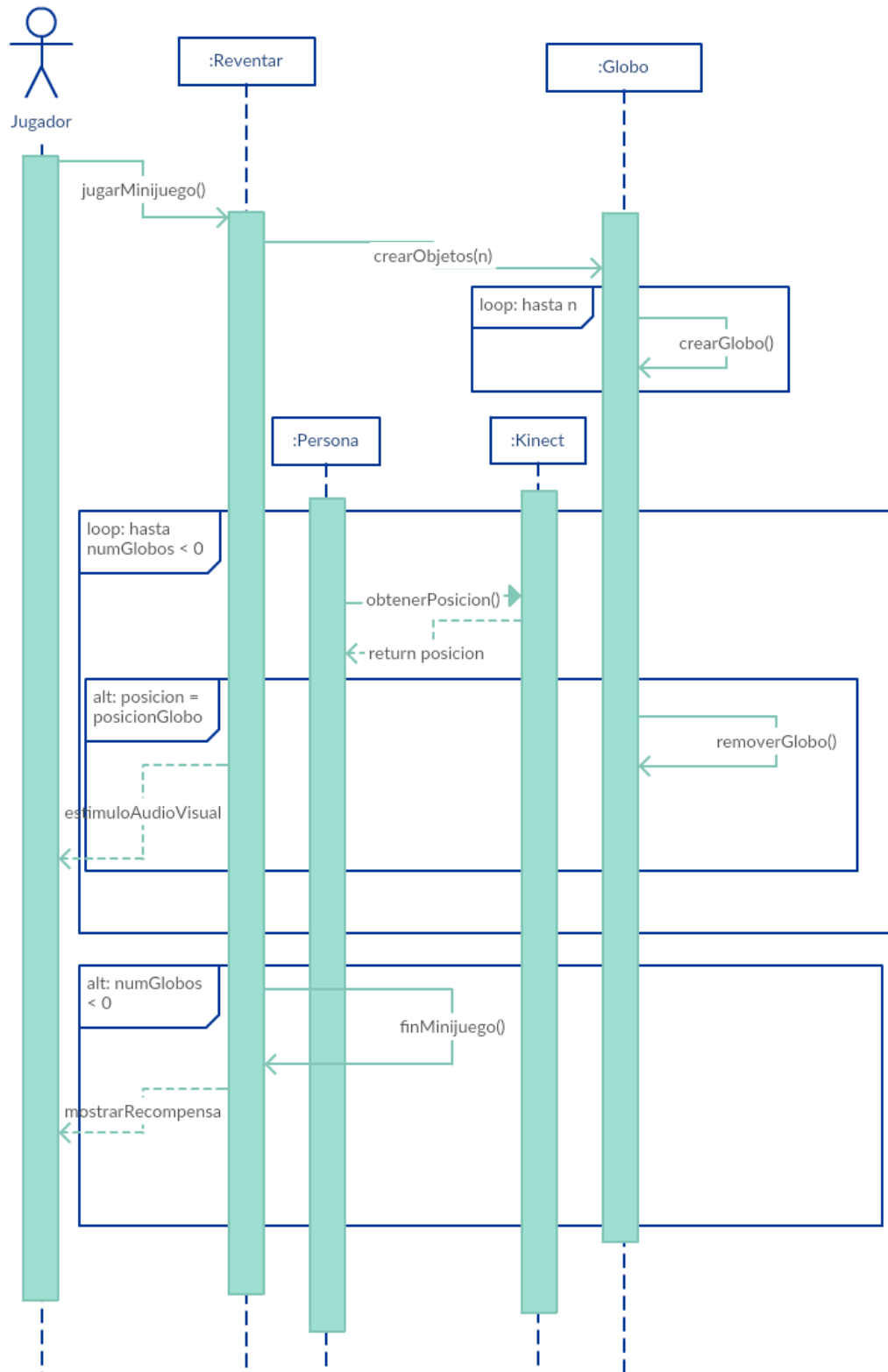


Figura 35. Diagrama de secuencia

## 4.4 Tecnología usada en la implementación del videojuego en el piso interactivo

### 4.4.1 Kinect

El kinect (Figura 36) es un sensor comercializado por Microsoft®. Consta de un arreglo de micrófonos, una cámara RGB, y un sensor de profundidad que utiliza un proyector de luz infrarroja (IR), el cual emite un rayo que es dividido mediante una lente de difracción, generando un patrón de puntos, que al ser captado por el sensor IR es capaz de obtener un mapa de profundidad mediante un proceso de triangulación, analizando el patrón obtenido con uno de referencia en el dispositivo (Khoshelham, 2011).

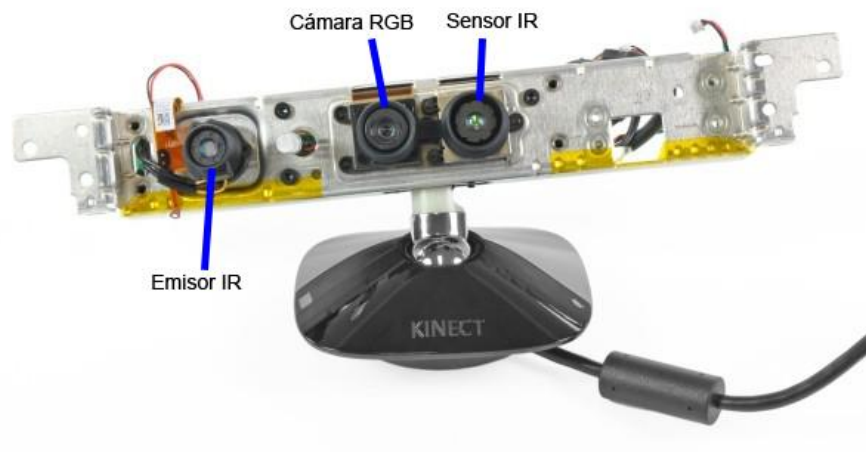


Figura 36. Vista de los dispositivos del Kinect.

### 4.4.2 Processing

Processing<sup>7</sup> es una herramienta que permite desarrollar aplicaciones gráficas interactivas de una manera sencilla. Al estar basado en el lenguaje de programación Java, permite la utilización de la potencia de este lenguaje y del paradigma orientado a objetos. Además, al ser open source, permite la colaboración externa para agregarle funcionalidades haciéndolo aún más potente.

---

<sup>7</sup> <https://processing.org/>

### 4.4.3 OpenNI

OpenNI es un framework que nos permite hacer uso de hardware como interfaces de usuario naturales (Natural User Interface - NUI por sus siglas en inglés). Las NUI nos permiten usar el cuerpo como medio de interacción con las aplicaciones, eliminando el uso de dispositivos periféricos por ejemplo, teclado, ratón, etc. Este framework contiene APIs para el manejo de: reconocimiento de voz y comandos de voz, gestos de mano y reconocimiento del esqueleto humano, así como el seguimiento de dicho esqueleto una vez detectado. Para el uso de OpenNI en Processing se utiliza la librería SimpleOpenNI, este framework es compatible con kinect.

### 4.4.4 SimpleOpenNI

Esta librería nos ofrece acceso a la mayor parte de la funcionalidad de OpenNI en Processing, pudiendo hacer uso del esqueleto proporcionado por dicho framework. Este esqueleto nos lo proporciona en una estructura de datos, dividido en articulaciones, de cada articulación nos proporciona información tal como su posición en el espacio en forma x, y, z. Además nos proporciona acceso al mapa de profundidad del sensor.

### 4.4.5 Esqueleto

Como se mencionó en la sección anterior, SimpleOpenNI nos proporciona la información de 15 articulaciones del cuerpo (joints), como se muestra en la Figura 37: cabeza, cuello, torso, hombros (izquierdo y derecho), codos (izquierdo y derecho), cadera (lado izquierdo y lado derecho), rodillas (izquierdo y derecho) y pies (izquierdo y derecho). Con dichos datos, podemos hacer inferencias de movimientos del cuerpo, haciendo uso de algún algoritmo o técnica adecuada. En este caso, nos interesa inferir si el jugador ha realizado un salto.



**Figura 37.** Representación del esqueleto por medio de articulaciones

#### 4.4.6 Detección de salto

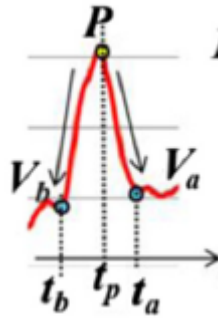
Se realizó una revisión de técnicas para inferir el movimiento del salto humano (Tabla 5), debido a la necesidad de inferir el salto en tiempo real se optó por usar la técnica de trayectorias, la cual se basa en caracterizar el patrón del movimiento.

**Tabla 5.** Análisis de técnicas para la inferencia del salto.

Nombre de la técnica	Descripción
DTW	Ajuste de trayectorias. Se requiere gran cantidad de datos de entrada Mucho tiempo de procesamiento (De Silva <i>et al.</i> , 2014; Masood <i>et al.</i> , 2014)
Aprendizaje máquina	Gran cantidad de datos de entrada Entrenamiento Se puede reconocer múltiples patrones (Biswas & Basu, 2011)
Trayectorias	Caracterización de patrón Tiempo real (Chen <i>et al.</i> , 2013)



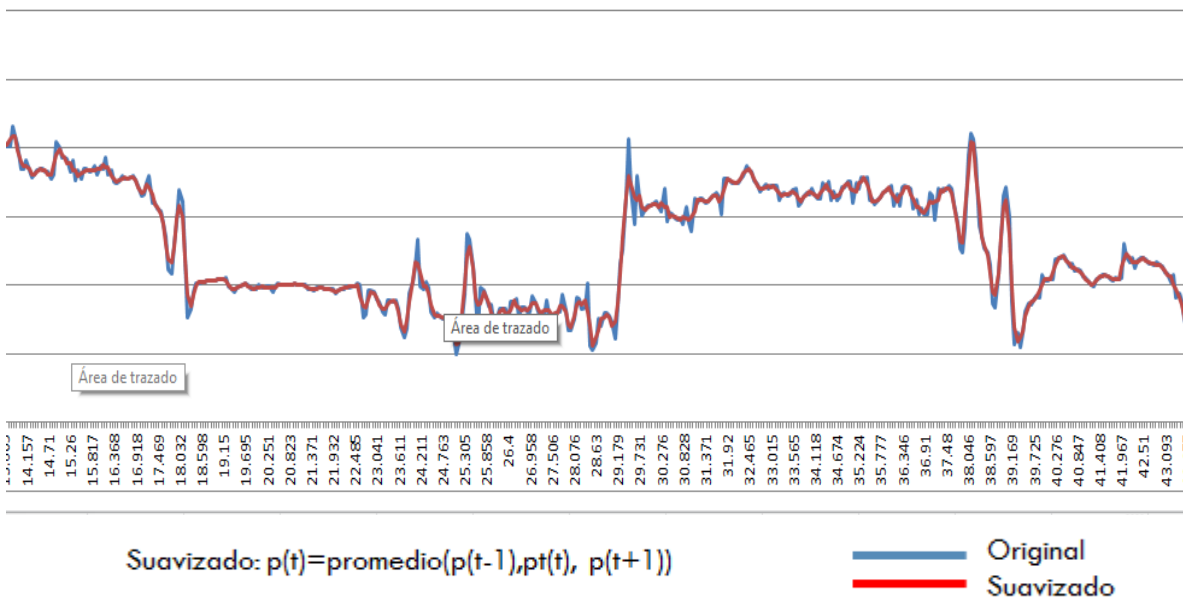
Para la inferencia del salto se emplea la información de las articulaciones del torso (do Rosario *et al.*, 2013) y de los pies. Caracterizando el salto como un patrón en la trayectoria (Chen *et al.*, 2013) de la articulación del torso, se puede inferir cuando un jugador ha saltado (Figura 38).



**Figura 38.** Patrón de un salto humano (Chen *et al.*, 2013).

Se realizó una recolección de datos para probar el algoritmo desarrollado para la inferencia del salto con tres niñas y tres niños de altura 1.3 m, dos estudiantes barones de 1.6 m y una estudiante 1.7 m. El análisis de los resultados de esta prueba fue consistente con el patrón reportado en la literatura (Chen *et al.*, 2013) cuando ocurre un salto.

Se utilizan los datos del eje Y para detectar el patrón, en la Figura 39 se presenta un ejemplo de la señal detectada del eje Y de la articulación del torso.



**Figura 39.** Señal del eje Y de la articulación del torso a lo largo del tiempo.

Se emplea el suavizado de la señal para reducir el ruido. En la Figura 40 se presentan algunos ejemplos de la señal cuando ocurre un salto, el cual es consistente con el patrón reportado por Chen *et al.* (2013).

Para inferir si se saltó en un pie o en dos pies, se emplean las articulaciones de los pies, verificando la distancia entre dichas articulaciones. Un salto con los pies juntos tendrá una distancia bastante menor a un salto en un pie.

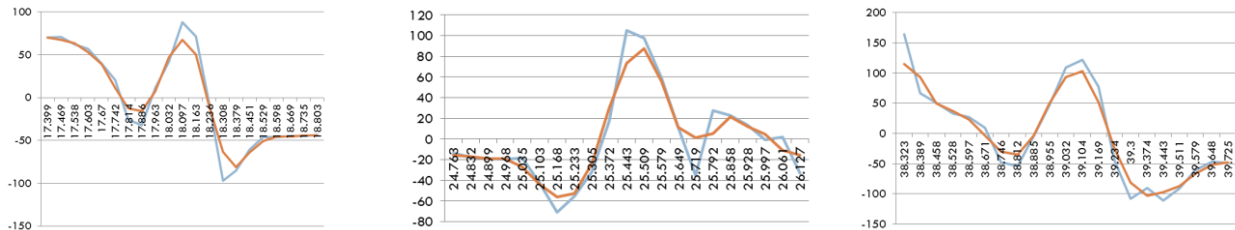


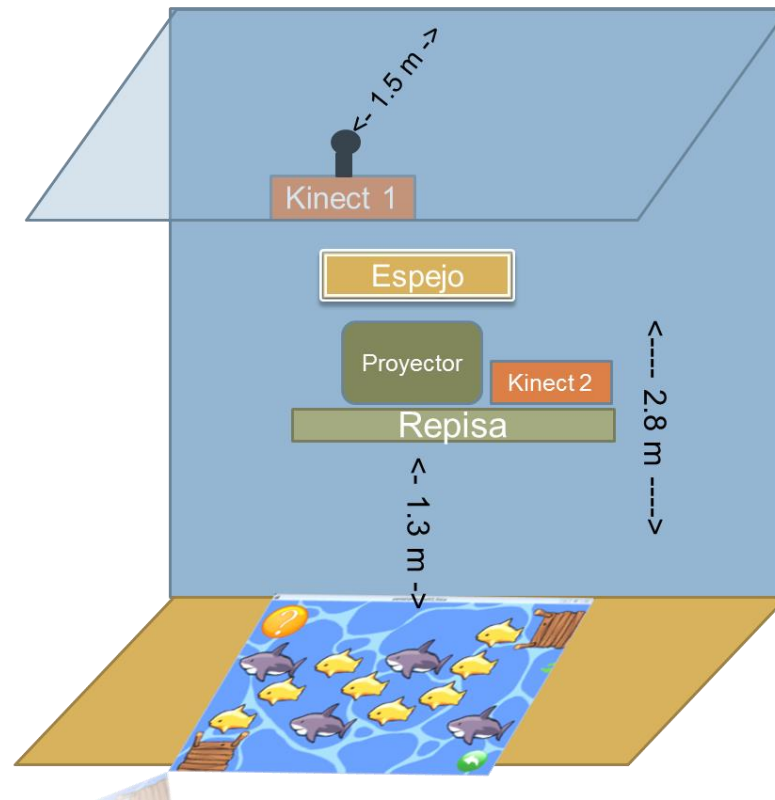
Figura 40. Ejemplos del patrón de salto de la recolección de datos realizada.

La distancia se obtiene mediante la Ecuación 1 (Köthe & Köthe, 1983)

$$dist = \sqrt{(xrf - xlf)^2 + (yrf - ylf)^2 + (zrf - zlf)^2} \quad (1)$$

## 4.5 Configuración física del piso interactivo

En la Figura 41 se puede observar la configuración física del piso interactivo. Esta está compuesta por una computadora, dos kinects, un proyector y un espejo para reflejar la proyección al piso. El primer kinect (1) obtiene y proporciona la ubicación del jugador en el espacio del piso interactivo, mediante el uso del mapa de profundidad. El segundo kinect (2) se encarga de obtener los datos para inferir el tipo de salto del jugador, ya sea en uno o en dos pies. El piso interactivo se proyecta conectando el proyector a la computadora y redirigiendo la proyección de forma indirecta, mediante el uso de un espejo, el cual dirige la proyección al suelo. Con el proyector colocado sobre una repisa a una altura de 1.4 m se obtiene una proyección de 2.25 m por 3 m. Mientras que la ventana de juego tiene un tamaño de 2.5 m por 2.8 m. El kinect 1 está colocado a una altura de 2.6 m. El kinect 2 está en la repisa donde está colocado el proyector.



**Figura 41.** Configuración física del videojuego en el piso interactivo.

## 4.6 Resumen

En este capítulo se describe a detalle el proceso que se siguió para la implementación del exergame sobre un piso interactivo.

Se describe el diseño de alto nivel mediante los casos de uso y el diagrama de clases. Se presenta la configuración física del exergame, se describe sus componentes mediante el diagrama de emplazamiento, así su funcionalidad lógica mediante la arquitectura lógica y un ejemplo del funcionamiento lógico de un mini juego mediante el diagrama de secuencia.

Posteriormente se describe el uso del kinect así como los frameworks utilizados para la implementación del exergame, los cuales son Processing para el desarrollo en general, OpenNI para el proceso de inferencia del salto del jugador mediante el uso del esqueleto proporcionado por dicho framework. SimpleOpenNI para enlazar la información obtenida del OpenNI a Processing.

Como resultado de este proceso se obtuvo un prototipo funcional del exergame, el cual se describirá su evaluación en el capítulo siguiente.

## **Capítulo 5. Evaluación del piso interactivo.**

---

### **5.1 Introducción**

En este capítulo se presenta la evaluación del piso interactivo. Esta evaluación se realizó en un Centro de Atención Múltiple (CAM) en Ensenada B.C. México. La metodología que se siguió para la evaluación fue la siguiente:

- Establecer objetivo. Como primer paso se definió el objetivo de la evaluación de acuerdo al objetivo general de la tesis.
- Diseño de la evaluación. Posteriormente se definieron los participantes, métodos y herramientas que serían usados en la evaluación.
- Desarrollo de la evaluación. En este paso se llevaron a cabo las actividades establecidas, así como la captura de los datos generados.
- Análisis de datos. Los datos obtenidos del paso anterior fueron analizados
- Resultados. Finalmente se presentan los resultados del análisis de datos, así como las conclusiones.

### **5.2 Objetivo de la evaluación**

La evaluación tuvo como objetivo evaluar la usabilidad y experiencia de juego del piso interactivo para apoyar niños con discapacidad intelectual leve. Se comparó el piso interactivo con una sesión de ejercicios similar a los mini juegos del piso, con la intención de asegurarse de que fueran equivalentes en el esfuerzo realizado. Los aspectos que se tuvieron en cuenta fueron la experiencia de juego y la intensidad de la actividad física.

### **5.3 Diseño del experimento.**

En esta sección se describe las componentes del experimento; los participantes y las actividades desarrolladas.

### 5.3.1 Participantes

Los participantes fueron alumnos que asisten regularmente a clases en el CAM “Alma Evelia Llamas Arias”, ubicado en la ciudad de Ensenada, Baja California, México. En total, participaron 10 alumnos del CAM, 4 alumnos de quinto grado y 6 de sexto grado provenientes de dos grupos; 4 del grupo A y 2 del grupo B. La edad de los participantes fue de los 12 a 15 años con un promedio de 13.8 años. Los participantes presentaban discapacidad intelectual leve, con capacidad de entender y de poder comunicarse, presentaban deficiencias motoras leves que los ubican en las categorías I y II del Sistema de Clasificación de la Función Motora Gruesa. En la Tabla 6 se encuentra la información de los participantes.

**Tabla 6. Información demográfica de los participantes**

ID de participante	Sexo	Edad	Grupo
P01	Femenino	14	6A
P02	Masculino	14	6A
P03	Femenino	15	5A
P04	Femenino	15	6B
P05	Masculino	13	5A
P06	Masculino	14	5A
P07	Femenino	15	6A
P08	Masculino	12	6B
P09	Femenino	12	5A
P10	Masculino	14	6A

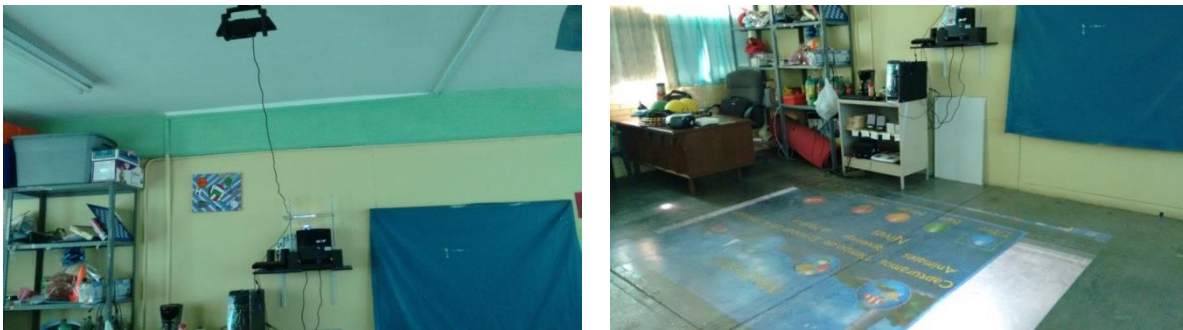
### 5.3.2 Configuración física del piso interactivo

El piso interactivo fue instalado en un aula del CAM, se siguió el esquema del capítulo anterior, una repisa fue colocada a una altura de 1.4 metros del suelo, en la cual se colocó el proyector y uno de los kinect (Figura 42). Para obtener la proyección en el suelo, se utilizó un espejo, como se mencionó anteriormente.



**Figura 42.** Proyector y kinect colocados en un aula del CAM

El otro kinect fue colocado en una base en el techo del aula (Figura 43. Izquierda), el cual tiene una altura de 2.8 metros, con esta configuración se obtiene una proyección de 3.2 metros x 2.4 metros. El área de juego fue de 2.48 metros x 1.98 metros (Figura 43. Derecha).



**Figura 43.** Izquierda: segundo kinect colocado en el techo. Derecha: Proyección del videojuego en el aula del CAM.

Se redujo la iluminación colocando cortinas en las ventanas del aula. Se utilizó una computadora Dell con procesador Intel i7 a 3.4 GHz y 8 GB de RAM. El proyector utilizado fue un Acer S5201M con 3000 lumens y resolución de 1024x768, para la salida de audio se usaron unas bocinas Dell.

### 5.3.3 Configuración física del circuito de actividades

El circuito de actividades constó de 4 estaciones (Figura 44):

- Ruta con aros. La primera estación se hizo de aros para crear un camino
- Reventar globos. En la segunda estación se emplearon globos de cuatro colores, adheridos al piso con cinta.

- Piso con burbujas de plástico. En la tercera estación se creó un conjunto de cuadrado con plástico burbuja
- Semáforo. Se creó una ruta con cinta, y mediante tarjetas de colores rojo, amarillo y verde se realizó la actividad.



**Figura 44.** Arriba izquierda: ruta con aros. Arriba derecha: Reventar globos. Abajo izquierda: piso con burbujas de plástico. Abajo derecha: juego del semáforo.

### 5.3.4 Instrumentos

A continuación se describen los instrumentos utilizados para la recopilación de datos.

- **SOFIT** (McKenzie, 2009). Es un instrumento estandarizado para valorar el tiempo de realización de actividad física y el contexto de la clase de educación física mediante un sistema de registro de intervalos durante un período de clase designado. Éste será utilizado para analizar la equivalencia en la ejercitación.
- **Cuestionario de experiencia de juego (Game Experience Questionnaire - GEQ por sus siglas en Inglés)** (Ijsselstein et al., 2008). Consta de 3 módulos diseñados para recoger la experiencia de un usuario al jugar, estos módulos son: módulo núcleo, módulo pos juego y módulo social. En el primer módulo se obtiene la experiencia vivida durante la sesión de juego; en este módulo, se evalúan 7 dimensiones: competencia, inmersión, flujo, tensión/enojo, desafío/reto, aspecto negativo, aspecto positivo. Con el segundo recogemos las sensaciones al finalizar la sesión de



juego; en este módulo se evalúan 4 dimensiones: aspecto positivo, aspecto negativo, cansancio, regreso a la realidad. El tercer módulo está diseñado para el caso de multijugador, cuando el juego es de un solo jugador, como este exergame, se emplean los dos primeros módulos. (Anexo B)

- Fun Toolkit (Read & MacFarlane, 2006). Este instrumento está diseñado para recoger la opinión de niños acerca de sistemas digitales, se eligió dadas las características cognitivas de los niños participantes. Consta de tres componentes: Smileyometer (Figura 45 Arriba), esta componente es una escala analógica visual. FunSorter, en esta componente se califica del mejor al peor ordenando unas tarjetas representativas de los objetivos a evaluar (Figura 45 Abajo). Again – again evalúa la respuesta a la pregunta ¿Lo volverías a jugar? Con tres respuestas posibles: “Si”, “No”, “Tal vez”. El smileyometer y las tarjetas FunSorter se encuentran en el anexo C.



**Figura 45.** Arriba: Smileyometer. Abajo: algunas tarjetas usadas en el FunSorter representando mini juegos y actividades del circuito.

### 5.3.5 Procedimientos

Se eligió un paradigma intra – sujetos (within subjects), en este paradigma todos los participantes son evaluados en todas las pruebas (MacKenzie, 2012). Para evitar sesgos hacia alguna prueba, se establecieron dos condiciones para la realización del experimento. La primera condición denominada A, consistió en el uso del piso interactivo y posteriormente la ejecución del circuito de ejercicios. La condición denominada B, consistió en la realización del circuito de ejercicios y posteriormente el uso del piso interactivo. En la tabla Tabla 7 se encuentra la condición que realizó cada participante.

**Tabla 7.** Condición de cada participante

ID de participante	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
Condición	A	B	B	A	B	A	B	A	A	A

## 5.4 Desarrollo del experimento

Como primer paso, se realizó una prueba piloto con un niño del CAM, mismo que no participó en la evaluación final. En esta prueba se obtuvo el tiempo aproximado de las sesiones, así como ajustes en la configuración de la cámara y se probó que toda la configuración funcionara de manera adecuada, realizando algunos ajustes en el piso interactivo.

La evaluación fue realizada en un total de 6 días con uno o dos participantes por día. El tiempo aproximado de la realización de cada condición y la aplicación de los instrumentos fue de 1.5 a 2 h. Cada sesión fue videograbada para la aplicación del SOFIT, se obtuvieron 340 minutos de grabación.

Las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Aplicación Smileyometer (Fun Toolkit) a los niños.
- Ejecución de prueba videojuego/sesión de ejercicio o sesión de ejercicio/ ejecución de prueba videojuego de acuerdo al orden de la condición correspondiente para cada niño.
- Aplicación de Smileyometer, Again-again, FunSorter (Fun Toolkit) a los niños
- Aplicación de cuestionario de experiencia de juego al profesor en el caso del videojuego.

Poniendo la condición A de ejemplo, se le presenta al niño el piso interactivo, en la pantalla principal, se aplica el Smileyometer y se procede a que el niño juegue con el piso. Al finalizar se le aplica de nuevo el Smiloyometer y también el Again-again y el FunSorter. En este caso, el profesor de apoyo contesta el cuestionario de experiencia de juego. Terminada esta etapa se presenta al niño el circuito de juego, se aplica el Smiloyometer, el niño realiza las actividades y al finalizarlas se aplica de nuevo el Fun Toolkit como el caso anterior.

## 5.5 Análisis de datos

Los datos obtenidos en el Fun Toolkit y los cuestionarios de experiencia de juego fueron vaciados en archivos junto con la información demográfica de los participantes.

El cuestionario de experiencia de juego consta de tres módulos, con un total de 50 reactivos. Cada reactivo se responde mediante una escala de Likert (Likert, 1932) (Figura 46).

Nada en absoluto	Ligeramente	Moderadamente	Bastante	Extremadamente
0	1	2	3	4

**Figura 46.** Escala Likert empleada en el cuestionario de experiencia de juego

El material videograbado fue editado para proteger la identidad de los participantes, y etiquetado de acuerdo al ID del participante y la actividad realizada. Se obtuvieron 20 videos, 10 con el uso del piso interactivo y 10 con el circuito de ejercicios, cada video tuvo en promedio una duración de 15 minutos.

Las observaciones fueron realizadas por dos especialistas en el área de la educación física entrenados en la técnica de observación directa, y se realizaron siguiendo las indicaciones de una señal de audio que establece el instrumento por intervalos de 20 segundos cada uno, donde los primeros 10 segundos correspondían a realizar la observación y los siguientes 10 segundos correspondieron a codificar la observación de acuerdo a la actividad y el contexto de la clase en el lapso de tiempo observado, repitiéndose este procedimiento durante toda la sesión. A partir de la cuantificación de estos códigos se estableció el tiempo de realización de la actividad física y la contextualización de la clase de educación física según fuera el caso, al ir sumando porcentualmente los códigos del total del tiempo de la sesión.

Para determinar el tiempo de realización de la actividad física se utilizó un formulario de registro SOFIT, el cual contiene códigos para clasificar el tipo de actividad que estaba realizando el sujeto, los cuales permitieron estimar el tiempo real asociado a la realización de la actividad física, los códigos son numéricos y se identifican en cinco valores que indican lo siguiente: 1) acostado, 2) sentado, 3) parado, 4) caminando, y 5) muy activo que corresponde a correr o cuando el sujeto realiza más actividad física que la que corresponde a correr. En el anexo D se encuentra una porción de la codificación en un formulario de registro SOFIT.

## 5.6 Resultados de la evaluación

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la evaluación tras el análisis de los datos.

### 5.6.1 Intensidad de actividad física

Se observó un total de 20 videos correspondientes al uso del exergame en piso interactivo y al circuito de actividades, 10 videos corresponder al uso del exergame, los cuales tuvieron una duración promedio de  $21.5 \pm 5.6$  minutos. De igual forma, se observaron 10 videos del circuito, planeadas con actividades similares a las del exergame, la duración promedio de las actividades fue de  $13.5 \pm 2.9$  minutos. Los contenidos en ambas sesiones fueron planeados para que fueran realizadas por niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves, mediante actividades lúdicas que promovían la realización de actividad física por medio de tres gestos motores, los cuales fueron caminar, saltar con dos pies y saltar con un pie. Los sujetos pasaron 7.1 minutos (64.5%) parados, 2.8 minutos (25.5%) caminando y 1.1 minutos (10%) de actividad vigorosa durante las sesiones usando el exergame. Para las sesiones del circuito de actividades, los sujetos pasaron 4.3 minutos (65.5%) parados, 1.8 minutos (27.3%) caminando y 0.5 minutos (7.6%) de actividad vigorosa. Respecto al contexto de la clase, en las sesiones realizadas con el exergame, los sujetos pasaron 4.1 minutos (34.1%) atendiendo o recibiendo instrucciones por parte del administrador de la clase, 3.7 minutos (30.9%) realizando una actividad de aprendizaje o pedagógica y 4.2 minutos (35%) en actividades relacionadas con juegos lúdicos. Durante las sesiones del circuito de actividades, los sujetos estuvieron 2.1 minutos (32.3%) atendiendo o recibiendo instrucciones por parte del administrador de la clase, 1.8 minutos (27.7%) realizando una actividad de aprendizaje o pedagógica y 2.6 minutos (40%) en actividades relacionadas con juegos lúdicos (Tabla 8).

Se observa que el porcentaje de actividad física vigorosa es mayor en el piso interactivo que en el circuito de actividades, siendo que el circuito fue diseñado para proveer las actividades que generen este tipo de actividad física. Esto significa que el piso interactivo es un complemento ideal para el apoyo en las terapias en niños con problemas de la marcha leves, puesto que presenta una equivalencia con sesiones diseñadas para este fin.

**Tabla 8.** Promedio de Minutos, Porcentaje de Tiempo por Actividad del Sujeto y Contexto de la Sesiones.

Actividad del Sujeto	Piso interactivo n = 10				Circuito de actividades n = 10			
	Prom. Minutos	Desv. Est.	Porcentaje	Desv. Est.	Prom. Minutos	Desv. Est.	Porcentaje	Desv. Est.
Parado	7.1	2.6	64.5%	9.6	4.3	1.1	65.1%	6.4
Caminado	2.8	0.6	25.5%	8.9	1.8	0.3	27.3%	4.8
Act. Vigorosa	1.1	0.7	10%	5	0.5	0.4	7.6%	6.1
Contexto de la Sesión								
Administración	4.1	1.6	34.1%	4.8	2.1	0.8	32.3%	7.7
Conocimiento	3.7	1.6	30.9%	23	1.8	0.7	27.7%	6
Juego	4.2	2.3	35.%	19.4	2.6	0.4	40%	8.2

### 5.6.2 Experiencia de juego

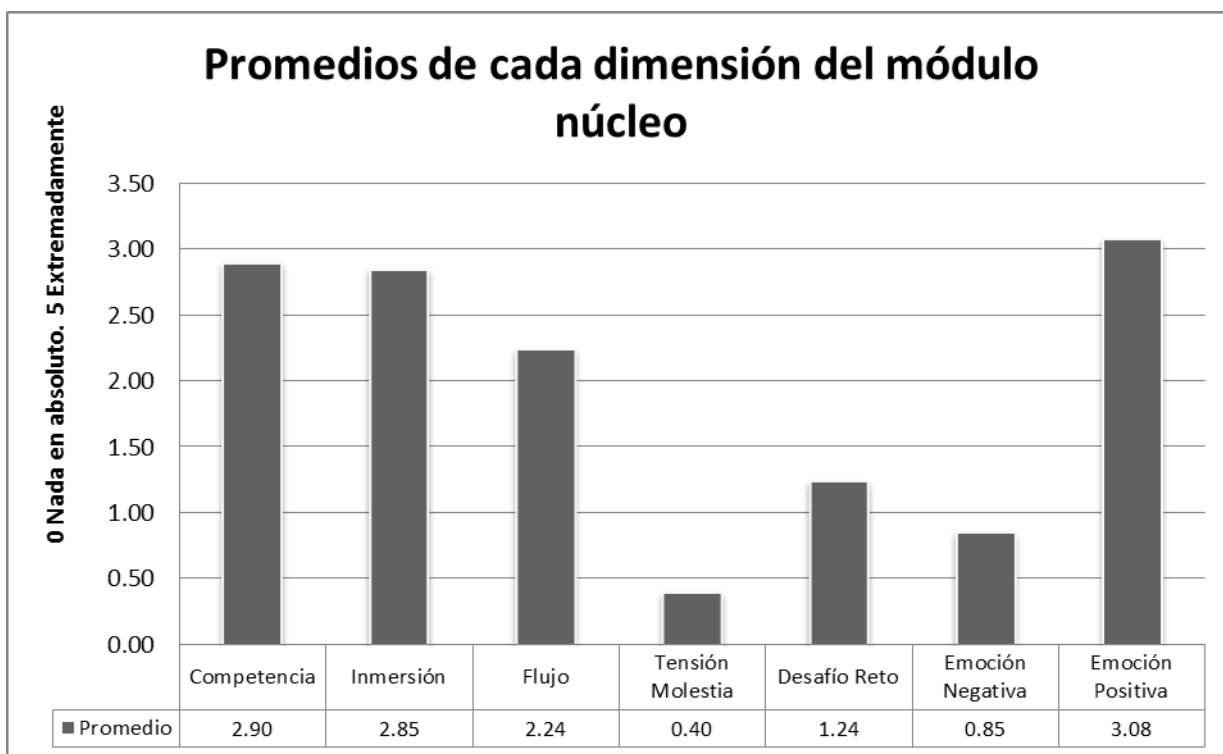
Para el análisis de la experiencia de juego, fueron tomados los datos del Fun toolkit y los datos de la encuesta de experiencia de juego. Debido a las características de personalidad individual de algunos participantes, algunas componentes del Fun Toolkit no fueron completadas por dichos participantes. El componente Smileyometer fue respondido por todos los participantes, en la Tabla 9 se presentan los resultados.

**Tabla 9.** Resultados del Smileyometer

	Exergame		Circuito de actividades	
	Antes	Después	Antes	Después
<b>Promedio</b>	2.7	3	2.9	2.7
<b>Desv. Est.</b>	1.3	1.3	0.8	1

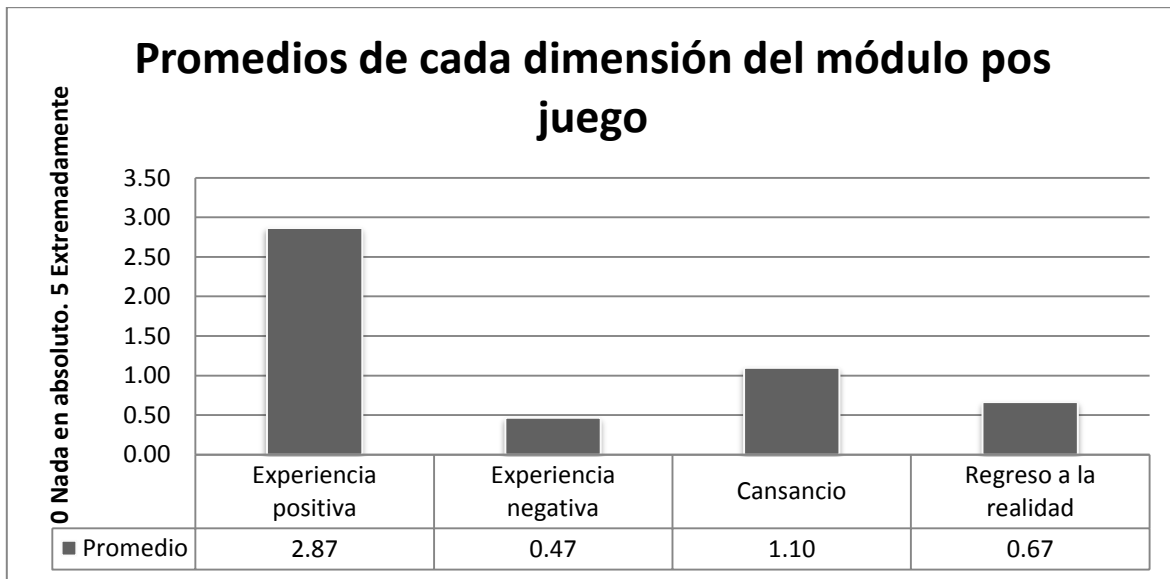
Como se puede apreciar, el exergame superó las expectativas iniciales; mientras que el circuito de actividades tuvo un decremento; además de que el exergame obtuvo una valoración final superior al circuito de actividades. El componente FunSorter fue respondido por seis participantes, de los cuales, dos estuvieron inconclusos debido a la negativa del participante a seguir, el componente Again – Again fue respondido por cuatro participantes.

De acuerdo al Cuestionario de Experiencia de Juego, los profesores consideraron que los niños tuvieron una experiencia de juego altamente positiva, en la Figura 47 se presentan los resultados del módulo núcleo.



**Figura 47.** Resultados del módulo núcleo

Como aspectos positivos tenemos la competencia, inmersión, flujo y emoción positiva. Los promedios obtenidos en la emoción positiva, inmersión, flujo y competencia en el cuestionario, indican que el juego provee una experiencia positiva y adecuada para los niños con discapacidad intelectual. Por otro lado los valores promedio de los aspectos negativos como la tensión/molestia y emoción negativa, fueron bajos, lo que indica que el piso interactivo no generó sentimientos negativos en los niños y que los mantuvo entretenidos. La dimensión desafío/reto hace referencia al grado de dificultad del juego, esto indica que los niños tuvieron muy pocas dificultades al realizar las actividades., Con todo lo anterior podemos indicar que al piso interactivo es una herramienta alternativa, adecuada para proveer apoyo a la terapia de la marcha a niños con problemas de discapacidad intelectual y problemas de la marcha, leves. Otro aspecto es que el exergame no arrojó un desafío muy grande, lo cual es ideal dado la condición de los niños.



**Figura 48.** Resultados del módulo pos juego

En el módulo pos juego, tenemos de nuevo una experiencia positiva superior al valor medio y una experiencia negativa muy baja, expresando poco cansancio. La dimensión “regreso a la realidad” se refiere a que tan absorbente fue el juego, se observa un valor bajo, lo cual se puede atribuir a la condición de los niños. De nuevo, estos valores nos proporcionan evidencia de lo apropiado del piso interactivo, en términos del objetivo establecido en este trabajo de tesis, esto es un piso interactivo en apoyo a la terapia de la marcha a niños con problemas de discapacidad intelectual y problemas de la marcha, leves.

## 5.7 Resumen

En el presente capítulo se detalló la evaluación del exergame sobre un piso interactivo diseñado para apoyar las terapias en niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves.

Los resultados obtenidos en la evaluación mostraron que el exergame proporciona una actividad física similar a una sesión de ejercicios diseñada para apoyar la motricidad gruesa, incluida la marcha. También indica una experiencia de juego positiva de manera general con el Cuestionario de Experiencia de Juego. En el caso del Smileyometer, una valoración superior del exergame sobre el circuito de actividades.

## Capítulo 6. Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro

---

### 6.1 Conclusiones

En el actual trabajo de tesis se desarrolló y evaluó un exergame sobre un piso interactivo para el apoyo a terapias de niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves. Como primer paso se realizó una revisión de literatura con el objetivo de obtener una comprensión inicial del fenómeno de estudio e información sobre trabajos relacionados a él.

Posterior a esto se efectuó un estudio contextual en un Centro de Rehabilitación Integral (CRI) del DIF y en un Centro de Atención Múltiple en Ensenada (CAM), con el objetivo de conocer y entender las técnicas, métodos y actividades que utilizan los profesionales para el apoyo a las terapias de niños con problemas cognitivos y de la marcha leves. Así mismo entender los problemas a los que se enfrentan al realizar estas actividades y las estrategias que utilizan; para esto se realizaron entrevistas semi estructuradas y observación directa no participativa.

Con la información recabada en el estudio contextual y siguiendo técnicas de teoría fundamentada y posteriormente técnicas de diseño contextual rápido, se elaboró el diagrama de afinidad de donde se obtuvieron las ideas de diseño para el juego serio.

Una vez que se obtuvieron las ideas de diseño y siguiendo una metodología centrada en el usuario, se realizaron sesiones de diseño participativo con profesionales en el CAM, y sesiones de diseño con especialistas en interacción humano-computadora, con el objetivo de obtener un prototipo de baja fidelidad.

Al obtener el prototipo se procedió a la fase de implementación donde se analizaron los requerimientos para desarrollar el juego. Para el desarrollo se utilizó el framework Processing con el cual se desarrollan aplicaciones gráficas interactivas; el sensor de profundidad de Microsoft® Kinect, y un framework llamado OpenNI para obtener y procesar los datos del Kinect y emplearlos en Processing. Además se siguió un paradigma orientado a objetos para la codificación.

En la fase de evaluación se definieron objetivos, se diseñó el experimento y se realizó la evaluación en el CAM Alma Evelia Llamas Arias. Se contó con la participación de 10 niños de entre 12 y 15 años de edad.



Al concluir la evaluación se analizó la información del Fun Toolkit, de los Cuestionarios de Experiencia de Juego y de las videograbaciones mediante la aplicación del SOFIT.

Los resultados demuestran la equivalencia del exergame con una sesión de ejercicio diseñada para el apoyo de niños con problemas en la marcha, además, el exergame presentó una experiencia de juego altamente positiva, superando las expectativas de los niños en los resultados del Smileyometer. Con esto se concluye que este exergame es un buen complemento para el apoyo de las terapias en niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves.

## **6.2 Aportaciones**

Dentro de las aportaciones del trabajo de tesis se encuentran las siguientes:

- Se desarrolló un exergame sobre un piso interactivo que sirve como apoyo para las terapias en niños con problemas cognitivos y de la marcha leves.
- Se recabaron datos sobre la problemática de los problemas en la marcha, así como las terapias para dichos problemas, de igual manera se documentó la evaluación del exergame y una sesión de actividades físicas.
- A partir de este trabajo de tesis se realizó un artículo para el Encuentro Nacional de Ciencias de la Computación 2015.

## **6.3 Limitaciones**

El presente trabajo muestra las siguientes limitaciones:

- La evaluación se realizó solo en un Centro de Atención Múltiple con 10 participantes de 12 a 15 años de edad.

## 6.4 Trabajo futuro

En el trabajo de tesis se obtuvo una versión funcional de un exergame sobre un piso interactivo para el apoyo de terapias en niños con problemas cognitivos y de la marcha, leves; sin embargo como parte del trabajo futuro se pueden explorar los siguientes aspectos:

- Realizar un estudio a largo plazo y en distintos Centros de Atención Múltiple o de Rehabilitación para obtener una información robusta que permita analizar un mejoramiento específico de la marcha.
- Enriquecer el piso interactivo con más mini juegos que apoyen otros aspectos de la marcha, así como introducir opciones de personalización, dando más variedad en los elementos del juego.
- Explorar el uso de sensores que puedan dar mejor precisión en la detección de movimientos y del reconocimiento del salto.

## Lista de referencias bibliográficas

- Alvarez, J., and Djaouti, D. (2011). An introduction to Serious game definitions and concepts. *Serious Games & Simulation for Risks Management*, 11.
- American Psychiatric Association. (2002). *Dsm iv tr: manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales: texto revisado*. Masson.
- Annema, J.-H., Verstraete, M., Abeele, V. Vanden, Desmet, S., and Geerts, D. (2012). Video games in therapy: a therapist's perspective. *International Journal of Arts and Technology*, 6(1), 106–122.
- Anttila, H., Autti-Rämö, I., Suoranta, J., Mäkelä, M., & Malmivaara, A. (2008). Effectiveness of physical therapy interventions for children with cerebral palsy: a systematic review. *BMC Pediatrics*, 8(1), 1.
- Biswas, K. K., & Basu, S. K. (2011). Gesture recognition using microsoft kinect®. In *Automation, Robotics and Applications (ICARA), 2011 5th International Conference on* (pp. 100–103).
- Carmeli, E., Zinger-Vaknin, T., Morad, M., and Merrick, J. (2005). Can physical training have an effect on well-being in adults with mild intellectual disability? *Mechanisms of Ageing and Development*, 126(2), 299–304.
- Chen, H.-T. T., Ma, K.-L. L., Chuang, J.-H. H., and Lin, H.-H. H. (2013). Recognizing jump patterns with physics-based validation in human moving trajectory. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 24(7), 1191–1203. Recuperado de: <http://doi.org/10.1016/j.jvcir.2013.08.006>
- Cibrian, F. L., Martinez-Garcia, A. I., and Tentori, M. (2014). Hunting relics: a collaborative exergame on an interactive floor for children. In *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication* (pp. 223–226).
- de Greef, K., der Spek, E. D., and Bekker, T. (2013). Designing Kinect games to train motor skills for mixed ability players. In *Games for Health* (pp. 197–205). Springer.
- De Silva, S., Barlow, M., and Easton, A. (2014). An Evaluation of DTW Approaches for Whole-of-Body Gesture Recognition. In *Proceedings of the 28th International BCS Human Computer Interaction Conference on HCI 2014-Sand, Sea and Sky-Holiday HCI* (pp. 11–21).
- do Rosario, V. M., Silva, V. G. L., Deprá, P. P., and Costa, A. M. S. (2013). Vertical jump analysis using the microsoft kinect sensor. In *22nd International Congress of Mechanical Engineering*.
- Enkelaar, L., Smulders, E., van Schrojenstein Lantman-de Valk, H., Geurts, A. C. H., and Weerdesteyn, V. (2012). A review of balance and gait capacities in relation to falls in persons with intellectual disability. *Research in Developmental Disabilities*, 33(1), 291–306.
- Getz, M., Hutzler, Y., and Vermeer, A. (2007). The effects of aquatic intervention on perceived physical competence and social acceptance in children with cerebral palsy. *European Journal of Special Needs Education*, 22(2), 217–228.
- Geurts, L., Vanden Abeele, V., Husson, J., Windey, F., Van Overveldt, M., Annema, J.-H. H., and Desmet, S. (2011). Digital games for physical therapy: fulfilling the need for calibration and adaptation. In *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*

(pp. 117–124). Recuperado de <http://doi.org/10.1145/1935701.1935725>

- Grønbaek, K., Iversen, O. O. S., Kortbek, K. J., Nielsen, K. R., and Aagaard, L. (2007). IGameFloor: a platform for co-located collaborative games. In *Proceedings of the international conference on Advances in computer entertainment technology* (pp. 64–71). <http://doi.org/10.1145/1255047.1255061>
- Heller, B., Senior, T., and Wheat, J. (2014). The smartfloor: A large area force-measuring floor for investigating dynamic balance and motivating exercise. *Procedia Engineering*, 72(1999), 226–231. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.040>
- Henderson, S. E., Morris, J., and Frith, U. (1981). The motor deficit in Down's syndrome children: A problem of timing? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 22(3), 233–245.
- Hernandez, H. A., Graham, T. C., Fehlings, D., Switzer, L., Ye, Z., Bellay, Q., ... Stach, T. (2012). Design of an exergaming station for children with cerebral palsy. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2619–2628).
- Hernandez, H. A., Ye, Z., Graham, T. C., Fehlings, D., and Switzer, L. (2013). Designing action-based exergames for children with cerebral palsy. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1261–1270).
- Holtzblatt, K., Wendell, J. B., and Wood, S. (2004). *Rapid contextual design: a how-to guide to key techniques for user-centered design*. Elsevier.
- Huang, Q., Yokoi, K., Kajita, S., Kaneko, K., Arai, H., Koyachi, N., & Tanie, K. (2001). Planning walking patterns for a biped robot. *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 17(3), 280–289.
- IJsselsteijn, W., Van Den Hoogen, W., Klimmt, C., De Kort, Y., Lindley, C., Mathiak, K., ... Vorderer, P. (2008). Measuring the experience of digital game enjoyment. In *Proceedings of Measuring Behavior* (pp. 88–89).
- INEGI. (2013). *Las personas con discapacidad en México, una visión al 2010*. INEGI. México.
- Iversen, O. O. S., Kortbek, K. J. K., Nielsen, K. R., and Aagaard, L. (2007). Stepstone: an interactive floor application for hearing impaired children with a cochlear implant. In *Proceedings of the 6th international conference on Interaction design and children* (pp. 117–124). <http://doi.org/10.1145/1297277.1297301>
- Johnson, C. C. (2009). The benefits of physical activity for youth with developmental disabilities: a systematic review. *American Journal of Health Promotion*, 23(3), 157–167.
- Khoshelham, K. (2011). Accuracy analysis of kinect depth data. In *ISPRS workshop laser scanning* (Vol. 38, p. W12).
- Köthe, G., and Köthe, G. (1983). *Topological vector spaces*. Springer.
- Kurtz, L. A. (2008). Understanding Motor Skills in children with Dyspraxia. *ADHD, Autism, And Other Learning Disabilities*. Published F, Editor. London: Philadelphia.
- Lee, K. J., Lee, M. M., Shin, D. C., Shin, S. H., and Song, C. H. (2014). The effects of a balance exercise program for enhancement of gait function on temporal and spatial gait parameters in young people

- with intellectual disabilities. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(4), 513–516.
- Leo, K. H., and Tan, B. Y. (2010). User-tracking mobile floor projection virtual reality game system for paediatric gait and dynamic balance training. In *Proceedings of the 4th International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology* (p. 25). Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1926058.1926083>
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 15-20
- MacKenzie, I. S. (2012). *Human-computer interaction: An empirical research perspective*. Newnes.
- Masood, S., Qureshi, M. P., Shah, M. B., Ashraf, S., Halim, Z., and Abbas, G. (2014). Dynamic time wrapping based gesture recognition. In *Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE), 2014 International Conference on* (pp. 205–210).
- McKenzie, T. (2009). SOFIT-system for observing fitness instruction time: SOFIT protocol. *San Diego, CA: San Diego State University*.
- Palisano, R., Rosenbaum, P., Bartlett, D., Livingston, M., Walter, S., Russell, D., and Others. (2007). GMFCS-E&R gross motor function classification system expanded and revised. *Ontario (Canada): CanChild Centre for Childhood Disability Research*.
- Read, J. C., and MacFarlane, S. (2006). Using the fun toolkit and other survey methods to gather opinions in child computer interaction. In *Proceedings of the 2006 conference on Interaction design and children* (pp. 81–88). Recuperado de <http://doi.org/10.1145/1139073.1139096>
- Rintala, P., Loovis, E. M., and Lovis, E. M. (2013). Measuring motor skills in Finnish children with intellectual disabilities. *Perceptual and Motor Skills*, 116(1), 294–303. Recuperado de <http://doi.org/10.2466/25.10.PMS.116.1.294-303>
- Sinclair, J., Hingston, P., and Masek, M. (2007). Considerations for the design of exergames. In *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia* (pp. 289–295).
- Snider, L., Korner-Bitensky, N., Kammann, C., Warner, S., and Saleh, M. (2007). Horseback riding as therapy for children with cerebral palsy: is there evidence of its effectiveness? *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 27(2), 5–23.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage Publications, Inc.
- Tresser, S. (2012). Case study: Using a novel virtual reality computer game for occupational therapy intervention. *Presence*, 21(3), 359–371.
- Wyeth, P., Summerville, J., and Adkins, B. (2011). Stomp: an interactive platform for people with intellectual disabilities. In *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology* (p. 51).

## **Anexos**

### **Anexo A. Protocolo de Entrevista a Fisioterapeuta.**

**¿Qué características debe tener un videojuego sobre un piso interactivo para apoyar a los niños con problemas leves en la marcha?**

#### **Protocolo de entrevista**

##### **Introducción**

Hola mi nombre es José Guillermo Cemé Canul, soy estudiante de Maestría del CICESE en Ensenada B.C. en el programa de Ciencias de la Computación. El objetivo de esta investigación es la evaluación y desarrollo de tecnologías que apoyen a los niños con problemas leves en la marcha. Es importante mencionar que el objetivo de esta entrevista es obtener información que nos ayuden en el diseño de sistemas para dichas terapias.

##### **Escenario**

Fecha:

Lugar:

Hora:

Entrevistado:

##### **Datos biográficos**

Deseo conocer acerca de los problemas de niños con necesidades de terapias en los miembros inferiores a fin de diseñar un videojuego sobre un piso interactivo que permita apoyar en dichas terapias.

1. ¿cuál es su nombre?
2. ¿Qué profesión tiene?
3. ¿Qué puesto desempeña en su trabajo actual?
4. ¿Qué tareas realiza en su puesto?
5. ¿Cuánto tiempo lleva laborando en este trabajo?

### **Problemas motores de miembros inferiores en niños**

6. ¿Qué problemas físicos relacionados con la movilidad en miembros inferiores se presentan en niños?
7. ¿Qué problemas físicos relacionados con la flexibilidad en miembros inferiores se presentan en niños?
8. ¿Y en cuanto a coordinación, qué problemas físicos en miembros inferiores se presentan en niños?
9. ¿En relación al equilibrio, qué problemas físicos en miembros inferiores se presentan en niños?
10. ¿Pueden presentarse al mismo tiempo dichos problemas?
  - Si es posible:
    - a. ¿En qué casos se presentan juntos los problemas físicos, tanto de equilibrio, como de flexibilidad, movilidad y de coordinación?
11. ¿Existe una clasificación estandarizada u oficial del nivel de severidad de estos problemas?
  - Si existe:
    - a. ¿Me podría mencionar cuál o cuáles son?
    - b. ¿Me puede describir en qué consisten?
  - Si no existe
    - c. ¿Cómo clasifican internamente el nivel de severidad de estos problemas?
    - d. ¿En base a qué criterios o medidas se clasifican?
12. ¿Cómo impacta en la vida de los niños estos problemas al caminar?
13. ¿Qué actividades físicas se recomiendan para estos niños?

### **Características de las terapias**

14. ¿Qué terapias existen para los problemas mencionados anteriormente, dependiendo del nivel de severidad de cada caso?
15. ¿Cómo se trabaja una sesión típica de terapia?
16. ¿Qué etapas o pasos se siguen a lo largo de cada terapia?
17. ¿Qué actividades realizan durante una sesión típica de terapia?
18. ¿Con qué frecuencia se debe de aplicar cada terapia?
19. ¿Cómo mide el progreso de los niños a lo largo de estas etapas?

20. ¿Cómo mide el progreso de los niños en relación a la condición inicial antes de las terapias y a la condición resultante después de la aplicación de las terapias?
21. ¿Qué características debe tener el lugar para llevar a cabo estas sesiones?
22. ¿Qué instrumentos se utilizan o ha utilizado en estas terapias (aparatos, multimedia, juguetes)?
23. ¿Se pueden realizar algunas terapias en casa?
- Si se puede
- a. ¿Cuáles de ellas?
- Si no se puede
- b. ¿Por qué no se puede?
24. ¿Qué problemas físicos se presentan durante las terapias?
25. ¿Cómo hacen frente a las limitaciones físicas al realizar las terapias?
26. ¿Qué problemas en cuanto a motivación se presentan durante las terapias?
27. ¿Cómo motivan a los niños a realizar las terapias?
28. ¿Qué otros problemas aparte de los antes mencionados se presentan durante las terapias?
29. ¿Cómo los resuelven?
30. ¿Se emplean actividades lúdicas para motivar a los niños en la realización de las terapias?
- Si
- a. ¿Cuáles son estas actividades?
- b. ¿Por qué?
- No
- c. ¿Por qué no?

### **Aspecto tecnológico**

En el mercado existen algunas plataformas para actividad física, tal como el Wii Balance Board, o las plataformas de Positive Gaming (iDancing), Playstation Move, Kinect,

31. ¿Conoce algunas de ellas?
- Si las conoce
- a. ¿Ha utilizado alguna de ellas o similares?



- b. ¿Las ha utilizado las terapias a lo largo de su carrera laboral o tiene conocimiento de que se hayan utilizado para terapias?

Si las ha utilizado

- i. ¿Cómo se han utilizado?

Si no se han utilizado

- ii. ¿Cree usted que pueda ser factible el uso de algunas de estas tecnologías en las terapias?

32. Este es un ejemplo de un videojuego interactivo sobre pisos [mostrar Reliquias del Explorador], ¿Considera que sistemas como este, puedan emplearse para apoyar las terapias?

Si lo considera

- a. ¿Por qué?

Si no lo considera

- b. ¿Por qué no?

### **Cierre**

33. ¿Algo que considere relevante agregar?

Muchas gracias por su tiempo y la entrevista, le recalco que la información aquí obtenida es de uso exclusivo del equipo de investigación, cualquier duda futura esperamos poder contar con usted de nuevo.

## Anexo B. Cuestionario de Experiencia de Juego

Núm. Participante: \_\_\_\_\_

### Cuestionario de Experiencia de Juego – Módulo núcleo

Por favor, indique como se sintieron los niños JUGANDO el video juego para cada uno de los elementos, de acuerdo a la siguiente escala:

Nada en absoluto	Ligeramente	Moderadamente	Bastante	Extremadamente
0	1	2	3	4

1	El niño se sintió contento	
2	El niño se sintió habilidoso	
3	El niño se interesó en las historias	
4	Pienso que se divirtió el niño	
5	El niño estuvo completamente ocupado con el juego	
6	El niño se sintió feliz	
7	El niño se puso de mal humor	
8	El niño se distrajo	
9	El niño se cansó	
10	El niño se sintió competente	
11	Pienso que le fue difícil al niño	
12	El video juego fue estéticamente agradable	
13	El niño se olvidó de lo que había alrededor	
14	El niño se sintió bien	
15	El niño era bueno en ello	
16	El niño se sintió aburrido	
17	El niño se sintió exitoso	
18	El niño se sintió imaginativo	
19	El niño se sintió que podía explorar cosas	
20	El niño lo disfrutó	
21	El niño fue rápido en alcanzar los objetivos del juego	
22	El niño se sintió enfadado	
23	El niño se sintió presionado	
24	El niño se sintió irritable	
25	El niño perdió la noción del tiempo	
26	El niño se sintió desafiado	
27	Al niño le pareció impresionante	

28	El niño estuvo profundamente concentrado en el juego	
29	El niño se sintió frustrado	
30	El niño sintió que fue una gran experiencia	
31	El niño perdió conexión con el mundo exterior	
32	El niño sintió la presión del tiempo	
33	El niño puso un gran esfuerzo	

## Cuestionario de Experiencia de Juego – Módulo Post-Juego

Por favor, indique como se sintieron los niños al FINALIZAR DE JUGAR el video juego para cada uno de los elementos, de acuerdo a la siguiente escala:

Nada en absoluto	Ligeramente	Moderadamente	Bastante	Extremadamente
0	1	2	3	4

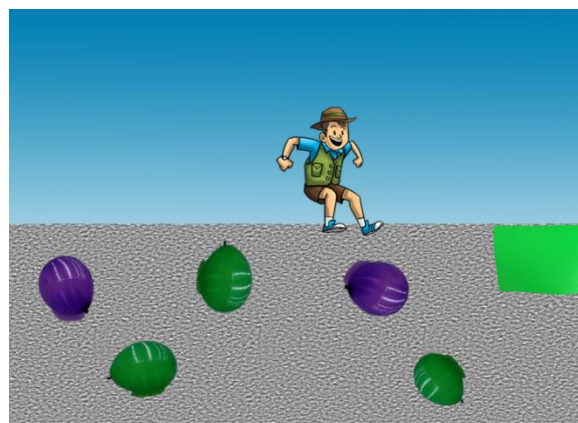
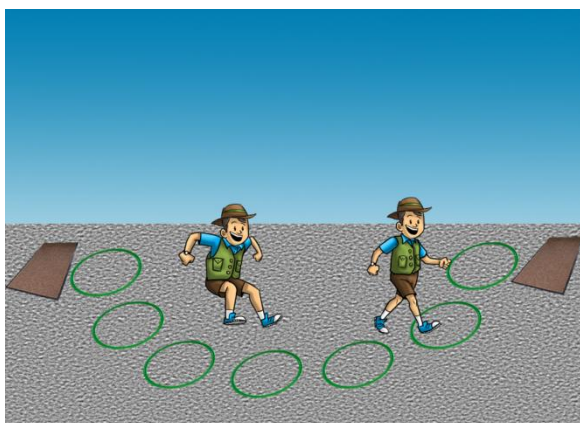
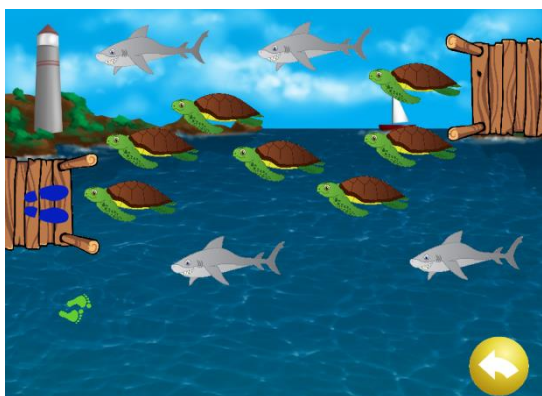
1	El niño se sintió animado	
2	El niño se sintió mal	
3	Al niño le pareció difícil regresar a la realidad	
4	El niño se sintió culpable	
5	El niño se sintió victorioso	
6	Al niño le pareció una pérdida de tiempo	
7	El niño se sintió con energías	
8	El niño se sintió satisfecho	
9	El niño se sintió desorientado	
10	El niño se sintió exhausto	
11	El niño sintió que pudo hacer cosas más útiles	
12	El niño se sintió poderoso	
13	El niño se sintió fatigado	
14	El niño sintió remordimiento	
15	El niño sintió apenado	
16	El niño sintió orgulloso	
17	El niño sintió la sensación de haber regresado de un viaje	

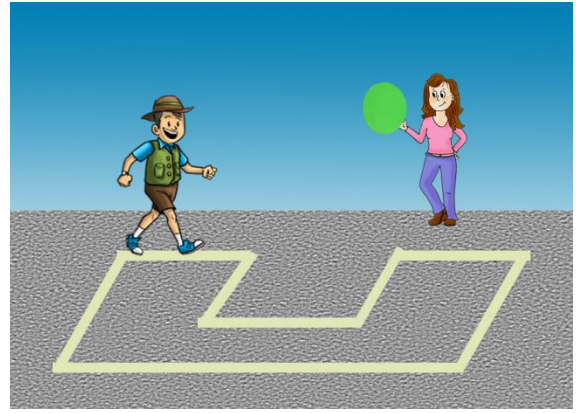
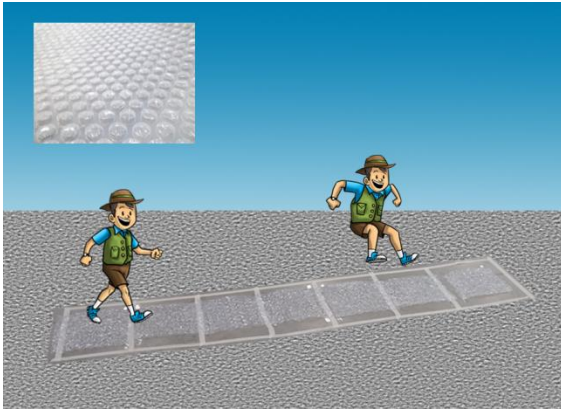
## Anexo C. Fun Toolkit

### Smileyometer



### Tarjetas del FunSorter





## Anexo D. Codificación de una sesión en el SOFIT

Clase # 1 Instrumento Interactivo

19 minutos

## SOFIT RECORDING FORM

Date \_\_\_\_\_ School \_\_\_\_\_ Grade \_\_\_\_/Period \_\_\_\_ Teacher \_\_\_\_\_ Teacher Gen: M F SERIES \_\_\_\_\_  
 Time start \_\_\_\_\_ Observer \_\_\_\_\_ Rel obs \_\_\_\_\_ No girls \_\_\_\_\_ boys \_\_\_\_\_ Location: O I  
 Time end \_\_\_\_\_ Lesson Length \_\_\_\_\_ No of obs. \_\_\_\_\_ Page 1 2 3 4 of \_\_\_\_\_

Interval	Student Activity	Lesson Context	Interactions	NOTES
	1	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	2	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	3	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
o	4	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
n	5	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
e	6	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	7	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
m/f	8	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	9	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	10	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	11	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	12	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	13	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	14	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
t	15	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
w	16	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
o	17	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	18	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	19	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
m/f	20	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	21	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	22	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	23	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	24	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	25	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	26	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
t	27	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
h	28	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
r	29	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
e	30	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	31	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	32	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
m/f	33	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	34	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	35	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	36	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	37	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	38	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
f	39	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
o	40	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	41	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
u	42	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
r	43	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	44	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
m/f	45	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	46	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	47	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
	48	1 2 3 4 5	M K F S G O	I O N
SUM				



Class #1 Instruments  
Interactive

SOFIT RECORDING FORM

Date \_\_\_\_\_ School \_\_\_\_\_ Grade \_\_\_\_/Period \_\_\_\_ Teacher \_\_\_\_\_ Teacher Gen: M F SERIES \_\_\_\_  
 Time start \_\_\_\_\_ Observer \_\_\_\_\_ Rel obs \_\_\_\_\_ No girls \_\_\_\_\_ boys \_\_\_\_\_ Location: O I  
 Time end \_\_\_\_\_ Lesson Length \_\_\_\_\_ No of obs. \_\_\_\_\_ Page 1 2 3 4 of \_\_\_\_

NOTES

Interval	Student Activity	Lesson Context	Interactions
1	1 2 3 4 5	M F S G O	I O N
2	1 2 3 4 5	M F S G O	I O N
3	1 2 3 4 5	M F S G O	I O N
o	4	M F S G O	I O N
n	5	M F S G O	I O N
e	6	M F S G O	I O N
	7	M F S G O	I O N
m/f	8	M F S G O	I O N
	9	M F S G O	I O N
	10	M F S G O	I O N
	11	M K F S G O	I O N
	12	M K F S G O	I O N
	13	M K F S G O	I O N
	14	M K F S G O	I O N
t	15	M K F S G O	I O N
w	16	M K F S G O	I O N
o	17	M K F S G O	I O N
	18	M K F S G O	I O N
	19	M K F S G O	I O N
m/f	20	M K F S G O	I O N
	21	M K F S G O	I O N
	22	M K F S G O	I O N
	23	M K F S G O	I O N
	24	M K F S G O	I O N
	25	M K F S G O	I O N
	26	M K F S G O	I O N
t	27	M K F S G O	I O N
h	28	M K F S G O	I O N
r	29	M K F S G O	I O N
e	30	M K F S G O	I O N
	31	M K F S G O	I O N
	32	M K F S G O	I O N
	33	M K F S G O	I O N
m/f	34	M K F S G O	I O N
	35	M K F S G O	I O N
	36	M K F S G O	I O N
	37	M K F S G O	I O N
	38	M K F S G O	I O N
	39	M K F S G O	I O N
f	40	M K F S G O	I O N
o	41	M K F S G O	I O N
u	42	M K F S G O	I O N
r	43	M K F S G O	I O N
	44	M K F S G O	I O N
	45	M K F S G O	I O N
m/f	46	M K F S G O	I O N
	47	M K F S G O	I O N
	48	M K F S G O	I O N
SUM			