

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



---

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

---

**Adaptabilidad en exergames para adultos mayores**

Tesis

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

Presenta:

**José Sebastián Estrella Ojeda**

Ensenada, Baja California, México  
2016

Tesis defendida por

**José Sebastián Estrella Ojeda**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dra. Ana Isabel Martínez García**  
Co-Director del Comité

---

**Dr. Hugo Homero Hidalgo Silva**  
Co-Director del Comité

**Dr. Jesús Favela Vara**

**Dr. Horacio Soto Ortiz**



---

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

---

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

Resumen de la tesis que presenta **José Sebastián Estrella Ojeda** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Computación.

### **Adaptabilidad en exergames para adultos mayores**

Resumen aprobado por:

---

**Dra. Ana Isabel Martínez García**  
Co-Director de Tesis

---

**Dr. Hugo Homero Hidalgo Silva**  
Co-Director de Tesis

Como consecuencia de la vejez, los adultos mayores sufren una serie de cambios que algunas veces impactan negativamente en su calidad de vida. La pérdida de fuerza en los músculos, el deterioro cognitivo y la falta de equilibrio pueden ser retardados a través de la actividad física. Sin embargo, se ha observado una falta de adherencia al ejercicio por parte del adulto mayor. Una manera de contrarrestar esto es a través de los exergames, sin embargo, en la revisión de la literatura no se encontró evidencia de que existan exergames orientados a adultos mayores que ofrezcan adaptabilidad de intensidad física.

En este trabajo se presenta el diseño, implementación y evaluación de un exergame adaptable en intensidad física de acuerdo a las capacidades físicas del adulto mayor. Para esto se llevó a cabo un estudio contextual con adultos mayores en el cual se obtuvieron ideas de diseño para el desarrollo del exergame. El exergame desarrollado utiliza un sensor Kinect y un sensor de ritmo cardíaco. El sensor Kinect se utiliza como dispositivo de entrada del juego y para medir los rangos de movilidad articular del adulto mayor para posteriormente personalizar los juegos de acuerdo al rango de movimiento del participante. El sensor de ritmo cardíaco sirve para el establecimiento de intensidades físicas. Por último se realizaron dos evaluaciones, la primera tuvo como objetivo evaluar la precisión del exergame para medir los rangos de movilidad articular del adulto mayor y la segunda tuvo como objetivo evaluar la precisión de la adaptabilidad en el exergame. Los resultados muestran que es posible adaptar exergames para adultos mayores a través de la personalización de los movimientos que realizará el adulto mayor en los juegos y del establecimiento de niveles de intensidad física utilizando un sensor de ritmo cardíaco.

**Palabras clave:** Exergames, adaptabilidad, personalización, adultos mayores.

Abstract of the thesis presented by **José Sebastián Estrella Ojeda** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Computer Science

### **Adaptability in exergames for elderly**

Abstract approved by:

---

**PhD. Ana Isabel Martínez García**  
Thesis Co-Director

---

**PhD. Hugo Homero Hidalgo Silva**  
Thesis Co-Director

As a result of aging, older adults suffer a series of changes that sometimes negatively impact on their quality of life. The loss of muscle strength, cognitive impairment and lack of balance may be delayed through physical activity. However, it has been observed a lack of adherence to the exercise by the elderly. A way to counteract this is through exergames; however, in reviewing of literature no evidence was found of exergames for elderly offering adaptability in physical intensity.

This paper presents the design, implementation and evaluation of an exergame that adapts physical intensity according to the physical abilities of the elderly. For this purpose, we conducted a context study with older adults from which design ideas for the development of the exergame were obtained. The developed exergame uses a Kinect sensor and a heart rate sensor. The Kinect sensor is used as an input device of the game and to measure the joint mobility range of older adults and customize the game according to the range of movement of the elderly. The heart rate sensor is used to establish the physical intensity. Finally, two evaluations were performed, the first aimed to evaluate the accuracy of the exergame for measuring the ranges joint mobility of the elderly and the second aimed to evaluate the accuracy of the adaptability of the exergame. The results show that it is possible to adapt exergames for seniors through the customization of the movements that made the elderly in games and establishing levels of physical intensity using a heart rate sensor.

**Keywords:** Exergames, adaptability, personalization, elderly.

## Dedicatoria

*A mi esposa, padres y hermanos.*

## Agradecimientos

*A Dios, por sus bendiciones y por permitirme alcanzar mis metas propuestas.*

*A mi esposa, por su amor y ayuda en todo momento.*

*A mis padres y hermanos por todo su apoyo y amor.*

*A mis directores de tesis, la Dra. Ana Isabel Martínez García y el Dr. Hugo Homero Hidalgo Silva por su guía, enseñanzas y apoyo durante el trabajo de tesis.*

*A los miembros de mi comité de tesis, Dr. Jesús Favela Vara y Dr. Horacio Soto Ortiz, por su tiempo, observaciones y sugerencias durante el desarrollo de esta tesis.*

*A mis amigos de la Casita 2013.*

*Al maestro Raúl y a los grupos de adultos mayores del DIF y CRI por su apoyo en el trabajo de campo de esta tesis.*

*Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico para poder realizar mis estudios de maestría.*

## Tabla de contenido

	Página
<b>Resumen español</b> .....	ii
<b>Resumen inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatorias</b> .....	iv
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	ix
<b>Lista de tablas</b> .....	xii
<b>Capítulo 1. Introducción</b>	
1.1 Envejecimiento de la población.....	1
1.2 Videojuegos para promover actividad física.....	2
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Metodología.....	4
1.5.1 Revisión de la literatura.....	5
1.5.2 Estudio contextual.....	5
1.5.3 Diseño e implementación del exergame.....	5
1.5.4 Evaluación del exergame.....	6
1.6 Organización de la tesis.....	6
<b>Capítulo 2. Videojuegos interactivos para promover la activación física</b>	
2.1 Introducción.....	7
2.2 Exergames comerciales.....	7
2.3 Exergames orientados a adultos mayores.....	9
2.4 Personalización de exergames para adultos mayores.....	11
2.5 Conclusiones.....	14
<b>Capítulo 3. Estudio contextual</b>	
3.1 Introducción.....	16
3.2 Recolección de datos.....	16
3.3 Análisis de datos.....	17
3.4 Resultados del análisis de datos.....	19
3.4.1 Resultados de las entrevistas realizadas a los terapeutas físicos.....	20
3.4.2 Resultados de la entrevista realizada al Médico especialista en rehabilitación.....	21
3.5 Resultados de la observación.....	22
3.6 Conclusiones.....	23
<b>Capítulo 4. Diseño e implementación del exergame</b>	
4.1 Introducción.....	25

4.2	Diseño participativo.....	25
4.2.1	Sesión de diseño participativo: Obtención de la temática del exergame.....	25
4.2.2	Sesión de diseño participativo: Evaluación de movimientos controladores.....	27
4.3	Diseño del exergame.....	29
4.3.1	Historia del exergame.....	29
4.3.2	Personalización de movimientos controladores.....	31
4.3.2.1	Personalización del juego de voleibol.....	32
4.3.2.2	Personalización del juego de carrera.....	34
4.3.3	Adaptabilidad del exergame.....	35
4.3.4	Dinámica del juego.....	36
4.4	Implementación del exergame.....	39
4.4.1	Arquitectura del exergame.....	39
4.4.2	Configuración física.....	41
4.4.3	Escenario de implementación.....	42
4.5	Conclusiones.....	44
<b>Capítulo 5. Evaluación del exergame</b>		
5.1	Introducción.....	45
5.2	Evaluación de la precisión en las mediciones de rangos de movilidad articular.....	45
5.2.1	Experimento de evaluación para la medición de rangos de movilidad articular.....	47
5.2.2	Resultados de la evaluación del algoritmo para la medición del rango de movilidad articular.....	47
5.3	Evaluación de la adaptabilidad del exergame.....	50
5.3.1	Metodología de la evaluación de la adaptabilidad del exergame.....	50
5.3.2	Definición de objetivos.....	51
5.3.3	Diseño del experimento.....	51
5.3.3.1	Participantes.....	51
5.3.3.2	Procedimiento.....	52
5.3.4	Experimento de evaluación.....	53
5.3.5	Resultados.....	53
5.3	Conclusiones.....	60
<b>Capítulo 6. Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro</b>		
6.1	Conclusiones.....	61
6.2	Aportaciones.....	62
6.3	Trabajo futuro.....	62
<b>Lista de referencias bibliográficas.....</b>		<b>64</b>
<b>Apéndice 1.....</b>		<b>68</b>
<b>Apéndice 2.....</b>		<b>73</b>

**Apéndice 3..... 75**

## Lista de figuras

Figura		Página
1.	Metodología de investigación empleada en la tesis.....	4
2	Minijuego de béisbol en el exergame Wii Sports.....	9
3	Exergame <i>Skate It</i> de la consola Wii, se observa al jugador parado sobre el dispositivo Wii Balance Board.....	9
4	Exergame <i>SilverPromenade</i> propuesto por Gerling.....	12
5	Minijuego de atrapar pájaros en el exergame propuesto por Gerling, K. et al (2012).....	14
6	Ejemplo de codificación abierta. A la izquierda se observa un fragmento de la transcripción de la entrevista y a la derecha un código asignado para ese fragmento de la entrevista.....	18
7	Ejemplo de la codificación axial.....	18
8	Modelo de teoría generada a través del análisis de las entrevistas realizadas a los Licenciados en Terapia Física que muestra los elementos importantes para el acondicionamiento físico seguro del adulto mayor.....	19
9	Diagrama de afinidad resultante. Se enfocó en factores que involucran una variación en la actividad física (a), características del ejercicio tradicional (b) y los síntomas de fatiga que se pueden presentar al realizar alguna actividad física por parte del adulto mayor (c).....	20
10	Modelo de la teoría generada a través del análisis de la entrevista realizada al Médico especialista en Rehabilitación y Medicina Física en donde se presentan los elementos importantes del cuidado del adulto mayor mientras realiza alguna actividad física.....	22
11	Actividades realizadas con los adultos mayores en la sesión de diseño participativo.....	26
12	Adultos mayores generando ideas para la temática del exergame.....	26
13	Resultados del análisis de la sesión de diseño participativo realizada con un terapeuta físico.....	28

14	Movimientos adecuados para cada una de las actividades a realizar en el exergame. En la imagen de la izquierda (a) se observa el movimiento de abducción de hombro, mientras que en la imagen de la derecha (b) se observa el movimiento de flexión de cadera.....	29
15	Pantalla del juego de voleibol en el exergame.....	30
16	Pantalla del juego de carrera en el exergame.....	30
17	Movimientos a medir en la evaluación inicial del exergame. (a) Abducción de hombro, (b) abducción de cadera, (c) extensión de cadera, (d) flexión de cadera.....	32
18	Personalización de movimientos en el juego de voleibol.....	33
19	Personalización de movimientos en el juego de carrera.....	34
20	Diagrama de flujo que representa la dinámica del exergame cuando el adulto mayor interactúa en una sesión de juego.....	38
21	Diagrama de emplazamiento del exergame. (A) Un día de juegos en el parque emplea una PC para realizar el procesamiento de la información proveniente de los sensores así como para ejecutar el exergame. (B) Un Kinect para el rastreo de las articulaciones del jugador. (C) Un sensor de ritmo cardíaco. (D) Un dispositivo de proyección que en este caso es un proyector.....	39
22	Clase <i>Skeleton</i> del SDK de Kinect la cual nos proporciona la posición de 20 articulaciones de la persona que esté rastreando.....	40
23	Sensor de ritmo cardíaco Scosche RHYTHM+1.....	41
24	Configuración de los componentes físicos del exergame.....	41
25	Diagrama de secuencia del minijuego de Voleibol.....	43
26	Goniómetro, instrumento utilizado en el ambiente clínico para la medición de los rangos de movilidad articular de una persona.....	46
27	Sesión de evaluación donde el terapeuta físico mide por medio del goniómetro los rangos de movilidad articular de los adultos mayores participantes.....	47
28	Gráficas de los errores entre las mediciones realizadas por el fisioterapeuta y las mediciones realizadas por el algoritmo implementado en el exergame.....	49
29	Metodología utilizada para la evaluación del exergame adaptable.....	51

30	Actividades a realizar durante el experimento de evaluación.....	52
31	Adulto mayor jugando con el exergame durante el experimento de evaluación.....	53
32	Registro del ritmo cardíaco del participante uno durante el tiempo de juego con el exergame.....	55
33	Intensidades establecidas por el exergame durante el juego para que el participante uno realice la cantidad de esfuerzo físico recomendado.....	56
34	Registro del ritmo cardíaco del participante dos durante el tiempo de juego con el exergame.....	56
35	Intensidades establecidas por el exergame durante el juego para que el participante dos realice la cantidad de esfuerzo físico recomendado.....	57
36	Registro del ritmo cardíaco del participante tres durante el tiempo de juego con el exergame.....	57
37	Intensidades establecidas por el exergame durante el juego para que el participante tres realice la cantidad de esfuerzo físico recomendado.....	58
38	Registro del ritmo cardíaco del participante cuatro durante el tiempo de juego con el exergame.....	59
39	Intensidades establecidas por el exergame durante el juego para que el participante cuatro realice la cantidad de esfuerzo físico recomendado.....	59

## Lista de tablas

Tabla		Página
1	Guías para el de diseño de exergame orientado a adultos mayores (Gerling et al., 2012).....	14
2	Características de los informantes.....	17
3	Características de las sesiones de observación.....	17
4	Información relevante para la investigación obtenida de las observaciones realizadas.....	23
5	Mediciones del rango de movimiento articular realizadas por el exergame antes de iniciar la sesión de juego (Velázquez et al., 2014).....	31
6	Intensidades físicas objetivo de acuerdo al tiempo de juego con el exergame.....	36
7	Movimientos y el orden de evaluación de los rangos de movilidad articular del adulto mayor.....	46
8	Resultados obtenidos al realizar la prueba de correlación de Pearson a las mediciones realizadas a los adultos mayores....	48
9	Resultados de las pruebas realizadas a los errores obtenidos entre la medición realizada por el fisioterapeuta y la medición con el exergame.....	49
10	Resultados del cuestionario CHAMPS aplicado a los participantes del experimento de evaluación.....	53
11	Resultado de las mediciones de los rangos de movilidad articular realizadas por el exergame a los participantes de la evaluación.....	54

# Capítulo 1. Introducción

---

## 1.1 Envejecimiento de la población

El envejecimiento es un proceso de cambios que atraviesan todas las personas a través del tiempo. Cada persona envejece dependiendo de sus características innatas, de las que adquiere a través de la experiencia y de las circunstancias a las que se haya enfrentado a lo largo de su vida (Instituto para la Atención de los Adultos Mayores en el Distrito Federal, 2015). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) se considera que una persona ha envejecido o se ha convertido en adulto mayor a partir de los 60 años de edad.

Asimismo, se estima que entre los años 2000 y 2050, la población mundial mayor de 60 años se triplicará y pasará de 600 millones a 2000 millones (Organización Mundial de la Salud, 2011). En México, actualmente viven 10.8 millones de adultos mayores que representan el 9.66% del total de la población. No obstante, este porcentaje podría triplicarse en los próximos 40 años, ya que México experimenta un acelerado proceso de transición demográfica hacia el envejecimiento de la población, debido a la reducción de la tasa de natalidad y de mortalidad, y al aumento de la esperanza de vida (Instituto Nacional de las personas adultos mayores, 2015).

Como consecuencia de la vejez, el cuerpo humano sufre una serie de cambios, entre los cuales se encuentran la pérdida de fuerza en los músculos, el deterioro cognitivo y la falta de equilibrio en las posturas (García, Navarro, and Lawrence, 2011). Además de los cambios mencionados, también están presentes las enfermedades crónicas que van desde la artritis hasta condiciones severas del corazón, que tienen un impacto importante en las capacidades físicas y la movilidad de los adultos mayores (Gerling, Schild, and Masuch, 2010). Dichos cambios, traen como consecuencia el riesgo de caídas que resultan en fracturas que pueden conducir a la discapacidad, la pérdida de la independencia y el riesgo de volver a caer, provocando un efecto negativo en la realización de las actividades diarias de los adultos mayores (Uzor, Baillie, and Skelton, 2012). Una manera de retardar dichos cambios es a través del ejercicio físico.

Además, la inactividad física y el estilo de vida sedentario son factores de riesgo importantes en los adultos mayores para desarrollar enfermedades crónicas como la enfermedad de las arterias coronarias y un derrame cerebral grave (Billis, Konstantinidis, Ladas, Tsolaki, and Bamidis, 2011). La obesidad, presión arterial alta y la diabetes son algunas de las consecuencias de ese estilo de vida (Fox and Hillsdon, 2007).

Algunos adultos mayores carecen de cualquier interés o motivación para realizar ejercicio. Los programas de ejercicios de rutina no les parecen atractivos y pronto pierden interés y abandonan cualquier tipo de actividad física (Billis et al., 2011). Esta falta de adherencia es la barrera clave de la mayoría de los programas de ejercicio, con una tasa de abandono del 50% en un periodo de 3 a 6 meses, provocando que menos del 5% de los adultos mayores cumpla con la actividad física recomendada (Rosenberg et al., 2010).

## **1.2 Videojuegos para promover actividad física**

Con el apoyo de la tecnología se ha intentado dar solución al problema de la adherencia del ejercicio físico en el adulto mayor. Un estudio sobre los videojuegos como apoyo a la rehabilitación de adultos mayores que tuvieron un accidente cerebrovascular, muestra entre sus beneficios que los videojuegos podrían ofrecer un elemento de entretenimiento a las terapias (Flores et al., 2008). En dicho estudio presentan sugerencias para el diseño de videojuegos que satisfagan tanto la rehabilitación como el entretenimiento. En el aspecto de la rehabilitación, es necesario considerar que los adultos mayores tienen diferentes capacidades físicas, por lo que se deben plantear desafíos dentro del videojuego que sean adaptables a esas capacidades así como maneras adecuadas de proveer retroalimentación sobre el rendimiento del adulto mayor al jugar el videojuego. En la parte de entretenimiento, sugieren juegos que deben ser lo suficientemente desafiantes para mantener la atención y motivación de los adultos mayores; sin embargo, mencionan que los videojuegos deben ser simples.

Actualmente, pocos estudios se han enfocado en ofrecer exergames destinados a la población de adultos mayores en general, es decir, que puedan ser jugados por

personas de diferentes capacidades físicas sin provocarles algún riesgo en la salud. En uno de ellos se desarrolló un exergame que personaliza las actividades a realizar por el adulto mayor durante el juego. Esta personalización se basó en una medición inicial de los rangos de movilidad articular del jugador, sin embargo, el exergame no ofrece adaptabilidad de intensidad física durante el juego (Gerling, Livingston, Nacke, and Mandryk, 2012). Establecer niveles de intensidad adecuados es importante ya que la población de adultos mayores es heterogénea en cuanto a su estado físico, por lo que no es conveniente solicitar la misma cantidad de esfuerzo físico a cada jugador dado que para unos significa realizar un esfuerzo ligero pero para otros puede significar realizar un esfuerzo que comprometa su salud.

### **1.3 Planteamiento del problema**

La población de adultos mayores está incrementando considerablemente a nivel mundial. Las actividades tradicionales de activación física suelen ser poco atractivas para esta población, lo que provoca que los adultos mayores no se sientan motivados a realizarlas y por lo tanto, abandonen dichas actividades. Sin embargo, existe una necesidad de que tengan una activación física para mejorar su calidad de vida. Una alternativa para enfrentar este problema es el uso de exergames, sin embargo, es indispensable ofrecer exergames que sean adaptables a la gran heterogeneidad de adultos mayores de acuerdo a sus capacidades físicas, para que de esta manera, puedan llevar a cabo una activación física segura y divertida, evitando los aspectos de riesgo que puedan afectar su salud. A pesar de que se han desarrollado exergames orientados a esa población, aún quedan elementos en la adaptabilidad que se deben desarrollar, como es el cambio de tipo, intensidad y nivel de ejercicio al detectar aspectos físicos de riesgo en el adulto mayor durante la actividad física en el exergame, así como ofrecer ejercicios adecuados dentro del exergame, entre otros.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Desarrollar y evaluar un exergame adaptable, en tiempo real, a la condición física de los adultos mayores, para su activación física.

### 1.4.2 Objetivos específicos

Para lograr el objetivo general planteado, se formularon los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar los aspectos importantes de la condición física de los adultos mayores que deben tomarse en cuenta para realizar la adaptabilidad de un exergame en tiempo real.
2. Diseñar e implementar un exergame adaptable a las capacidades físicas de los adultos mayores que apoye su activación física.
3. Evaluar la adaptabilidad del exergame de manera que ofrezca a los adultos mayores ejercicios adecuados para su reacondicionamiento físico sin riesgo a lesiones u otros problemas que involucren riesgo a su salud.

### 1.5 Metodología

Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados en esta tesis y proporcionar adaptabilidad en exergames para adultos mayores, se empleó la metodología que se muestra en la Figura 1 y que se describe enseguida.

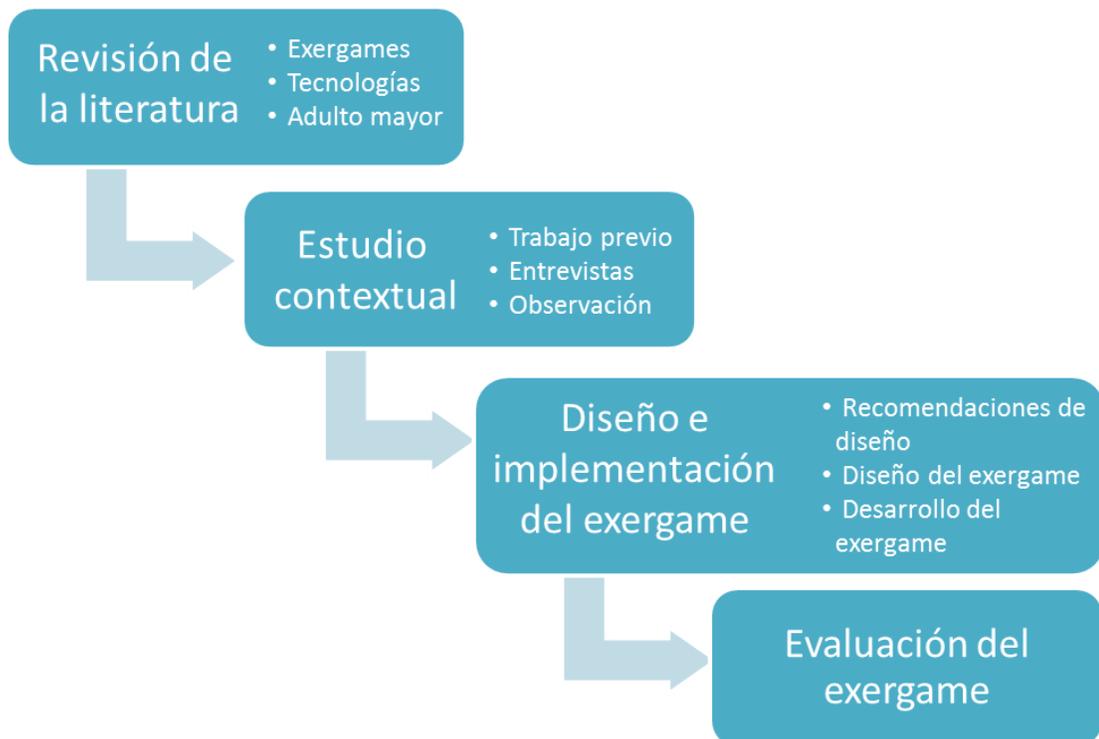


Figura 1. Metodología de investigación empleada en la tesis.

### **1.5.1 Revisión de la literatura**

Se realizó la revisión de la literatura de los estudios relacionados con exergames para adultos mayores, en particular se revisó el diseño de los mismos poniendo especial atención en los aspectos de adaptabilidad de los exergames. De igual manera, se revisaron las tecnologías para la implementación del exergame para adultos mayores. Se estudiaron los aspectos médicos en el ejercicio físico del adulto mayor, así como los cuidados que se deben de tener para evitar problemas en la salud de dichos sujetos.

### **1.5.2 Estudio contextual**

El objetivo del estudio contextual fue el obtener un mejor entendimiento del contexto y adquirir información de los usuarios potenciales para los cuales se desarrollará el exergame (Beyer and Holtzblatt, 1997). Para esto se revisaron entrevistas realizadas a especialistas médicos de un estudio en progreso sobre exergames para adultos mayores. El objetivo de esa revisión fue contextualizarse en los aspectos a cuidar en el adulto mayor cuando realiza ejercicio. Además, se realizaron entrevistas semi-estructuradas complementarias para obtener la información de Terapeutas físicos y un Médico especialista en rehabilitación y medicina física. También, se realizaron observaciones participativas y no participativas a dos grupos de adultos mayores que practican ejercicio físico, y que juegan con exergames. La información generada fue analizada utilizando técnicas de la teoría fundamentada.

### **1.5.3 Diseño e implementación del exergame**

Con la información obtenida por medio del análisis del estudio contextual y de las recomendaciones de diseño presentes en la literatura, se procedió al diseño del exergame adaptable a las capacidades físicas de los adultos mayores. Para complementar dicha información, se realizaron dos sesiones de diseño participativo; las cuales tuvieron como objetivo involucrar a los usuarios finales en el diseño del exergame. Como resultado de esta etapa se obtuvo un exergame adaptable a las capacidades físicas de los adultos mayores.

#### **1.5.4 Evaluación del exergame**

Por último, se llevó a cabo la evaluación del exergame que tuvo lugar en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, la cual consistió en analizar el comportamiento del exergame adaptable al establecer niveles de intensidad física a un grupo de adultos mayores participantes en el experimento de evaluación.

### **1.6 Organización de la tesis**

La tesis está dividida en seis capítulos, los cuales se presentan a continuación:

En el Capítulo 2, se presentan los trabajos de investigación relacionados a exergames orientados a los adultos mayores.

En el Capítulo 3, se describe el estudio contextual realizado, el cual sirvió para obtener las consideraciones de diseño necesarias para diseñar un exergame adaptable a las capacidades físicas de los adultos mayores.

En el Capítulo 4, se presenta el diseño final del exergame adaptable así como la implementación del mismo. De igual manera se detallan los algoritmos, tecnologías y arquitectura empleada en la implementación.

Posteriormente, en el Capítulo 5 se describe la evaluación del exergame. Se presenta el diseño, los participantes y los resultados del experimento de evaluación.

Finalmente, las conclusiones, aportaciones y limitaciones del trabajo realizado así como del trabajo futuro se muestran en el Capítulo 6.

## Capítulo 2. Videojuegos interactivos para promover la activación física

---

### 2.1 Introducción

En este capítulo se presenta la revisión de algunos videojuegos interactivos para apoyar la activación física (exergames) de la población en general; lo anterior seguido de la revisión de trabajo relacionado con exergames orientados a los adultos mayores y los resultados obtenidos de estas investigaciones. Por último se muestran los trabajos de investigación que se han realizado con el fin de personalizar exergames a las capacidades físicas del adulto mayor y proporcionar una mejor y más segura activación física de esta población.

### 2.2 Exergames comerciales

Los exergames son videojuegos interactivos que tienen como método de entrada los movimientos del cuerpo (Lucht, Domagk, and Mohring, 2010). A diferencia de los videojuegos tradicionales que tienden a fomentar la vida sedentaria, y que generalmente involucran sólo el movimiento de los dedos pulgares, los exergames a menudo incluyen actividades como caminar, correr, saltar, deslizarse, lanzar y golpear (Adams et al., 2009).

Los exergames se popularizaron a nivel comercial con la aparición del *Nintendo Wii*<sup>1</sup> en el año 2006 y *Kinect*<sup>2</sup> en 2010. Uno de los exergames comerciales más populares es *Wii Sports* (ver Figura 2), el cual es una colección de cinco mini juegos, incluyendo: tenis, bolos, box, golf y béisbol. Todos los mini juegos son controlados usando movimientos con el control remoto del Wii. Por ejemplo, para el mini juego de béisbol, el control del Wii se utilizará como un bate, de esta manera, para la interacción con el

---

<sup>1</sup> <http://latam.wii.com/hardware/>, funciona mediante el uso de una serie de dispositivos (e.g., un control remoto, balance board) que contienen diferentes sensores (e.g., acelerómetro) que detectan los movimientos que el jugador realiza.

<sup>2</sup> <http://www.xbox.com/es-MX/Kinect>, utiliza algoritmos de visión para reconocer gestos y movimientos mediante una cámara RGB y un sensor de profundidad.

juego, se realizan movimientos como si se realizara un bateo de beisbol con el control del Wii (Nintendo, 2016).



**Figura 2. Minijuego de béisbol en el exergame Wii Sports.**

Otro exergame comercial es *Skate It* (ver Figura 3) en el cual el jugador realiza movimientos de skateboarding (deporte que consiste en deslizarse encima de una patineta) sobre un dispositivo de entrada llamado *Wii Balance Board*<sup>3</sup> (EA, 2016). Sin embargo, este exergame solicita a los jugadores realizar movimientos rápidos e instantáneos que pueden provocar caídas o alguna lesión en el adulto mayor, así como frustración por no realizar los movimientos correctos. Por lo que al igual que todos los juegos comerciales está orientado a una audiencia de personas jóvenes y no para adultos mayores que presentan diferentes capacidades físicas.



**Figura 3. Exergame *Skate It* de la consola Wii, se observa al jugador parado sobre el dispositivo *Wii Balance Board*.**

---

<sup>3</sup> <http://www.nintendo.com/consumer/downloads/wiiBalanceBoard.pdf>, es un accesorio para la consola Wii de Nintendo que consiste en una tabla capaz de calcular la presión ejercida sobre ella.

### 2.3 Exergames orientados a los adultos mayores

Entre los primeros exergames enfocados a los adultos mayores se encuentra *SilverBalance*, que es un exergame orientado a adultos mayores frágiles para mejorar su equilibrio y balance (Gerling, Schild, Masuch, 2010). En este exergame, se definieron dos actividades que involucran ejercer presión sobre un dispositivo *Wii Balance Board* que es el dispositivo de control del juego. La primera actividad consiste en esquivar obstáculos que se presentarán durante el juego y que están alineados de manera aleatoria hacia el lado derecho o izquierdo, el jugador es representado por un cuadro rojo que se puede mover al cambiar el peso hacia lado derecho o izquierdo sobre el *Balance Board*. En la segunda actividad, los obstáculos ocuparan todo el ancho de la pantalla y serán de diferente longitud, por lo que el jugador tendrá que ejercer presión sobre el *Balance Board* para que el cuadro rojo haga un movimiento de saltar y evite chocar con el obstáculo. Dichas actividades no requieren que los adultos mayores tengan mucha condición física, ya que son tareas similares a las que realiza el adulto mayor al pararse de una silla. Como resultado de ese trabajo surgieron recomendaciones de diseño para el desarrollo de exergames para adultos mayores, como es proporcionar apoyo a una serie de requisitos psicofisiológicos. Dichas requisitos son las deficiencias cognitivas, la disminución de las habilidades motoras y la existencia de enfermedades crónicas que están presentes en esa población. Sin embargo, el exergame desarrollado está enfocado hacia un grupo en particular que son los adultos mayores frágiles, lo que limita la posibilidad de que otros adultos mayores con características físicas diferentes a ese grupo tengan un beneficio físico adecuado a sus capacidades.

*SilverPromenade* es otro exergame desarrollado para adultos mayores frágiles (ver Figura 4), el cual se diseñó con dos modos de interacción, individual y cooperativo (Gerling, Schulte, and Masuch, 2011). Los dispositivos utilizados fueron el control remoto del Wii y el *Wii Balance Board*. Más que evaluar el rendimiento del exergame en apoyo de la actividad física, en ese estudio se orientaron a evaluar usabilidad, diseño de interfaz y experiencia de juego, los cuales juegan papeles importantes en el éxito de los exergames. Entre los resultados reportados en ese estudio se encuentran que ofrecer exergames colaborativos motiva a los adultos mayores a participar en las

sesiones con el exergame; sin embargo, esto implica la necesidad de dar apoyo a las diferentes capacidades físicas entre los adultos mayores que participen colaborativamente en una sesión. En la parte de usabilidad, los adultos mayores comentaron que el uso de un dispositivo de control del juego (control remoto del Wii) es incómodo para ellos, ya que tenían miedo de quebrarlo.



**Figura 4. Exergame *SilverPromenade* propuesto por Gerling.**

Además de promover la actividad física en el adulto mayor, se han desarrollado exergames con otros objetivos. Uno de estos es *GuessMyCaption* (Cornejo, Hernandez, Favela, Tentori, and Ochoa, 2012), el cual además de proporcionar rehabilitación física a través de movimientos del cuerpo como modo de interacción con el juego, busca fortalecer el vínculo del adulto mayor con sus familiares. A pesar que los resultados no mostraron cambios significativos en el aumento de fuerza de los brazos después de utilizar el exergame, el adulto mayor declaró en las entrevistas que sintió mejora en su condición física, lo que sugiere que los exergames pueden cambiar la percepción del adulto mayor en relación con su salud. En este exergame no se implementó adaptabilidad en tiempo real de acuerdo a las características físicas del adulto mayor.

Otro de los problemas que enfrentan los adultos mayores es la disminución en el rendimiento de las habilidades visuales. Un estudio demostró que los exergames pueden mejorar el rendimiento en las habilidades visuales de los adultos mayores en silla de ruedas en dos aspectos, tiempo de reacción y coordinación mano-ojo (Chiang,

Tsai, and Chen, 2012). En ese estudio se reclutaron adultos mayores en silla de ruedas provenientes de un asilo de ancianos, los cuales fueron divididos en dos grupos, un grupo experimental y uno de control, al grupo experimental se le aplicaron sesiones con juegos de video somatosensoriales por medio de un Xbox 360 con Kinect (3 veces por semana con sesiones de 30 minutos), mientras que al grupo de control no se le aplicó alguna sesión especial más que las rutinas habituales del asilo de ancianos. Para identificar mejoras entre ambos grupos en relación con las habilidades visuales se realizaron pruebas estadísticas que dieron como resultado diferencias significativas entre ambos grupos para el tiempo de reacción y la coordinación mano-ojo después de haber realizado las sesiones. Con estos resultados se puede observar que los exergames pueden apoyar otros problemas de los adultos mayores además de la reactivación física y proporcionar terapias que incluyan a adultos mayores con determinadas capacidades físicas.

Existe investigación adicional de exergames para poblaciones especiales como es adultos mayores en sillas de ruedas (Gerling, Mandryk, and Kalyn, 2013), para mejorar el rendimiento cognitivo (Kayama et al., 2013), en la evaluación del balance para prevenir caídas (Bateni, 2012; Dias de Brito, Pinheiro Neto Jacob, Nóbrega, and Nogueira Santos, 2015; Duclos, Miéville, Gagnon, and Leclerc, 2012; Hardy, Göbel, and Steinmetz, 2013), entre otros.

## **2.4 Personalización de exergames para adultos mayores**

En el estudio de Velazquez, Martinez-Garcia, Favela, Hernandez, and Ochoa (2013) se presenta la necesidad de la personalización de los exergames a las características y capacidades físicas de los adultos mayores y se proponen recomendaciones de diseño para adaptabilidad de exergames enfocados a adultos mayores. En ese estudio se menciona la importancia de adaptar el exergame a las condiciones físicas de los adultos no sólo para ofrecer un ejercicio adecuado, sino como una manera de atraerlo a participar en el exergame, ya que si el adulto mayor siente que el exergame no es adecuado para él, entonces no lo jugará. Otro punto importante que se resalta en el trabajo es el uso de los exergames en grupo, como una manera de atraer a los adultos mayores que regularmente no participan. En ese estudio se presentó la personalización

a nivel de calibración de los rangos de movimiento al inicio del exergame, y no se ofrece adaptabilidad en tiempo real, detectando aspectos físicos de riesgo que se pueden presentar en el adulto mayor. Con base en los resultados obtenidos, definen cómo un exergame puede adaptarse a la demanda de movimiento en tres niveles diferentes, los cuales se presentan a continuación:

- **Morfo-funcional:** El exergame requiere identificar la capacidad de movilidad del adulto mayor y adaptar el juego a la misma. Una baja respuesta neuromuscular requiere reducir la intensidad y la velocidad del exergame, además de ofrecer metáforas y retroalimentación adecuada.
- **Eficacia:** Los movimientos deben ser efectivos y no intensos.
- **Riesgo de cansancio:** El beneficio de las actividades físicas se puede cambiar por el beneficio de movimiento, el esfuerzo percibido de los adultos mayores no requiere necesariamente un ejercicio de alta intensidad.

Gerling K. et al. (2012) desarrollaron un exergame con una interacción basada en el movimiento de todo el cuerpo que ofrece elementos de personalización a las capacidades físicas de los adultos mayores (ver Figura 5). Entre esos elementos se encuentra el diseño de movimientos adecuados como manera de interacción entre el exergame y el adulto mayor. Además de una fase de calibración de las capacidades de movimiento de los adultos mayores antes de iniciar el juego y de esta manera adecuar el movimiento requerido para que el adulto mayor interactúe con el exergame. Los cambios que se pueden realizar son el tipo de movimiento, precisión del movimiento y tiempo de finalización. Entre los hallazgos encontrados, están que varios de los adultos mayores que participaron en el estudio no se percibieron comprometidos, por lo que se sugiere una adaptación personal de los movimientos definidos en el exergame de acuerdo a las variaciones relacionadas a la edad de los participantes. Adicionalmente se proponen guías para el diseño de exergames (ver Tabla 1); sin embargo el exergame propuesto no contempla la adaptabilidad en tiempo real al detectar condiciones físicas de riesgo que se pueden presentar en el adulto mayor.

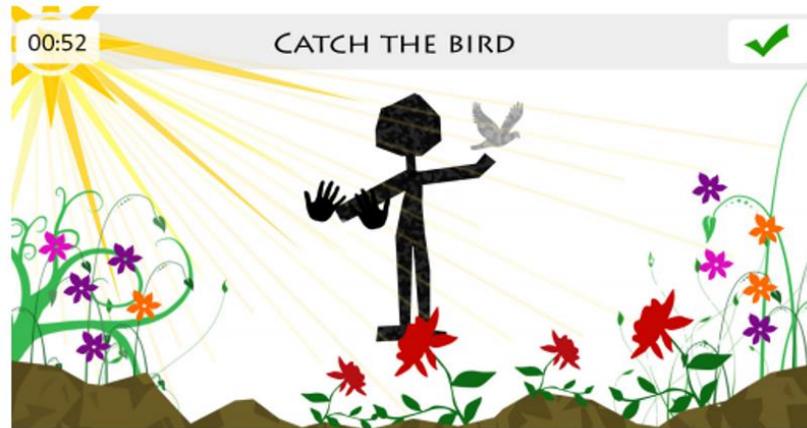


Figura 5. Minijuego de atrapar pájaros en el exergame propuesto por Gerling, K. et al (2012).

Tabla 1. Guías para el de diseño de exergame orientado a adultos mayores (Gerling et al., 2012).

Guía de diseño	Descripción
Crear exergames pensando en los impedimentos físicos y cognitivos de los adultos mayores.	Tener en cuenta que muchos de los adultos mayores no tienen la capacidad de mover parcial o completa las extremidades de su cuerpo, además de establecer estructuras de juego más simples por el deterioro cognitivo que presentan.
Proporcionar adaptabilidad para adultos mayores que no pueden mover alguna extremidad.	El exergame se debe adaptar a las partes del cuerpo que el adulto mayor si puede manipular.
Que los exergames provean de gestión de fatiga.	Evitar que los adultos mayores sean sometidos a esfuerzo excesivo que puede provocar lesiones en su cuerpo
Adaptabilidad en la dificultad del juego.	Ya que las características entre adultos mayores son muy variadas, la única dificultad de un exergame sería desigual lo que puede provocar ya sea aburrimiento o frustración e incluso lesiones.
Proporcionar modelos de interacción naturales y que el exergame contenga instrucciones claras.	De tal manera que el adulto mayor las pueda recordar.
Apoyo por medio de tutoriales continuos.	Para que el adulto mayor sepa que acciones debe realizar dentro del exergame. Se debe tener cuidado para que no se convierta en una carga cognitiva alta.
Rutinas de configuración simples.	Para que el adulto mayor pueda realizar acciones de manera independiente como iniciar y cerrar el exergame.

En otro estudio también se obtuvieron guías de diseño para el desarrollo de exergames para adultos mayores. Para ofrecer una personalización de las actividades que realizará el adulto mayor en el exergame propusieron una clasificación de adultos mayores. Dicha clasificación se obtuvo a partir de mediciones de rangos de movilidad en las articulaciones de miembros inferiores y aplicación de pruebas funcionales de balance

del adulto mayor (Velázquez, Martínez-García, and Favela, 2013). Los cuatro grupos presentes en la clasificación se presentan a continuación:

1. Personas que tienen pocos impedimentos al moverse y/o en quienes la morbilidad existente tiene un impacto bajo o nulo en la capacidad funcional.
2. Personas con un rango real de movilidad reducida y/o dolor en las articulaciones involucradas y/o una autopercepción de que su capacidad funcional está muy reducida.
3. Personas que utilizan instrumentos de transferencia de movimiento y/o refieren restricciones médicas en el ejercicio.
4. Rangos de movilidad muy restringida, impedimentos cognitivos, dependencia y un alto impacto en la funcionalidad producida por la morbilidad presentada. Aun en esta clasificación el adulto mayor puede considerarse sano cuando a pesar de estas limitaciones mantiene su independencia funcional.

De acuerdo con la clasificación, los autores plantean el desarrollo de un prototipo de exergame que proponga una línea de ejercicio acorde con la clasificación realizada. De esta manera, se pretende ofrecer ejercicios adecuados a las capacidades físicas del adulto mayor dentro del exergame. Aun cuando es un prototipo en vías de desarrollo, no está planteado ofrecer adaptabilidad en el exergame cuando se presenten condiciones físicas de riesgo en el adulto mayor que evitaría riesgos en su salud.

## **2.5 Conclusiones**

En este capítulo se presentan exergames para llevar la activación física del adulto mayor. Se observó que los beneficios otorgados por jugar exergames van más allá de sólo ejercitación. También, se percibió que entre los exergames para adultos mayores son pocos los que están orientados a la población en general de adultos mayores y no únicamente a adultos mayores con ciertas características. Algunos de estos son los propuestos por Gerling (2012) y Velázquez (2013), sin embargo, sólo realizan una personalización inicial de los rangos de movimiento articular y no ofrecen adaptabilidad de intensidad física en tiempo real de acuerdo a los cambios fisiológicos que sufre el adulto mayor durante el juego. Por lo anterior, se recomienda considerar otros elementos de diseño en exergames que permitan la adaptabilidad de intensidad física y

de esta manera proporcionar exergames que puedan ser jugados por cualquier adulto mayor.

## Capítulo 3. Estudio contextual

---

### 3.1 Introducción

En este capítulo se describe el estudio contextual llevado a cabo y los resultados obtenidos. El objetivo del estudio fue determinar los elementos importantes a tomar en cuenta en el desarrollo de un exergame para adultos mayores, que ayuden a evitar riesgos en la salud de los adultos mayores mientras realizan los ejercicios de actividad física del juego.

El estudio se llevó a cabo con dos grupos de adultos mayores pertenecientes a la Unidad de Atención a Grupos Vulnerables y al Centro de Rehabilitación Integral (CRI), ambos localizados en la ciudad de Ensenada, Baja California. Los objetivos específicos del estudio contextual fueron: recopilar información sobre las actividades físicas recomendadas para los adultos mayores, las situaciones de riesgo en la salud de los adultos mayores que se pueden presentar cuando realizan actividad física y la interacción del adulto mayor con videojuegos que promueven actividad física. Los datos obtenidos del estudio fueron analizados y se obtuvieron ideas de diseño para ofrecer adaptabilidad en exergames para adultos mayores.

### 3.2 Colección de datos

Con el objetivo de comprender las actividades físicas recomendadas para los adultos mayores y los riesgos de salud que se pueden presentar en esta población mientras realizan dichas actividades físicas, se revisaron entrevistas realizadas en un estudio previo de exergames para adultos mayores; se complementaron con tres entrevistas semi-estructuradas adicionales, para completar la información requerida.

Las primeras dos entrevistas (ver Apéndice 1) fueron con dos Licenciados en Terapia Física del CRI de la ciudad de Ensenada, Baja California (ver Tabla 2). Durante la entrevista se le preguntó a los informantes sobre las características de las actividades físicas recomendadas a los adultos mayores (tipo, frecuencia, tiempo, etc.), riesgos en la salud del adulto mayor al hacer actividades físicas y los elementos de salud que se deben de monitorizar. La tercera entrevista (ver Apéndice 2) fue con un Médico

especialista en Rehabilitación y Medicina Física del CRI. Durante la entrevista se le preguntó al informante acerca de los riesgos en la salud del adulto mayor cuando trabaja a ciertos niveles de intensidad de actividad física y las restricciones de salud en el adulto mayor para establecer niveles de intensidad en la actividad física. Todas las entrevistas se transcribieron para su posterior análisis.

**Tabla 2. Características de los informantes.**

<b>Especialidad</b>	<b>Lugar</b>	<b>Método</b>	<b>Duración</b>
Licenciado en Terapia Física	Centro de Rehabilitación Integral	Entrevista semiestructurada	00:51:26
Licenciado en Terapia Física	Centro de Rehabilitación Integral	Entrevista semiestructurada	00:34:22

De igual manera, se realizaron 29 sesiones de observación, las primeras 3 sesiones fueron de observación no estructurada directa no participativa, es decir, no estructurada, ya que se observaron todos los acontecimientos de un episodio, directa, porque se observó el comportamiento tal y como sucede, y no participativa, ya que el observador no participó en el episodio que estudiaba, se mantenía a distancia. Las siguientes 26 sesiones fueron observación no estructurada directa participativa, en este caso participativa, ya que el observador formó parte del episodio que se observó. En la Tabla 3 se muestran las características de las sesiones de observación realizadas.

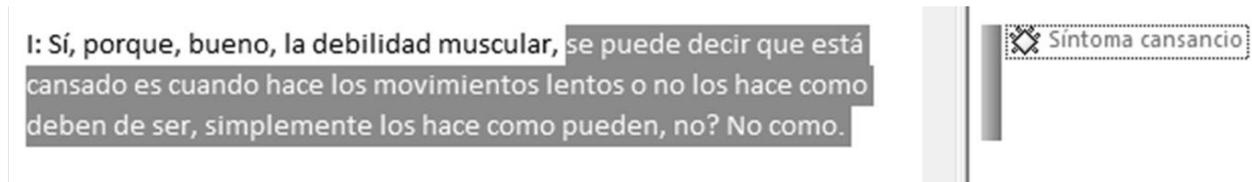
**Tabla 3. Características de las sesiones de observación.**

	<b>Lugar</b>	<b>Método</b>
Lugar:	ExDIF(Grupos vulnerables)	ExDIF y Centro de Rehabilitación Integral
Tiempo:	4.5 horas (3 sesiones)	39 horas (26 sesiones)
Personas:	1 instructor, 50 adultos mayores	1 instructor, 5 adultos mayores
Objetivo:	Observar los ejercicios realizados por los adultos mayores y la interacción de los mismos con exergames	Observar los ejercicios realizados por los adultos mayores y la interacción de los mismos con exergames

### **3.3 Análisis de datos**

Para el análisis de datos obtenidos en las entrevistas se utilizaron técnicas de teoría fundamentada y diagramas de afinidad. El objetivo de la teoría fundamentada es derivar teoría de un fenómeno a estudiar a través del análisis sistemático de los datos, este

análisis consta de tres fases, la codificación abierta, axial y selectiva (Corbin and Strauss, 2008). En la codificación abierta se analiza línea por línea la información, generando códigos comunes y recurrentes de interés. En la Figura 6 se presenta un ejemplo de la codificación abierta, en la cual el informante menciona como a través de los movimientos lentos y erróneos se puede identificar un síntoma de cansancio.



**Figura 6. Ejemplo de codificación abierta. A la izquierda se observa un fragmento de la transcripción de la entrevista y a la derecha un código asignado para ese fragmento de la entrevista.**

En la codificación axial se agrupan los códigos generados en la codificación abierta para establecer relaciones o conexiones entre categorías que explican un fenómeno a estudiar, en la Figura 7 se presenta un ejemplo de la codificación axial. En el ejemplo, se observa una de las categorías generadas, la categoría Monitorización durante una actividad de ejercicio, la cual contiene ciertas propiedades a considerar como son las acciones que se deben realizar cuando se detecta un síntoma de fatiga física, los elementos para identificar problemas de salud que se pueden presentar en el adulto mayor, etc. Cada una de las propiedades contiene dimensiones que las definen. Tanto la codificación abierta y axial se realizan de manera iterativa, para este análisis se empleó el software Atlas.ti<sup>4</sup>.

Categoría	Propiedades	Dimensiones
Monitorización durante actividad ejercicio	Acciones al detectar problemas de riesgo de salud	Suspensión del ejercicio, preguntar al paciente como se siente, medir presión arterial
	Acciones detectar fatiga física	Suspensión del ejercicio
	Acciones detectar síntomas fatiga física	Detener ejercicio, medir signos vitales, reposo, fase de enfriamiento ejercicio
	Documento oficial estrategias riesgo	Reglamentos de seguridad
	Elemento identificación tolerancia ejercicio	Presencia fatiga física, presión arterial elevada, agitación

**Figura 7. Ejemplo de la codificación axial.**

<sup>4</sup> **Atlas.ti:** Software utilizado para el análisis cualitativo de datos.

En la fase de codificación selectiva se integran y refinan las categorías generadas en la codificación axial para formar un esquema teórico. Sin embargo, las categorías finales obtenidas en el esquema teórico fueron muy generales (ver Figura 8). Por lo tanto, este fue analizado a través de diagramas de afinidad. Los diagramas de afinidad son herramientas para organizar gran cantidad de datos cualitativos en grupos basados en sus relaciones (Holtzblatt, Wendell, and Wood, 2004).

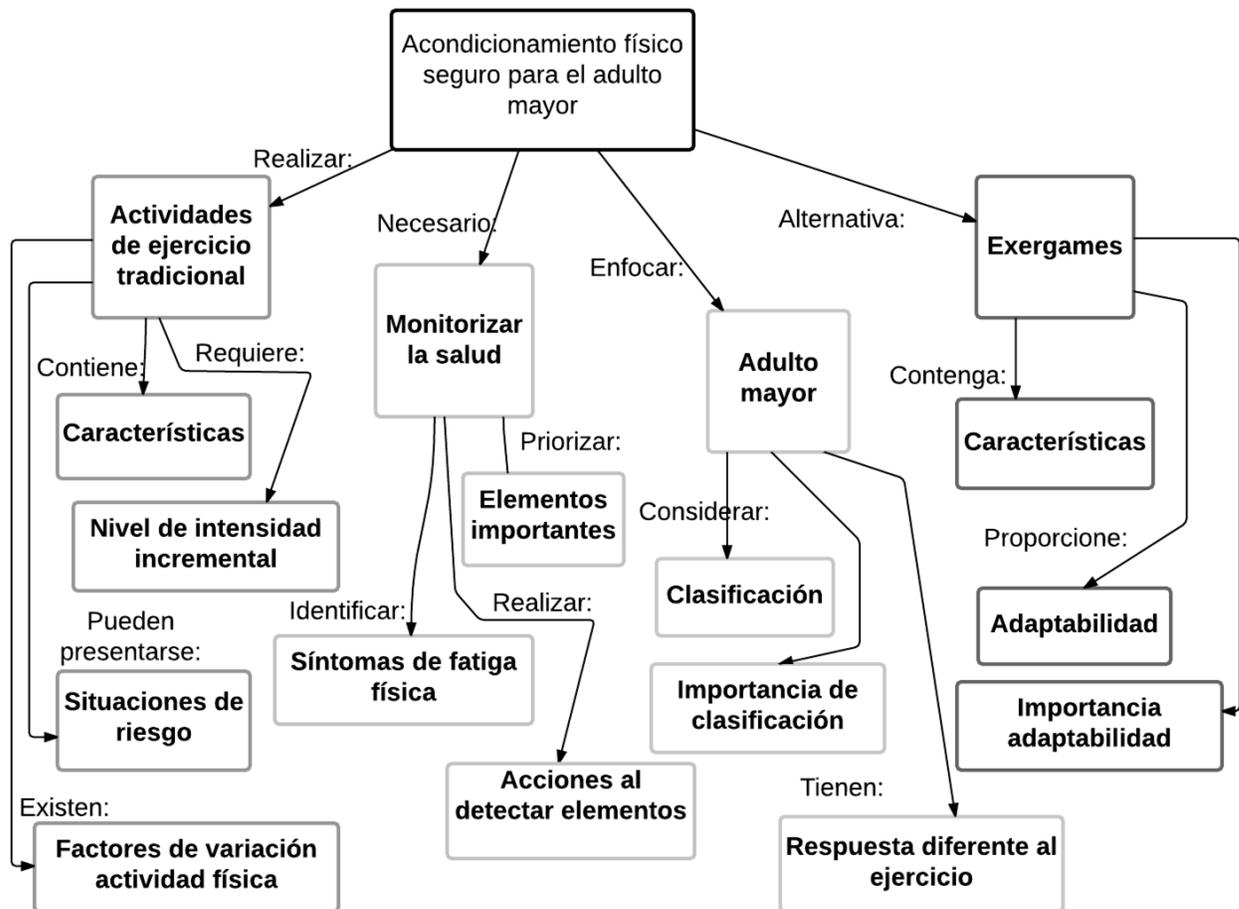


Figura 8. Modelo de teoría generada a través del análisis de las entrevistas realizadas a los Licenciados en Terapia Física que muestra los elementos importantes para el acondicionamiento físico seguro del adulto mayor.

### 3.4 Resultados del análisis de datos.

El estudio contextual ayudó a comprender cuáles son los elementos importantes a tomar en cuenta en el diseño de exergames adaptables en tiempo real para la activación física de los adultos mayores sin provocar riesgos en su salud.

### 3.4.1 Resultados de las entrevistas realizadas a los terapeutas físicos.

A través del análisis realizado con los diagramas de afinidad se obtuvieron temas emergentes de interés para el estudio, los cuales se muestran en la Figura 9. Con base en los temas emergentes se destacaron tres ideas de diseño para el exergame, las cuales son: la intensidad del ejercicio debe ser incremental, se debe tomar en cuenta la resistencia al ejercicio y la debilidad muscular.

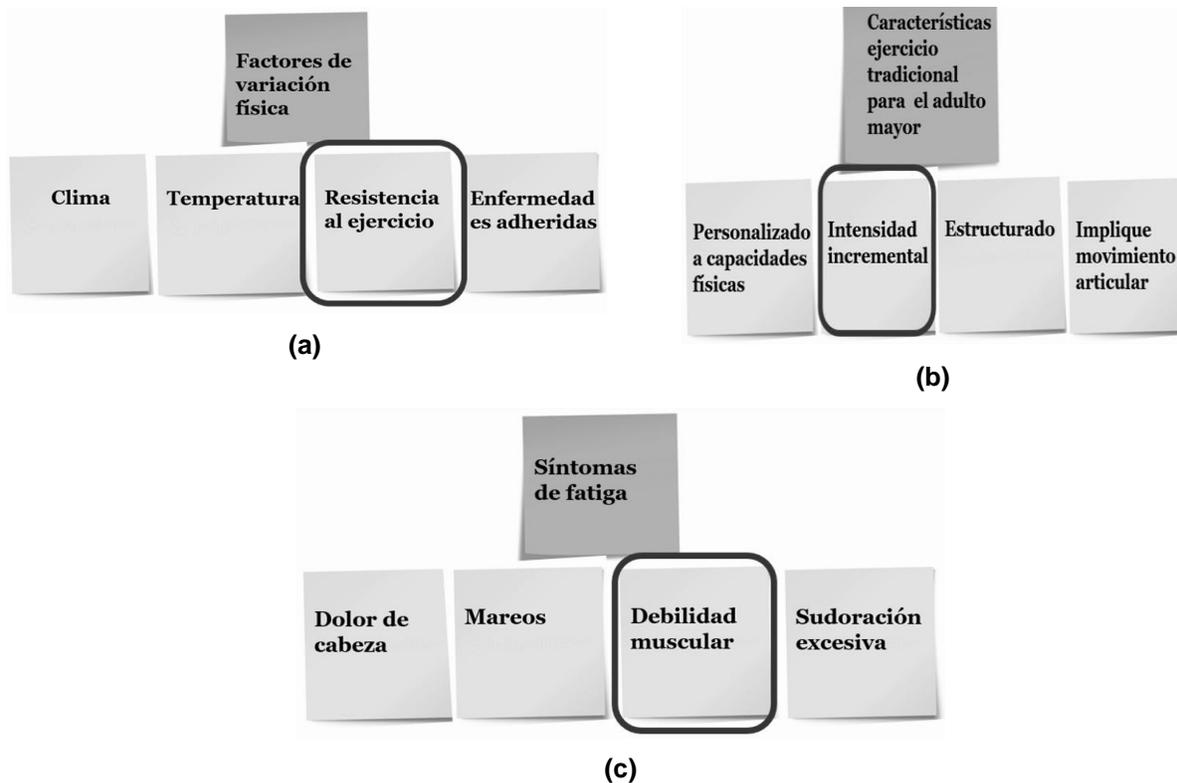


Figura 9. Diagrama de afinidad resultante. Se enfocó en factores que involucran una variación en la actividad física (a), características del ejercicio tradicional (b) y los síntomas de fatiga que se pueden presentar al realizar alguna actividad física por parte del adulto mayor (c).

- **Intensidad de ejercicio incremental:** La intensidad del ejercicio debe ser incremental a través del tiempo; comenzando con un nivel de intensidad bajo para posteriormente incrementarlo. Este incremento debe ser de acuerdo a las capacidades físicas del adulto mayor, ya que de otro modo, si el incremento de intensidad es superior al que puede soportar el adulto mayor es posible que se presenten problemas en su salud.

- **Diferencia de resistencia al ejercicio:** Uno de los factores que implican variaciones en el establecimiento de ejercicio es el estado físico del adulto mayor; ya que hay sujetos que realizan alguna actividad física de manera periódica por lo que tienen mayor resistencia al ejercicio en comparación con los sujetos que no realizan actividades físicas. Por lo que es importante establecer la actividad física adecuada de acuerdo al estado físico del adulto mayor.
- **Debilidad muscular:** Con el objetivo de evitar que el adulto mayor llegue a un estado de fatiga física, es importante identificar los síntomas previos a este estado. Uno de ellos es la debilidad muscular o cansancio muscular que puede ser determinado a través de los movimientos que realice el adulto mayor mientras efectúa alguna actividad física. Por ejemplo, la falta de efectividad en los movimientos solicitados, ya sea más lentos y/o decremento en el ángulo de movilidad articular en comparación con el ángulo de cuando comenzó la actividad física, es decir, movimientos erróneos.

### 3.4.2 Resultados de la entrevista realizada al Médico especialista en rehabilitación

Los resultados obtenidos del análisis de la entrevista se presentan en la Figura 10. En el modelo se observa que para cuidar la salud del adulto mayor durante la actividad física hay que tener en cuenta varios aspectos. Algunos de estos se detallan a continuación:

- **Analizar las respuestas fisiológicas del adulto mayor durante la actividad física:** Se deben analizar ya que se presentan cambios tanto de la presión arterial como del ritmo cardíaco, por ejemplo, los cambios que ocurren en el ritmo cardíaco reflejan el estado físico del adulto mayor así como situaciones de riesgo que se pueden presentar.
- **Prevenir excesos de intensidad física:** No solicitar al adulto mayor intensidades de actividad física que no puede sostener, de otro modo, se pueden provocar desvanecimientos, arritmias o isquemias.
- **Realizar una monitorización constante de sus signos vitales:** Con el objetivo de evitar daños en su salud es importante estar midiendo constantemente los

signos vitales del adulto mayor, los cuales son el ritmo cardíaco, la presión arterial y el consumo de oxígeno.

- **Ofrecer niveles de intensidad física adecuados:** Establecer intensidades físicas de acuerdo al estado físico y rangos de movilidad del adulto mayor. Además, se debe incrementar la intensidad de manera escalonada durante la actividad física.
- **Cumplir restricciones en la actividad física:** Algunos adultos mayores no pueden realizar ciertas actividades físicas. Por ejemplo, para ejercicios aeróbicos, se debe restringir a los adultos mayores que presenten hipotensión, crisis de hipertensión, hipertensión no controlada, etc.

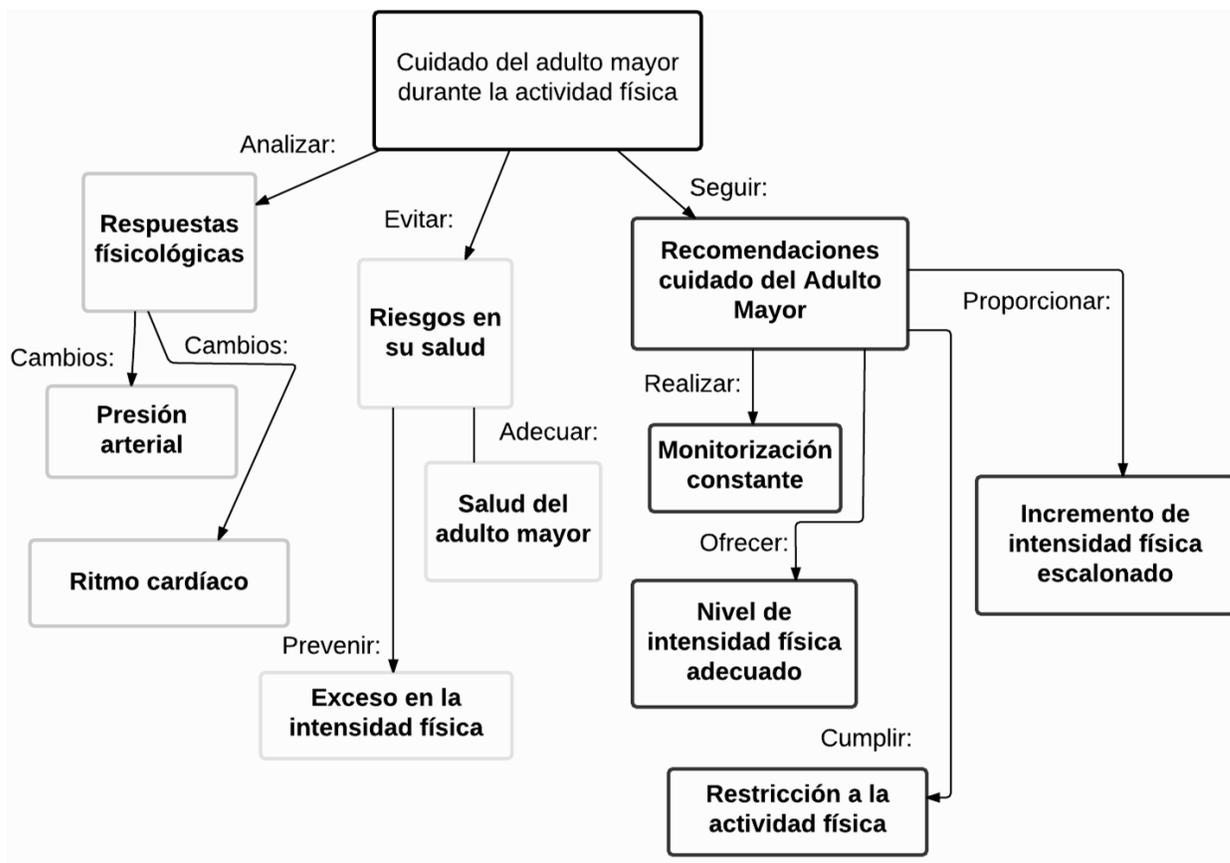


Figura 10. Modelo de la teoría generada a través del análisis de la entrevista realizada al Médico especialista en Rehabilitación y Medicina Física en donde se presentan los elementos importantes del cuidado del adulto mayor mientras realiza alguna actividad física.

### 3.5 Resultados de la observación

A través de las sesiones de observación realizadas se obtuvo información acerca de cómo se llevan a cabo las sesiones de activación física para el adulto mayor. En la

Tabla 4 se muestran los resultados más importantes de los dos grupos de sesiones de observación realizadas. En el primer grupo de observaciones, se recopiló información sobre los tipos de ejercicios que realizan los adultos mayores en la fase de calentamiento y el núcleo del ejercicio. También, se observó la interacción del adulto mayor con los exergames, un dato importante es la dificultad del adulto mayor para realizar cambios rápidos en el tipo de movimiento que se le solicita mientras juegan con el exergame.

En el segundo grupo de observaciones, se obtuvo información acerca de las evaluaciones que se le practican al adulto mayor antes de realizar ejercicio, estas evaluaciones miden rangos de movilidad articular del adulto mayor y nivel de equilibrio. Los resultados de ambas evaluaciones sirvieron para clasificar al adulto mayor y proporcionar un ejercicio adecuado. De igual manera, se observó que las condiciones ambientales juegan un papel importante para establecer el tipo y cantidad de ejercicio, por ejemplo, cuando hay temperaturas altas, el ejercicio debe ser menos intenso.

**Tabla 4. Información relevante para la investigación obtenida de las observaciones realizadas.**

Tipo	Resultados
Observación no estructurada directa no participativa	<p><b>Actividades de ejercicio:</b> Ejercicios que realizaban los adultos mayores. Por ejemplo, ejercicios de flexibilidad, aeróbicos y de fuerza.</p> <p><b>Reacción al ejercicio:</b> Cansancio por parte del adulto mayor.</p> <p><b>Interacción del adulto mayor con los exergames:</b> Preferencia por juegos que involucran el Kinect que los juegos que necesitan el Wii Balance Board. Movimientos controladores de los juegos que se le dificultan o facilitan al adulto mayor.</p>
Observación no estructurada directa participativa	<p><b>Evaluación física del adulto mayor:</b> Se observaron las evaluaciones de flexibilidad, movilidad articular y equilibrio que se le practicaban al adulto mayor.</p> <p><b>Efectos de las condiciones ambientales:</b> Bajo rendimiento del adulto mayor a temperaturas ambientales más altas a las que está acostumbrado. Estas condiciones pueden provocarle mareos o desmayos al adulto mayor cuando realiza la actividad física.</p>

### 3.6 Conclusiones

En este capítulo se presentaron los resultados obtenidos del estudio contextual realizado en un CRI y con un conjunto de adultos mayores provenientes de la Unidad de Atención a Grupos Vulnerables, ambos de la ciudad de Ensenada, BC. De esta

manera fue posible entender y obtener los elementos importantes para el diseño de exergames que proporcionen de manera segura actividades físicas en el adulto mayor.

Los resultados más relevantes del estudio contextual son que es necesario:

- Establecer niveles de intensidad física adecuada para el adulto mayor, dicha intensidad debe ser incremental hasta alcanzar el límite recomendado para el adulto mayor durante el tiempo que dura una sesión de reactivación física.
- Tomar en cuenta el estado físico en el que se encuentra el adulto mayor al establecer niveles de intensidad ya que entre dicha población existe gran heterogeneidad en cuando al estado físico y rangos de movimiento articular.
- Conocer las evaluaciones realizadas a los adultos mayores para poderlos clasificar y establecerles actividades físicas adecuadas.

La información obtenida en este capítulo sirvió para el diseño e implementación del exergame.

## Capítulo 4. Diseño e implementación del exergame

---

### 4.1 Introducción

En este capítulo se describe el diseño e implementación de un exergame adaptable a las capacidades físicas de los adultos mayores, de manera que el exergame establezca niveles de intensidad física adecuados a la respuesta fisiológica del adulto mayor.

Para realizar el diseño del exergame se utilizó la información generada en el estudio contextual y se realizaron sesiones de diseño participativo con adultos mayores y un fisioterapeuta. Con el diseño obtenido se prosiguió con el desarrollo del exergame, por lo que en este capítulo también se describen las tecnologías empleadas, la arquitectura del exergame y el flujo de juego del exergame.

### 4.2 Diseño participativo

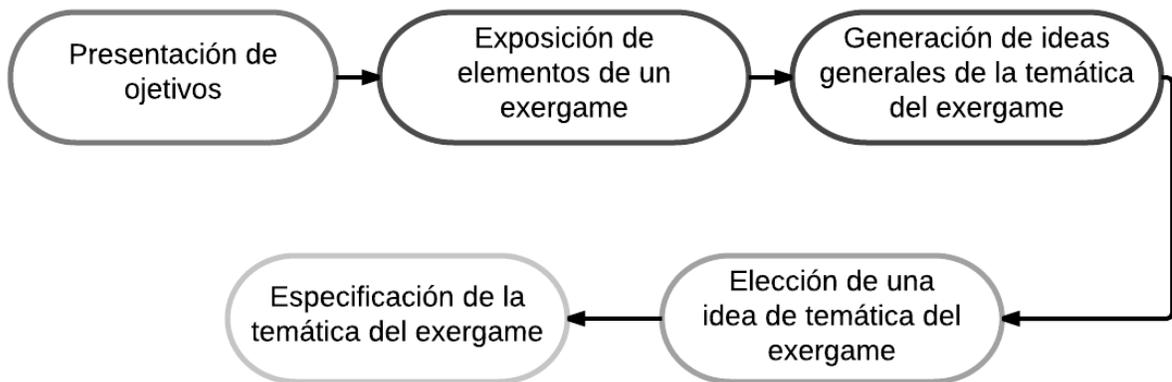
Con la finalidad de obtener información para el diseño del exergame, se siguió una metodología de diseño centrada en el usuario en la cual se realizaron dos sesiones de diseño participativo. El propósito de las sesiones de diseño participativo es reunir a posibles usuarios finales para que participen activamente en el diseño.

#### 4.2.1 Sesión de diseño participativo: Obtención de la temática del exergame

En esta sesión de diseño participativo (tiempo total = 1:10:00) intervinieron 4 adultos mayores (edad media: 67.25 años), dos hombres y dos mujeres, y se llevó a cabo en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). El objetivo de la sesión fue recabar información acerca de los elementos temáticos del exergame a desarrollar, de tal manera que el adulto mayor encuentre atractivo jugar con el exergame.

En la Figura 11 se muestran las actividades que se realizaron en la sesión de diseño participativo y el orden de las mismas. Primero se le presentaron a los participantes los objetivos de la sesión de diseño, seguidos por ejemplos que ilustran algunos de los elementos que constituyen un videojuego; los cuales son, historia en la que se desarrolla, las actividades que se realizan, los retos que se presentan, los personajes

que interactúan y las recompensas que se obtienen al lograr los retos del videojuego. Enseguida se les pidió a los participantes que pensarán en posibles temáticas que les gustaría ver en un videojuego y las describieran a través de texto o dibujo (ver Figura 12). Posteriormente cada uno de los participantes expuso sus ideas de las temáticas ante los demás para elegir y complementar alguna de las ideas generadas. Por último, la idea generada fue detallada por los participantes, obteniendo la temática final para el exergame.



**Figura 11. Actividades realizadas con los adultos mayores en la sesión de diseño participativo.**



**Figura 12. Adultos mayores generando ideas para la temática del exergame.**

La información obtenida de la sesión de diseño participativa fue agrupada en cinco categorías: Historia, escenario, personajes, actividad, recompensa. Las cuales se describen a continuación:

- **Historia:** Es la forma en cómo se desenvolverán los personajes en el exergame. La elección fue un día de juegos en un parque al aire libre con los familiares del adulto mayor.
- **Escenario:** Es el lugar en donde se ubicará la historia del exergame. La elección fue un parque al aire libre.
- **Personajes:** Son los seres que intervienen en la historia de juego del exergame. La elección fue el adulto mayor como el personaje principal y los hijos y nietos del adulto mayor como personajes secundarios.
- **Actividad:** Son las actividades que realizará el adulto mayor durante el exergame. Los cuales son jugar Voleibol y Caminata con sus nietos.
- **Recompensa:** Son los incentivos que se obtienen al lograr ciertos retos durante el exergame. Las recompensas elegidas por los adultos mayores fueron medallas, trofeos y motivación familiar (a través de palabras ánimo y aplausos).

#### **4.2.2 Sesión de diseño participativo: Evaluación de movimientos controladores del exergame**

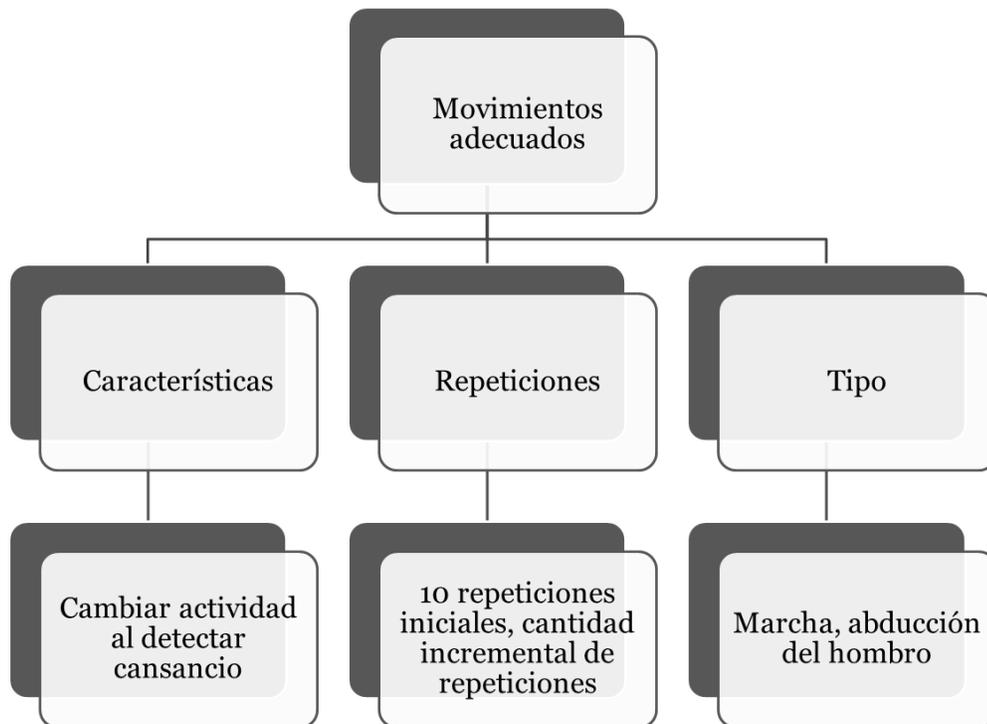
En esta sesión de diseño participativo (tiempo total = 0:20:00) intervino un terapeuta físico (Experiencia con adultos mayores: 9 años) y se llevó a cabo en el Centro de Rehabilitación Integral de Ensenada (CRI). El objetivo de la sesión fue evaluar los movimientos controladores que el adulto mayor realizará en el exergame, de tal manera que estos movimientos sean adecuados y no causen algún problema en la salud del adulto mayor.

La sesión de diseño participativo fue grabada y analizada a través de diagramas de afinidad. En la Figura 13 se presentan los resultados obtenidos del análisis de la sesión de diseño participativo donde se obtuvieron tres categorías: Características, repeticiones, tipo. Las cuales se detallan a continuación:

- **Características:** Los movimientos adecuados a realizar durante el exergame deben tener ciertas características. Para evitar lesiones, antes de iniciar el juego, se debe realizar una medición inicial de los rangos de movilidad articular del adulto mayor para no solicitar movimientos que este no pueda realizar. Adicionalmente, durante el juego se debe cambiar el tipo de actividad y

movimiento cuando se detecte cansancio en el adulto mayor al estar realizando los movimientos que le solicite el exergame en ese momento.

- **Repeticiones:** La cantidad de repeticiones por movimiento a realizar en el exergame debe ser incremental, es decir, al inicio de una sesión con el exergame la cantidad de repeticiones a realizar debe ser baja, para posteriormente incrementar el número de repeticiones al transcurso del tiempo.
- **Tipo:** Para cada una de las actividades en el exergame se deben establecer movimientos controladores adecuados que el adulto mayor pueda realizar sin que le provoque algún problema en su salud. Para el juego de voleibol, se seleccionó el movimiento de abducción de hombro, y para el juego de caminata se seleccionó el movimiento de flexión de cadera. Ambos movimientos pueden observarse en la Figura 14.



**Figura 13. Resultados del análisis de la sesión de diseño participativo realizada con un terapeuta físico.**



**Figura 14. Movimientos adecuados para cada una de las actividades a realizar en el exergame. En la imagen de la izquierda (a) se observa el movimiento de abducción de hombro, mientras que en la imagen de la derecha (b) se observa el movimiento de flexión de cadera.**

### 4.3 Diseño del exergame

Con la información obtenida en el estudio contextual y las sesiones de diseño participativas se realizó el diseño del exergame **“Un día de juegos en el parque”**. El propósito del exergame es apoyar la activación física del adulto mayor proporcionándole niveles de intensidad física adecuados, por lo que el exergame cuenta con las siguientes características:

- Elementos temáticos de interés para el adulto mayor.
- Movimientos controladores del exergame adecuados para el adulto mayor.
- Personalización de movimientos controladores de acuerdo a los rangos de movilidad articular del adulto mayor.
- Establecimiento de intensidad física adecuada dependiendo del estado físico del adulto mayor.

#### 4.3.1 Historia del exergame

La historia de juego presentada en el exergame es la de un día de juegos con los familiares del adulto mayor en un parque. Los juegos son un voleibol adaptado al adulto mayor y carreras, ambos están orientados para que el adulto mayor realice actividades físicas.

En el juego de voleibol (ver Figura 15) el adulto mayor tendrá que realizar movimientos de abducción de hombro para golpear las pelotas de voleibol a través de un avatar que pueda mover un avatar que lo representa. El objetivo es golpear el mayor número de pelotas tratando de alcanzar el máximo de puntos posibles.



Figura 15. Pantalla del juego de voleibol en el exergame.

En el juego de carrera (ver Figura 16) el adulto mayor participará en una carrera con sus nietos. Para poder avanzar en la carrera tendrá que realizar movimientos de flexión de cadera que es el movimiento que se realiza para caminar o correr. El objetivo es llegar en primer lugar para poder ganar la carrera, en la que se compete con una representación visual de los nietos.



Figura 16. Pantalla del juego de carrera en el exergame.

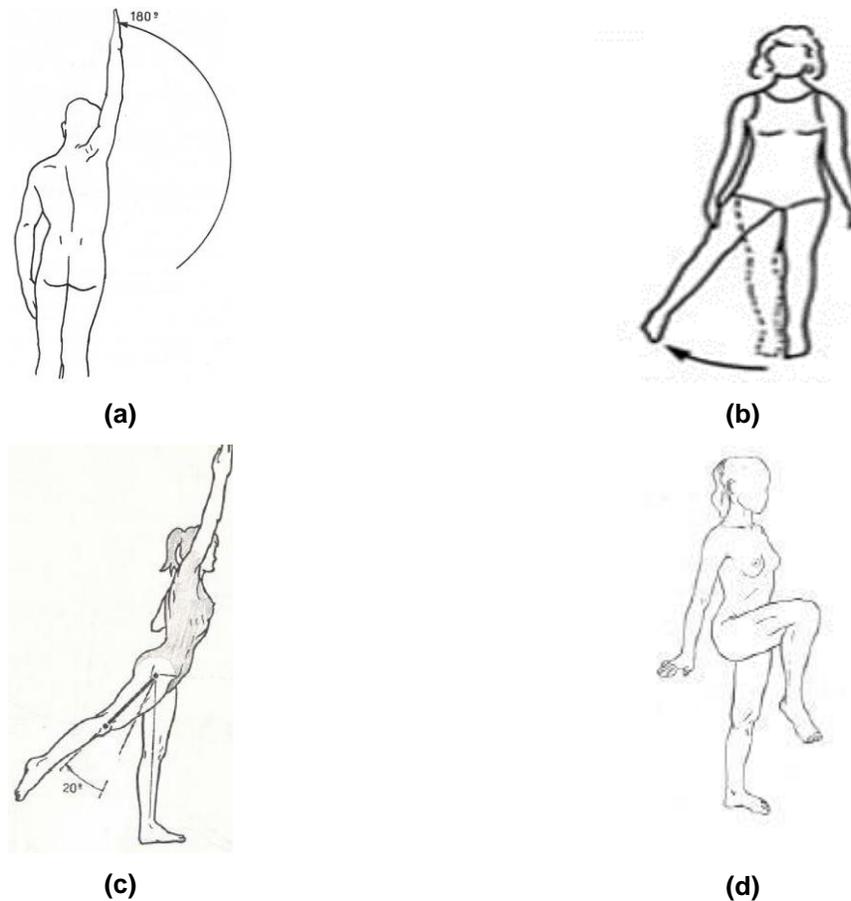
### 4.3.2 Personalización de movimientos controladores

Con el objetivo de que los movimientos controladores de los juegos del exergame sean adecuados al rango de movilidad articular del adulto mayor, estos deben ser personalizados. Por lo que al iniciar la sesión de juego con el exergame, este realiza una medición inicial de los rangos de movilidad articular. Los articulaciones y movimientos a medir se presentan en la Figura 17; estos son los recomendados para personalizar los movimientos controladores en un exergame orientado a los adultos mayores (Velázquez, Martínez-García, and Favela, 2014).

De igual manera, la medición inicial nos permite clasificar al adulto mayor de acuerdo a su rango de movilidad en cuatro categorías: normal, bueno, regular y subnormal (ver Tabla 5). Esta clasificación propuesta por Velázquez, A. et al. (2014) fue diseñada para personalizar los movimientos controladores de un exergame para adulto mayores. Además nos servirá para poder decidir si se ofrecerán cambios en la intensidad física demandada en el exergame. Si el adulto mayor está entre las categorías normal y bueno se ofrecerá adaptabilidad de intensidad física, de otro modo, si están en las categorías regular y subnormal se establecerá un nivel de intensidad bajo para evitar que el adulto mayor realice movimientos rápidos e inapropiados que puedan provocarle alguna lesión.

**Tabla 5. Mediciones del rango de movimiento articular realizadas por el exergame antes de iniciar la sesión de juego (Velázquez et al., 2014).**

Articulación	Movimiento	Rango normal	Rango bueno	Rango regular	Rango subnormal
Hombro	Abducción	(170,162.3]	(162.3, 136]	(136,51]	<51
Cadera	Abducción	(45,40]	(40,36]	(36,13.5]	<13.5
	Extensión	(30,16]	(16,8]	(8,3]	<3
	Flexión	(120,117]	(117,112]	(112,42]	<42



**Figura 17. Movimientos a medir en la evaluación inicial del exergame. (a) Abducción de hombro, (b) abducción de cadera, (c) extensión de cadera, (d) flexión de cadera.**

#### **4.3.2.1 Personalización del juego de voleibol**

En el juego de voleibol, la personalización se hará en la altura a la cual serán lanzadas las pelotas; personalizando el rango de lanzamiento de acuerdo al rango de movimiento del hombro del adulto mayor. Con lo anterior se evita que las pelotas sean lanzadas a una altura en la que el adulto mayor no puede alcanzar, evitando con esto que realice un movimiento para intentar alcanzar la pelota, que tenga como consecuencia una lesión, así como que provoque frustración.

El cálculo para el lanzamiento de pelotas es como se puede observar en la Figura 18. Primero, para cada pelota a lanzar se calcula un ángulo aleatorio que se encuentra entre 0 y el ángulo de abducción de hombro obtenido en la medición inicial realizada al principio de la sesión con el exergame. Posteriormente, se obtiene un punto de una circunferencia con centro en el hombro del avatar y un radio calculado de la distancia

entre la palma de la mano y el hombro del avatar. El punto es obtenido por medio de la Ecuación 1.

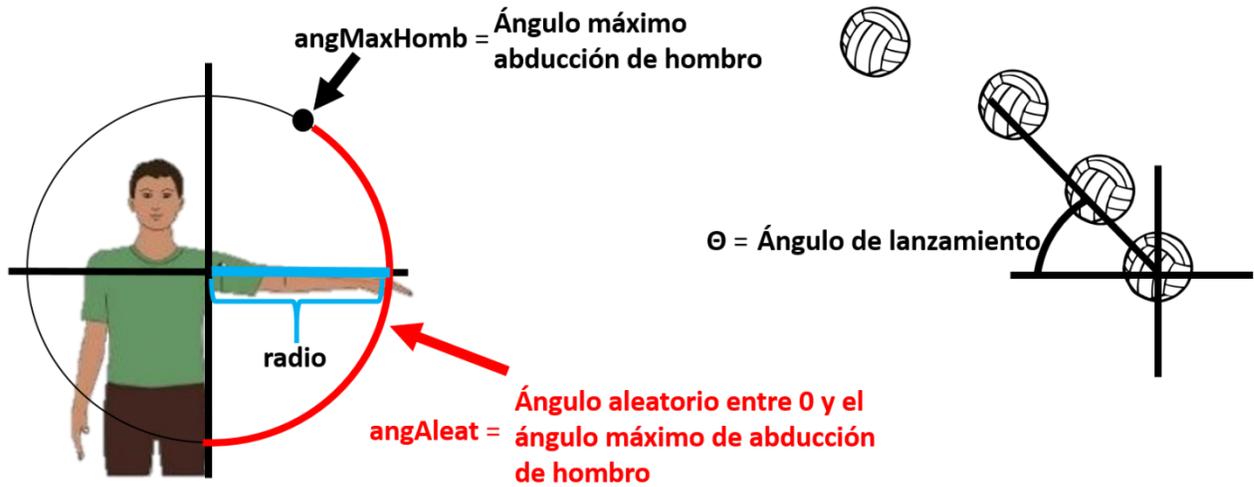


Figura 18. Personalización de movimientos en el juego de voleibol.

$$X = PosicionXhombro + \cos(angAleat) * radio$$

$$Y = PosicionYhombro + \sin(angAleat) * radio \quad (1)$$

Posteriormente, se calcula una trayectoria para cada pelota de voleibol para que pase por el punto calculado anteriormente. Primero, se calcula un ángulo de lanzamiento  $\theta$  utilizando la Ecuación 2. Después, se va generando la trayectoria de la pelota a cada instante de tiempo hasta pasar por el punto calculado, esta trayectoria se obtiene por medio de la Ecuación 3. De este modo se garantiza que las pelotas lanzadas al ávatar no vayan más allá de los movimientos que el adulto puede realizar y que le puedan provocar una lesión.

$$AngLanzamiento = \arctan\left(\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}\right)$$

$$a = \frac{g * Z^2}{2v_0x} \quad (2)$$

$$b = -1 * Z$$

$$c = a$$

Donde  $g$  representa el valor de la gravedad ( $g = -9.8$ ),  $Z$  es el valor en el eje Z del mundo virtual del exergame donde estará posicionado el avatar y  $v_{0X}$  es la velocidad inicial en la que será lanzada la pelota de voleibol.

$$posPelotaY = posIniPelotaY + v_{0y} * \sin(AnguloLanzamiento) * t - \left(\frac{1}{2}gt^2\right)$$

$$posPelotaZ = posIniPelotaZ + v_{0z} * \cos(AnguloLanzamiento) * t \quad (3)$$

Donde  $posPelotaY$  y  $posPelotaZ$  serán las posiciones en el eje Y y Z que estará tomando la pelota en su trayectoria a través del tiempo,  $posIniPelotaY$  y  $posIniPelotaZ$  son las posiciones en el eje Y y Z de donde la pelota será lanzada,  $v_{0Y}$  y  $v_{0Z}$  son las velocidades iniciales de la pelota y por último  $t$  es la variable de tiempo. Las ecuaciones utilizadas para calcular la trayectoria y el ángulo de la misma son las utilizadas comúnmente para calcular el movimiento parabólico de ciertos objetos, por ejemplo, la trayectoria ideal de un proyectil (Ibañez, Martín, y Zamarro, 1989).

#### 4.3.2.2 Personalización del juego de carrera

La personalización en el juego de carrera, es en el ajuste a la velocidad que avanzará el adulto mayor (su avatar) en el juego. La velocidad será calculada a partir de la medición del ángulo del movimiento de flexión de la cadera que realice el adulto mayor y de este se obtiene un porcentaje del ángulo máximo de flexión de cadera medido en la medición inicial de los rangos de movimiento articular (ver Figura 19). De esta manera, el adulto mayor avanzará de acuerdo al estado de su rango de movimiento articular.

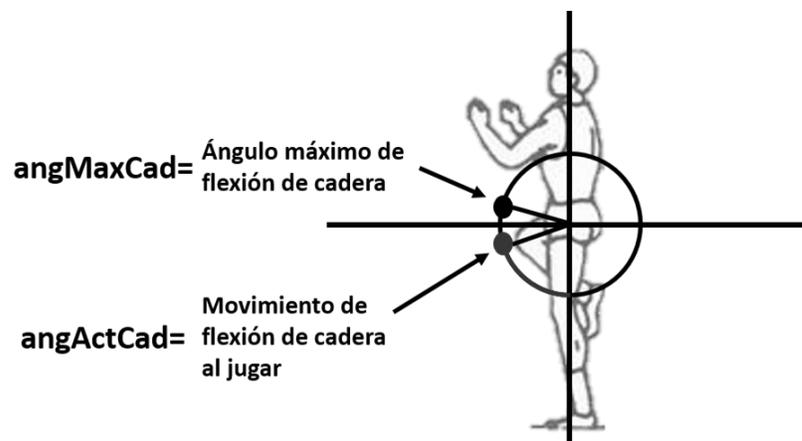


Figura 19. Personalización de movimientos en el juego de carrera.

### 4.3.3 Adaptabilidad en el exergame

La adaptabilidad en el exergame se proporcionará por medio del establecimiento adecuado de intensidad física al momento de jugar. Uno de los métodos más utilizados para establecer niveles de intensidad física es a través del ritmo cardíaco (Achten and Jeukendrup, 2003). En nuestro caso, cada minijuego cuenta con seis niveles, cada nivel proporciona un nivel de intensidad física los cuales son establecidos de la siguiente manera:

- **Voleibol:** La cantidad de pelotas y la velocidad de lanzamiento de las mismas, así como el tiempo de juego. Es decir, a mayor intensidad, se lanzarán más pelotas a una velocidad mayor que en los niveles inferiores.
- **Carrera:** La distancia que recorrerá el adulto mayor para poder llegar a la meta incrementará de acuerdo a mayores niveles en el juego, de esta manera, se le solicitará al adulto mayor realizar mayor cantidad de movimientos de flexión de cadera. De igual modo, la velocidad en la que avanzaran los competidores en la carrera aumentará de acuerdo al incremento del nivel en el juego, por medio del incentivo de la competitividad el adulto mayor realizaría movimientos más rápidos.

La intensidad es establecida de manera incremental y escalonada, es decir, al iniciar la sesión con el exergame se proporcionará un nivel definido de intensidad baja, ya sea para el juego de voleibol o el de la carrera. Al finalizar ese nivel, el exergame decidirá si se establece el siguiente nivel de intensidad o permanece con el nivel de intensidad actual, esto a través del ritmo cardíaco del adulto mayor obtenido durante el nivel anterior y al tiempo de juego con el exergame (ver Tabla 6). El propósito de incrementar de manera escalonada las intensidades físicas es para que en los primeros minutos del juego el adulto mayor pueda realizar un calentamiento adecuado y de esta manera evitar lesiones en el adulto mayor.

El límite máximo de la intensidad solicitada será del 70% del ritmo cardíaco máximo del adulto mayor. Para calcular el ritmo cardíaco máximo se emplea la Ecuación 4 propuesta por Tanaka, H. (2001).

$$\text{RitmoCardiacoMáximo} = 208 - (0.7 * \text{edadDelAdultoMayor}) \quad (4)$$

**Tabla 6. Intensidades físicas objetivo de acuerdo al tiempo de juego con el exergame.**

Tiempo	Intensidad física solicitado
<5 minutos	<57% del ritmo cardiaco máximo
5-10 minutos	57-63% del ritmo cardiaco máximo
10-30 minutos	63-70% del ritmo cardiaco máximo

El tiempo de juego con el exergame a esos niveles de intensidad será de 30 minutos, el cual es el recomendado para adultos mayores a niveles de intensidad moderada (Nelson et al., 2007). Si el adulto mayor sobrepasa el 75% de su ritmo cardíaco máximo, el exergame pausará el juego y le solicitará al adulto mayor que descanse por un minuto. Al terminar el tiempo de descanso el exergame disminuirá en un nivel la intensidad actual del juego y continuará de manera normal.

#### 4.3.4 Dinámica del juego

En la Figura 20 se puede observar el diagrama de flujo que representa la dinámica del exergame. El flujo del exergame es el siguiente:

1. Se solicita la edad del adulto mayor para calcular el ritmo cardiaco máximo.
2. Posteriormente, el exergame evalúa los rangos de movilidad articular del jugador para poder personalizar los movimientos de los juegos.
3. El exergame decide ofrecer adaptabilidad de intensidad si todos los rangos de movilidad evaluados están en el rango normal o bueno (ver Tabla 5). Si algunos rangos de movilidad evaluados están en el rango regular, subnormal (ver Tabla 5) o el jugador presenta hipertensión no controlada o hipotensión no se ofrecerá adaptabilidad de intensidad. Por ejemplo, si los rangos medidos de movilidad de abducción de hombro están en el rango regular, el exergame no ofrecerá adaptabilidad de intensidad para ese jugador.
4. El adulto mayor selecciona alguno de los juegos en el exergame.
  - a. Si el exergame ofrecerá adaptabilidad: Si es la primera vez que el jugador juega, el exergame establece un nivel predeterminado de intensidad del juego seleccionado. Mientras el adulto mayor juega, el exergame obtiene

datos del sensor de ritmo cardiaco que sirven para poder establecer el nivel de intensidad para la siguiente vez que juegue.

- b. Si no ofrecerá adaptabilidad: Se establece un nivel de intensidad poco demandante que se mantiene durante toda la sesión de juego.
5. Cuando el adulto mayor termine de jugar alguno de los minijuegos se le presentará de nuevo una pantalla para que, si desea seguir jugando, pueda elegir el minijuego que desee jugar.
- a. Si el exergame ofrecerá adaptabilidad: La intensidad demandada por el minijuego estará incrementando hasta alcanzar el límite objetivo para el tiempo de juego.

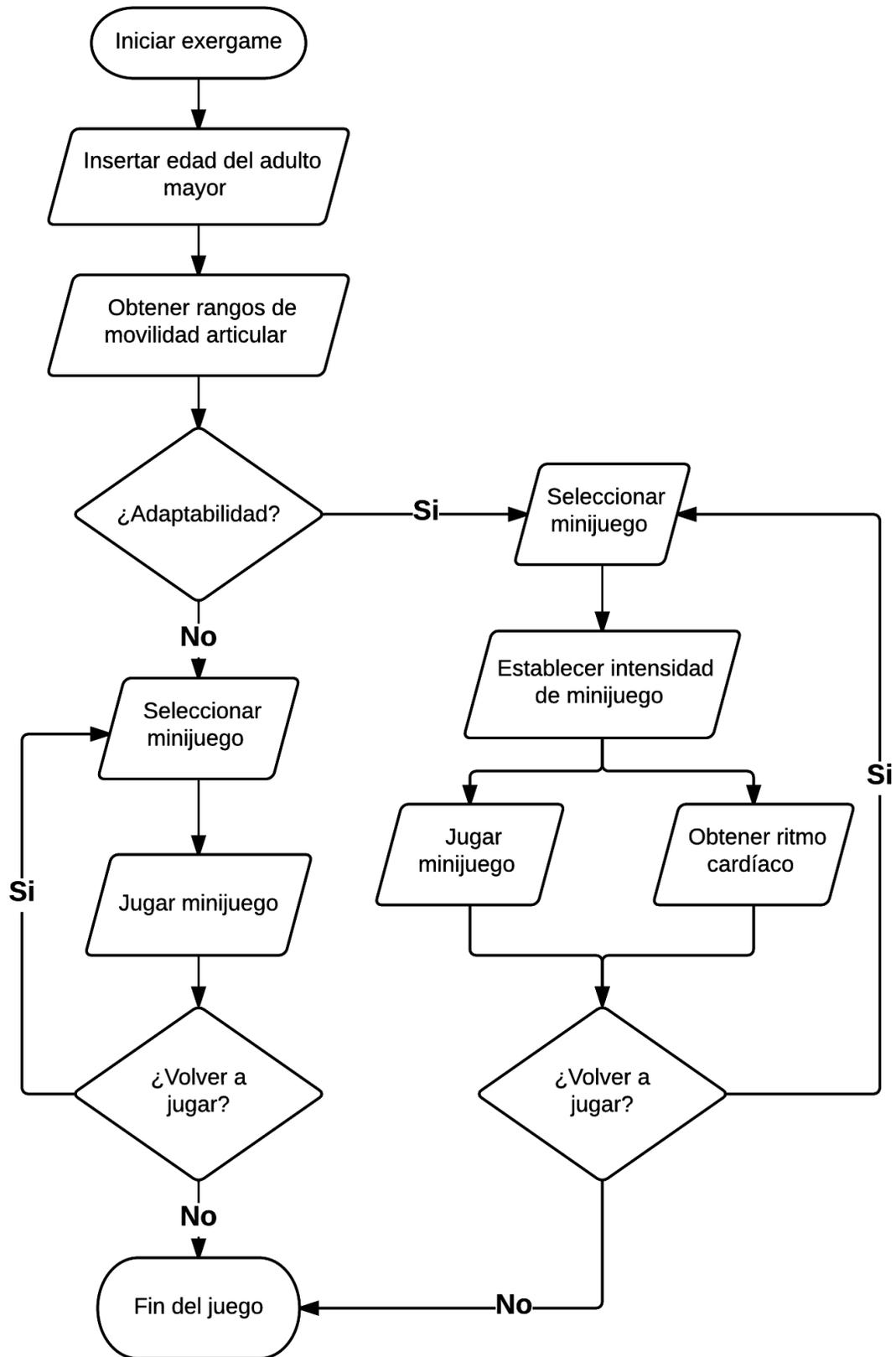


Figura 20. Diagrama de flujo que representa la dinámica del exergame cuando el adulto mayor interactúa en una sesión de juego.

## 4.4 Implementación del exergame

Con el diseño obtenido en la etapa del diseño del exergame se procedió a la implementación. El exergame fue implementado en el lenguaje C# utilizando el marco de trabajo Microsoft XNA 4.0<sup>5</sup> y el Microsoft SDK Kinect<sup>6</sup>. A continuación se detalla la implementación.

### 4.4.1 Arquitectura del exergame

El exergame “Un día de juegos en el parque” utiliza una PC, un dispositivo Kinect<sup>7</sup>, un sensor de ritmo cardíaco y un proyector. En la Figura 21 se presenta el diagrama de emplazamiento del exergame.

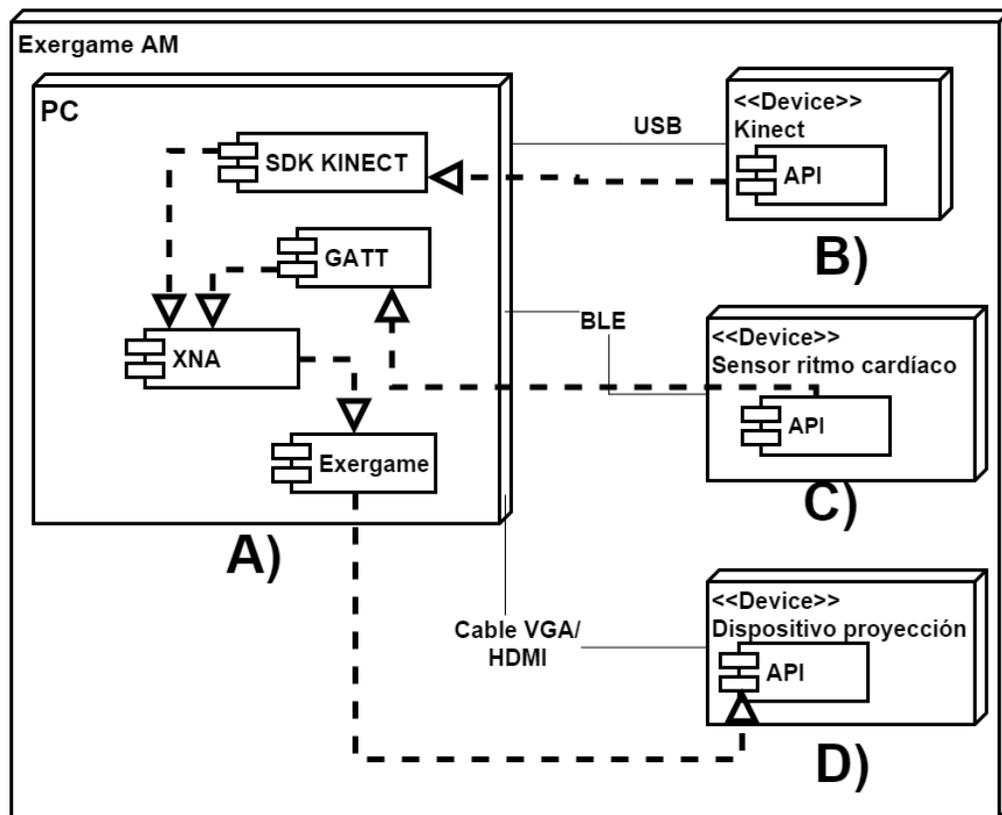


Figura 21. Diagrama de emplazamiento del exergame. (A) Un día de juegos en el parque emplea una PC para realizar el procesamiento de la información proveniente de los sensores así como para ejecutar el exergame. (B) Un Kinect para el rastreo de las articulaciones del jugador. (C) Un sensor de ritmo cardíaco. (D) Un dispositivo de proyección que en este caso es un proyector.

<sup>5</sup> <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=23714>

<sup>6</sup> <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=40278>

<sup>7</sup> <http://www.xbox.com/en-US/xbox-360/accessories/kinect>

La PC empleada (ver Figura 21.A) cuenta con el sistema operativo Windows 10 que proporciona el Bluetooth Generic Attribute Profile (GATT)<sup>8</sup> el cual permite conectarse y obtener información de dispositivos Bluetooth 4.0. De igual manera tiene instalado el área de trabajo XNA 4.0 y el SDK de Kinect. Las especificaciones técnicas de la PC se presentan a continuación:

- Procesador: Intel Core i5-5200U.
- Memoria RAM: 8GB DDR3.
- Tarjeta gráfica: Intel HD Graphics 5500.

El Kinect es empleado para poder rastrear el esqueleto del jugador que esté interactuando con el exergame a través de la clase *Skeleton* que nos proporciona el SDK de Kinect (ver Figura 22). Esto nos sirve para poder obtener las posiciones de las articulaciones del jugador y poder realizar la evaluación inicial de sus rangos de movimiento y los movimientos controladores de los minijuegos. El Kinect es conectado vía USB con la PC (ver Figura 21.B).

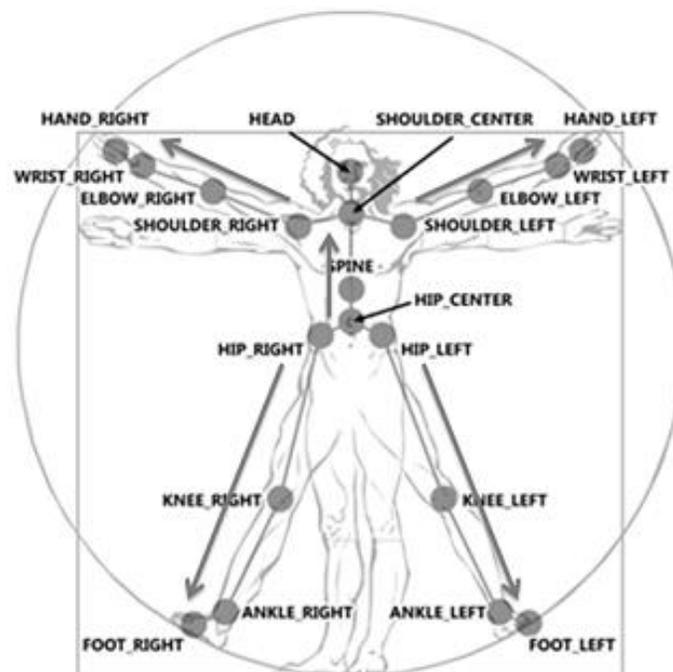


Figura 22. Clase *Skeleton*<sup>9</sup> del SDK de Kinect la cual nos proporciona la posición de 20 articulaciones de la persona que está rastreando.

<sup>8</sup> <https://code.msdn.microsoft.com/windowsapps/Bluetooth-Generic-5a99ef95>

<sup>9</sup> <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131025.aspx>

Para obtener el ritmo cardíaco del jugador y establecer los niveles de intensidad se utilizó el sensor de ritmo cardíaco Scosche RHYTHM+ (ver Figura 23). El cual es conectado por medio de Bluetooth 4.0 a la PC que ejecuta el exergame (ver Figura 22.C).



Figura 23. Sensor de ritmo cardíaco Scosche RHYTHM+<sup>10</sup>.

#### 4.4.2 Configuración física

Físicamente el Kinect se coloca centrado y debajo de la pantalla de proyección a una altura de 1 metro sobre el piso. El adulto mayor se posiciona a una distancia mínima de 2 metros de frente al Kinect y deberá llevar puesto en el antebrazo (derecho u izquierdo) el sensor de ritmo cardíaco. La configuración se presenta en la Figura 24.

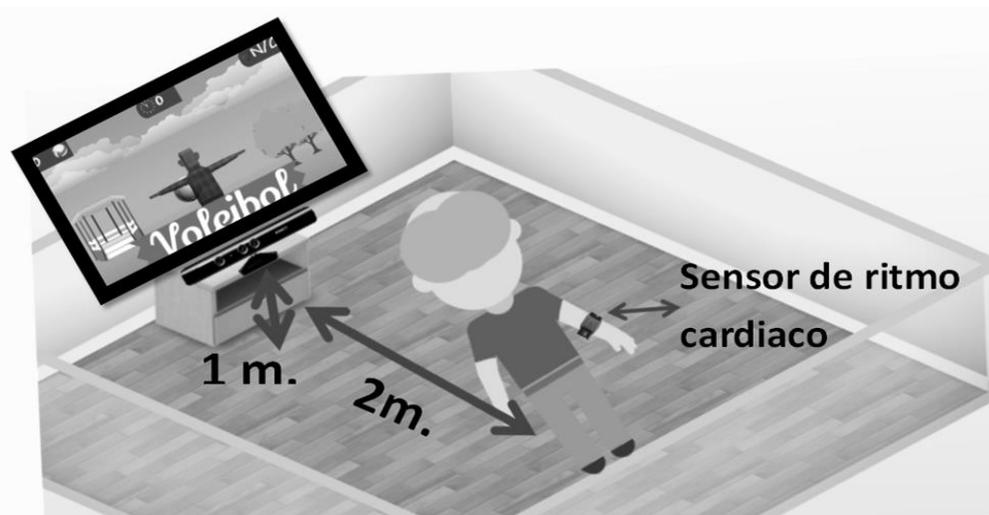


Figura 24. Configuración de los componentes físicos del exergame.

<sup>10</sup> <http://www.scosche.com/rhythm-plus-1>

#### 4.4.3 Escenario de implementación del exergame

Para ilustrar el uso del exergame desarrollado se presenta a continuación un escenario de implementación, para esto en la Figura 25 se presenta el Diagrama de secuencia del minijuego de voleibol.

Primeramente, se obtienen los rangos de movimiento articular a través de la clase de evaluación inicial. Después, se le presenta al adulto mayor el menú de los juegos, en el cual tiene que seleccionar alguno, en este caso selecciona el juego de voleibol a través del movimiento de su mano derecha.

Una vez seleccionado el juego, la clase *:GUSeleccionar* crea un objeto *:Voleibol*, el cual como primer paso personaliza los movimientos controladores del juego, es decir, establece los límites superiores en el cual serán lanzadas las pelotas. Después, internamente pregunta si ya se estableció alguna intensidad o si es la primera vez que el adulto mayor juega.

- a) Cuando es la primera vez que juega, se establece una intensidad mínima con determinada cantidad de pelotas a cierta velocidad.
- b) Cuando ya ha establecido anteriormente una intensidad (es decir, existe una intensidad actual), la nueva intensidad es establecida a través de los datos del ritmo cardíaco de la interacción anterior y de la intensidad actual.

Cuando ya se tiene la intensidad a jugar, se comienzan a obtener los datos del ritmo cardíaco, por lo que se realiza una llamada asíncrona al objeto *:SensorHR* para que este envíe los datos del ritmo cardíaco que obtiene durante la interacción del adulto mayor con el minijuego y de esta manera almacenarlos para el siguiente establecimiento de intensidad. Posteriormente, el objeto *:Voleibol* crea objetos *:Pelota* de acuerdo al número de pelotas establecidas para el nivel de intensidad actual. El tiempo de juego será hasta que todas las pelotas sean lanzadas y que hayan sido golpeadas por el adulto mayor y que estén fuera del rango establecido, es decir, que el adulto mayor no las haya podido golpear.

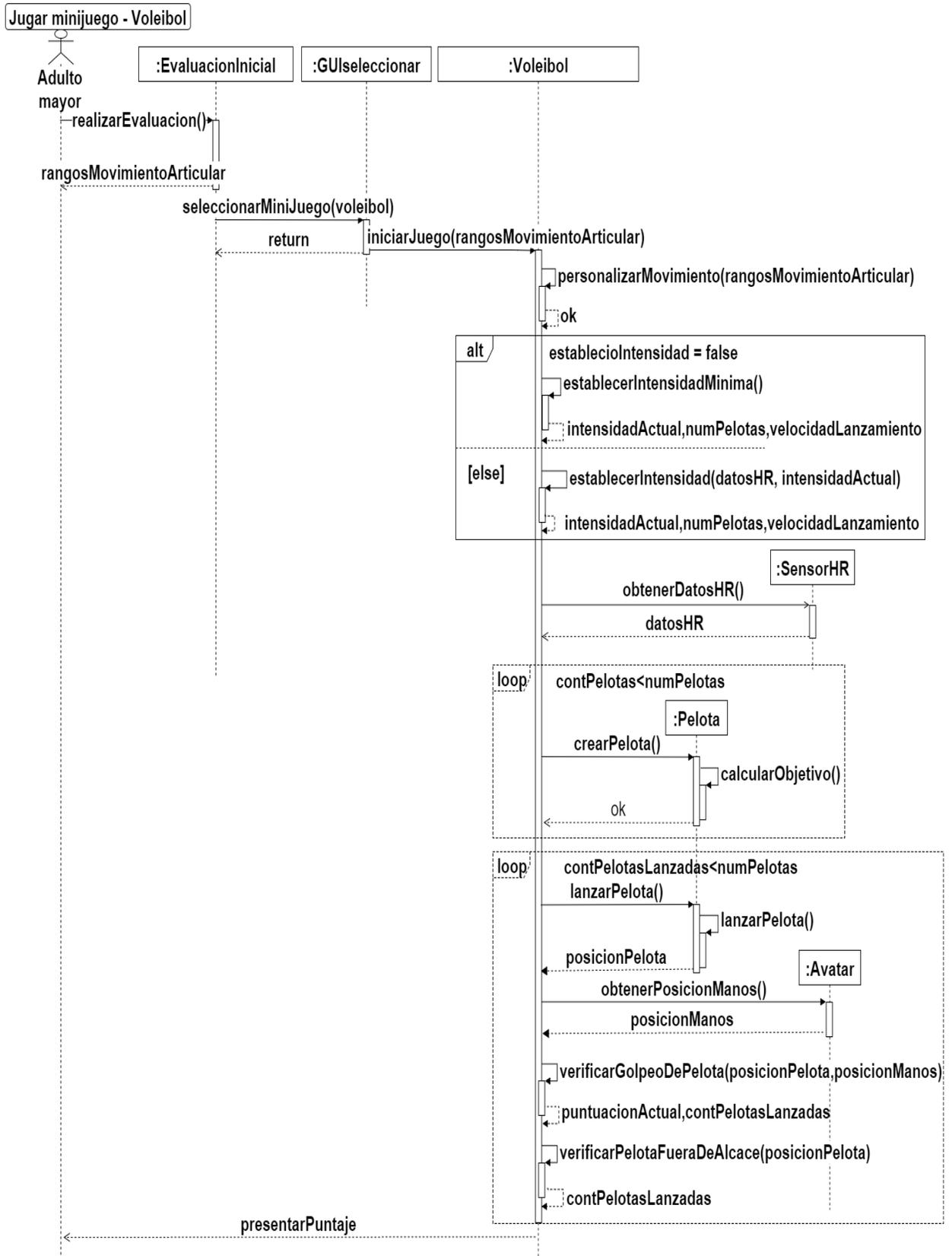


Figura 25. Diagrama de secuencia del minijuego de Voleibol.

## 4.5 Conclusiones

En este capítulo se describió el diseño e implementación del exergame “**Un día de juegos en el parque**”, el cual cuenta con dos minijuegos implementados, uno de voleibol y otro de carrera con los nietos. El exergame tiene como objetivo personalizar los movimientos controladores de los minijuegos y establecer niveles de intensidad física adecuados para el adulto mayor de acuerdo a su respuesta fisiológica durante el tiempo de juego con el exergame. Las ideas de diseño provinieron del estudio contextual realizado y de sesiones de diseño participativo con adultos mayores y un licenciado en terapia física.

El exergame desarrollado funciona con un sensor Kinect, un sensor de ritmo cardíaco, una PC y un proyector. El Kinect es utilizado para el rastreo de las posiciones de las articulaciones del cuerpo del jugador, esto nos sirve para que el jugador controle el exergame y para que se le midan sus rangos de movilidad articular. El sensor de ritmo cardíaco es empleado para establecer los niveles de intensidad física de acuerdo a los datos del ritmo cardíaco proporcionados por el sensor.

## Capítulo 5. Evaluación del exergame

---

### 5.1 Introducción

En este capítulo se presenta la evaluación del exergame “**Un día de juegos en el parque**”, el cual promueve la actividad física en el adulto mayor. El exergame se adapta de acuerdo a la rangos de movimiento articular y el estado físico del adulto mayor. La evaluación tuvo como participantes a adultos mayores y se realizó en la ciudad de Ensenada, Baja California, México.

La evaluación se dividió en dos fases; la primer fase consistió en evaluar la precisión del algoritmo que mide los rangos de movilidad articular del adulto mayor, mientras que en la segunda fase, se evaluó el establecimiento de intensidad física en el exergame de manera adecuada sin comprometer la salud del adulto mayor.

En el capítulo se presentan los objetivos de las evaluaciones realizadas, la metodología empleada, las características de los sujetos que participaron en las sesiones de evaluación, los resultados obtenidos y la discusión de los mismos.

### 5.2 Evaluación de la precisión en las mediciones de rangos de movilidad articular

Con el objetivo de evaluar la precisión del algoritmo implementado en el exergame para la evaluación de los rangos de movilidad articular del adulto mayor, se diseñó una intervención con adultos mayores. La intervención tuvo como finalidad medir de dos maneras diferentes los rangos de movilidad articular a un grupo de adultos mayores. La primera a través del algoritmo implementado en el exergame y la segunda, con el apoyo de un terapeuta físico utilizando un goniómetro (ver Figura 26), que es un instrumento utilizado en el área de Fisioterapia para medir los ángulos de movilidad de las articulaciones de una persona y que está formado por dos brazos y un transportador de ángulos que permite obtener la medida de movilidad.

Las actividades planteadas a realizar en la intervención fueron las siguientes:

- **Introducción de la sesión:** En esta actividad se le explicó a los adultos mayores el objetivo de la sesión, las posiciones a tomar para que el sensor Kinect los pueda analizar, y por último, se les explicaron los movimientos a realizar en las mediciones.
- **Medición de los rangos de movilidad articular:** En esta actividad se realizó la medición de los rangos de movilidad articular del adulto mayor, para esto, al adulto mayor se le pidió realizar cada movimiento primero con la extremidad derecha para posteriormente pasar a la extremidad izquierda. Los movimientos y el orden en que se realizó las mediciones pueden observarse en la Tabla 7.



**Figura 26. Goniómetro, instrumento utilizado en el ambiente clínico para la medición de los rangos de movilidad articular de una persona.**

**Tabla 7. Movimientos y el orden de evaluación de los rangos de movilidad articular del adulto mayor.**

Orden	Articulación	Movimiento	Lado
1	Hombro	Abducción	Derecha – Izquierda
2	Cadera	Abducción	Derecha – Izquierda
3	Cadera	Extensión	Derecha – Izquierda
4	Cadera	Flexión	Derecha – Izquierda

La hipótesis planteada para esta evaluación fue la siguiente:

- No habrá diferencia significativa de la medición de rangos de movilidad articular realizada por un Terapeuta Físico contra la medición efectuada por el algoritmo implementado en el exergame.

### 5.2.1 Experimento de evaluación para la medición de rangos de movilidad articular

El experimento de evaluación se llevó a cabo en el Ex-DIF localizado en la ciudad de Ensenada, Baja California. Para esto se reclutaron 10 adultos mayores (edad media = 73 años, desviación estándar = 5.75), ocho mujeres y dos hombres, pertenecientes a la Unidad de Atención a Grupos Vulnerables de la ciudad de Ensenada.

A cada participante se le midieron sus rangos de movilidad articular con el algoritmo implementado en el exergame y con el goniómetro de manera simultánea (ver Figura 27), con el objetivo de comparar los resultados de cada método de medición y de esta manera probar la hipótesis planteada.



Figura 27. Sesión de evaluación donde el terapeuta físico mide por medio del goniómetro los rangos de movilidad articular de los adultos mayores participantes.

### 5.2.2 Resultados de la evaluación del algoritmo para la medición del rango de movilidad articular

Los datos obtenidos en la evaluación fueron agrupados para su análisis de acuerdo al tipo de movimiento medido (abducción de hombro, flexión, extensión y abducción de cadera). Para el análisis se aplicó una prueba de correlación de Pearson a los datos medidos por el terapeuta físico y los medidos por el algoritmo del exergame. Un coeficiente de correlación es una medida simétrica de asociación entre dos variables aleatorias, dicho coeficiente puede tomar un valor entre un rango de -1 a 1, donde los extremos indican una perfecta correlación y 0 significa que no hay correlación entre las variables (Dalgaard, 2008). La interpretación del coeficiente se presenta a continuación:

- Si el coeficiente de correlación es cercano o igual a -1 (correlación negativa), significa que grandes valores de una variable se asocian con valores pequeños de otra variable, es decir hay, el coeficiente indica una dependencia entre las variables.
- Si el coeficiente de correlación es cercano o igual a 1 (correlación positiva), las variables tienden a ser grandes o pequeñas simultáneamente.

Los resultados de la correlación pueden observarse en la Tabla 8. De acuerdo a los resultados obtenidos, las mediciones para abducción de hombro, flexión y extensión de cadera presentan una correlación mayor a 0.93 por lo que se observa una alta correlación en la medición de los rangos de movilidad articular con ambos métodos de medición. Mientras que para el movimiento de abducción de cadera el resultado de la correlación fue de 0.789736 lo cual indica que de igual manera a las otras mediciones tiene una buena correlación en la medición de los rangos de movilidad articular con ambos métodos de medición.

**Tabla 8. Resultados obtenidos al realizar la prueba de correlación de Pearson a las mediciones realizadas a los adultos mayores.**

Articulación	Movimiento	Resultado de correlación	Raíz del error cuadrático medio
Hombro	Abducción	0.9574184	7.25433817
Cadera	Abducción	0.789736	12.77846
Cadera	Extensión	0.9335612	8.58153433
Cadera	Flexión	0.9373865	11.9340636

En la Figura 28 se presentan las gráficas de los errores obtenidos para cada una de las mediciones realizadas. El error fue calculado entre la medición realizada por el fisioterapeuta utilizando el goniómetro y la medición realizada por el algoritmo implementado en el exergame. Adicionalmente, en la Tabla 9 se presentan los resultados de los cálculos realizados a los errores obtenidos para las mediciones de cada articulación evaluada. Dichos cálculos muestran el rango de error entre las mediciones reales (medición realizada por el terapeuta físico) y las realizadas por el

exergame. Se puede observar en la Tabla 9 que a través de los resultados de la media, el error obtenido por el exergame es no mayor a 7 grados. Sin embargo, en algunos casos el error del exergame al calcular algunos de los rangos de movimiento medido (flexión de cadera y abducción de cadera) fueron moderadamente grandes.

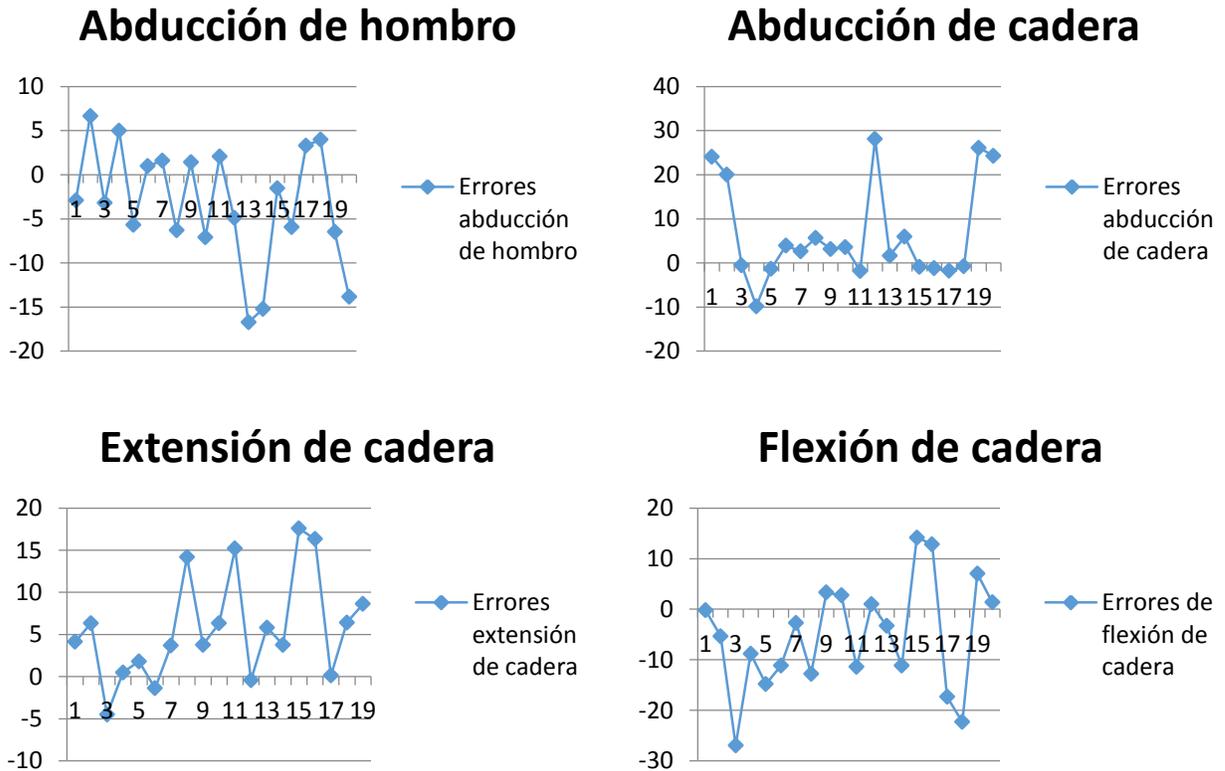


Figura 28. Gráficas de los errores entre las mediciones realizadas por el fisioterapeuta y las mediciones realizadas por el algoritmo implementado en el exergame.

Tabla 9. Resultados de las pruebas realizadas a los errores obtenidos entre la medición realizada por el fisioterapeuta y la medición con el exergame.

Tipo de medición	Mínimo	Máximo	Mediana	Media
Abducción de hombro	-16.731856	6.651348544	-3.0526563	-3.2375615
Abducción de cadera	-9.82632911	28.10351709	2.911608193	6.554050407
Extensión de cadera	-4.51094893	17.5818982	4.97340886	6.02871295
Flexión de cadera	-26.9792816	14.1759356	-4.33187073	-5.28906712

Dados los resultados anteriores se puede concluir que el algoritmo implementado en el exergame puede ser utilizado para la medición de los rangos de movilidad articular obteniendo buenos resultados y que posteriormente pueden ser implementados para la personalización de los movimientos controladores dentro del exergame.

### **5.3 Evaluación de la adaptabilidad del exergame**

La segunda evaluación tuvo como objetivo valorar la adaptabilidad del exergame, esto es el establecimiento de intensidad física de acuerdo al estado físico del adulto mayor. Para esto, se siguió una metodología de evaluación en la cual se diseñó un experimento de evaluación, se reclutó a los sujetos que participaron, se llevó a cabo el experimento y por último se analizaron los datos obtenidos del experimento de evaluación.

#### **5.3.1 Metodología de la evaluación de la adaptabilidad del exergame**

Para la evaluación del exergame adaptable se siguió una metodología que constó de cinco etapas, las cuales son presentadas en la Figura 29 y son descritas a continuación:

- **Definición de objetivos:** En esta etapa se definieron los objetivos de la evaluación del exergame adaptable.
- **Diseño del experimento:** Se realizaron actividades dirigidas a definir el diseño del experimento de evaluación. Estas actividades fueron: especificación de las características de los sujetos que participarán en el experimento, las tareas y el procedimiento a realizar por parte de los participantes.
- **Experimento de evaluación:** En esta etapa los participantes del experimento llevaron a cabo las tareas definidas en la etapa anterior, con el propósito de obtener datos que permitan valorar los objetivos de la evaluación.
- **Análisis de resultados:** Se procedió al análisis de los datos obtenidos en la etapa anterior.
- **Conclusiones:** En esta etapa se interpretaron los resultados obtenidos en la etapa de análisis de datos. Con esta información se plantearon las conclusiones

sobre el establecimiento de niveles adecuados de intensidad física del exergame adaptable.



**Figura 29. Metodología utilizada para la evaluación del exergame adaptable.**

### **5.3.2 Definición de objetivos**

Para el experimento de evaluación del exergame adaptable se estableció el siguiente objetivo:

- Evaluar la adaptabilidad del exergame de acuerdo al estado físico del adulto mayor, esto es el establecimiento de intensidad física moderada.

### **5.3.3 Diseño del experimento**

A continuación se presenta la especificación del diseño del experimento de evaluación. Como primer punto, se detallan las características de los sujetos que participarán en el experimento de evaluación. En segundo, se presentan las actividades y el procedimiento a realizar por parte de los participantes en el experimento.

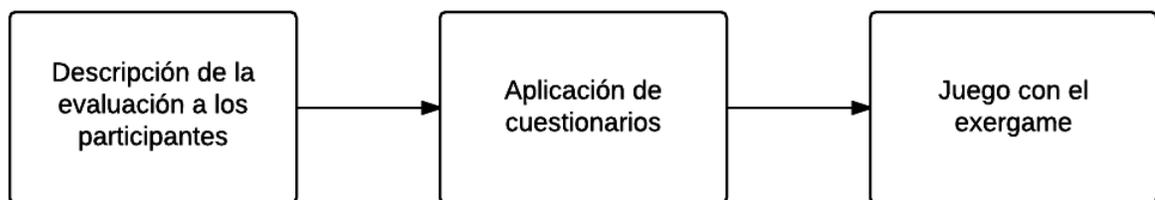
#### **5.3.3.1 Participantes**

Los criterios de inclusión consistieron en contestar el Cuestionario de Preparación de la Actividad Física (Readiness Questionnaire Physical Activity, PAR-Q), dado que este cuestionario fue diseñado para excluir a personas que pueden correr un riesgo al realizar alguna actividad física por lo que ninguna de las respuestas del cuestionario debe de ser afirmativa (Thomas, Reading, y Shephard, 1992). De igual manera, se les aplicó el cuestionario CHAMPS con el objetivo de conocer la cantidad de actividad física que realizan los adultos mayores habitualmente en el último mes (Stewart et al., 2001).

Los participantes en la evaluación fueron cuatro adultos mayores (edad media = 63.75, desviación estándar = 2.986), tres mujeres y un hombre, quienes asisten al Centro de Rehabilitación Integral de Ensenada (n=2) y a la Unidad de atención a grupos vulnerables (n=2).

### 5.3.3.2 Procedimiento

En la Figura 30 se presentan las actividades que se realizaron en el experimento de evaluación.



**Figura 30. Actividades a realizar durante el experimento de evaluación.**

Como primera actividad, se les presentaron a los adultos mayores los objetivos de la evaluación y las actividades a realizar. Se les informó de los riesgos que se pueden presentar, así como la manera correcta de usar los equipos que se utilizarían en la evaluación. Se les explicó que para el uso del sensor de ritmo cardíaco, la banda que sujeta el sensor del brazo del adulto mayor no debe estar apretada ni holgada. De igual manera, se les indicó la distancia a la que el adulto mayor debe estar del sensor Kinect para un rastreo adecuado de las posiciones de su cuerpo.

En la segunda actividad, se les entregó una carta de consentimiento en la cual se indican los riesgos, beneficios y actividades que se presentan o pueden presentarse durante el experimento de evaluación (ver Apéndice 3). De igual manera se aplicaron los cuestionarios PAR-Q y CHAMPS.

Enseguida se llevaron a cabo las actividades del juego, en la cual el adulto mayor jugó con el exergame por un periodo de 30 minutos, que es el tiempo recomendado para la actividad física del adulto mayor a una intensidad moderada. Se le dio la libertad al adulto mayor de elegir los juegos que quisiera jugar durante el tiempo de la evaluación.

### 5.3.4 Experimento de evaluación

El experimento tuvo lugar en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Al inicio del juego, se midieron los rangos de movilidad articular del adulto mayor con el exergame, al terminar dicha medición, se les invitó a que jugaran libremente las veces que desearan, por un tiempo máximo de 30 minutos, cualquiera de los dos minijuegos implementados en el exergame (ver Figura 31).



**Figura 31. Adulto mayor jugando con el exergame durante el experimento de evaluación.**

Mientras el adulto mayor jugaba con el exergame, se almacenaron los datos del ritmo cardíaco, así como los diferentes niveles de intensidad en el juego que el exergame estableció durante la interacción entre el adulto mayor y el exergame. Dicha información fue utilizada para realizar un análisis posterior.

### 5.3.5 Resultados

En esta fase se analizaron los datos almacenados en la bitácora del exergame. Dichos datos se obtuvieron de cada adulto mayor participante en el experimento de evaluación, los datos almacenados fueron:

- Los rangos de movimiento articular medidos por el exergame.
- El ritmo cardíaco registrado durante el tiempo de juego.
- Las intensidades físicas establecidas para cada juego durante la evaluación.

De igual manera se presentan los resultados del cuestionario CHAMPS para conocer las actividades físicas que realizaron los participantes en el último mes. Esta información (ver Tabla 10) nos permitió conocer las actividades físicas que realiza

regularmente el adulto mayor participante para poderlo clasificar en términos de su actividad física.

**Tabla 10. Resultados del cuestionario CHAMPS aplicado a los participantes del experimento de evaluación.**

Participante	Edad	Calorías/Semana	Clasificación
1	65	110.25	Actividad física baja
2	60	1287.775	Actividad física moderada
3	63	890.26875	Actividad física moderada
4	67	136.2375	Actividad física baja

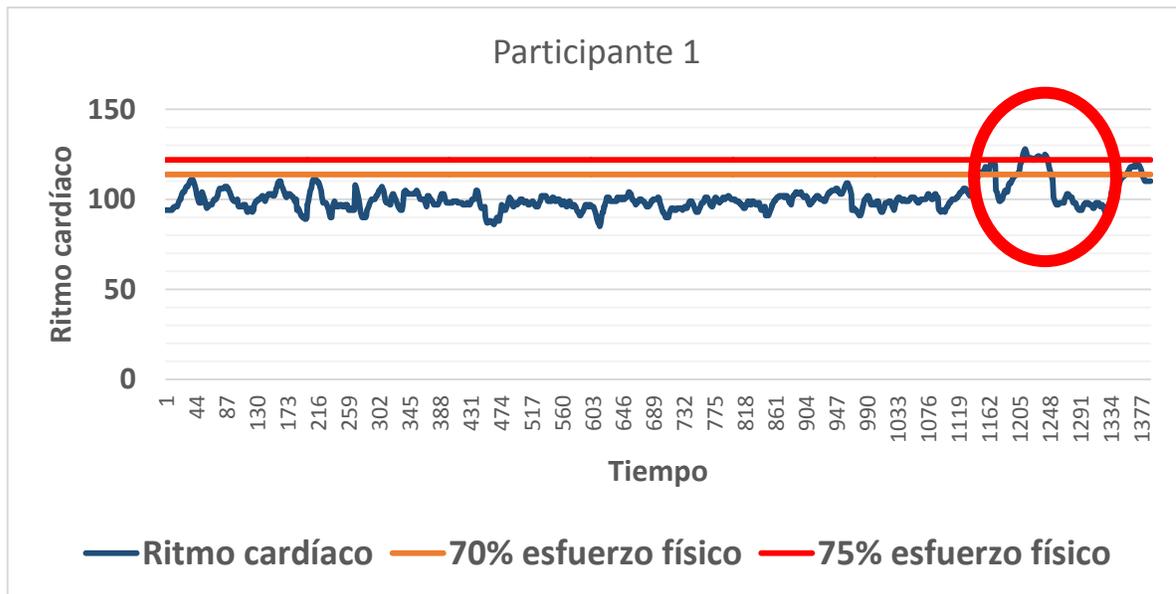
En la Tabla 11 se muestran los resultados de las mediciones de los rangos de movilidad articular realizadas por el exergame a cada participante. Se puede observar que de acuerdo a dichos resultados, todos los participantes se ubican en la clasificación entre normal y bueno, de acuerdo a sus movimientos de abducción de hombro, extensión y abducción de cadera (ver Tabla 5). Sin embargo, para el movimiento de flexión de cadera, los resultados de los participantes se ubicaron en la categoría del rango de movimiento regular, esto pudo deberse a que la ropa utilizada por los participantes les dificultaba realizar este movimiento. No obstante, los resultados para el movimiento anterior fue muy cercano al límite inferior del rango de movimiento bueno ((117,112]) por lo tanto se determinó que pueden jugar usando la función de adaptabilidad del exergame, esto es que el exergame vaya estableciendo diferentes niveles de intensidad física durante el tiempo de juego, de acuerdo a sus mediciones físicas.

**Tabla 11. Resultado de las mediciones de los rangos de movilidad articular realizadas por el exergame a los participantes de la evaluación.**

Movimiento	Lateralidad	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4
Abducción de hombro	Izquierda	163.0325	166.4179	169.7395	160.2478
	Derecha	162.3856	167.9756	168.0333	166.0228
Abducción de cadera	Izquierda	36.53877	57.28429	57.05376	90.37392
	Derecha	54.65897	54.7071	54.47831	74.54298
Extensión de cadera	Izquierda	37.60156	49.78557	60.82313	40.51138
	Derecha	48.37553	55.19005	45.36541	51.80217
Flexión de cadera	Izquierda	95.87711	93.35236	98.79949	107.9248

	Derecha	102.2054	104.59315	103.9128	102.8801
--	---------	----------	-----------	----------	----------

En la Figura 32 se puede observar el registro del ritmo cardíaco del participante uno, en el cual se nota que el esfuerzo realizado estuvo cercano y por debajo del límite establecido (70% de su esfuerzo físico). Durante un momento del juego (encerrado en un círculo rojo) el ritmo cardíaco del adulto mayor se elevó sobre el límite establecido, por lo que el exergame pausó el juego por un tiempo de un minuto para que el adulto mayor se recuperara. Adicionalmente, en la Figura 33 se presentan las intensidades que el exergame estableció para que el adulto mayor alcance el esfuerzo físico objetivo, ahí se puede observar el incremento de intensidades hasta alcanzar la intensidad máxima (intensidad establecida = 6) y dado que el adulto mayor alcanzó el límite objetivo de esfuerzo, las intensidades de los juegos en el exergame comenzaron a disminuir para evitar que el jugador tenga una complicación de salud.



**Figura 32. Registro del ritmo cardíaco del participante uno durante el tiempo de juego con el exergame.**

El registro del ritmo cardíaco del participante dos se presenta en la Figura 34, en el cual se pueden observar los cambios en su ritmo cardíaco de acuerdo a la cantidad de esfuerzo demandado por cada juego a determinada intensidad. Las intensidades establecidas durante el tiempo de juego para el participante dos se observan en la Figura 35, en la cual es posible observar que el aumento y disminución de su ritmo

cardíaco va de acuerdo a las intensidades establecidas por el exergame. Cuando el adulto mayor juega una vez y el esfuerzo realizado sobrepasa el límite máximo objetivo, el exergame disminuye la intensidad del juego como se puede observar en la Figura 34 encerrado en círculos rojos. En la siguiente vez que juega, el esfuerzo que realiza es menor al esfuerzo objetivo por lo que el exergame incrementa la intensidad.

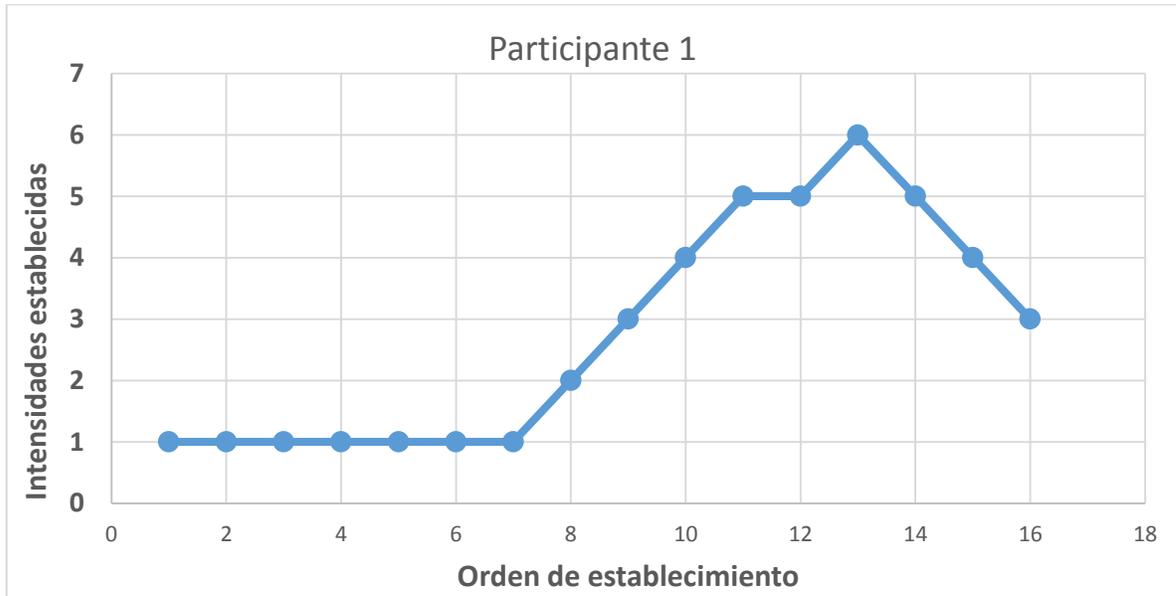


Figura 33. Intensidades establecidas por el exergame durante el juego para que el participante uno realice la cantidad de esfuerzo físico recomendado.

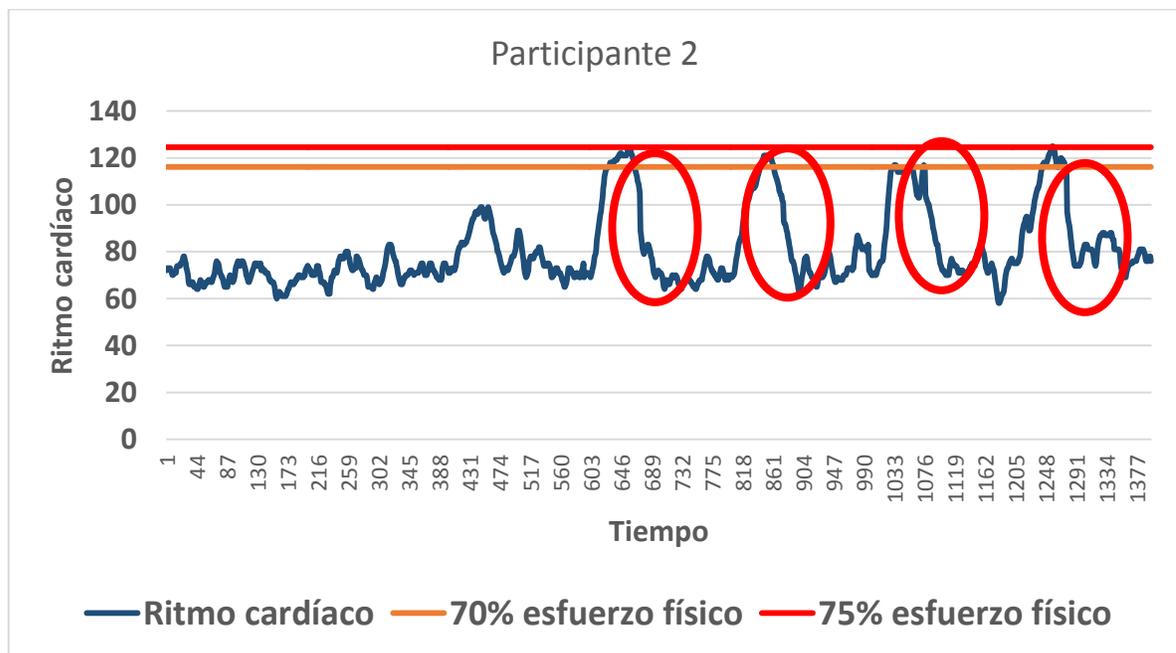
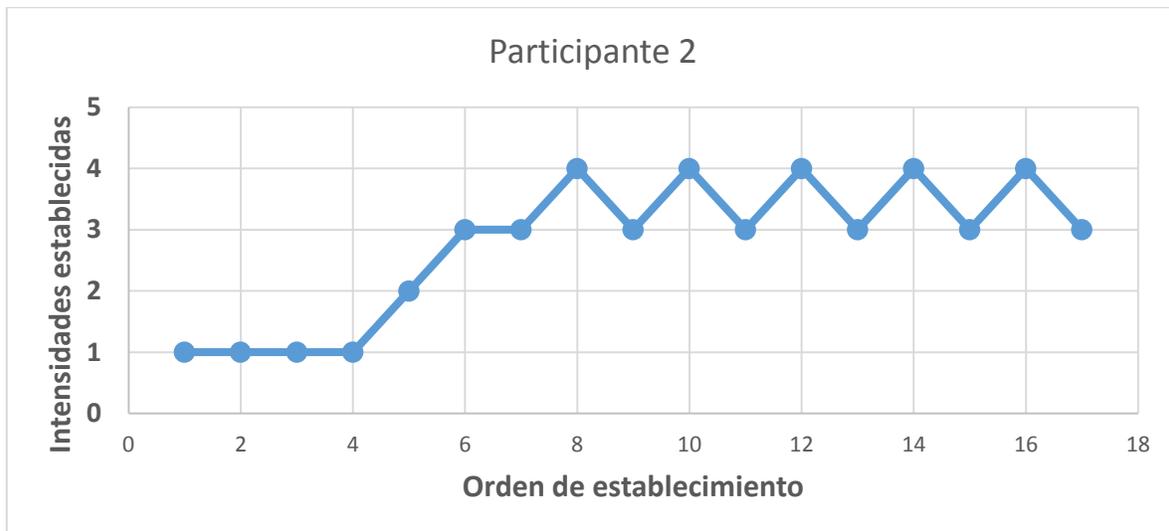
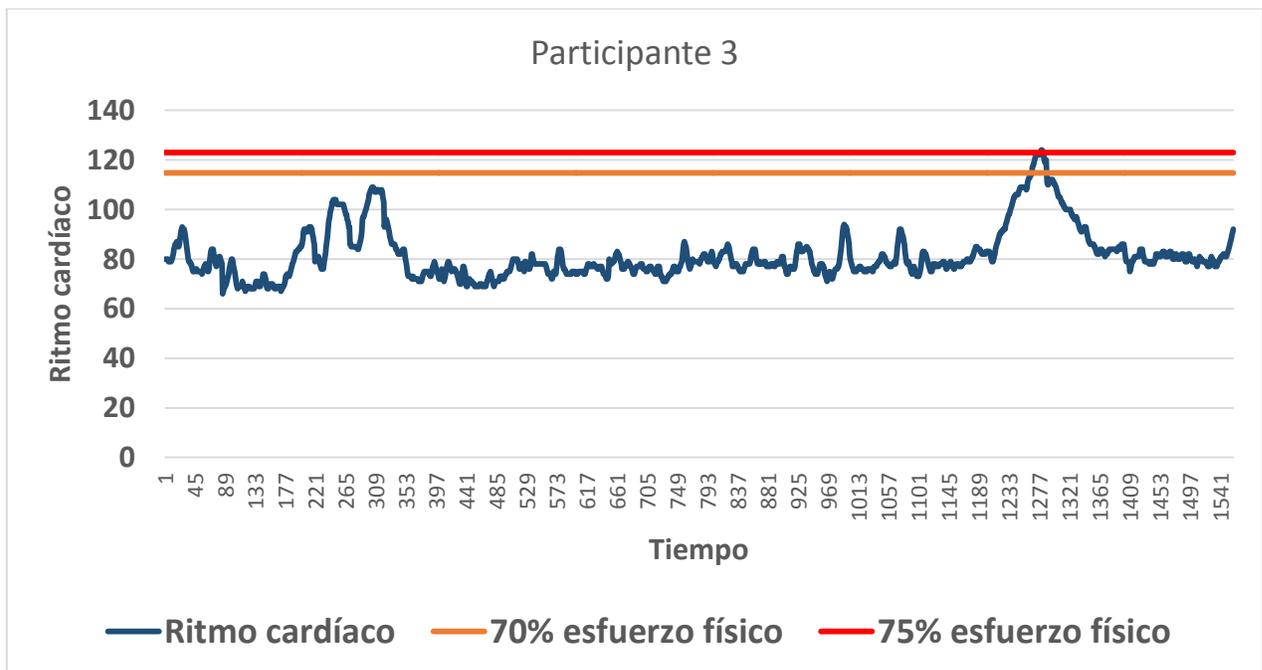


Figura 34. Registro del ritmo cardíaco del participante dos durante el tiempo de juego con el exergame.



**Figura 35.** Intensidades establecidas por el exergame durante el juego para que el participante dos realice la cantidad de esfuerzo físico recomendado.

En la Figura 36 se muestra el registro del ritmo cardíaco del participante tres al jugar con el exergame, en el cual se puede observar los cambios en su ritmo cardíaco de acuerdo a la cantidad de esfuerzo demandado por cada juego. Las intensidades establecidas durante el tiempo de juego para el participante dos se observan en la Figura 37.



**Figura 36.** Registro del ritmo cardíaco del participante tres durante el tiempo de juego con el exergame.



**Figura 37. Intensidades establecidas por el exergame durante el juego para que el participante tres realice la cantidad de esfuerzo físico recomendado.**

El registro del ritmo cardíaco del participante cuatro se presenta en la Figura 38, en el cual se puede observar los cambios en su ritmo cardíaco de acuerdo a la cantidad de esfuerzo demandado por cada juego del exergame. Las intensidades establecidas durante el tiempo de juego para este participante se observan en la Figura 39. Tomando como referencia los resultados obtenidos en el cuestionario CHAMPS (ver Tabla 10), se puede observar que este participante realiza poca actividad física en su vida diaria, lo que podría explicar el incremento tan rápido de su ritmo cardíaco cuando jugó con el exergame a niveles de intensidad poco demandantes. También, en la Figura 38 se observa que el participante sobrepasó el límite objetivo (encerrado en un círculo rojo) por lo que el exergame pausó el juego por un minuto para que el adulto mayor se recuperara y continuara jugando.

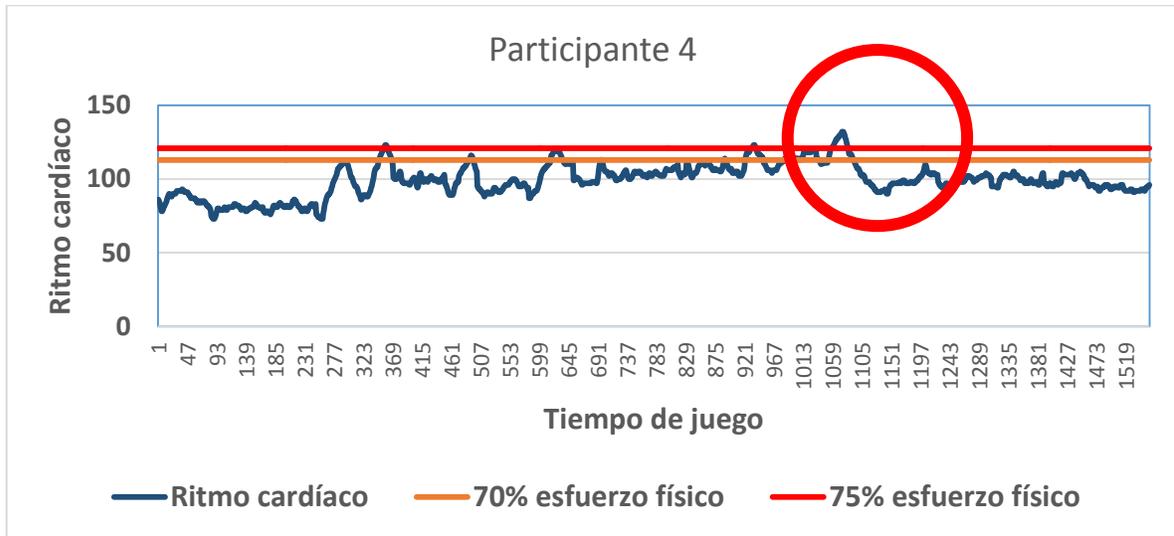


Figura 38. Registro del ritmo cardíaco del participante cuatro durante el tiempo de juego con el exergame.



Figura 39. Intensidades establecidas por el exergame durante el juego para que el participante cuatro realice la cantidad de esfuerzo físico recomendado.

Como se observa en las Figuras 32, 34, 36 y 38 el esfuerzo realizado por los adultos mayores al jugar con el exergame fue equivalente a un nivel de intensidad moderado (64-75% de la frecuencia cardíaca máxima), el cual fue el planteado dada las recomendaciones existentes en la literatura y del Médico entrevistado en el estudio contextual. Examinando la Tabla 10, la cantidad de actividad física que realizan

cotidianamente los participantes es diferente entre ellos, aunado a esto, se puede observar en las Figuras 33, 35, 37 y 39 el cambio de intensidades establecidas para cada adulto mayor. Para el participante uno el incremento de intensidades tardó más que con el participante dos, sin embargo, se puede observar que en el participante uno se establecieron mayores niveles de intensidad, esto se debió a que la intensidad demandada en el juego de voleibol es menor que en el de carrera, y el participante uno jugó más veces el juego de voleibol.

Otro resultado importante se observa en el participante cuatro, cuyo ritmo cardíaco aumentó rápidamente al límite objetivo con niveles de intensidad poco demandante y que el exergame se adaptó a su estado físico proviniéndole niveles de intensidad física adecuados.

Dado lo anterior, se muestra como el exergame ofrece adaptabilidad de acuerdo a las capacidades físicas del adulto mayor, ya que las capacidades físicas de los participantes de la evaluación son diferentes entre ellos y el exergame estableció niveles de intensidad física adecuados para cada uno de ellos.

## **5.4 Conclusiones**

En este capítulo se describió la evaluación del exergame **“Un día de juegos en el parque”**, el cual promueve la actividad física en el adulto mayor.

La evaluación muestra que es posible adaptar un exergame de acuerdo a las capacidades físicas del jugador. Primero, a través de la personalización de los movimientos controladores de los minijuegos en el exergame, para esto, el exergame realiza una medición inicial de los rangos de movimiento articular del adulto mayor que según la evaluación presenta resultados precisos al momento de realizar la medición. Segundo, a través del establecimiento de intensidades de actividad física adecuadas, esto por medio del continuo monitoreo del ritmo cardíaco del adulto mayor, el cual es analizado para poder establecer los niveles de intensidad de los minijuegos del exergame. Los resultados sugieren que este método de establecimiento de intensidad física es adecuado, ya que toma en cuenta el estado físico del adulto mayor.

## Capítulo 6. Conclusiones, aportaciones y trabajo futuro

---

### 6.1 Conclusiones

En el presente trabajo se describió el diseño, desarrollo y evaluación de un exergame adaptable para adultos mayores, cuyo objetivo principal fue el proporcionarles actividad física adecuada mientras se divierten sin provocarles problemas de salud; lo anterior a través del establecimiento adecuado de intensidades físicas de acuerdo al estado físico de los adultos mayores.

Con el objetivo de identificar los elementos relevantes para proporcionar actividad física adecuada a los adultos mayores se realizó un estudio contextual en el que intervinieron adultos mayores, licenciados en terapia física y un médico en rehabilitación. El estudio consistió de entrevistas semi-estructuradas, observaciones no estructuradas directas no participativas y observaciones no estructuradas directas participativas. La información generada fue analizada utilizando técnicas de teoría fundamentada donde se obtuvieron ideas de diseño.

El diseño del exergame surgió a través de la información del estudio contextual y de sesiones de diseño participativo realizadas con adultos mayores y un fisioterapeuta. El diseño se enfocó en proporcionar adaptabilidad de intensidad física, personalizar movimientos controladores de los minijuegos y ofrecer elementos temáticos de interés para el adulto mayor.

Con el diseño obtenido se procedió a la implementación del exergame, el cual fue desarrollado en el marco de trabajo XNA. Se emplearon dispositivos para fines específicos. El Kinect, que es un sensor de profundidad que puede rastrear las posiciones del cuerpo humano, permitió realizar entre la medición inicial de los rangos de movimiento articular del jugador para personalizarle los movimientos controladores de los minijuegos. También se utilizó el sensor Scosche RHYTHM+ para la lectura del ritmo cardíaco y para analizar el comportamiento del adulto mayor durante el juego y proporcionarle diferentes niveles de intensidad física.

Por último se realizó la evaluación del exergame, este se dividió en dos. La primera tuvo como objetivo evaluar la precisión del algoritmo implementado en el exergame para medir los rangos de movilidad articular del adulto mayor. Para esto, se reunió a un grupo de adultos mayores a los cuales se les midió sus rangos de movilidad con el algoritmo y de manera tradicional con un goniómetro. Los resultados demostraron que el algoritmo es preciso para todos los movimientos a medir. La segunda evaluación tuvo como objetivo valorar el establecimiento de la intensidad física en los minijuegos del exergame de acuerdo al estado físico del adulto mayor, para esto se reunió a un grupo de cuatro adultos mayores que participaron en el experimento de evaluación. Los resultados muestran que es posible establecer niveles de intensidad física moderada y adaptabilidad en un exergame a través del monitoreo del ritmo cardiaco aún con la heterogeneidad en el estado físico de la población adulto mayor.

## 6.2 Aportaciones

- Un esquema de adaptabilidad para exergames basado en la personalización de movimientos controladores del juego y en el establecimiento de niveles de intensidad física adecuados al adulto mayor a través de la medición de su ritmo cardiaco.
- Se desarrolló **“Un día de juegos en el parque”**, el cual es un exergame adaptable a las características físicas de los adultos mayores.
- A partir de este trabajo se realizó un artículo para el Encuentro Nacional de Computación 2015, llevado a cabo en la ciudad de Ensenada, Baja California.
- Se presentó un póster en el Taller sobre Investigación en tecnologías de la información y envejecimiento realizado en la ciudad de Ensenada en Octubre de 2015.

## 6.3 Trabajo futuro

Durante el diseño, implementación y evaluación del exergame **“Un día de juegos en el parque”** quedaron aspectos importantes a considerar para futuras investigaciones, las cuales se presentan a continuación:

- Llevar a cabo una evaluación con la participación de más adultos mayores y con la ayuda de especialistas de la salud, de manera que el exergame sea validado en el ambiente médico.
- Analizar los datos obtenidos del sensor de ritmo cardíaco ya que pueden ser empleados para generar más conocimiento sobre el estado actual del adulto mayor, como puede ser: identificar estrés, estados de ánimo, etc. Obteniendo de esta manera un mejor contexto sobre el adulto mayor y que puede ser aplicado para ofrecerle tecnología que mejore su calidad de vida.
- Realizar una investigación para poder agregar otros modos de interacción que permitan una mayor adopción del adulto mayor al exergame desarrollado. Uno de esos modos es el de multijugador, ya que ofrecería competitividad entre los jugadores y un mayor deseo de jugar. Este modo de interacción debe ofrecer personalización en movimientos y adaptabilidad de intensidad para los jugadores.

## Lista de referencias bibliográficas

- Achten, J., and Jeukendrup, A. E. (2003). Heart Rate Monitoring Applications and Limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517–538.
- Adams, M. A., Marshall, S. J., Dillon, L., Caparosa, S., Ramirez, E., Phillips, J., and Norman, G. J. (2009). A theory-based framework for evaluating exergames as persuasive technology. In *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology - Persuasive '09* (p. 1). Recuperado de: <http://doi.org/10.1145/1541948.1542006>
- Bateni, H. (2012). Changes in balance in older adults based on use of physical therapy vs the Wii Fit gaming system: a preliminary study. *Physiotherapy*, 98(3), 211–216. Recuperado de: <http://doi.org/10.1016/j.physio.2011.02.004>
- Beyer, H., and Holtzblatt, K. (1997). *Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems*. Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA: MORGAN KAUFMANN. Recuperado de: <http://doi.org/10.1145/291224.291229>
- Billis, A. S., Konstantinidis, E. I., Ladas, A. I., Tsolaki, M. N., and Bamidis, P. D. (2011). Evaluating affective usability experiences of an exergaming platform for seniors. International Workshop on Biomedical Engineering.
- Chiang, I.-T., Tsai, J.-C., and Chen, S.-T. (2012). Using Xbox 360 Kinect Games on Enhancing Visual Performance Skills on Institutionalized Older Adults with Wheelchairs. *2012 IEEE Fourth International Conference On Digital Game And Intelligent Toy Enhanced Learning*, 263–267 Recuperado de: <http://doi.org/10.1109/DIGITEL.2012.69>
- Corbin, J., and Strauss, A. (2008). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory (3a ed)*. SAGE Publications
- Cornejo, R., Hernandez, D., Favela, J., Tentori, M., and Ochoa, S. (2012). Persuading older adults to socialize and exercise through ambient games. *Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, (212619), 215–218. Recuperado de: <http://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2012.248704>
- Dalgaard, P. (2008). *Introductory Statistics With R (2a. ed.)* Springer. Recuperado de: <http://doi.org/10.1198/tech.2003.s779>
- Dias de Brito, C. M., Pinheiro Neto Jacob, J. T., Nóbrega, R., and Nogueira Santos, A. M. (2015). Balance Assessment in Fall-Prevention Exergames. In *ASSETS '15 Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility* (pp. 439–440). Lisboa, Portugal: ACM.
- Duclos, C., Miéville, C., Gagnon, D., and Leclerc, C. (2012). Dynamic stability requirements during gait and standing exergames on the wii fit® system in the elderly. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1), 1–7. Recuperado de: <http://doi.org/10.1186/1743-0003-9-28>
- EA. (2016). Skate it. Recuperado el 19 de febrero de 2016: <http://www.ea.com/skate-it>
- Flores, E., Tobon, G., Cavallaro, E., Cavallaro, F. I., Perry, J. C., and Keller, T. (2008). Improving patient motivation in game development for motor deficit rehabilitation. In

- ACE '08 Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology* (pp. 381–384). New York, New York, USA: ACM Press. Recuperado de:<http://doi.org/10.1145/1501750.1501839>
- Fox, K. R., and Hillsdon, M. (2007). Physical activity and obesity. *Obesity Reviews*, 8(SUPPL. 1), 115–121. <http://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2007.00329.x>
- Garcia, J., Navarro, K. F., and Lawrence, E. (2011). Serious Games to Improve the Physical Health of the Elderly: A Categorization Scheme. In *CENTRIC 2011, The Fourth International Conference on Advances in Human-oriented and Personalized Mechanisms, Technologies, and Services* (pp. 64–71).
- Gerling, K., Livingston, I., Nacke, L., and Mandryk, R. (2012). Full-body motion-based game interaction for older adults. In *CHI '12 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1873–1882). New York, New York, USA: ACM Press. Recuperado de:<http://doi.org/10.1145/2207676.2208324>
- Gerling, K. M., Mandryk, R. L., and Kalyn, M. R. (2013). Wheelchair-based game design for older adults. In *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '13* (pp. 1–8). Recuperado de: <http://doi.org/10.1145/2513383.2513436>
- Gerling, K. M., Schulte, F. P., and Masuch, M. (2011). Designing and evaluating digital games for frail elderly persons. In *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology - ACE '11* (p. 1). New York, New York, USA: ACM Press. Recuperado de: <http://doi.org/10.1145/2071423.2071501>
- Gerling, K., Schild, J., and Masuch, M. (2010). Exergame design for elderly users: the case study of SilverBalance. In *ACE '10 Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology* (pp. 66–69). Recuperado de: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1971650>
- Hardy, S., Göbel, S., and Steinmetz, R. (2013). Adaptable and personalized game-based training system for fall prevention. In *Proceedings of the 21st ACM international conference on Multimedia - MM '13* (pp. 431–432). New York, NY, USA: ACM. Recuperado de:<http://doi.org/10.1145/2502081.2502255>
- Holtzblatt, K., Wendell, J., and Wood, S. (2004). *Rapid contextual design: a how-to guide to key techniques for user-centered design*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann. Recuperado de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yzOrcSl6z>
- Ibañez, J. A., Martín, E., and Zamorro, J. M. (1989). *Física*. Madrid, España: Suarez Barcala. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=LCQcy-W3IQYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Instituto Nacional de las personas adultos mayores. (2015). Ejes rectores de la política pública nacional a favor de las personas adultas mayores. Recuperado en November 13, 2015: [http://www.inapam.gob.mx/work/models/INAPAM/Resource/Documentos\\_Inicio/Libro\\_ejes\\_rectores.pdf](http://www.inapam.gob.mx/work/models/INAPAM/Resource/Documentos_Inicio/Libro_ejes_rectores.pdf)
- Instituto para la Atención de los Adultos Mayores en el Distrito Federal. (2015). ¿Quién es el adulto mayor? Recuperado en November 13, 2015:

<http://www.adultomayor.df.gob.mx/index.php/quien-es-el-adulto-mayor>

- Kayama, H., Nishiguchi, S., Yamada, M., Aoyama, T., Okamoto, K., and Kuroda, T. (2013). Effect of a Kinect-based exercise game on improving executive cognitive performance in community-dwelling elderly: case control study. In *2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)* (pp. 362 – 365). IEEE. Recuperado de: <http://doi.org/10.2196/jmir.3108>
- Lucht, M., Domagk, S., and Mohring, M. (2010). Exer-learning games: Transferring hopscotch from the schoolyard to the classroom. In *Artificial Intelligence in Theory and Practice III* (Vol. 331, pp. 25–34). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado de: [http://doi.org/10.1007/978-3-642-15286-3\\_3](http://doi.org/10.1007/978-3-642-15286-3_3)
- Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., Castaneda-Sceppa, C. (2007). Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 116(9), 1094–105. Recuperado de: <http://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185650>
- Nintendo. (2016). Wii Sports. Recuperado en enero 19, 2016: <https://www.nintendo.es/Juegos/Wii/Wii-Sports-283971.html>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). ¿Qué repercusiones tiene el envejecimiento mundial en la salud pública? Recuperado el 18 de enero de 2016: <http://www.who.int/features/qa/42/es/>
- Rosenberg, D., Depp, C. a, Vahia, I. V, Reichstadt, J., Palmer, B. W., Kerr, J., ... Jeste, D. V. (2010). Exergames for subsyndromal depression in older adults: a pilot study of a novel intervention. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 18(3), 221–226. Recuperado en: <http://doi.org/10.1097/JGP.0b013e3181c534b5>
- Stewart, A. L., Mills, K. M., King, A. C., Haskell, W. L., Gillis, D., and Ritter, P. L. (2001). CHAMPS physical activity questionnaire for older adults: outcomes for interventions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(7), 1126–1141. Recuperado en: <http://doi.org/10.1097/00005768-200107000-00010>
- Tanaka, H. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 4–7. Recuperado en: <http://content.onlinejacc.org/article.aspx?articleid=1126908>
- Thomas, S., Reading, J., and Shephard, R. J. (1992). Revision of the physical activity readiness questionnaire (PAR-Q). *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17(4), 338–345.
- Uzor, S., Baillie, L., and Skelton, D. (2012). Senior designers: empowering seniors to design enjoyable falls rehabilitation tools. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '12* (pp. 1179–1188). Recuperado en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2208568>
- van Diest, M., Lamoth, C. J. C., Stegenga, J., Verkerke, G. J., and Postema, K. (2013). Exergaming for balance training of elderly: state of the art and future developments. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 10, 101. Recuperado en: <http://doi.org/10.1186/1743-0003-10-101>

- Velázquez, A., Martínez-García, A. I., and Favela, J. (2013). Exergames para apoyar la Reactivación Física del Adulto mayor Sano: Principios de diseño de la ejercitación adecuada en exergames para Adultos Mayores. In *Workshops Proceedings in the Mexican International Conference on Computer Science (ENC 2013)* (pp. 25–30).
- Velázquez, A., Martínez-García, A. I., and Favela, J. (2014). Clasificación de la movilidad del jugador adulto mayor aplicable en exergames. In *Encuentro Nacional de Computación 2014, Oaxaca, México*.
- Velazquez, A., Martínez-García, A. I., Favela, J., Hernández, A., and Ochoa, S. F. (2013). Design of exergames with the collaborative participation of older adults. In *Proceedings of the 2013 IEEE 17th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)* (pp. 521–526). IEEE. Recuperado en: <http://doi.org/10.1109/CSCWD.2013.6581016>

# Apéndices

## Apéndice 1

**Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada**

**Departamento de Ciencias de la Computación**

**Protocolo de entrevista para terapeuta físico**

**¿Qué elementos en las capacidades físicas de los adultos mayores son importantes para personalizarles exergames?**

### Introducción

Hola mi nombre es José Sebastián Estrella Ojeda, soy estudiante de Maestría del CICESE en Ensenada B.C. en el programa de ciencias de la computación. El objetivo de esta investigación es conocer los elementos importantes en las capacidades físicas de los adultos mayores para personalizar video juegos de ejercicio.

El equipo de investigación que encabeza este estudio se especializa en temas referentes a computación y al desarrollo de tecnología de acuerdo con el estudio de las necesidades de una comunidad. Su apoyo y retroalimentación es muy importante para nosotros. La presente entrevista tiene intereses estrictos de investigación y la información recopilada de entrevistas y grabaciones serán de uso confidencial. Es importante mencionar que **NO** es objetivo de la entrevista evaluarlo a usted.

### Escenario

Fecha:

Lugar:

Hora:

Nombre del Entrevistado:

Profesión/Especialidad:

Lugar de trabajo:

Tiempo trabajando con adultos mayores:

### Características de las capacidades físicas de los adultos mayores

1. Dadas las características físicas de los adultos mayores. ¿Cuáles capacidades físicas se deben fortalecer para su reactivación o mejora de su condición física?
  - a. ¿Qué beneficios se obtendrían a través de ese fortalecimiento?
  - b. ¿De qué manera se puede apoyar su fortalecimiento?
  - c. ¿Cuál es la capacidad física más importante que se debe fortalecer?
    - i. ¿Por qué?

2. ¿Se debe clasificar a los adultos mayores de acuerdo a sus capacidades físicas para que realicen actividades para su reactivación o mejora de su condición física?
  - a. Sí
    - i. ¿Por qué?
    - ii. ¿Cuáles clasificaciones conoce?
    - iii. ¿De qué manera se llevan a cabo esas clasificaciones?
    - iv. ¿Esta información se encuentra sustentada por algún estándar médico?
  - b. No
    - i. ¿Por qué?

### Actividades de ejercicio para adultos mayores

3. Usted, en su experiencia trabajando con adultos mayores. ¿Qué tipo de actividades físicas practica con los adultos mayores para su reactivación o mejora de su condición física?
  - a. ¿Podría mencionar algún ejemplo de una dinámica completa que usted lleve a cabo?
  - b. ¿Se basa usted en alguna norma oficial?
    - i. Sí
      - i. ¿Cuál?
    - ii. No
      - i. ¿Cuáles conoce?
  - c. ¿Existen otras actividades para la reactivación o mejora de la condición física de los adultos mayores recomendadas por algún lineamiento médico?
    - i. ¿Cuáles?
4. ¿Existen conjuntos de actividades de ejercicio para un determinado grupo de adultos mayores con características físicas en común? (Por ejemplo: Para los que están en sillas de ruedas este X conjunto de ejercicios, para los que sólo tienen movilidad de un brazo este Y conjunto de ejercicios).
  - a. ¿Cuáles?
  - b. ¿Cómo se lleva a cabo la clasificación de adultos mayores para esos conjuntos de ejercicios?
  - c. ¿Esta información se encuentra sustentada por algunas métricas médicas?
    - i. ¿Cuáles?
5. ¿Con qué frecuencia deben ser realizadas dichas actividades de ejercicio?
  - a. ¿Por qué?
6. ¿Cuánto tiempo en promedio por sesión deben realizar ejercicio los adultos mayores?
  - a. ¿Por qué?
  - b. ¿Existe una variación en el tiempo promedio por sesión de acuerdo a las capacidades físicas del adulto mayor?
    - i. ¿Cuáles son los parámetros para especificar esa variación?
    - ii. ¿Podría mencionar un escenario donde se presenta esta situación?
  - c. ¿Esta información se encuentra sustentada por alguna métrica médica?

- i. ¿Cuál?
- 7. ¿Existe diferencia en los niveles de intensidad de ejercicio que se le deben aplicar a los adultos mayores con características físicas diferentes? (Ejemplo: Entre un adulto mayor en silla de ruedas y un adulto mayor que puede participar de pie)
  - a. ¿Cuáles son esos niveles de intensidad?
  - b. ¿Deben ser aplicadas en diferentes periodos de duración?
    - i. ¿Cuáles?
  - c. ¿Existen clasificaciones para esos niveles de intensidad?
  - d. ¿Bajo cuáles criterios deben ser aplicados esos niveles de intensidad?
  - e. ¿Podría mencionar un escenario donde se presente una situación de la aplicación de los niveles de intensidad?
- 8. ¿Debe existir una variación en la actividad física recomendada para el adulto mayor (Intensidad, tipo, duración) cuando se realiza en determinadas condiciones ambientales (Ejemplo: Diferentes climas (Temperatura, humedad))?
  - a. ¿Cuáles variaciones?
  - b. ¿Cuáles condiciones ambientales intervienen?
- 9. ¿Es pertinente emplear instrumentos u objetos en las actividades de ejercicio de los adultos mayores para su reactivación o mejora de su condición física?
  - a. ¿Qué tipo de instrumentos deben ser empleados?
  - b. ¿Podría mencionar unos ejemplos?
  - c. ¿Por qué esos instrumentos?
  - d. ¿Usted ha utilizado algún instrumento?
    - i. Si
      - 1. ¿Cuáles?
      - 2. ¿De qué manera los ha utilizado?
    - ii. No
      - 1. ¿Por qué?

### **Medición de la salud de los adultos mayores durante la actividad física**

- 10. Usted, durante una sesión de ejercicio para la reactivación o mejora de la condición física de adultos mayores. ¿Cuáles elementos de salud monitorea en el adulto mayor?
  - a. ¿Por qué?
  - b. ¿Cómo realiza ese monitoreo?
  - c. ¿Qué instrumentos utiliza para realizar el monitoreo?
- 11. Durante una actividad de ejercicio, ¿Qué problemas de riesgo en la salud de los adultos mayores se pueden presentar? (Ejemplo: Mareos, HR alto)
  - a. ¿De qué manera se pueden identificar?
  - b. ¿Cuáles son los más importantes que deben ser identificados?
    - a. ¿Por qué?
- 12. ¿Usted como realiza o realizaría el monitoreo de esos problemas de riesgo de salud?
  - a. ¿Podría mencionar algunos ejemplos?

- b. ¿Qué instrumentos utiliza para realizar el monitoreo?
  - c. ¿Esta información se encuentra sustentada por algún documento oficial?
    - i. ¿Cuál?
13. ¿Qué estrategias se deben seguir al detectar esos problemas de salud para evitar riesgos?
- a. ¿Podría mencionar algunos ejemplos?
  - b. ¿Por qué esas estrategias?
  - c. ¿Esta información se encuentra sustentada por algún documento médico?
14. ¿Se pueden inferir ciertos elementos de salud a partir de la medición de otros? (Ejemplo: Conocer consumo de oxígeno a través de la medición del ritmo cardiaco)
- a. ¿Cuáles se pueden inferir?
  - b. ¿De qué manera se pueden inferir?
  - c. ¿Esta información se encuentra sustentada por algún documento médico?
    - i. ¿Cuál?
15. Usted durante una sesión de ejercicio con los adultos mayores. ¿Cómo identifica la aparición de fatiga física en el adulto mayor?
- a. ¿Qué instrumentos utiliza para identificarlos?
  - b. ¿Cuáles son los síntomas de fatiga física que se presentan?
  - c. ¿Qué acciones deben ser tomadas al detectar esos síntomas?
16. ¿Es posible identificar fatiga física a través de los movimientos del cuerpo durante una actividad física?
- a. ¿Usted, de qué manera la identifica?
  - b. ¿Qué instrumentos utiliza?
17. ¿Existe una manera para evaluar situaciones de riesgo cuando un adulto mayor realiza ejercicio?
- a. ¿De qué manera se realiza esa evaluación?
  - b. ¿Esta información se encuentra sustentada por algún proceso clínico?
    - i. ¿Cuál?

### **Apoyo tecnológico para la reactivación o mejora de la condición física de los adultos mayores**

18. ¿Utilizaría un videojuego para la reactivación o mejora de la condición física de los adultos mayores?
- a. Sí
    - i. ¿De qué manera?
  - b. No
    - i. ¿Por qué?
19. ¿Qué características considera que debe tener un videojuego que promueva actividades de ejercicio en los adultos mayores?
20. ¿Qué características en un videojuego interactivo de ejercicio deben ser importantes para evitar problemas en la salud de los adultos mayores durante el ejercicio?

**Muchas gracias por el tiempo brindado en esta entrevista. ¿Desea agregar algo más?**

**Por mi parte sería todo, voy a transcribir la entrevista. En caso de necesitar ampliar la información, ¿Nos podríamos reunir en un futuro para realizar otra entrevista?**

## Apéndice 2

### Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

#### Departamento de Ciencias de la Computación

##### Protocolo de entrevista para un Médico/Internista/Cardiólogo

### ¿Cuáles son las consideraciones cardiacas que se deben de tener en el adulto mayor al solicitarles incrementos de intensidad cuando realizan ejercicio físico?

#### Introducción

Hola mi nombre es José Sebastián Estrella Ojeda, soy estudiante de Maestría del CICESE en Ensenada B.C. en el programa de ciencias de la computación. El objetivo de esta investigación es conocer los elementos importantes en las capacidades físicas de los adultos mayores para personalizar video juegos de ejercicio.

El equipo de investigación que encabeza este estudio se especializa en temas referentes a computación y al desarrollo de tecnología de acuerdo con el estudio de las necesidades de una comunidad. Su apoyo y retroalimentación es muy importante para nosotros. La presente entrevista tiene intereses estrictos de investigación y la información recopilada de entrevistas y grabaciones serán de uso confidencial. Es importante mencionar que **NO** es objetivo de la entrevista evaluarlo a usted.

#### Escenario

Fecha:

Lugar:

Hora:

Nombre del Entrevistado:

Profesión/Especialidad:

Lugar de trabajo:

Tiempo trabajando con adultos mayores:

1.- ¿Cuáles son los riesgos de incrementar la intensidad del ejercicio a un 60-70% de la frecuencia cardiaca sub-máxima en el adulto mayor?

a) ¿De qué manera evitarlos?

2.- ¿Es adecuado establecer ese nivel intensidad a cualquier adulto mayor?

a) Sí

a. ¿Por qué?

- b. ¿Se debe tener un cuidado especial para los adultos mayores que presentan problemas en la presión arterial?
  - c. ¿Existe alguna diferencia en relación al nivel de intensidad de ejercicio entre adultos mayores con presión arterial alta/baja controlada y los que no están controlados?
- b) No
- a. ¿Por qué?
  - b. ¿Cómo establecer el nivel de intensidad?
  - c. ¿Se debe tener un cuidado especial para los adultos mayores que presentan problemas en la presión arterial?
  - d. ¿Existe alguna diferencia en relación al nivel de intensidad de ejercicio entre adultos mayores con presión arterial alta/baja controlada y los que no están controlados?
- 3.- ¿Cuáles signos vitales de un adulto mayor deben ser monitoreados mientras realiza una actividad física para evitar riesgos en su salud?
- a) ¿Por qué?
  - b) ¿Cuáles son los más importantes?
- 4.- ¿Es posible obtener información de la presión arterial de un adulto mayor a través de la medición de su ritmo cardiaco mientras realiza actividad física?
- a) Sí
    - a. ¿De qué manera se puede obtener esa información?
- 5.- ¿Qué tipo de información relevante del adulto mayor mientras realiza ejercicio se puede obtener a través de la medición de su ritmo cardiaco?
- a) ¿De qué manera se puede obtener esa información?

## **Apéndice 3**

### **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada**

#### **Consentimiento para participar como sujeto de investigación**

Se le solicita su consentimiento para que usted participe en un estudio de investigación. La participación en este estudio es completamente voluntaria. Por favor lea la siguiente información y siéntase libre de preguntar cualquier cosa que no entienda antes de decidir si desea participar. El investigador citado a continuación responderá a sus preguntas:

#### **Investigador:**

LCC José Sebastián Estrella Ojeda,

Departamento Ciencias de la Computación, CICESE

estrella@cicese.edu.mx

#### **Propósito del estudio:**

El propósito de este estudio es el desarrollo de un exergame adaptable en tiempo real a las características físicas del adulto mayor, para su activación física.

#### **Procedimientos:**

Como parte de este estudio, usted participará en una sesión de activación física por medio de un videojuego. Las actividades físicas que realizará son: movimientos con los brazos (movimientos de abducción del hombro) y movimientos de marcha, los cuales tendrán una duración de aproximadamente 30 minutos. El objetivo de la sesión es la obtención de datos sobre la respuesta física del adulto mayor al interactuar con un videojuego (ritmo cardiaco), los

datos serán adquiridos por medio de dos dispositivos, los cuales son: un sensor de ritmo cardiaco y el sensor Kinect. También, se le realizarán preguntas acerca de su estado de salud actual. La sesión será fotografiada y los datos obtenidos por los dispositivos utilizados serán analizados posteriormente.

**Beneficios:**

Los beneficios de esta sesión es proporcionar información que servirá para el desarrollo de tecnología enfocada en la activación física de manera segura para el adulto mayor.

**Confidencialidad:**

Entiendo que la información obtenida en la sesión será utilizada únicamente con fines de investigación y será protegida por el investigador utilizando seudónimos para eliminar cualquier información que lo pueda identificar con los datos recabados, manteniendo de esta manera anónima la información.

**Riesgo e incomodidades:**

Si a usted le causa incomodidad el tener que contestar preguntas sobre su salud física o hábitos de vida, puede dejar de contestar cualquier pregunta que le incomode o en la que dude de la respuesta. Igualmente puede detener la prueba si llega a sentir malestar en el pectoral, mareos, palpitaciones, dificultar para respirar o de cualquier tipo.

**Acuerdo de participación voluntaria:**

**La participación en este estudio es voluntaria.** Usted puede negarse a contestar cualquier pregunta o suspender su participación en cualquier momento.

***Estoy de acuerdo en participar en el estudio.***

---

**Nombre del participante**

---

**Fecha**

---

**Firma del participante**

---

**ID participante**