



# TESINA DE LICENCIATURA

**TÍTULO:** Exergames: propuesta de un gamepad para sensar movimientos del jugador

**AUTORES:** Aldana Del Gener

**DIRECTORA:** Cecilia Sanz

**ASESOR PROFESIONAL:** Luciano Iglesias

**CARRERA:** Licenciatura en Sistemas

## Resumen

*El objetivo general de esta tesina es investigar sobre exergames, estudiar su origen, evolución, conceptos relacionados, y su papel en la promoción de la actividad física. En esta tesina se reseñan antecedentes de exergames con mecanismos walking in place para locomoción; y se aporta el desarrollo de un prototipo de controlador de videojuegos (gamepad), con funcionalidades para el sensado de movimientos del jugador. Por último, se implementa un pequeño videojuego al que se integra el controlador, y se evalúa la usabilidad y la experiencia del usuario. Los resultados alcanzados permiten afirmar que el prototipo fue valorado positivamente por los participantes de las sesiones de prueba.*

## Palabras Clave

*Exergames, Gamepad, Controlador de videojuegos, Walking in place, Videojuegos activos, Locomoción inmersiva*

## Trabajos Realizados

*Se ha realizado, a nivel teórico, un relevamiento histórico de los exergames, se analizaron conceptos relacionados, mecánicas y tecnologías utilizadas en su implementación. Al mismo tiempo, se estudiaron antecedentes en la temática. Se aporta el desarrollo de un prototipo de gamepad, capaz de sensar 3 movimientos de tipo "walking in place" del jugador: caminar, correr, y saltar. Además se consideran otros tipos de señales analógicas convencionales, por ejemplo para el movimiento de la cámara. Se programó un mini-videojuego exergame con el que se probó la usabilidad del prototipo con usuarios reales. Las valoraciones de la propuesta permitirán avanzar en la investigación en este tema.*

## Conclusiones

*Después de haber realizado el relevamiento histórico de los exergames de los últimos 2 años; se puede afirmar que estos han sido una importante herramienta para mantener a los jugadores activos, tanto física como mentalmente durante la pandemia de COVID-19, y esto ha despertado el interés aún más en la actualidad.*

*Se considera que esta tesina ha realizado una aporte a la investigación en el tema de exergames, tanto desde la conformación de un estudio teórico como con la propuesta y la posterior evaluación del prototipo de gamepad y el videojuego. Al mismo tiempo, las pruebas y sus resultados permitieron conocer oportunidades de mejora, que se esperan realizar a futuro.*

## Trabajos Futuros

*Como trabajo futuro se considera agregar sensores al prototipo para mejorar la inmersión a los videojuego en los que se integre. Además, se propone; mejorar el algoritmo de detección de movimiento para que pueda ajustarse de manera más personalizada al jugador; integrar esta tecnología con videojuegos de realidad virtual; adicionar al videojuego de rutinas de ejercicio descargables de un servidor según la necesidad del jugador.*



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

FACULTAD DE INFORMÁTICA

# **Exergames: propuesta de un gamepad para sensor movimientos del jugador**

Tesina presentada para obtener el grado de Licenciado en  
Sistemas

Directora: Cecilia Sanz  
Asesor profesional: Luciano Iglesias  
Tesisista: Aldana Del Gener

Septiembre 2022

# Índice general

Índice general	3
Agradecimientos	7
Resumen	8
<b>1 Introducción, objetivos y motivación</b>	<b>11</b>
1.1. Objetivo	11
1.2. Motivación y estado del arte	12
1.3. Estructuración de la tesina	15
<b>2 Marco teórico</b>	<b>17</b>
2.1. Introducción	17
2.2. Exergames	17
2.2.1. Definición	17
2.2.2. Importancia y papel en la promoción de la actividad física	18
2.3. Origen	19
2.4. <i>Exergames</i> , inmersión y locomoción basada en movimiento	22
2.5. Controladores de juego comerciales utilizados en la implementación de <i>exergames</i>	25
2.5.1. Controladores de juego	25
2.5.1.1. Controlador mando <i>joypad</i>	26
2.5.1.2. Controlador por detección de movimiento	26
2.5.2. Kinetic (2010 - 2017) Microsoft	27
2.5.2.1. Ventajas y desventajas para desarrolladores de <i>exergames</i>	29
2.5.3. Playstation Move (2010 - ) Sony	29
2.5.3.1. Ventajas y desventajas para desarrolladores de <i>exergames</i>	32
2.5.4. Switch (2017 - ) Nintendo	32

2.5.4.1.	Ventajas y desventajas para desarrolladores de exergames . . . . .	34
2.5.5.	Oculus (2019 - ) Facebook/Meta . . . . .	35
2.5.5.1.	Ventajas y desventajas para desarrolladores de exergames . . . . .	36
2.6.	Conclusiones del capítulo . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Antecedentes y propuestas de gamepads con mecanismos</b>	
	<b><i>Walking in place</i></b>	<b>39</b>
3.1.	Introducción . . . . .	39
3.2.	<i>Activate your GAIM: A toolkit for input in active games</i> . .	39
3.3.	<i>Challenges in Virtual Reality Exergame Design</i> . . . . .	41
3.4.	<i>VRun: running-in-place virtual reality exergame</i> . . . . .	43
3.5.	Conclusiones del capítulo . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Propuesta: prototipo de un <i>gamepad</i> para detección de movimiento</b>	<b>47</b>
4.1.	Introducción . . . . .	47
4.2.	Consideraciones de diseño . . . . .	48
4.3.	Diseño y componentes . . . . .	49
4.3.1.	Tipo de Hardware a utilizar . . . . .	49
4.4.	Componente Tobillera (CT) . . . . .	51
4.5.	Componente Gamepad (CG) . . . . .	53
4.6.	Componente Central (CC) . . . . .	57
4.7.	Módulos y placas utilizadas . . . . .	58
4.7.1.	Módulo Microcontrolador - Arduino Pro Micro . . . . .	58
4.7.2.	Módulo detector de movimiento - MPU-9250) . . . . .	59
4.7.3.	Módulo transmisor - nRF24L01 . . . . .	61
4.8.	Librerías utilizadas . . . . .	62
4.8.1.	Arduino Joystick Library . . . . .	62
4.8.2.	RF24 . . . . .	63
4.8.3.	MPU9250 . . . . .	63
4.9.	Conclusiones del capítulo . . . . .	64
<b>5</b>	<b>Uso del <i>gamepad</i> en un caso de estudio. El videojuego</b>	
	<b><i>Capitana Aldana</i></b>	<b>65</b>
5.1.	Introducción . . . . .	65
5.2.	Descripción del videojuego . . . . .	65
5.3.	Argumento . . . . .	66
5.4.	Escenario . . . . .	66
5.5.	Jugabilidad . . . . .	67

5.5.1.	Misiones . . . . .	67
5.5.2.	Ayudas . . . . .	69
5.5.3.	Enemigos . . . . .	69
5.5.4.	Salud y munición . . . . .	71
5.5.5.	Puntajes . . . . .	73
5.5.6.	Guardado y carga de partidas . . . . .	73
5.5.7.	Mapa de entradas . . . . .	73
5.6.	Motor de videojuego - Godot . . . . .	76
5.7.	Software de modelado 3D - Blender . . . . .	78
5.8.	Assets . . . . .	78
5.8.1.	Blender glTF 2.0 Importer and Exporter . . . . .	78
5.8.2.	Dialogic . . . . .	79
5.8.3.	Time Of Day Plugin . . . . .	79
5.8.4.	HeightMap Terrain Plugin . . . . .	80
5.8.5.	Scene Scattering Tool . . . . .	80
5.9.	Mapa de entradas y relación con el prototipo de <i>gamepad</i> propuesto . . . . .	80
5.10.	Conclusiones del capítulo . . . . .	83
<b>6</b>	<b>Pruebas con usuarios del videojuego con el <i>gamepad</i> propuesto</b>	<b>85</b>
6.1.	Introducción . . . . .	85
6.2.	Contexto de las pruebas . . . . .	85
6.3.	Usabilidad e instrumentos de recogida de datos . . . . .	86
6.3.1.	<i>Software Usability Measurement Inventory (SUMI)</i> . . . . .	86
6.3.2.	<i>System Usability Scale (SUS)</i> . . . . .	87
6.4.	Desarrollo de las sesiones . . . . .	88
6.4.1.	Prueba con usuarios cercanos al entorno de desarrollo . . . . .	89
6.4.2.	Pruebas con destinatarios reales de la aplicación . . . . .	90
6.4.2.1.	Grupo G1 . . . . .	90
6.4.2.2.	Grupo G2 . . . . .	90
6.5.	Conclusiones del capítulo . . . . .	91
<b>7</b>	<b>Resultados obtenidos</b>	<b>93</b>
7.1.	Introducción . . . . .	93
7.2.	Resultados obtenidos por grupo de trabajo . . . . .	93
7.2.1.	Grupo G1 . . . . .	93
7.2.2.	Grupo G2 . . . . .	94
7.2.3.	Conclusiones del capítulo . . . . .	95
<b>8</b>	<b>Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>97</b>

8.1. Introducción . . . . .	97
8.2. Conclusiones . . . . .	97
8.3. Líneas futuras de trabajo . . . . .	99
<b>Referencias</b>	<b>101</b>

# Agradecimientos

Este proyecto da termino a un ciclo importante de mi carrera, y no puedo cerrar esta etapa sin dar gracias.

Primeramente debo dar gracias a mis padres, especialmente a mi madre por alentarme a superarme, a esforzarme por lo que quiero, y recordarme que cada proyecto que se empieza debe tener su final.

Gracias a mis directores por su constante apoyo y guía en el transcurso de esta tesina, por aceptar dirigir este proyecto y confiar que se podía llevar a cabo.

Gracias a mi jefe por la paciencia en estos últimos meses.

Gracias a los buenos profesores de la Facultad de Informática de la UNLP.

Y gracias a los voluntarios que dedicaron su tiempo a llevar a cabo las pruebas y cuyo aporte valioso reafirma las bases de este trabajo.

# Resumen

Esta tesina se centra en investigar sobre videojuegos activos o *exergames*, su definición, origen e importancia en la promoción de la actividad física y sus beneficios en la salud de las personas que los utilizan.

Además, se estudian y reseñan técnicas de locomoción, en particular en *exergames* basados en realidad virtual (RV). Estas técnicas, originalmente desarrolladas como un enfoque de interfaz y experiencia de usuario en el entorno RV, son una manera adecuada de integrar la actividad física a un videojuego aprovechando el factor “inmersión”. En la tesina se explica además el concepto de controlador de videojuegos (*gamepad*), y se reseñan 4 tecnologías de *gamepads* creados por marcas comerciales para implementar *exergames*.

También se lleva adelante un análisis de 3 antecedentes en esta temática, que incluyen resultados de experimentación. Estos casos han proporcionado resultados positivos tanto desde el punto de vista de la motivación de los jugadores en el uso de los *exergames*, como también desde el punto de vista de las observaciones de mejoras a tener en cuenta para desarrollos futuros.

Teniendo en cuenta los conceptos estudiados en el marco teórico y las observaciones procedentes de los casos analizados como antecedentes, se propone el desarrollo de prototipo de *gamepad* que se indica en los objetivos. Se describe el *gamepad* prototipo, los 3 componentes que lo conforman (Componente Tobillera, Componente Gamepad y Componente Central), como se relacionan estos entre sí y con el computador *host*, sus funcionalidades y características de diseño de *hardware* y *software*.

Para probar la usabilidad del prototipo *gamepad* se desarrolla un mini-videojuego al que se lo integra. Se realizan pruebas informales con usuarios cercanos al entorno de desarrollo, y luego se procede a realizar pruebas organizadas con otros usuarios. Se detalla el contexto de los usuarios participantes de las pruebas de usabilidad, se explica el método y la métrica utilizada para cuantificar y cualificar los resultados provenientes del *feedback* de los participantes.

Finalmente, se analizan los resultados alcanzados y se presentan las conclusiones a las que se ha arribado y los posibles

trabajos futuros que se desprenden de esta tesina, abriendo así nuevas oportunidades para profundizar en esta investigación.



# Capítulo 1

## Introducción, objetivos y motivación

### 1.1. Objetivo

El objetivo general de esta tesina es investigar sobre *exergames* y aportar, a través de un controlador de videojuegos (*gamepad*), funcionalidades para el desarrollo de este tipo de juegos.

Como objetivos específicos se plantean:

- Estudiar sobre el origen, evolución y conceptos de los *exergames*; y su papel en la promoción de la actividad física.
- Reseñar mecanismos *walking in place* para locomoción en videojuegos.
- Diseñar y desarrollar un prototipo de *gamepad* que detecte movimientos, del tipo *walking in place* realizados por el usuario y los interprete como señales asociadas a un *gamepad* convencional.
- Desarrollar un prototipo de videojuego que involucre el uso del *gamepad* propuesto
- Evaluar el prototipo de *gamepad* en el contexto del videojuego desarrollado para analizar la usabilidad y la experiencia de usuario.

Como resultado principal de esta tesina se concretará el diseño de un prototipo de *gamepad* que será integrado a un pequeño videojuego de prueba para analizar su funcionamiento y la experiencia del usuario.

## 1.2. Motivación y estado del arte

El sedentarismo, también conocido como inactividad física, constituye una de las 10 causas fundamentales de mortalidad, morbilidad y discapacidad, altera la función endotelial y favorece la aparición de otros factores de riesgo como la hipertensión arterial, diabetes, alteraciones lipídicas, sobrepeso y obesidad. Por el contrario, realizar ejercicio de forma habitual favorece la prevención del infarto de miocardio, accidente cerebro-vascular y distintos tipos de cánceres; además de mejorar la salud ósea y funcional de las articulaciones, es fundamental para el equilibrio calórico y el control del peso con reducción del sobrepeso y obesidad, disminuye el envejecimiento celular y el riesgo de caídas en adultos mayores (Sociedad Argentina de Cardiología, 2017).

Desde el punto de vista de gasto energético, se considera que una persona es sedentaria cuando su gasto energético semanal no supera las 2000 calorías; mientras que desde el punto de vista del tiempo dedicado a la actividad física, se considera como tal, cuando no realiza:

- al menos 30 minutos de actividad física moderada, o caminata, 5 o más días de la semana o
- al menos 20 minutos de actividad física vigorosa, 3 o más días a la semana.

En las últimas dos décadas, el desarrollo tecnológico, industrial y científico ha mejorado la calidad y esperanza de vida, pero también trajo consigo un crecimiento exponencial de los hábitos de vida sedentarios, en detrimento de la realización de actividad física habitual. Sánchez et al. (2015) hacen referencia a esta nueva vertiente conocida como “sedentarismo tecnológico”, la cual se basa en sustituir el tiempo libre dedicado a la práctica de actividad física por el uso de televisión, ordenador y videoconsolas fomentando los hábitos sedentarios; los cuales se han visto agravados por la reciente época de pandemia que ha mantenido en confinamiento a la mayor parte de la población. Pero, ¿acaso es justificado el prejuicio de asociar a la tecnología, especialmente a los videojuegos, con los estilos de vida sedentarios e inactivos? Aunque muchos autores concuerdan; algunos reconocen que muchas personas consideran que realizar actividad física a través del ejercicio es aburrido y monótono (Montola, Stenros, y Waern, 2009). La necesidad de innovar en las prácticas del ejercicio tradicional dio origen a los *exergames*, o videojuegos de ejercicio, videojuegos interactivos que buscan hacer de la actividad física algo gratificante, generando en cada persona motivación y estimulación suficiente en el tiempo empleado para hacer ejercicio (Muñoz,

Villada, y Giraldo Trujillo, 2013). En adultos mayores, se han demostrado resultados positivos en terapias al combinar elementos del ejercicio físico con el entretenimiento, y esta población tiende a mejorar diferentes actitudes de comportamiento, manteniéndose activos físicamente y con una percepción positiva de los videojuegos (Torre y Temprado, 2022); mientras que en las poblaciones más jóvenes, se han demostrado aumentos del gasto energético, de la masa muscular y nivel motivacional (Muñoz et al., 2013). Siguiendo esto, los *exergames* son una alternativa versátil para mantener los niveles de actividad física en épocas de confinamiento, pues la práctica de estos permite que las personas realicen ejercicio en casa o en espacios reducidos, dejando atrás el prejuicio que ha asociado los videojuegos con estilos de vida sedentarios e inactividad (Cortis, Giancotti, Rodio, Bianco, y Fusco, 2020).

Los *exergames* a menudo utilizan tecnologías que rastrean el movimiento del cuerpo y brindan, con un alto nivel de jugabilidad, un enfoque para realizar actividad física y así ayudar a las personas a ser más activas, mejorando su calidad de vida.

Hwang et al. (2012) mencionan que los tipos de ejercicio realizado ampliamente por las personas son los individuales y anaeróbicos (RIA), por ejemplo: cinta de correr, andar en bicicleta estacionaria, *hula hooping* y saltar la cuerda; y su popularidad se debe a que estos son simples y fáciles de aprender y traen efectos positivos en la salud física. Además, estos autores describen en su trabajo, cómo se pueden usar máquinas de ejercicios (caminadora, bicicleta fija, hula y cuerda de saltar) como *gamepads* aprovechando sus siguientes características:

- son instrumentos que gozan de popularidad,
- son fáciles de aprender,
- su naturaleza monótona y repetitiva es ideal para crear juegos que alivien dicha monotonía; y
- su mensurabilidad, ya que midiendo el grado de repetición e intensidad durante el ejercicio, se pueden emplear fácilmente métricas de ejercicio como entrada del juego; entonces, el equipo de ejercicio se convertiría en un controlador.

La supresión de los periféricos como el teclado y el *mouse* en las diferentes plataformas de control, han permitido la constante hibridación de los dispositivos de interacción por gestos; estos pueden ser aplicados en sistemas interactivos (como en los videojuegos) haciendo más agradable y motivante una terapia, un proceso de rehabilitación o el ejercicio físico en general.

Tanaka et al. (2012) reseñaron estos dispositivos de rastreo de movimiento (Wii Remote, Wii Balance, Playstation Move y Xbox 360 Kinect) señalando sus características, virtudes y desventajas; y concuerda en que más allá de las limitaciones respecto a velocidad y precisión de dichos dispositivos, el principal problema en el diseño de videojuegos con estos dispositivos está en el acceso del desarrollador a los mismos y sus interfaces de desarrollo. Los desarrolladores deben adquirir una licencia de los fabricantes para crear juegos para sus dispositivos y, muchas veces, laboratorios académicos y desarrolladores a pequeña escala no pueden acceder a ella o al sistema de desarrollo por su costo. Sony, Nintendo y Microsoft analizan detenidamente a las empresas que solicitan ser desarrolladores para asegurarse de que cumplen con un conjunto de criterios básicos, y no todos los que soliciten son aceptados. A la anterior lista de dispositivos se debe agregar el Oculus Rift, que nació como una iniciativa de código abierto a través de la plataforma Kickstarter; convirtiéndose rápidamente en el visor VR por excelencia de la generación, y a pesar de haber sido adquirido por Facebook en 2014 ofrece sus *developer kits*, sin las limitaciones de licencias de sus compañeros y manteniéndose vigente por sobre Xbox 360 Kinect y Playstation Move, pero con un precio base.

Actualmente se encuentran trabajos que se relacionan con el uso de realidad virtual y el sensado de movimiento. Por ejemplo, Shaw, Wünsche, Lutteroth, Marks, y Callies (2015) desarrollaron un *exergame* totalmente inmersivo que permitió a los jugadores viajar por un mundo virtual utilizando un Oculus Rift. La interacción se basaba en una combinación de una bicicleta estática, conectada a un microprocesador Arduino, que le permita al jugador pedalear físicamente para atravesar el mundo virtual y un Kinect para detectar el movimiento del jugador como inclinarse y agacharse para evitar obstáculos. Los resultados del estudio indicaron que el juego de realidad virtual aumentó significativamente el disfrute y la motivación del participante en comparación con la pantalla tradicional de una computadora portátil. El experimento anterior permitió demostrar que la realidad virtual (VR) se puede combinar con la tecnología de *exergames* para proporcionar experiencias de actividad física altamente inmersivas. Krekhov (2020) realizó un completo análisis de la tecnología VR con sus aciertos y desaciertos; y concluye en que no todos los videojuegos pueden ni deberían adaptarse a la tecnología VR. VR tiende a tomarse como una simple extensión o una adaptación a dicha interfaz; cuando en realidad, el camino para crear experiencias significativas, para aportar a la madurez de la tecnología y evadir los problemas de usabilidad, es diseñar VR desde cero; desde el origen de la producción del videojuego. No todas las tareas son

automáticamente mejores en VR y desde una relación costo-beneficio se debe considerar si la aplicación justifica usar un *casco HMD*<sup>1</sup>, experimentar posible *motion sickness*<sup>2</sup> y perder las ventajas de una computadora de escritorio.

Teniendo en cuenta lo explicado hasta aquí, los beneficios de los *exergames*, su relación con los dispositivos *gamepad* actuales en el mercado y las limitaciones de los desarrolladores en acceder a dichos dispositivos, esta tesina se propone aportar en el área de *exergames* a través de la propuesta de un *gamepad* y un pequeño videojuego para probarlo.

### 1.3. Estructuración de la tesina

El recorrido a realizar en esta tesina comienza con la definición del concepto de *exergames* en el capítulo 2. Se continuará con una reseña histórica; haciendo énfasis en su importancia; su papel en la actualidad y las tecnologías comerciales existentes para su implementación.

En el capítulo 3 se realiza un relevamiento de trabajos que resultan antecedentes valiosos para esta tesina. En el capítulo 4 se analizarán los requerimientos esperados del *gamepad*, objeto propuesto de esta tesina; estas condiciones serán las consideraciones de diseño y serán la base de la producción (*hardware/software*) del controlador de videojuegos. El capítulo 5 estará dedicado a la creación de un mini-videojuego *exergame* que servirá para probar la operatividad del *gamepad* descrito en el capítulo anterior. El capítulo 6 relatará las pruebas realizadas en conjunto con el *gamepad* y el videojuego propuesto en los capítulos anteriores; se ahondará en el contexto de las pruebas, sus participantes y el método utilizado para medir la usabilidad del controlador. El capítulo 7 se relevarán los resultados obtenidos del capítulo anterior y se descubrirán los resultados obtenidos de las encuestas usabilidad. Por último, el capítulo 8 detalla las conclusiones de este trabajo, junto con las líneas de trabajo futuro.

---

<sup>1</sup>*Head-Mounted Display*, casco de realidad virtual o gafas de realidad virtual es un dispositivo de visualización similar a un casco, que permite reproducir imágenes creadas por ordenador sobre una pantalla muy cercana a los ojos o proyectando la imagen directamente sobre la retina de los ojos.

<sup>2</sup>*Motion sickness* o mareo por movimiento es una sensación de mareo que ocurre debido a una diferencia entre el movimiento real y el esperado. Suele presentarse en viajes en automóvil, avión, barcos, viajes espaciales o simulación de la realidad. Los síntomas comúnmente incluyen náuseas, vómitos, sudor frío, dolor de cabeza, somnolencia, bostezos, pérdida de apetito y aumento de la salivación.



# Capítulo 2

## Marco teórico

### 2.1. Introducción

En este capítulo se hace un recorrido de algunos conceptos teóricos que conforman la base para que el lector cuente con las definiciones y los andamiajes necesarios para los capítulos posteriores.

### 2.2. Exergames

#### 2.2.1. Definición

En el mundo de los videojuegos existe una categoría definida como juegos serios dentro de la cual se encuentran los videojuegos orientados al ejercicio llamados *exergames*. El término *exergames* (EX) o videojuegos activos hace referencia a un formato de videojuegos interactivos que combina actividad física (AF) y juego; en otras palabras, el uso de elementos interactivos e inmersivos para estimular la movilidad del cuerpo y potenciar la actividad física a través del juego y la competencia. Según López Serrano, Suárez Manzano, Ruiz Ariza, y Martínez López (2017) estos videojuegos, a través de controladores especiales que se enumerarán en el capítulo 2.5, interpretan los movimientos corporales traduciendo el movimiento en 3 dimensiones y generando una conexión motriz entre el jugador y la aplicación.

### 2.2.2. Importancia y papel en la promoción de la actividad física

El auge tecnológico de los últimos años ha producido un cambio en el paradigma social, haciendo que la tecnología atraviese las esferas profesionales, personales, sociales, momentos de ocio de las personas; incluso en edades tempranas ya sea directa o indirectamente. Por lo cual, no es difícil encontrar en los hogares instrumentos tales como *smartphones*, *tablets*, consolas, etc. Según los últimos estudios realizados por la Asociación para la Investigación de Medios de Comunicación (AIMC), por ejemplo, los niños españoles pasan casi 5 horas diarias frente a alguna pantalla; los preadolescentes y adolescentes norteamericanos, según Wallace (2015), 4 horas y media y 6 horas y media respectivamente y; según Infobae y Branch (2021) los argentinos de entre 16 y 64 años hacen uso de la internet unas 9 horas diarias, de las cuales, 1 hora promedio la dedican a jugar videojuegos en alguna consola.

Las nuevas directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan “por lo menos de 150 a 300 minutos de actividad física aeróbica de intensidad moderada o vigorosa por semana para todos los adultos, incluidas las personas que viven con afecciones crónicas o discapacidad, y un promedio de 60 minutos al día para los niños y adolescentes” (Guerra, 2021).

López Serrano et al. (2017) enuncian que los *exergames*, al involucrar movimiento, se han convertido en una herramienta para promocionar un estilo de vida activo, incrementar los niveles de actividad física, y de esta manera impactar positivamente en la salud y condición física del usuario. Además, los *exergames* involucran actividades cognitivamente comprometedoras por lo que pueden considerarse instrumentos para incrementar el rendimiento cognitivo.

Para alcanzar un desarrollo óptimo, tanto físico como intelectual, es esencial crear hábitos saludables desde la infancia. Las “costumbres” adquiridas en estas etapas, tienden a repetirse durante el resto de la vida adulta, según han demostrado diferentes investigaciones. Al ocupar gran parte de la rutina del niño, es por ello, que la escuela se convierte en un lugar adecuado para desarrollar tales hábitos; y los *exergames* pueden resultar una propuesta en pro de la mejora de la salud de los docentes y profesionales del sector educativo; como una relación simbiótica entre la movilidad activa en la infancia y el tiempo dedicado al ocio digital y, de esta manera, construir estrategias en promoción de la salud tanto física como cognitiva.

López Serrano et al. (2017) también enumeran la influencia de los *exergames* en la mejora de la condición física y cognitiva. A continuación mencionaremos brevemente algunas de ellas.

A - A nivel físico

- **Incrementan el gasto calórico**, ya que se determinó que la práctica de *exergames* produce un gasto calórico entre ligero a moderado similar al que puede producirse caminando, saltando o corriendo;
- **Aumentan la frecuencia cardíaca** lo suficiente para mejorar la aptitud cardio-respiratoria;
- **Mejora la coordinación óculo- manual y óculo-pédica**, así como también el equilibrio, resistencia anaeróbica, fuerza y el control de la extremidades inferiores;
- **Favorece la condición física** en las actividades cotidianas.

B - A nivel cognitivo y académico

- **Influye favorablemente en las funciones ejecutivas** tales como inhibición, planificación, velocidad y flexibilidad cognitiva;
- **Posee influencia psicosocial:** si el juego posee actividades que requieran realizarse de manera conjunta, favorece la interacción y sociabilización generando relaciones de amistad entre los participantes; reduciendo el riesgo de aislamiento social y soledad;
- **Aumenta la autoestima**, la satisfacción de vida y la conducta social;
- **Genera autoeficacia:** ante la competencia que implica el concepto de juego en sí.

Los *exergames* recreativos también pueden ser útiles para la rehabilitación. Si bien no siempre son ajustables como los juegos de ejercicio terapéuticos, los *exergames* recreativos pueden ayudar a mantener una cantidad adecuada de actividad física a quienes no tienen acceso a la rehabilitación tradicional. Sin embargo, requieren más supervisión, ya que un *exergame* recreativo genérico puede que no esté orientado a ejercitar los músculos adecuados requeridos por el paciente.

## 2.3. Origen

El origen de los *exergames* se remonta a fines de la década de 1980. Entre uno de los primeros prototipos de *exergame* se encuentra *Craz Foot* (1987) para la videoconsola Atari 2600 (véase figura 2.1). Este videojuego se vendía con el periférico *Video Jogger*, una plataforma con sensores de

presión, sobre la que al pisar alternando entre los colores y trotar *in situ*, simulaba adelantar a contrincantes en un circuito cerrado. El mismo año, Nintendo, lanzó para su NES el Power Pad (Bandai, 1987), que consistía en el mismo mecanismo.



Figura 2.1: Video Jogger de Atari 2600

HighCycle y Virtual Racquetball, ambos desarrollados por Autodesk, fueron dos tipos tempranos de videojuegos que usaban aspectos rudimentarios del *exergaming*, con pantallas montadas en la cabeza. En HighCycle, una persona en una bicicleta estacionaria podría correr a través de un paisaje virtual proporcionado por un video. En 1986, lo que a menudo se considera el primer verdadero *exergame* llegó en forma de Computrainer de Racer-Mate, que permitía al usuario de una bicicleta de carretera pedalear a través de un paisaje virtual mientras veía la cadencia, la velocidad y otros datos generados en una pantalla adjunta. La mayoría de las unidades funcionaban con el Commodore 64.

En la década de 1990, VR Bike y VR Climber, una bicicleta reclinada y una máquina de paso, respectivamente, ambas desarrolladas por CyberGear, llegaron al mercado comercial. Sin embargo, varios problemas, como la electrónica defectuosa, el alto precio de compra, los diversos costos de mantenimiento y las dificultades operativas, condenaron a ambos desde el principio. La corporación Komami de Tokio ofreció Dance Dance Revolution (DDR) a fines de la década de 1990. DDR se convirtió en una sensación, vendiendo más de tres millones de copias y dando popularidad al *exergaming*, ya que los periodistas de salud informaron sobre la capacidad de los usuarios de *exergame* para perder grandes cantidades de peso.

La década de 2000 vio un aumento en el *exergaming*, ya que muchos de los problemas que afectaban a los *exergames* anteriores se resolvieron

en juegos como Cat-Eye Game Bike (Cat Eye Fitness), Exertris Interactive Gaming Bike (Exertris), EyeToy: Kinetic (Nike Motionworks), Gamercize (Gamercize) y Wii Fit (Nintendo). Wii Fit, lanzado en 2008, fue desarrollado por Shigeru Miyamoto, el creador de otros juegos populares de Nintendo, incluidos Mario y Donkey Kong. Wii Fit se volvió eficaz para proporcionar un buen entrenamiento que muchos hospitales lo incorporaron a sus programas de rehabilitación.

Los *exergames* han recorrido un largo camino desde finales de la década de 1980, y su popularidad fue en aumento en la segunda mitad de la década de 2010, debido a mejores gráficos de videojuegos y la introducción de nuevos juegos para aplicaciones para dispositivos móviles y tabletas.

En 2010, Microsoft presentó Kinect, un dispositivo *exergaming* que utilizaba tecnología de detección de movimiento y comandos hablados para controlar el juego; un avance significativo en lo que respectaba a la tecnología de detección de movimiento a la fecha.

La tendencia del *exergaming* dentro de las consolas alcanzó su punto máximo con los juegos Nike + Kinect Training (2012) y Wii Fit U (2013) con emparejamiento de podómetros. Estos fueron seguidos por Microsoft, quien anunció el lanzamiento de Xbox One (2013) y el servicio Xbox Fitness. Xbox One (2013) era capaz de rastrear métricas, como la frecuencia cardíaca, y sincronizar las mismas con el servicio Microsoft Health. Sin embargo, en 2017, Microsoft se alejó de Kinect y del *exergaming* en sus consolas. En 2019, Nintendo lanzó Fitness Boxing y Ring Fit Adventure para Nintendo Switch, que aprovechan los controladores Joy-Con que actúan como detectores de movimiento en múltiples áreas del cuerpo.

Al mismo tiempo, las aplicaciones para teléfonos móviles como Zombies, Run! (2012), Run An Empire, Ingress (2013) y Pokémon Go (2016) lograron hacer uso de las prestaciones de los mismos y convertirse en *exergames* de realidad aumentada.

Hacia finales de la década del 2010, la tecnología de realidad virtual entró fuerte en el mundo de *exergaming* con juegos como Beat Saber, Holodance y OhShape.

Comenzando el 2020, los *exergames* también demostraron ser especialmente útiles durante la pandemia de COVID-19, ya que fueron un gran motivador para la actividad física, que luchó contra los problemas causados por el estilo de vida sedentario. Los juegos de ejercicio eran especialmente importantes ya que la actividad física era crucial para combatir las en-

fermedades, estimulaban el sistema inmunológico, acortaba el período de recuperación del COVID-19 y reducía los efectos negativos del estrés por vivir aislado.

Por lo anterior, la pandemia de COVID-19 hizo que los *exergames* aumentaran su popularidad, pero también produjo retrasos en la industria. Ring Fit Adventure (2019) se agotó en la mayoría de las tiendas minoristas en todo el mundo. China, que fue tempranamente afectada por la pandemia no pudo satisfacer la demanda, lo que provocó escasez y un encarecimiento del precio, pasando este de USD79.99 a USD170 en los sitios web de venta Samit (2020). Más tarde, Nintendo lanzó Jump Rope Challenge (2020) de forma gratuita, y por un tiempo limitado en un esfuerzo por mantener activos sus usuarios de Switch durante la cuarentena. Al 30 de septiembre de 2020, se ha registrado que los jugadores realizaron 2.5 mil millones de saltos en total.

La pandemia también retrasó varios productos de realidad virtual, como Valve Index, y títulos como Marvel's Iron Man VR y Little Witch Academia: VR Broom Racing.

Los centros médicos, indican Corregidor Sanchez et al. (2021), también recurrieron a *exergames* terapéuticos durante la pandemia de COVID-19 debido a que algunos de estos *exergames* se pueden ajustar a las necesidades de ejercicio de cada paciente, haciéndolos adecuados para los pacientes con COVID-19 cuya movilidad se volvió limitada o los pacientes de edad avanzada, que fueron los más afectados por COVID-19.

## 2.4. *Exergames*, inmersión y locomoción basada en movimiento

En su trabajo relacionado a la rehabilitación cardiológica, Bond, Laddu, Ozemek, Lavie, y Arena (2019) enuncian que las tecnologías de realidad virtual pueden proporcionar un entorno atractivo e inmersivo para las técnicas de *exergaming*, maximizando el entrenamiento orientado a objetivos y desarrollando la autoeficacia de los pacientes durante las sesiones de rehabilitación. Muchas instituciones pioneras ya están calculando el gasto de energía de los juegos de realidad virtual comercialmente exitosos y encuentran prometedoras las respuestas cardiometabólicas a una serie de juegos de realidad virtual. Como tecnología que depende de la sensación de inmersión total, la realidad virtual pide fundamentalmente a los usuarios que se muevan a través de su entorno como si estuvieran físicamente presentes dentro

del mundo inmersivo y, como tal, se les puede pedir que realicen actividad física de acuerdo con la mecánica del juego.

Caminar es recomendado como un excelente ejercicio para aumentar el gasto energético, reducir la masa corporal y alcanzar una mejora cardiovascular. Marti, Álvarez Pitti, Guixeres Provinciale, Lisón, y Baños Rivera (2015) mencionan que algunos videojuegos *exergame* involucran al jugador en carreras de marcha física virtual que, por el lado de la salud, involucra los principales grupos musculares del cuerpo y, por el lado lúdico e inmersivo, da al jugador una falsa sensación de movimiento natural en el mundo del juego a través de movimientos repetitivos. Al mover los brazos y/o caminar en el mismo lugar, se alcanza una sensación mucho más matizada del juego a que si simplemente se estuvieran empujando *joysticks*.

Si bien la locomoción basada en el movimiento es la forma más adecuada en que se puede aplicar ejercicio a un videojuego; originalmente se desarrolló como un enfoque de interfaz y experiencia de usuario en el entorno VR.

Las técnicas de locomoción en realidad virtual reseñadas por Cherni, Métayer, y Souliman (2020) se clasifican en las siguientes:

- **Centradas en el cuerpo del usuario:** con el fin de aumentar la sensación de movimiento propio del usuario, mejorar la percepción espacial, la orientación y la experiencia del usuario; varios estudios intentaron encontrar la mejor técnica de locomoción que involucre el movimiento del cuerpo para caminar por el entorno virtual. Dentro de las técnicas de locomoción centradas en el cuerpo se pueden mencionar las siguientes alternativas:
  - **locomoción basada en la inclinación** donde la acción de caminar se logra inclinando todo el cuerpo o solo partes de él en la dirección deseada. La propia inclinación puede detectarse mediante tecnologías de seguimiento estándar o especial. Según la o las partes del cuerpo involucrada en dicho seguimiento, las técnicas se pueden clasificar en: **basadas en el seguimiento del movimiento de**
    - la cabeza,
    - del tronco,
    - del brazo (*Arm-Swinging*<sup>1</sup>),
    - de los pies (*WIP* o *Walking In Place*) y
    - combinaciones de las anteriores técnicas

---

<sup>1</sup> *Arm-Swinging*, o método de balanceo de los brazos, es una de técnica que permite al usuario avanzar a través del mundo virtual cuando este mueve los brazos.

- **simulación de caminata:** con el propósito de capturar los beneficios de la caminata real, varios estudios utilizaron la técnica de locomoción *redirected walking* la cual permite a los usuarios explorar un mundo virtual que es considerablemente más grande que la habitación donde se encuentra el usuario. Esta técnica funciona girando interactivamente la escena virtual sobre el usuario, de modo que estos son guiados imperceptiblemente por un camino físico que difiere del camino que se percibe en el mundo virtual y manipulando las transformaciones de movimientos reales a virtuales.
- **Centradas en periféricos externos:** A diferencia de las técnicas centradas en el cuerpo del usuario, este enfoque utiliza técnicas de locomoción intuitivas y el rastreo de señales mediante el uso de periféricos externos. Las técnicas de locomoción que pertenecen a esta categoría se dividen en:
  - **Semi-naturales**
  - **No-naturales**
- **Mixtas:** son una combinación de técnicas centradas en el cuerpo del usuario y las orientadas a periféricos externos

Este trabajo abarcará la técnica basado en el seguimiento de movimiento de pies “caminata en el lugar” o *Walking-in-place (WIP)* que es lo más cercano a simular caminar en el mundo real. Este método rastrea el movimiento de los pies del usuario y luego, traduce el mismo en movimiento en el entorno virtual. De este modo, alienta a los usuarios a involucrar todo su cuerpo en una forma realista de caminar tanto como sea posible, pero sin avanzar realmente.

Los resultados de los estudios que comparan esta técnica de locomoción con otros métodos, demostraron que *Walking-in-Place* supera a la mayoría de estas técnicas, ya que el espacio habitacional requerido para ejecutarla es menor y disminuye la probabilidad de sufrir *motion sickness*. Sin embargo, presenta algunos puntos débiles. Cherni et al. (2020) reseñan los siguientes:

- Requiere conectar sensores al cuerpo del usuario; algunos estudios intentaron resolver estos problemas utilizando otros parámetros para detectar la marcha como la posición y orientación del casco VR.
- No genera un buen nivel de inmersión, ya que los usuarios imitan caminar sin caminar realmente.
- Produce fatiga en el usuario que debe estar de pie por periodos prolongados; esto descartaría el método como una solución adecuada para explorar un entorno virtual significativamente grande porque tomaría

una cantidad considerable de tiempo y energía física.

Sin embargo, Krekhov (2020) también hace un relevamiento de la técnica *Walking in Place* y resalta que la decisión de incluirla o no en un videojuego es una cuestión de diseño y dependerá de ¿cuál es la audiencia objetivo del juego? ¿qué tan importante es la exploración? y ¿qué otros eventos ocurren mientras se camina en el mundo virtual?

## 2.5. Controladores de juego comerciales utilizados en la implementación de *exergames*

Como se ha visto en la sección anterior 2.3, existen múltiples plataformas comerciales sobre las que pueden correr los *exergames*, entre las más conocidas se pueden mencionar Nintendo Wii, Kinect de Microsoft, PlayStation Move de Sony, etc.

Los productos de algunos fabricantes de *exergame* incluyen PlayStation de Sony, Xbox de Microsoft y Wii Fit y Wii Fit Plus de Nintendo y Oculus Rift/Quest de Oculus VR/Facebook. Las opciones de ejercicios pueden incluir categorías como baile, boxeo, yoga, aeróbicos o andar en bicicleta. Los fabricantes pueden apuntar a diferentes preferencias de los consumidores. Por ejemplo, Wii Fit se anuncia como un entrenamiento básico, un régimen de ejercicios que enfatiza los movimientos controlados más lentos, por lo que las personas pueden optar por aprovechar los ejercicios que ofrece este sistema para fines de estiramiento, tonificación y equilibrio. No obstante, muchas de ellas presentan una serie de limitaciones: disponibilidad económica para adquirirlos, la necesidad de disponer de un aparato específico para su funcionamiento, o incluso, espacio ambiental necesario. A continuación, se dará la definición de controlador de juego y se hará un relevamiento de cuatro tecnologías comerciales orientadas a la detección de movimiento.

### 2.5.1. Controladores de juego

Un controlador de juego o simplemente controlador o *gamepad*, es un dispositivo de entrada que se usa en videojuegos o sistemas de entretenimiento típicamente para controlar un objeto o personaje en el juego. Normalmente, un controlador está conectado a una consola de videojuegos (vídeoconsola) o a un ordenador, ya sea de manera física (a través de algunos de los puertos de la consola o USB) o inalámbrica. Estos dispositivos de entrada que

se han clasificado como controladores de juegos incluyen teclados, ratones, *joypads*, *joysticks*, etc. así como también aquellos de propósito especial como volantes para de conducción, pistolas ligeras, almohadillas direccionales, guitarras, detección de movimiento, pantallas táctiles, etc.

Los controladores que se incluyen con la compra de una consola doméstica se consideran “controladores estándar”, mientras que los que pertenecen a ofertas de terceros se consideran “controladores periféricos”.

Los controladores de juegos han evolucionado a lo largo de los años para ser más sencillos de utilizar y adaptarse mejor a un tipo de juego, por ejemplo, los volantes para juegos de conducción, pistolas ligeras para juegos de disparos, almohadillas de baile para juegos de baile y guitarras para juegos de ritmo.

Para este estudio se reseñaran dos tipos de controladores que serán centrales en el desarrollo de la propuesta de esta tesina en el capítulo 4.

#### **2.5.1.1. Controlador mando *joypad***

El *joypad* suele consistir en varios botones de acción combinados con uno o más botones o palancas de control omnidireccionales. El jugador debe sostenerlo con ambas manos y acciona los botones y palancas del mismo, usando los dedos pulgar, índice y medio. Los botones de acción generalmente se manejan con los dedos de la mano derecha mientras que la entrada direccional se maneja con los de la izquierda.

Los *joypads* son el medio principal de entrada en la mayoría de las consolas de videojuegos modernas. Debido a la facilidad de uso y la naturaleza amigable para el usuario, este formato de controlador se ha extendido desde las consolas tradicionales hasta las computadoras personales siendo un sustituto habitual al teclado y el *mouse*. La mayoría de los controladores de juegos modernos son una variación de un *joypad* estándar.

#### **2.5.1.2. Controlador por detección de movimiento**

Un controlador por detección de movimiento es un tipo de controlador de juego que, a través del uso acelerómetros u otros sensores, rastrea el movimiento que lleva a cabo el jugador y proporciona dicha información al videojuego.

A lo largo de los años y avance tecnológico, son varias las formas que se han utilizado para implementar esta clase de controladores. El sistema

Wii de Nintendo lanzado en 2006 utiliza el control remoto de Wii, que usa acelerómetros para detectar su orientación y aceleración aproximadas y un sensor de imagen para usarse como un dispositivo señalador. PlayStation Move para el sistema PlayStation de Sony tienen capacidades de detección de movimiento similares. En 2010, Microsoft lanzó Kinect para Xbox 360; este controlador de detección de movimiento utiliza cámaras para rastrear el movimiento del jugador. Nintendo Switch utilizó controladores con giroscopios para crear un puntero sin cámara.

### 2.5.2. Kinetic (2010 - 2017) Microsoft

Kinect es una línea de dispositivos de entrada de detección de movimiento producidos por Microsoft y lanzados por primera vez en 2010. Estos dispositivos se distinguen de sus competidores, ya que no necesitan un controlador físico. Básicamente, consisten en cámaras RGB, proyectores y detectores de infrarrojos capaces de mapear la profundidad a través de luz estructurada, esto complementado con “cálculos de tiempo de vuelo”<sup>2</sup>, puede usarse para realizar reconocimiento de gestos en tiempo real y detección del esqueleto corporal, entre otras capacidades. También contienen micrófonos que se pueden usar para reconocimiento y control por voz.

Fue lanzado por primera vez el 4 de noviembre de 2010 y vendió ocho millones de unidades en sus primeros 60 días de disponibilidad. La mayoría de los juegos desarrollados para Kinect fueron títulos casuales orientados a la familia, que ayudaron a atraer nuevas audiencias a Xbox 360, pero no llevaron a una amplia adopción del periférico entre la base de usuarios general de la consola.

En 2013, Microsoft presentó al sucesor de Xbox 360, Xbox One, junto a una versión de segunda generación de Kinect con capacidades de seguimiento mejoradas. Microsoft también anunció que Kinect sería un componente obligatorio de la consola y que no funcionaría a menos que el periférico esté conectado. El requisito resultó polémico entre los usuarios y los críticos debido a preocupaciones de privacidad, lo que llevó a Microsoft a dar marcha atrás en la decisión. Más tarde, Microsoft ofreció la consola Xbox One sin Kinect incluido hasta que finalmente, revisiones posteriores de la consola eliminaron los puertos dedicados que se usaban para conectarla (requiriendo un adaptador USB con alimentación en su lugar). Microsoft finalizó la

---

<sup>2</sup>**Cálculos de tiempo de vuelo** son ecuaciones de movimiento parabólico para definir la trayectoria y composición de un movimiento rectilíneo uniforme en el eje X y un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado en el eje Y.

producción de Kinect para Xbox One en octubre de 2017.

Tras su lanzamiento, Kinect obtuvo opiniones generalmente positivas de revisores y críticos. CNET puntuó a la consola con 7 sobre 10 y elogió el concepto “sin controlador”, el sensor de movimiento de cuerpo completo, la sólida biblioteca de juegos, el control por voz y la capacidad de mantener activo al jugador (Bakalar, 2010).

La revisión de TechRadar, Engadget y Gizmodo elogiaron la poderosa tecnología del sistema y el potencial de sus juegos de yoga y danza (Rivington, 2010).

Entre sus debilidades, CNET criticó la curva de aprendizaje que implica usar dicho dispositivo, la inestabilidad que se presenta en la navegación entre menús, el elevado espacio en memoria que utiliza, el espacio habitacional requerido para jugar; la condición que la mayoría de los juegos requieren que el jugador esté de pie y la insatisfacción que puede provocar en los jugadores que no están interesados en hacer ejercicio y el requerimiento de una fuente de alimentación adicional (si se utiliza una de las consolas Xbox 360 más antiguas).

TechRadar cuestionó el valor de USD149.99 por una cámara de seguimiento de movimiento y la lentitud de la interfaz para reconocer los gestos manuales o los movimientos que no producen cambios de profundidad, como puede ser la rotación axial del brazo. Gizmodo expresó curiosidad sobre cómo los títulos más convencionales (por fuera del ámbito de yoga y danza) utilizarían la tecnología.

Kinect también se ha utilizado como parte de aplicaciones, no relacionadas con los juegos, en entornos académicos y comerciales, ya que era más barato y más robusto en comparación con otras tecnologías de detección de profundidad en ese momento. Si bien Microsoft inicialmente se opuso a tales aplicaciones, luego lanzó kits de desarrollo de software (SDK) para el desarrollo de aplicaciones de Microsoft Windows que usan Kinect. Cooper (2020) señala como, a 10 años de su lanzamiento, Kinect se ha alejado del ambiente de los juegos, pero ha encontrado su lugar en entornos médicos y profesionales.

En 2020, Microsoft lanzó Azure Kinect, una cámara de profundidad con sensores de movimiento, como una continuación de la tecnología; integrada con la plataforma de computación en la nube Microsoft Azure y que puede funcionar en equipo con sus gafas de realidad mixta. Esta tecnología es capaz de reconocer objetos en 3D gracias a su IA y utilizarse para, por

ejemplo, realizar un inventario automático de un almacén, cálculos de espacio, seguridad, comunicación por gestos, prevención de caídas en ámbitos hospitalarios, etc. Parte de la tecnología Kinect también se utilizó dentro del proyecto HoloLens<sup>3</sup> de Microsoft.

A la fecha, la cámara Azure Kinect no se pondrá a la venta al público y solo se venderá a profesionales a un precio de 399 dólares.

### 2.5.2.1. Ventajas y desventajas para desarrolladores de *exergames*

La interfaz Kinect tiene grandes ventajas sobre las otras interfaces que utilizan controladores de movimiento. En su trabajo, Tanaka et al. (2012) señalan que la poderosa interfaz de Kinect permite que el sistema de juego reconozca no solo los diversos movimientos de un jugador sino también a otros objetos en el campo. Eso significa que proporciona suficientes datos para crear un entorno de Realidad Aumentada (AR) que permita a los jugadores interactuar con objetos virtuales en el mundo real. Para desarrollar dichas aplicaciones, en 2010 se creó un marco de código abierto: OpenNI (*Open Natural Interaction*), un proyecto enfocado en favorecer la compatibilidad e interoperabilidad de dispositivos, aplicaciones y *middlewares* que permitieran la construcción de Interfaces Naturales. Los desarrolladores podían acceder al OpenNI *Software Development Kit (SDK)* para el desarrollo de aplicaciones; el mismo facilita la comunicación a bajo nivel con los dispositivos de video y audio de Kinect y comunicaciones a alto nivel para realizar seguimiento del cuerpo del jugador (Jurado, Albusac, Castro, y Vallejo, 2015).

Un problema fundamental de Kinect está en su discontinuación producida en 2017; si bien puede considerarse a Azure Kinect como su sucesor; dicho dispositivo no está a la venta al público. Los desarrolladores pueden conseguir Azure Kinect DK por USD399 y su SDK está prometido ser *open-source* aunque aún no ha sido liberado.

### 2.5.3. Playstation Move (2010 - ) Sony

*PlayStation Move* es un controlador de juegos de movimiento desarrollado por *Sony Computer Entertainment*. Fue lanzado en 2010 para su uso con

---

<sup>3</sup>**HoloLens** es el dispositivo insignia de la plataforma de realidad mixta *Windows Mixed Reality*, introducida como parte del sistema operativo Windows 10. Proporciona experiencias holográficas y de realidad mixta con pantallas compatibles HMD.

la consola de videojuegos PlayStation 3, siendo compatible con su sucesora, la PlayStation 4, en 2013 y la PlayStation 5 en 2020.

Conceptualmente similar a la Wii de Nintendo remota y Microsoft 's Kinect, Move surge de los primeros trabajos en EyeToy (1999), un controlador basado en cámara web para PlayStation 2 que consistía en seguimiento de varitas de colores 3D. Con la aparición de sensores inerciales asequibles y el éxito de la “varilla” del controlador de movimiento Wii Remote, en 2008; Sony comenzó a trabajar en la producción de su propia varilla controladora de movimiento. Se revisó el concepto de “seguimiento de esfera” para usarlo con PlayStation Eye y se integró sensores inerciales para refinar el dispositivo.

El controlador de movimiento fue revelado en la conferencia de prensa de Sony E3 2009 el 2 de junio de 2009, con una demostración en vivo usando un prototipo. Poco después de revelar el controlador de movimiento a los desarrolladores, Sony indicó que estaba explorando la posibilidad de utilizar un controlador por movimiento con un *joypad* estándar de PlayStation 3, en un nuevo esquema de control por combinación mediante el cual, el jugador pudiese, por ejemplo, usar el controlador de movimiento como una espada y el DualShock 3 como un blindaje. Un esquema similar se mostró en el Tokyo Game Show para Biohazard 5: Alternative Edition (septiembre de 2009) y, aunque los usuarios encontraron que la configuración funcionaba bien, algunos observaron que sostener un DualShock con una mano era algo incómodo. En enero de 2010, Sony anunció el lanzamiento de Playstation Move.

El componente principal de PlayStation Move, es un controlador de tipo varita que permite al usuario interactuar con la consola a través del movimiento y sensores que miden la posición y orientación frente a la cámara de la consola PlayStation; este controlador cuenta con un orbe que puede brillar en cualquiera de una gama completa de colores utilizando diodos emisores de luz (LED) RGB. La cámara se encarga de detectar los colores del entorno del usuario y según estos, el sistema selecciona dinámicamente un color para el orbe que se pueda distinguir del resto de la escena. El tamaño del orbe del controlador, junto con la forma esférica y el color de la luz permiten que el sistema determine fácilmente la distancia del controlador a la cámara a través del tamaño de la imagen de la luz, lo que permite rastrear y calcular la posición del controlador en tres dimensiones con alta precisión, exactitud y una latencia de procesamiento mínima, a diferencia de otras técnicas de control basadas en la cámara en la PlayStation 3.

Como complemento, el controlador posee además un par de sensores inerciales en su interior, un acelerómetro lineal de tres ejes y un sensor de velocidad angular de tres ejes. Estos se utilizan para rastrear la rotación y el movimiento general, sobretodo cuando el seguimiento de la cámara es insuficiente al quedar el controlador oculto detrás del jugador; en estos casos, los sensores inerciales estiman su ubicación en relación a la cámara. Un magnetómetro interno se utiliza para calibrar la orientación del controlador contra el campo magnético de la Tierra y ayudar a corregir el error acumulativo (deriva) de los sensores inerciales. Además, se utiliza un sensor de temperatura interno para ajustar las lecturas del sensor de inercia contra los efectos de la temperatura.

El controlador dispone de un botón primario (Move), rodeado de botones de acción pequeños (Triángulo, Circulo, Cruz, Cuadrado), y un botón de PS de tamaño regular debajo. En el lado izquierdo y derecho del controlador hay un botón Seleccionar e Iniciar, respectivamente. En la parte inferior hay un disparador analógico (T). En el extremo posterior del controlador está la muñequera, el puerto USB y el puerto de extensión.

Tras su lanzamiento, Move recibió revisiones positivas por parte de los críticos Westaway (2010), Chen (2010), Miller (2010) y Bolton (2019); todos acordaron que Sony logró darle su propio giro al concepto del controlador de estilo remoto del que Nintendo fue pionero y avalaron la precisión del movimiento, aunque ocasionalmente inexacto, un delay casi inexistente y la relativa facilidad con la que se calibraba el gamepad.

Por la parte negativa, Westaway (2010), comparó a Move con su competidora de Nintendo, la cual es capaz de rastrear el movimiento de hasta 4 jugadores mientras que Move solo admite 2 jugadores; el precio de la cámara (USD80) que se vende por separado de la consola al igual que los controladores de tipo varilla (USD70).

Chen (2010) enuncia que Move “no tiene nada que ofrecer que Nintendo no haya hecho ya”; e imitar los “juegos de fiestas” para los jugadores casuales tales como arquería, peleas de espada, *golf*, *ping pong* y *voleyball* es una pelea perdida; ya que Wii ofrece lo mismo y con una precisión superior. En este caso, Sony tiene a su favor que es creador de videojuegos *hardcore* que son considerados clásicos de su plataforma como *God of War*, *Metal Gear Solid* y *Shadow of the Colossus*, pero se indica que no ha sabido adaptar el espíritu de los mismos al ámbito de la consola Move. En cambio, Move se utiliza para realizar acciones mundanas como abrir puertas, afeitarse, abrir grifos y, a veces, acciones muy urgentes como esquivar un puñetazo, patear

o saltar un abismo.

Bolton (2019), por su parte apuntó contra los requerimientos de espacio de Move, ya que algunos juegos requieren que el jugador se posicione a 2.5 metros de la cámara mientras que la Wii es menos exigente en términos de espacio.

### 2.5.3.1. Ventajas y desventajas para desarrolladores de exergames

Para Tanaka et al. (2012) Move es un buen controlador, si lo que se quiere es sentir los movimientos de la parte superior del cuerpo; pero resulta ineficiente para la parte inferior del cuerpo; la cual se podría estimar mediante el uso de cinemática inversa con peor precisión. En otras palabras, si se quisiese implementar una caminata inmersiva sería posible mediante la técnica de locomoción basada en inclinación *Arm-Swinging*, pero no mediante *Walking-in-Place*.

En 2020 se liberó a la plataforma de repositorio Github la librería PS Move API, compatible con Linux, Microsoft y Mac para acceder al controlador de movimiento Sony Move a través de Bluetooth y USB directamente desde la PC sin necesidad de una PS3. Para realizar el seguimiento de los controladores se necesita una PS Eye (en Linux, Windows o macOS), una cámara iSight (en macOS) o cualquier otra cámara adecuada. Esto significó una excelente noticia para los desarrolladores de juegos para PC; sin embargo, desarrollar juegos para la consola PlayStation requiere un kit de desarrollo, el mismo con un costo aproximado de €550. Actualmente Move pasó a formar parte de la experiencia VR (realidad virtual) que ofrece PlayStation. En su página oficial PlayStation (s.f.) indica que los aplicantes deben ser entidades legales como compañías o corporaciones. En algunas regiones de la Unión Europea, se aceptan desarrolladores en solitario que posean su propia empresa y VAT<sup>4</sup> registrado.

### 2.5.4. Switch (2017 - ) Nintendo

*Nintendo Switch* es una consola de videojuego desarrollado por Nintendo y lanzado el 3 de marzo de 2017. La consola en sí es una tableta que puede usarse como consola de sobremesa o utilizarla como un dispositivo portátil, se la considera una consola híbrida. Posee dos controladores inalámbricos,

---

<sup>4</sup> **VAT** (**Value Added Tax**) es un identificador único y acreedor de que una empresa puede operar en territorio europeo

“Joy-Con” llamados individualmente “Joy-Con L” y “Joy-Con R”, que se conectan a la consola Switch a través de rieles laterales mediante un mecanismo de bloqueo, con un pequeño botón de liberación en la parte posterior para permitir su extracción. Cuando se separan, un solo jugador puede usarlos como un par, unirlos a una empuñadura que emula un *joypad*, o usarlos como controladores separados por dos jugadores individuales. Una sola consola Switch puede admitir hasta ocho conexiones Joy-Con.

Cada Joy-Con está compuesto por botones estándar, palancas analógicas direccionales, un acelerómetro y un giroscopio, que se pueden utilizar para detección de movimiento. Joy-Con R contiene un sensor de seguimiento de profundidad infrarrojo que puede detectar objetos y movimientos que se realicen frente a él. Por ejemplo, Nintendo afirmó que el sensor podía distinguir gestos manuales de tipo piedra, papel o tijera.

Los Joy-Con contienen un motor de retroalimentación háptica<sup>5</sup> conocido como *HD Rumble*<sup>6</sup>, que fue desarrollado en asociación con Immersion Corporation<sup>7</sup>. Nintendo declaró que el sistema podría generar una respuesta táctil fina, como la sensación de cubitos de hielo individuales y agua en un vaso.

Durante la última década, Nintendo se ha establecido como el hogar de los *exergames*. El 18 de octubre de 2019, se lanzó al mercado el sucesor de Wii Fit, Ring Fit Adventure, un juego de rol tipo RPG<sup>8</sup> de *fitness* que fomenta una actitud más amigable hacia el ejercicio físico. El Ring Fit viene con dos componentes físicos: el Ring-Con, un anillo de Pilates que sujeta al usuario con un espacio para conectar un Joy-Con, y una pieza de tejido que se fija a la pierna del usuario con un espacio para conectar un Joy-Con, este se lo conoce como “Leg Strap” o Correa de Pierna. El juego cuenta con modo historia tipo RPG donde el jugador junto a un anillo mágico de pilates debe rastrear y derrotar a un malvado dragón. En su búsqueda, el jugador trota a través de distintos paisajes y participa en batallas por turnos contra monstruos relacionados con el *fitness* (una mancuerna luchadora, una alfombra

---

<sup>5</sup>La **tecnología háptica**, también conocida como comunicación cinestésica o toque 3D, se refiere a cualquier tecnología que a través de la aplicación de fuerzas, vibraciones o movimientos es capaz de crear una experiencia táctil en el usuario.

<sup>6</sup>**HD Rumble** o Vibración HD permite sentir u oír ciertos objetos o situaciones que se encuentren en el juego.

<sup>7</sup>**Immersion Corporation** es un desarrollador de tecnología de retroalimentación táctil, también conocida como tecnología háptica.

<sup>8</sup>**RPG** o juego de rol, es un género de videojuegos donde el jugador controla las acciones de un personaje (o de diversos miembros de un grupo) inmerso en algún detallado mundo.

de yoga, etc). Para avanzar, atacar o defender, se deben realizar ejercicios que son sensados a través del Ring-Con y la Leg Strap. Por ejemplo, para que el personaje corra se debe simular dicho movimiento, para defenderse se debe poner el Ring-Con contra el abdomen y para atacar deberá asumir distintas posturas. Algunos monstruos serán particularmente débiles para mover las piernas, por ejemplo. Con cuatro tipos de movimientos diferentes disponibles (piernas, brazos, abdominales y yoga), Ring Fit Adventure proporciona un excelente entrenamiento para todo el cuerpo y, aunque algunos niveles pueden enfocarse en un grupo muscular sobre otro, la opción de usar diferentes tipos de movimientos mantiene los entrenamientos equilibrados y evita que el jugador se canse demasiado rápido.

Durante el 2020, la demanda del juego aumentó drásticamente, en gran parte debido a la Pandemia de COVID-19 y a las clausuras de gimnasios y otras instalaciones de ejercicio. Esto ocasionó escasez del juego y que algunos revendedores ofertaran el juego a alrededor de USD300, cuando su precio de venta era alrededor USD80.

Ring Fit Adventure recibió críticas generalmente favorables; muchos críticos coinciden en que, si bien no está diseñado para el entrenamiento de fuerza, es un ejercicio eficaz para mantenerse en forma. Los elementos RPG del juego son muy simplistas. Esto permite a los jugadores casuales de videojuegos jugar con facilidad, pero que puede ser decepcionante para los fanáticos de los juegos de rol que quieren un desafío más estratégico.

#### **2.5.4.1. Ventajas y desventajas para desarrolladores de exergames**

El concepto del Switch surgió como la reacción de Nintendo a varios trimestres de pérdidas financieras en 2014, atribuidas a las bajas ventas de su consola anterior, la Wii U y la competencia en el mercado de los juegos móviles. El entonces presidente de Nintendo, Satoru Iwata, impulsó a la compañía hacia los juegos móviles y el hardware novedoso. Nintendo optó por utilizar componentes electrónicos más estándar, como un conjunto de chips basado en la línea Tegra de Nvidia, para que el desarrollo de la consola sea más fácil para los programadores y más compatible con los motores de juegos existentes; además de contar con una *Java Virtual Machine* la cual es una alternativa amigable para los desarrolladores *indie*. Como la Wii U había tenido problemas para obtener soporte externo, dejándola con una biblioteca de software débil, Nintendo buscó preventivamente el apoyo de muchos desarrolladores y editores externos para ayudar a construir la biblioteca de juegos de Switch junto con los títulos propios de Nintendo,

incluidos muchos estudios independientes de videojuegos. Dicho esto, aun se necesita contar con un Kit de Desarrollo. Este se solicita al registrarse en el sitio de desarrolladores de Nintendo y su precio es de €417. Para obtener acceso a la plataforma de publicación se debe superar el proceso de aceptación. Esto puede tomar hasta varios meses aunque es significativamente más fácil si un editor, ya establecido respalda el juego que se desea publicar. En general, se sabe que Nintendo acepta más a los desarrolladores *indie* que compañías como Sony o Microsoft, pero esto no está garantizado.

### 2.5.5. Oculus (2019 - ) Facebook/Meta

Oculus Quest es un visor de realidad virtual (VR) desarrollado por Oculus, una división de Facebook, lanzado al mercado el 21 de mayo de 2019.

Al igual que su predecesor, Oculus Go, es un dispositivo independiente que puede ejecutar juegos y software de forma inalámbrica en un sistema operativo basado en Android. Admite el seguimiento posicional con seis grados de libertad<sup>9</sup>, utilizando sensores internos y una serie de cámaras posicionadas en la parte frontal del visor; este sistema de rastreo es conocido como Oculus Insight. Oculus Quest usa controladores Oculus Touch (véase figura 2.2) de segunda generación. Este par de unidades portátiles, consta de una palanca analógica, tres botones y dos gatillos (uno comúnmente utilizado para agarrar y el otro para disparar) y un sistema para detectar los gestos con los dedos que el usuario puede realizar mientras los sostiene. El anillo en cada controlador contiene un conjunto de LED's infrarrojos, lo que permite que los controladores sean rastreados tridimensionalmente por las cuatro cámaras ubicadas una en cada esquina frontal del visor, lo que les permite ser representados en el entorno virtual. Cada controlador cuenta con un motor retumbante para retroalimentación háptica y un acelerómetro que, combinado con otro acelerómetro presente en los auriculares y algoritmos de inteligencia artificial, son capaces de predecir la trayectoria de los controladores cuando están fuera del campo de visión de las cámaras.

Oculus Quest recibió críticas mayormente positivas, Stein de CNET alabó el tamaño y precio de USD399, y lo comparó con Nintendo Switch en términos de conveniencia. También elogió su sistema de cámaras, controles

---

<sup>9</sup>**Seis grados de libertad** se refiere a la libertad de movimiento de un cuerpo rígido en un espacio tridimensional. Específicamente, el cuerpo es libre de cambiar de posición hacia adelante / atrás (aumento), arriba / abajo (levantamiento), izquierda / derecha (balanceo) traslación en tres ejes perpendiculares, combinados con cambios en la orientación a través de la rotación alrededor de tres ejes perpendiculares, a menudo denominados guiñada (eje normal), cabeceo (eje transversal) y balanceo (eje longitudinal).

de movimiento, y su calidad de gráficos, que a pesar de ejecutarse sobre hardware *mobile*, esta más cerca de la calidad de PC que lo que estuvo su antecesor, Oculus Go.

Oculus Quest también fue criticada por la pesada construcción frontal del visor, la calidad de gráficos degradada en comparación con los juegos de realidad virtual basados en PC, la restricción a solo ejecutar videojuegos *mobile*, los controladores poco ergonómicos y la necesidad de contar con una cuenta de Facebook para utilizar el dispositivo, plataforma que ha quedado en el ojo de la tormenta por recopilar datos de sus usuarios de modo ilegal (iProUp, 2021).

En el campo exergame, Oculus Quest cuenta con varios juegos; uno de ellos es FitXR, un juego de *fitness* diseñado para la realidad virtual. Ofrece entrenamientos de tipo HIIT<sup>10</sup>, baile y boxeo para todos los niveles de condición física, de modo que principiantes hasta atletas puedan beneficiarse. Otro juego es HappyRun, un simulador de senderismo donde el jugador recorre caminos a través de bosques y montañas utilizando la técnica *Walking in Place*.



Figura 2.2: Visor de VR Oculus Rift (imagen superior) - Controladores Oculus Touch (imagen inferior)

#### 2.5.5.1. Ventajas y desventajas para desarrolladores de exergames

Para desarrollar para Oculus Quest, a diferencia de los equipos anteriormente reseñados, no se requiere adquirir un *developer kit* adicional, si

---

<sup>10</sup>**HIIT** o entrenamiento de intervalos de alta intensidad, se enfoca en realizar ráfagas cortas e intensas de ejercicio.

se requiere contar con un equipo Oculus Quest, activar el modo desarrollador en el mismo y registrarse en la página de Facebook Developers como desarrollador Oculus.

De optar por desarrollar un videojuego *exergame* con caminata inmersiva y por tratarse de una tecnología VR, Oculus no ha podido evadir de manera nativa el *motion sickness* ni la pérdida de la percepción espacial que experimentan los jugadores al no poder ver el entorno real a sus alrededores mientras juegan. Ha quedado en cada desarrollador implementar la manera en que el juego y la plataforma (*software* y *hardware*) lidien con dichos inconvenientes.

## 2.6. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se ha reseñado el significado de los *exergames*, su historia e importancia en la salud; ya sea para el mantenimiento de la aptitud física como para terapias de rehabilitación, tanto en jóvenes como en adultos mayores.

También se ha introducido el concepto de juego inmersivo y su relación con los *exergames* en una acción tan simple y, a la vez compleja, como puede ser la caminata.

Tan importante como el método, son las plataformas que se encuentran a disposición para implementarlo; es por eso que se han expuesto las cuatro consolas comerciales más conocidas a la fecha capaces de portar dicha mecánica. Cada plataforma utilizó de manera distinta el hardware a su disposición, ya sea por cámaras, sensores, luces, etc; cada uno con sus pros y contras, pero todos unidos en un único objetivo: sensar los movimientos del jugador.

En el ámbito de VR, se han diseñado varias maquinarias para solucionar la locomoción inmersiva (algunas de ellas las reseñaremos en el capítulo 2.5); así como también sistemas que combinan dos o más de los controladores anteriormente enumerados; estos esfuerzos demuestran que a la fecha, la caminata inmersiva sigue siendo tema de estudio.



## Capítulo 3

# Antecedentes y propuestas de gamepads con mecanismos *Walking in place*

### 3.1. Introducción

En este capítulo se realizará un relevamiento de estudios antecedentes de controladores de videojuegos que implementan mecanismos *walking in place* para locomoción en videojuegos. Se analizarán 3 artículos relacionados, teniendo en cuenta aspectos tales como el contexto educativo, el tipo de software involucrado y los resultados de dichas experiencias. Estos análisis servirán como base para el diseño del controlador propuesto en esta tesina.

### 3.2. *Activate your GAIM: A toolkit for input in active games*

- **Título de artículo:** *Activate your GAIM: A toolkit for input in active games*
- **URL:** [https://www.researchgate.net/publication/228783957\\_Activate\\_your\\_GAIM\\_A\\_toolkit\\_for\\_input\\_in\\_active\\_games](https://www.researchgate.net/publication/228783957_Activate_your_GAIM_A_toolkit_for_input_in_active_games)
- **País:** Estados Unidos
- **Año:** Estados Unidos
- **Contexto:** No se especificó en que contexto se probó el *software* desarrollado en este artículo.
- **Tipo de Software utilizado:** No se especificó que software fue utilizado para desarrollar y probar este artículo. Se menciona que se utilizó

la clase *TunturiBike* para reconocer la bicicleta fija como controlador; así como también las clases *WiimoteLibrary* y *WiiGLE* para ofrecer soporte a los controladores Wii.

- **Descripción:** El auge de los *exergames* en los últimos años ha abierto la puerta a nuevas formas de interacción activa a través de dispositivos de entrada tales como acelerómetros, cámaras, sensores de presión, equipos de ejercicio, entre otros. Lidar con este nuevo y extenso ecosistema de dispositivos suele ser un desafío para los programadores lo que lleva a que la mayoría de los juegos activos estén vinculados a una plataforma de hardware particular. En este artículo, se presenta el desarrollo del *toolkit General Active Input Model* (o GAIM). GAIM simplifica la programación de *exergames* al abstraer los detalles de los dispositivos de entrada activos a través de una API de alto nivel que abstrae los detalles de los dispositivos. Básicamente, todos los dispositivos de entrada extienden de la interfaz *IPower* y mediante un archivo de texto simple el usuario selecciona el dispositivo a utilizar. Según el dispositivo o dispositivos seleccionados en el archivo, el *toolkit* determina qué clase usar para implementar *IPower*. Esto permite, a los desarrolladores escribir código independientemente del dispositivo de entrada utilizado y a los jugadores, usar los dispositivos que tienen a su disposición sin necesidad de recompilar o usar código especial para distintos dispositivos.

Para evaluar la efectividad del *toolkit* se crearon 2 juegos *exergame*; ambos derivados de juegos existentes creados para teclado/ratón.

Uno de los juegos estaba basado en *XNA Racing* de Microsoft, un juego de carreras en 3D en el cual el jugador corre en un automóvil alrededor de una pista. La velocidad del coche es controlada por un botón del gamepad, y la dirección se controla con el joystick analógico izquierdo, ambos pertenecientes a una consola Xbox 360. En la versión *exergame* del juego, se eliminaron las líneas de código de procesamiento del *gamepad* tradicional y se lo reemplazó por la interfaz *IPower* de manera de poder utilizar otro dispositivo de interacción activa. En esta versión, los jugadores pudieron proporcionarle poder al automóvil usando una bicicleta estacionaria o trotando en el lugar. La potencia derivó de la velocidad del jugador (cadencia de pedaleo y tensión), pero también podía usarse la frecuencia cardíaca del jugador mientras hacia andar la bicicleta fija o trotaba en el lugar.

Para demostrar el soporte para múltiples dispositivos de entrada, se programó una variante *exergame* del juego 2D multi-jugador de 1962, *Spacewars*. En el juego original, el jugador, utilizando un *joystick* convencional, maniobra su nave alrededor de obstáculos mientras intenta

dispararle a la nave de su oponente. En la versión *exergame*, se eliminaron las líneas de código que procesaban la entrada del *joystick*; se las reemplazó por el procesamiento de la *interface* IPower y se lo configuró con los dispositivos: Nintendo Wii Balance Board para capturar la postura del jugador y un Control remoto de Wii para capturar gestos. De esta manera, la Nintendo Wii Balance Board sensó la postura del jugador que se utilizó para dirigir la nave, inclinarse hacia la derecha o izquierda inclinaba la nave hacia derecha o izquierda respectivamente; inclinarse hacia adelante aceleraba la nave e inclinarse hacia atrás la ralentiza. El control remoto Wii sensó los gestos; y para este ejemplo se utilizó el gesto de “martillar” para indicar el disparo de la nave. Este gesto se provee implementado con el *toolkit*.

- **Resultados:** No se indicó cómo midieron los resultados; pero se indica que los mismos, para ambos experimentos fueron favorables. El objetivo era demostrar cómo la interacción de un juego puede estar compuesto por múltiples tipos de entradas activas y la practicidad del *toolkit* GAIM para resolver dichos escenarios y por ende, para desarrollar *exergames* ofreciendo a los desarrolladores independencia del dispositivo de entrada.

Un obstáculo que presenta es: el mantenimiento del *toolkit* frente a la salida al mercado de nuevas tecnologías ya que, si bien el gesto de “martillar” del segundo experimento venía provisto por el *toolkit* de no haber sido provisto, se hubiese requerido tiempo para programarlo y entrenarlo aunque no habría sido necesario un código adicional dentro de la programación del juego.

Otra utilidad interesante es la posibilidad utilizar GAIM para desarrollar juegos activos para usuarios con capacidades diferentes.

### 3.3. *Challenges in Virtual Reality Exergame Design*

- **Título de artículo:** *Challenges in Virtual Reality Exergame Design*
- **URL:** [https://www.researchgate.net/publication/283736084\\_Challenges\\_in\\_virtual\\_reality\\_exergame\\_design](https://www.researchgate.net/publication/283736084_Challenges_in_virtual_reality_exergame_design)
- **País:** Nueva Zelanda
- **Año:** 2015
- **Contexto:** No se especificó en que contexto se probó el experimento reseñado en este artículo.
- **Tecnología utilizada:** Se usó Unity para desarrollar el videojuego de

prueba y; en hardware se utilizó el sensor Kinect, una bicicleta fija de 25 velocidades graduada a través de un microcontrolador Arduino; y un casco de realidad virtual (VR) Oculus Rift.

■ **Descripción:** En este artículo se discuten e identifican cinco principales desafíos asociados con el uso de tecnologías inmersivas en *exergaming*:

- a) *Motion sickness* causado por uso de los cascos de realidad virtual (VR)
- b) La confiabilidad de los *gamepad* basados en seguimiento de movimiento corporal
- c) La seguridad del usuario cuando utiliza tecnologías inmersivas
- d) La adecuada selección de la perspectiva que asume el jugador en el juego
- e) y los tiempos de retroalimentación respecto al ejercicio realizado

Se desarrolló un prototipo de videojuego *exergame*. El mismo consiste en una pista de carreras con obstáculos que el usuario debe esquivar para poder avanzar. El objetivo es obtener la puntuación máxima. Para esta experiencia se utilizó como *gamepad* un sistema conformado por: una bicicleta fija conectada a un microcontrolador Arduino para regular la velocidad, una cámara Microsoft Kinect para detectar la inclinación del usuario, un casco VR para emular la *cámara en primera persona*<sup>1</sup> y un monitor para representar la *cámara en tercera persona*<sup>2</sup>. La bicicleta fija se conectó a un microcontrolador Arduino el cual, según las irregularidades que presentaba la pista en el videojuego (por ej.: pozos, colinas, etc), modificaba la resistencia de la bicicleta haciendo que está sea más pesada o más liviana según el escenario.

Para detectar el movimiento del jugador probaron 4 métodos: Optical Flow, Face API, Haar Cascades y por último, el sensor Kinect. Esta última resultó ser la más precisa y eficiente para rastrear los movimientos del usuario (movimiento de la cabeza e inclinación a los costados). En cuestiones de latencia, la Kinect obtuvo una mejor performance cuando se probó el juego con un monitor que con el casco VR.

Respecto al *motion sickness* del casco VR; si bien fue un problema al comienzo de la experiencia, los participantes se acostumbraron rápidamente a la realidad virtual. Sin embargo, el hecho de no ver la bicicleta sobre la que estaban trabajando producía que perdieran la noción del

---

<sup>1</sup>La **cámara en primera persona** es una vista que se emplea en los videojuegos en la cual el mundo se ve desde la perspectiva del personaje protagonista.

<sup>2</sup>La **cámara en tercera persona** es una de las vistas más frecuentes de los videojuegos de estilo aventura gráfica, juegos de rol, etc. Esta vista tiene como característica que el personaje que se controla se ve de cuerpo entero y generalmente de espaldas.

### 3.4. VRUN: RUNNING-IN-PLACE VIRTUAL REALITY EXERGAMES

espacio y se inclinaron hacia delante al punto de estar cerca de golpearse las caras contra el manubrio frente a ellos.

- **Resultados:** No se indicó cómo se midieron los resultados pero se indica que fueron favorables; relevando consideraciones para futuros trabajos en el área. Además, de los desafíos primeramente estudiados, se descubrieron otras complicaciones provenientes del uso de los cascos VR y la latencia. Uno de estos inconvenientes es que el ejercicio aumenta la temperatura corporal del jugador lo cual genera que la pantalla dentro del casco VR se empañe dificultando la visión del videojuego. El sistema de pesos/velocidad que se logró al conectar la bicicleta con el Arduino fue positivo en la inmersión, excepto cuando los cambios que debían hacerse eran amplios en cuestión de milisegundos (ej, pasar del nivel 1 al 12). El ascenso/descenso de velocidad no pudo hacerse a la misma velocidad que el jugador experimenta en el videojuego, lo cual disminuyó el efecto de la inmersión.

### 3.4. *VRun: running-in-place virtual reality exergame*

- **Título de artículo:** *VRun: running-in-place virtual reality exergame*
- **URL:** [https://www.researchgate.net/publication/312185659\\_VRun\\_running-in-place-virtual-reality-exergame](https://www.researchgate.net/publication/312185659_VRun_running-in-place-virtual-reality-exergame)
- **País:** Australia
- **Año:** 2016
- **Contexto:** VRun fue probado y evaluado por 18 participantes (11 hombres y 7 mujeres), pertenecientes al personal y estudiantes de la Universidad de Sidney relacionados a las carreras de IT, Psicología y Educación. Las edades de los participantes variaban entre 18 y 45 años (promedio: 28). Todos poseían conocimiento y habían utilizado VR con anterioridad.
- **Tipo de Software utilizado:** Unity 5 para desarrollar el videojuego con *plugin* Google VR. Un *Smartphone* HTC One con una versión de plástico del Google Cardboard
- **Descripción:**  
En este artículo se presentó VRun, un prototipo *exergame* de realidad virtual que permite a los jugadores correr físicamente en el lugar (*WIP*) para moverse a través de un mundo virtual. El objetivo de VRun es involucrar a las personas, particularmente aquellos que no pueden visitar el gimnasio regularmente, permitiéndoles realizar el ejercicio en



### 3.4. VRUN: RUNNING-IN-PLACE VIRTUAL REALITY EXERGAMES 5

tipo de pantalla y si el juego se completó con éxito.

Una vez terminado, se les pidió a los participantes que completaran el formulario de Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) para obtener una medida calibrada de usabilidad; una usabilidad baja comprometería la inmersión.

- **Resultados:** Se relevaron los datos provenientes de las encuestas SUS, entrevistas y observaciones.

7, 6 y 2 participantes completaron el juego satisfactoriamente usando HMD, *large displays* y *desktop display* respectivamente. 6 jugadores no lo lograron en ninguno.

En general, los resultados fueron prometedores en términos de inmersión tanto para la pantalla grande como para HMD. Cada uno tuvo sus beneficios.

- a) HMD (promedio SUS 75) controló mejor los problemas de latencia, y permitió al usuario ver el mundo en 360 grados, los obstáculos se podían ver claramente y los participantes podían elaborar estrategias con cuidado cuando era seguro ejecutar. Sin embargo, el dispositivo a veces resultaba demasiado pesado para mantenerlo en la cabeza por mucho tiempo y algunos de los jugadores comenzaron a perder noción del espacio y comenzaron a desplazarse por la habitación.
- b) La pantalla grande (promedio SUS 65) tuvo a su favor que no producía pérdida de noción del espacio lo que permitía jugar por más tiempo y el tamaño hacía que siguiese sintiéndose la inmersión del juego. A pesar que la pantalla no proporcionó visión de 360 grados del mundo, los participantes apreciaron el tamaño, ya que podían ver más del entorno y les permitía juzgar la distancia y velocidad. También era más agradable a la vista en comparación de la pantalla de escritorio. Sin embargo, no se veían usando un dispositivo de ese tamaño en la vida cotidiana.
- c) La pantalla de escritorio (promedio SUS 70) recibió elogios por su portabilidad y disponibilidad, aunque la pantalla en sí era demasiado pequeña para este uso, e hizo difícil a los participantes ver los obstáculos entrantes.

Respecto al rendimiento del juego promedió un puntaje SUS de 68, puntuación de usabilidad media, y a pesar de intermitentes problemas de latencia y errores en el seguimiento de pasos, cada participante sintió que este juego los ejercitó de una manera divertida y sería útil para entrenar en sus hogares.

En general, la respuesta de los participantes al juego fue positiva. Los participantes apreciaron el mundo virtual, la calidad gráfica y el uso

de color. Los participantes estaban motivados para llegar a la meta. Como limitaciones la precisión del seguimiento de la actividad fue un problema al momento de captar la velocidad del usuario.

Como sugerencias surgieron:

- a) modificar el ejercicio según la necesidad del jugador
- b) proporcionar incentivos como monedas o artículos ganados
- c) proporcionar una manera de moverse hacia atrás para escapar de los obstáculos
- d) para la pantalla grande y portátil, el teléfono que actuaba como sensor de movimiento resultó demasiado grande para sostenerlo o guardarlo en un bolsillo mientras se realizaba la actividad. Se sugirió utilizar un dispositivo más cómodo, como un *smartwatch*.

Como dato adicional, cuando se utilizó la pantalla grande y de escritorio surgieron algunas limitaciones tecnológicas. El primero fue el “punto de vista a la deriva” producida por el giroscopio en el teléfono inteligente y el *lag*<sup>4</sup> que se producía al transmitir los datos via WiFi desde el acelerómetro del teléfono a la computadora portátil. Estos retrasos resultaron en pasos no se detectaron de manera confiable.

### 3.5. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se han relevado 3 artículos sobre tecnologías utilizados como controladores para videojuegos *exergame*. Si bien son pocos, en todos los casos los experimentos han proporcionado resultados positivos tanto como análisis de motivación de los jugadores en el uso de los *exergames*, como observaciones de mejoras a tener en cuenta para desarrollos futuros. Muchas de estas observaciones serán importantes y tenidas en cuenta para el desarrollo de prototipo de controlador en el capítulo 4.

---

<sup>4</sup>**Lag o retardo:** en informática es un retardo excesivo desde que se envían datos hasta que se reciben en una telecomunicación. Cuando el *lag* se produce en un intercambio de datos que incluye vídeo o audio, puede llegar a producir pequeños saltos de imagen o cortes de sonido en estas comunicaciones.

# Capítulo 4

## Propuesta: prototipo de un *gamepad* para detección de movimiento

### 4.1. Introducción

En el capítulo anterior se reseñaron dispositivos y tecnologías creadas para transformar videojuegos convencionales en *exergames*; las observaciones recabadas a partir de esta revisión serán un punto de partida para el prototipo a desarrollar en esta tesina.

En este capítulo se presenta el diseño y desarrollo de un prototipo de controlador de videojuegos (*gamepad*) que se crea para detectar movimientos de tipo *walking in place* junto a otros eventos de tipo entrada analógica y digital, como pueden ser el movimiento de un *stick* y presionar distintos botones. Estos se interpretarán como señales asociadas a un *gamepad* convencional. Se describen los componentes resultantes, los módulos y librerías utilizadas, las decisiones de hardware, así como sus características y ventajas, que influyen en la creación de un controlador para *exergame* cómodo, económico y eficiente.

Nota: En este capítulo, se nombra a uno de los componentes que integra el controlador propuesto como “Componente Gamepad”; este no debe confundirse con el controlador, *gamepad* o prototipo de *gamepad* objeto de la tesina.

## 4.2. Consideraciones de diseño

En el capítulo 2.2.2 y 2.4 se describieron las ventajas de la caminata, por el lado de la salud, esta acción involucra los principales grupos musculares del cuerpo y, por el lado lúdico e inmersivo, da al jugador una falsa sensación de movimiento natural en el mundo del videojuego; es por eso, que el controlador desarrollado en esta tesina funcionará a partir de la locomoción centrada en el movimiento del usuario y detectará los siguientes eventos de tipo *walking in place*:

- Caminar
- Correr
- Saltar

Además, para complementar a los modelos antes descritos en el capítulo 3 se adicionará la detección de 6 eventos presentes en *gamepads* convencionales como se ha señalado en el capítulo 2.5.1.

- 5 eventos de tipo entrada digital por medio de botones (*inputs*)
- 1 evento de tipo entrada analógica por medio de un *stick* analógico

Por tratarse de un controlador de periférico para realizar ejercicio externo a las alternativas comerciales, se considerará ideal que cumpla las siguientes condiciones:

- Que los elementos que compongan el controlador sean económicos y de una fabricación relativamente sencilla.
- La acción de instalación del controlador en el computador *host* requerirá una intervención mínima por parte del usuario; para esto, el reconocimiento del controlador por parte del CPU u ordenador *host* deberá ser de tipo *Plug and Play (PnP)*<sup>1</sup>.
- Los componentes contemplaran una interconexión de modo inalámbrica para reducir el uso de cables, que son difíciles de instalar y suponen un riesgo de seguridad del usuario.
- Que el dispositivo detector de movimiento sea más liviano y cómodo que un *smarthphone*; esto es, tomado de las reseñas obtenidas del trabajo *VRun: running-in-place virtual reality exergame* mencionado en 3.4.

---

<sup>1</sup> *Plug and Play* es la tecnología que permite a un dispositivo informático ser conectado a una computadora sin tener que configurar, mediante *jumpers* o software específico (no controladores) proporcionado por el fabricante, ni proporcionar parámetros a sus controladores. Para que sea posible, el sistema operativo con el que funciona el ordenador debe tener soporte para dicho dispositivo.

- Que no sea condición para su correcto funcionamiento, requerir un espacio habitacional de grandes dimensiones.

En resumen, se buscará que el controlador sea económico, cómodo, de código abierto, extensible y de fácil instalación.

### 4.3. Diseño y componentes

Con base en las consideraciones anteriores se procederá a describir el controlador. El mismo constará de 3 partes o componentes (véase figura 4.1), a describir:

- **Componente Tobillera (CT):** encargado de sensar los movimientos de tipo *WIP* de usuario y enviar dicha información al Componente Central (CC).
- **Componente Gamepad (CG):** encargado de sensar los eventos de entrada digital de tipo “pulsar botón” y la entrada analógica provista por el movimiento del *stick*; y enviar dicha información al Componente Central (CC).
- **Componente Central (CC):** Encargado de conectarse al ordenador, actuar como *game controller* y recibir las señales provenientes de los componentes Tobillera y Gamepad.

La relación entre los componentes se detalla en la figura 4.2.

#### 4.3.1. Tipo de Hardware a utilizar

Se utilizará Arduino, por ser *open source*, fácil de utilizar y programar, posee una comunidad activa que provee tutoriales y recursos además de varias librerías creadas por terceros que resuelven y facilitan el reconocimiento de los módulos sensores, transmisores, entre otros, y las placas son fáciles de conseguir dentro del país.

Arduino, como se cita de su Website (2018), es un proyecto nacido en el año 2005 con la idea de desarrollar una placa de hardware libre integrada con un microcontrolador y una interfaz para programarlo. Está diseñado y construido para que sea de fácil utilización y puedan desarrollarse proyectos multidisciplinarios sobre el mismo. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring<sup>2</sup>), y el Software Arduino (IDE),

---

<sup>2</sup>**Wiring** es una plataforma de prototipado electrónico de fuente abierta compuesta de un lenguaje de programación, un entorno de desarrollo integrado (IDE), y un microcontrolador. Ha sido desarrollado desde 2003 por Hernando Barragán.

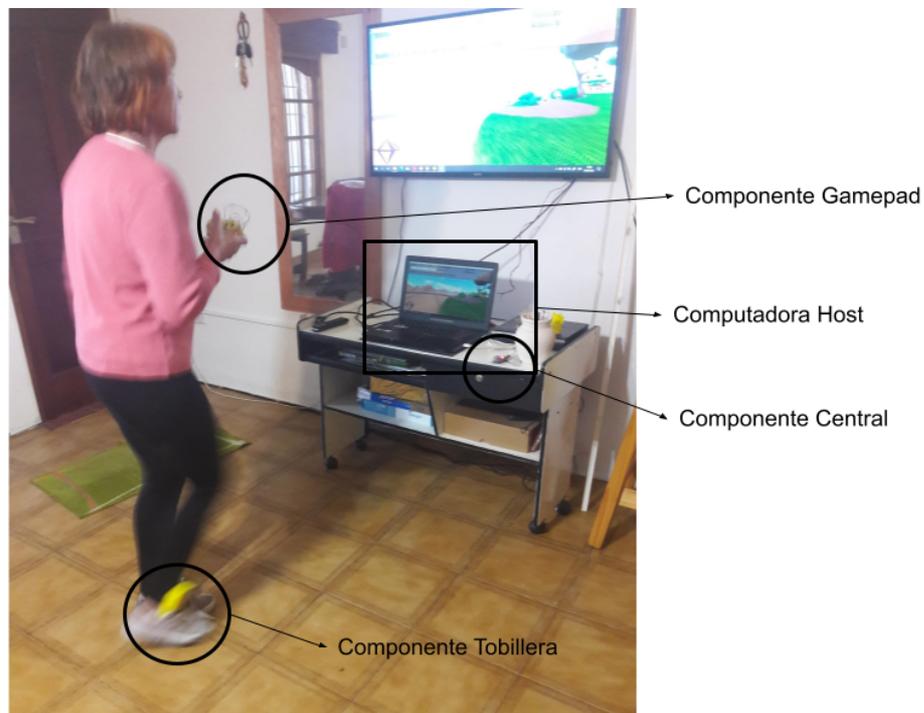


Figura 4.1: Muestra del controlador propuesto en uso.

basado en Processing<sup>3</sup>.

Arduino posee ciertas ventajas por sobre sus competidores respecto a hardware y software, entre las que podemos mencionar:

- **Económicas:** las placas Arduino son relativamente económicas en comparación con otras plataformas de microcontroladores.
- **Multiplataforma:** el software Arduino (IDE) se ejecuta en los sistemas operativos Windows, MacOS y Linux.
- **Entorno de programación simple y claro:** el software Arduino (IDE) es fácil de usar para principiantes, pero lo suficientemente flexible para que los usuarios avanzados también lo aprovechen.
- **Software extensible y de código abierto:** el software Arduino se publica como herramientas de código abierto y está disponible para que los programadores experimentados lo extiendan. El lenguaje se puede expandir a través de bibliotecas C++.
- **Código abierto y hardware extensible:** los planos de las placas

<sup>3</sup>**Processing** es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital.

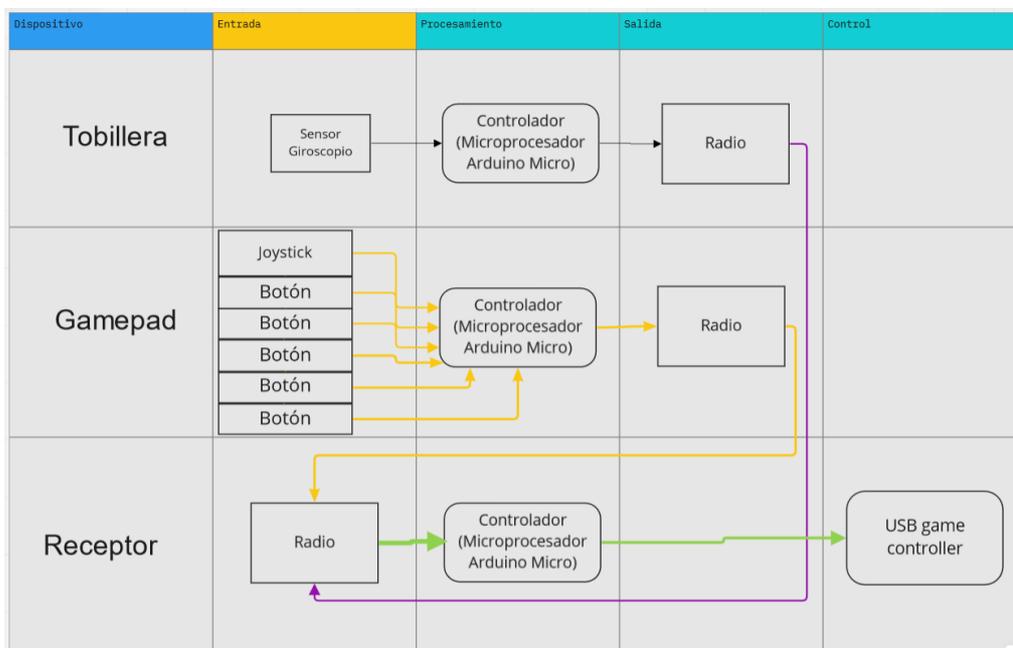


Figura 4.2: Controlador propuesto: Diagrama de relación entre componentes.

Arduino se publican bajo una licencia Creative Commons, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo y mejorándolo.

## 4.4. Componente Tobillera (CT)

Para sensar los movimientos de tipo *WIP* que realice el jugador, se plantea desarrollar un dispositivo detector de movimiento que sea liviano, cómodo y fácil de utilizar. Por tratarse de un dispositivo que deberá sensar los movimientos y la potencia de la caminata del jugador; se propone un controlador de tipo tobillera de forma cúbica con una ligera declinación en uno de sus lados para que adapte a la forma natural de la pierna del jugador. El modelo de la carcasa del componente se diseña con el software de modelado Blender y se imprime con una impresora 3D quedando el modelo final como se muestra en la figura 4.3.

Este dispositivo se colocará en el tobillo del jugador y se encarga de detectar los eventos de tipo caminar, correr y saltar que realice el mismo. Para esto se utilizó un Módulo de tipo giroscopio, el MPU9250 descrito en



Figura 4.3: Componente Tobillera - Diseño

4.7.2 conectado a un Microcontrolador Arduino ProMicro Leonardo (4.7.1). Para leer los datos provenientes del Módulo MPU9250 se instaló la librería correspondiente (4.8.3) en el microcontrolador y se entrenó un algoritmo para detectar potencias y variaciones en los ejes x, y, y z. La potencia es una medida de la intensidad de la actividad del jugador. La entrada se captura continuamente durante un período de tiempo y de acuerdo a los valores obtenidos, identifica si se corresponde a las acciones *WIP* de: caminar, correr o saltar.

Para conectarse con el Componente Central (CC), y siguiendo la premisa de proveer un dispositivo inalámbrico; se conecta a la placa controladora, un Modulo Transmisor nRF24L01 (4.7.3). El mismo se configura como dispositivo emisor únicamente. Su diseño se presenta en la figura 4.4. Para alimentar el dispositivo, se dispone de un banco de 2 baterías AA (2.4v) y se le coloca un elevador de tensión (*step-up*) de 0.9v a 5v para obtener el voltaje indicado para la placa controladora (5v) y alimentar todo el circuito.

Los pasos que realiza el Componente Tobillera (CT) son los siguientes:

1. El microcontrolador obtiene los valores de potencia y variación de los ejes x, y, y z que provee el módulo MPU9250.
2. El microcontrolador a partir de los valores obtenidos previamente calcula la velocidad de carrera del jugador y determina su estado actual (“caminando”, “corriendo” o “saltando”). Caso contrario, se considera un estado *default* “descansando”.
3. Los datos se encapsulan en una estructura de tipo registro con dos

campos “origen” y “estado” que indican: cuál fue el componente que originó el mensaje (en este caso, la tobillera) y el estado del mismo (“caminando”, “corriendo”, “saltando” o “descansando”) respectivamente.

4. El mensaje, con el registro en su interior, se envía al Componente Central por medio del modulo transmisor.

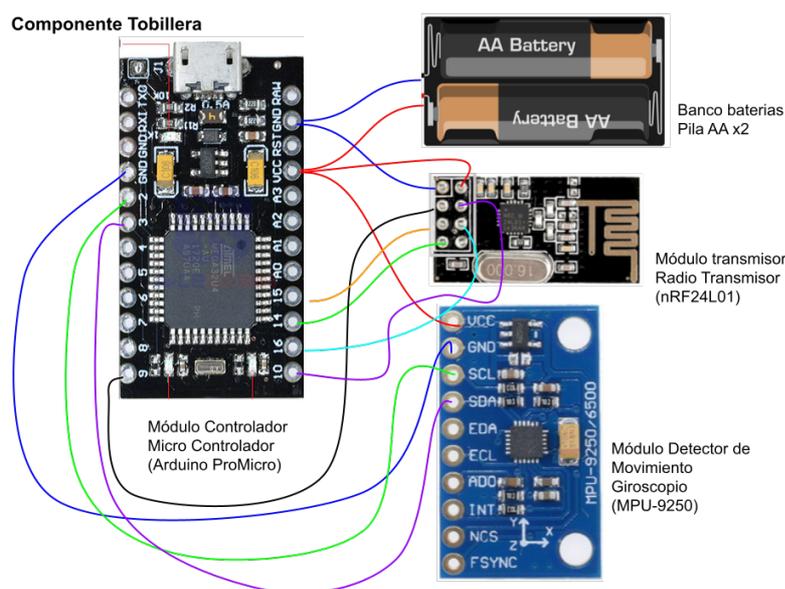


Figura 4.4: Componente Tobillera - Diagrama del circuito interno

## 4.5. Componente Gamepad (CG)

Para el Componente Gamepad (CG) se utiliza una variación de un *joypad* tradicional; pero dividido en 2 como el Oculus Touch de Meta. Se utiliza este diseño ya que, como se relevó en el capítulo 2.5.1.1, este tipo de controlador son el medio principal de entrada en la mayoría de las consolas de videojuegos modernas. El mismo cuenta con una arraigada historia y familiaridad con los jugadores de videojuegos y la mayoría de los controladores de juegos modernos son una variación del mismo.

Un *joypad* tradicional podría dividirse en 2 partes: el lado izquierdo y el derecho; el usuario controla cada lado con los dígitos de la mano correspondiente. Cada lado cuenta con su respectivo *stick* y una serie de botones dispuestos a su alrededor. El *stick* izquierdo es el que está junto al D-Pad

y generalmente se usa para controlar el movimiento del personaje (avanzar, retroceder y moverse lateralmente tanto a la izquierda como hacia la derecha) dentro de un juego. El *stick* derecho es el que está junto a los botones de acción y generalmente se usa para “controlar la cámara”, “ver” y/o “apuntar” dentro del juego. En la figura 4.5 se muestra la diagramación de un *joypad* tradicional para ilustrar la distribución de los componentes.



Figura 4.5: Controlador Dual Analógico de Sony (*joypad*); y marcado en rojo el diseño y diagramación que será base del Componente Gamepad (CG)

Para este componente (y por tratarse de un prototipo); se utiliza solamente el lado derecho para manejar la direccionalidad de la cámara, la vista y apuntar como en un videojuego tradicional; esto es así, porque el movimiento del personaje (generalmente controlada por el *stick* izquierdo) es relevado por los eventos del Componente Tobillera descritos en 4.4. Junto al *stick* derecho se ubican 4 botones de acción y un botón adicional ubicado en el mismo *stick*, comercialmente se refiere al mismo como R3, en este componente se lo conocerá como “Botón E”. El modelo de la carcasa del componente se diseña con el software de modelado Blender y se imprime con una impresora 3D quedando el modelo final como se muestra en la figura 4.6.



Figura 4.6: Componente Gamepad - Diseño

Para el diseño del circuito interno del CG se utiliza un Microcontrolador Arduino ProMicro Leonardo (4.7.1). A este se le conecta un módulo *stick* que representa una entrada analógico y 5 botones que serán entradas digitales como se representa en la figura 4.7. Estas entradas se capturan continuamente, de modo que cuando sean accionadas por el jugador estas son procesadas por el microcontrolador y enviadas al Componente Central (CC). Esto se hace a través de un Modulo Transmisor nRF24L01 (4.7.3) también conectado a la placa controladora. El mismo se configura como dispositivo emisor únicamente. Para alimentar el dispositivo, se lo aprovisiona con un banco de 2 baterías AA (2.4v) y se le coloca un elevador de tensión (*step-up*) de 0.9v a 5v para obtener el voltaje indicado para la placa controladora (5v) y alimentar todo el circuito.

Los pasos que realiza el Componente Gamepad (CG) serian los siguientes:

1. El jugador presiona los botones o mueve el *stick* del CG.
2. El microcontrolador detecta las señales y las decodifica.
3. Los datos se encapsulan en una estructura de tipo registro con 8 campos:

- **origen** indica cuál fue el componente que originó el mensaje (en este caso, el CG).
  - **botonA** indica que se accionó la entrada digital del “botón A (azul)”.
  - **botonB** indica que se accionó la entrada digital del “botón B (amarillo)”.
  - **botonC** indica que se accionó la entrada digital del “botón C (verde)”.
  - **botonD** indica que se accionó la entrada digital del “botón D (rojo)”.
  - **botonE** indica que se accionó la entrada digital del “botón E” ubicado en el *stick*.
  - **mapX** indica la posición actual mapeada del eje X del *stick*.
  - **mapY** indica la posición actual mapeada del eje Y del *stick*.
4. El mensaje, con el registro en su interior, se envía al Componente Central por medio del modulo transmisor.

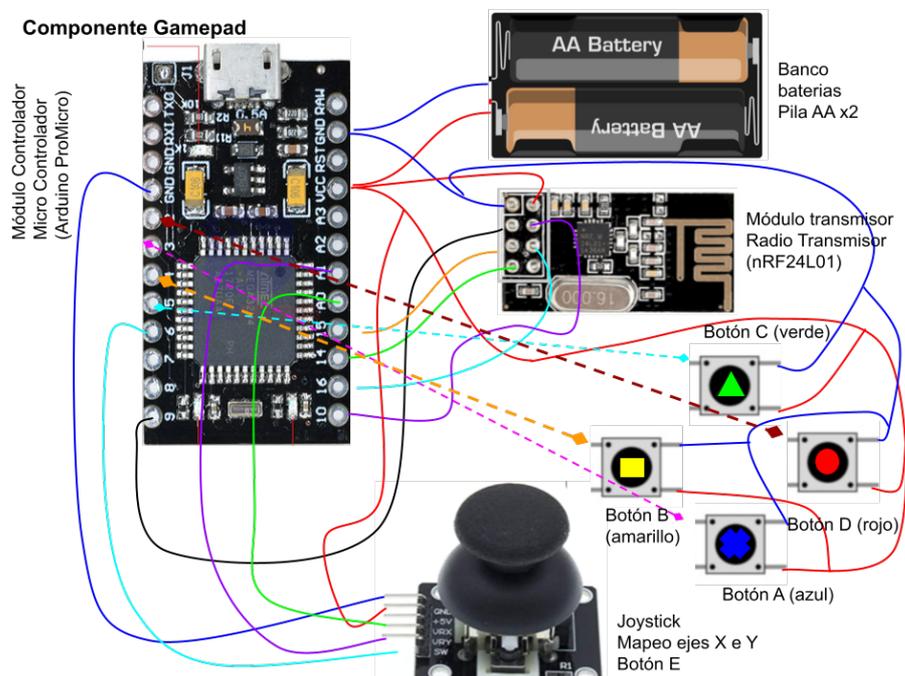


Figura 4.7: Componente Gamepad - Diagrama del circuito interno

## 4.6. Componente Central (CC)

El Componente Central es básicamente un dispositivo que se conecta a un computador *host* a través de USB y corre una aplicación que emula un dispositivo de entrada de tipo controlador de juego *Joypad*; de este modo podría usarse en cualquier juego. El diseño puede apreciarse en la figura 4.8

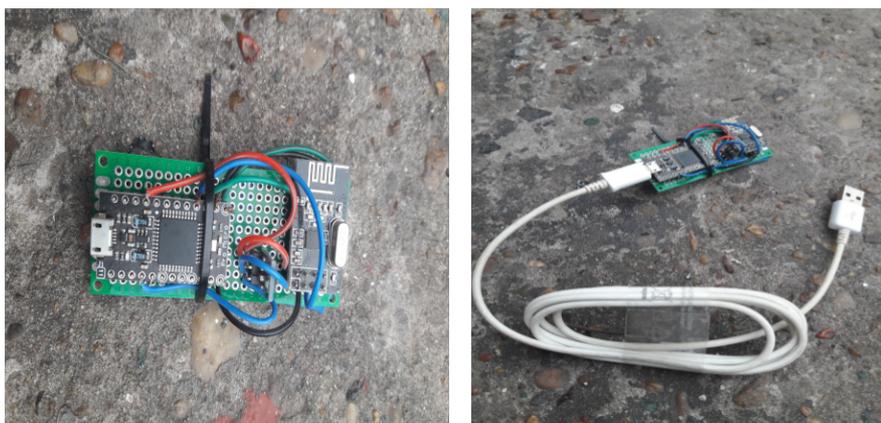


Figura 4.8: Componente Central - Diseño

Este componente tiene como objetivo recibir los mensajes enviados por CT y CG; y, dependiendo del contenido del mensaje, se traduce como un evento proveniente de un controlador convencional conectado al computador que está corriendo el videojuego.

Para el diseño del circuito interno del CC (véase figura 4.9) se utiliza un Microcontrolador Arduino ProMicro Leonardo (4.7.1). En este microcontrolador se instala la librería Arduino Joystick, se hablará de la misma en 4.8.1. Esta librería genera que el controlador sea reconocido por la computadora *host* como un *joystick* genérico. Al microcontrolador se le conecta un Modulo Transmisor nRF24L01 (4.7.3), el mismo se configura como dispositivo receptor únicamente. Este dispositivo se alimenta a través de la entrada USB, de los 5v que reciba del computador *host*.

Los pasos que realiza el Componente Central (CC) son los siguientes:

1. El microcontrolador recibe de manera asincrónica los mensajes a través del transmisor provenientes de los componente CG y CT.
2. El microcontrolador abre los mensajes, lee el registro enviado y determina quién fue el emisor.

**Componente Central**

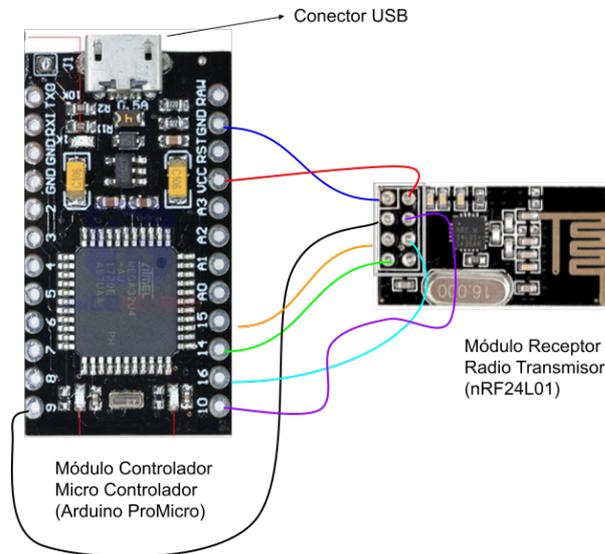


Figura 4.9: Componente Central - Diagrama del circuito interno

3. De acuerdo a qué componente fue el emisor decodifica la acción a realizar. Los eventos que registra el Componente Central pueden apreciarse en la tabla 4.1 junto con el respectivo evento asociado a enviar al computador *host*.

## 4.7. Módulos y placas utilizadas

### 4.7.1. Módulo Microcontrolador - Arduino Pro Micro

Pro Micro, según su Website (s.f.-c), es una pequeña y completa placa basada en el ATmega32U4, el mismo microcontrolador del Arduino Leonardo. El Arduino Pro Micro ha sido especialmente diseñado para trabajar en un *protoboard*. Tiene la misma funcionalidad que el Arduino Leonardo, pero con una presentación diferente (véase figura 4.10).

El Pro Micro es similar al ProMini excepto que tiene un ATmega32U4 integrado. El transceptor USB dentro del 32U4 nos permite agregar conectividad USB y eliminar la necesidad de utilizar un programador USB

Componente Origen	Pin (Origen)	Registro	En CC representa el evento
Gamepad	3	Botón A	Joystick.pressButton(0)
Gamepad	4	Botón B	Joystick.pressButton(2)
Gamepad	5	Botón C	Joystick.pressButton(3)
Gamepad	2	Botón D	Joystick.pressButton(1)
Gamepad	6	Botón E	Joystick.pressButton(9)
Gamepad	A0	MapX	Joystick.setRxAxis
Gamepad	A1	MapY	Joystick.setRyAxis
Tobillera	2 y 3	estado = caminando	Joystick.pressButton(5)
Tobillera	2 y 3	estado = corriendo	Joystick.pressButton(7)
Tobillera	2 y 3	estado = saltando	Joystick.pressButton(4)
Tobillera	2 y 3	estado = descansando	Joystick.releaseButton(5) Joystick.releaseButton(7)

Tabla 4.1: Eventos reconocibles dentro del Componente Central

externo.

Esta diminuta placa posee todas prestaciones de un Arduino de tamaño convencional: 9 canales de ADC de 10 bits, 5 pines PWM, 12 DIO, así como conexiones seriales de hardware Rx y Tx; y un funcionamiento a 16 MHz y 5 V.

#### 4.7.2. Módulo detector de movimiento - MPU-9250)

Para la detección de movimiento se utilizó el módulo MPU-9250; un dispositivo *motion tracking* de nueve ejes (giroscopio + acelerómetro + brújula). Según el Website (s.f.-b) de su fabricante, es el más pequeño del mundo e incorpora las últimas innovaciones de diseño de InvenSense, lo que favorece el ahorro de consumo de energía y mejora el rendimiento. El MPU-9250 está compuesto por un MPU-6500, que a su vez está formado por un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro AK8963, todos de 3 ejes. Incorpora un procesador (*Digital Motion Processor*) que ejecuta complejos algoritmos de MotionFusion para combinar las mediciones de los sensores internos. La adición del magnetómetro al MPU-9250 elimina la deriva (*drift*) que puede aparecer en otros IMUs al cabo de unas horas de uso. Otra ventaja de este componente es la facilidad para conectarse con el microcontrolador ya que la misma puede realizarse por bus SPI o por bus I2C, por lo que es sencillo obtener los datos medidos.

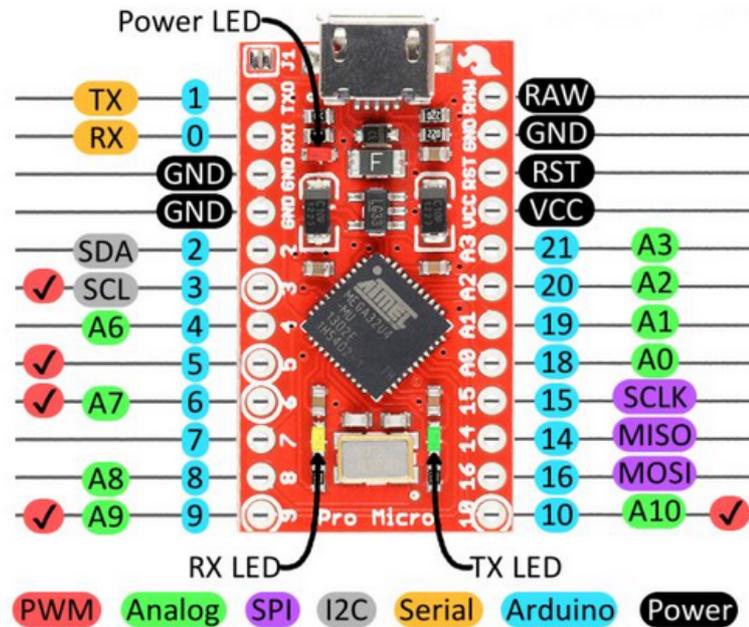


Figura 4.10: Arduino ProMicro (ATmega32U4) - Diagrama Pinout

Se utilizó este sensor por sus altas prestaciones respecto al acelerómetro y el magnetómetro; los cálculos provenientes del procesador y su rapidez fueron necesarios para lograr diferenciar entre los eventos “caminar”, “correr” y “saltar”. Otra razón para utilizar esta placa es aprovechar las capacidades que la comunicación I2C.<sup>4</sup>

El protocolo I2C funciona con una arquitectura maestro-esclavo (*master-slave*). En esta arquitectura existen dos tipos de dispositivos:

- Maestro (*Master*) o Controlador (*Controller*): son los que inician y coordinan la comunicación. Para nuestra aplicación, se estableció que el microcontrolador sea el maestro.
- Esclavos (*Slave*) o Periféricos (*Peripheral*): son los dispositivos que están a la espera de que algún maestro se comunique con ellos. Para nuestra aplicación, se estableció que el sensor sea el esclavo.

<sup>4</sup>I2C o *Inter-Integrated Circuit* es un protocolo de comunicación serial. En un inicio se creó para poder comunicar varios chips al mismo tiempo haciendo uso de una sencilla interfaz de dos hilos.

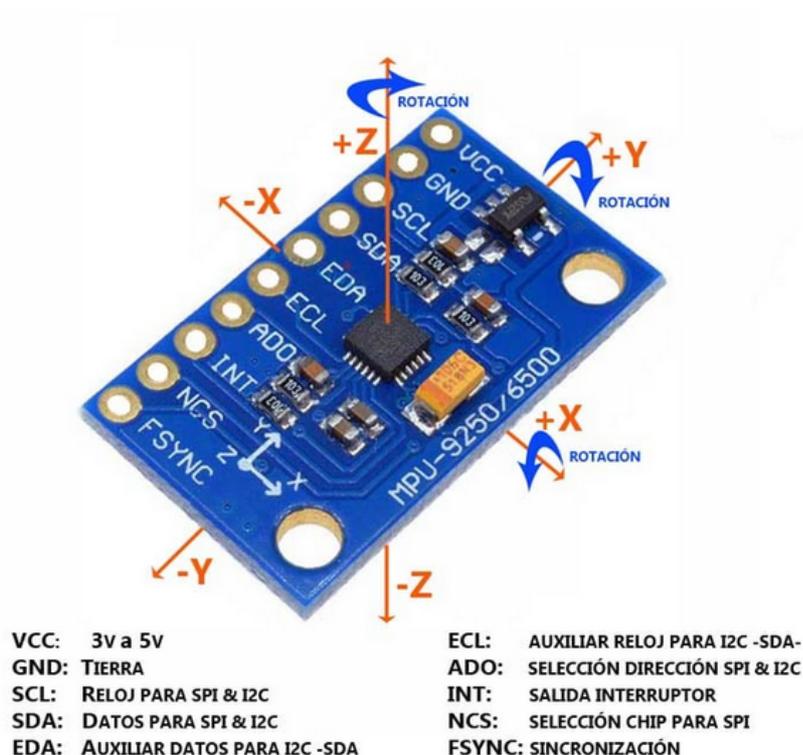


Figura 4.11: MPU9250 - Diagrama Pinout

### 4.7.3. Módulo transmisor - nRF24L01

nRF24L01 es un transceptor de radio de un solo chip para la banda ISM mundial de 2,4 - 2,5 GHz. El transceptor consta de un sintetizador de frecuencia totalmente integrado, un amplificador de potencia, un oscilador de cristal, un demodulador, un modulador y un motor de protocolo Enhanced ShockBurst™.

El NRF24L01 integra un transceptor RF (transmisor + receptor) a una frecuencia entre 2.4GHz a 2.5GHz, una banda libre para uso gratuito. La velocidad de transmisión es configurable entre 250 Kbps, 1Mbps, y 2 Mbps y permite la conexión simultánea con hasta 6 dispositivos.

El NRF24L01 también incorpora la lógica necesaria para que la comunicación sea robusta, como corrección de errores y reenvío de datos si es necesario, liberando de esta tarea al procesador. El control del módulo se realiza a través de bus SPI, por lo que es sencillo controlarlo desde un procesador como Arduino.

## CAPÍTULO 4. PROPUESTA: PROTOTIPO DE UN GAMEPAD PARA 62 DETECCIÓN DE MOVIMIENTO

La banda de frecuencia es de 2400 a 2525 MHz, pudiendo elegir entre 125 canales espaciados a razón de 1MHz.

Sin embargo, el alcance real se ve limitado por muchos factores, incluso en condiciones de visibilidad directa sin obstáculos.

Un factor de gran impacto en el alcance es la alimentación del módulo. Para conseguir el máximo alcance conviene alimentar el módulo con una fuente externa de 3.3V, estable y con potencia suficiente.

Los módulos NRF24L01 son ampliamente empleados por su bajo precio y buenas características.

La potencia de salida, los canales de frecuencia y la configuración del protocolo son fácilmente programables a través de una interfaz SPI. El consumo de corriente es muy bajo tanto en “modo activo” como en “modo espera”.

Se utilizó este módulo transceptor de tipo radiofrecuencia debido a que ambos componentes (Tobillera y Gamepad) necesitaban conectarse de manera concurrente con el Componente Central.

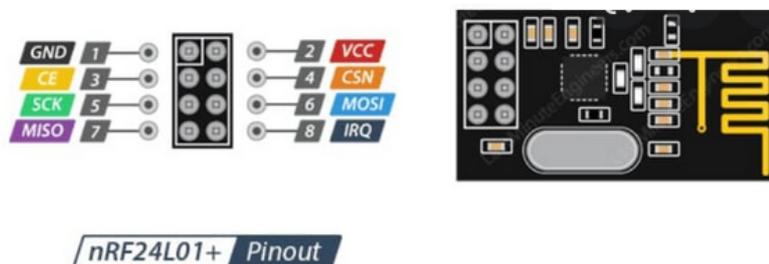


Figura 4.12: Transreceptor nRF24L01 - Diagrama Pinout

## 4.8. Librerías utilizadas

### 4.8.1. Arduino Joystick Library

- **Tipo de librería:** Programación/ArduinoIDE/Driver
- **Autor:** Matthew Heironimus (MHeironimus)
- **URL:** <https://github.com/MHeironimus/ArduinoJoystickLibrary>
- **Descripción:** Esta biblioteca se puede usar con Arduino IDE 1.6.6 o superior y placas Arduino Leonardo o Arduino Micro (o cualquier clon de Arduino) que esté basado en ATmega32u4). Sirve para agregar

uno o más *gamepads* a la lista de dispositivos HID <sup>5</sup>. Estos *gamepads* pueden ser de tipo *joypad*, *joystick* o volante.

- **Razón de la inclusión:** Esta útil librería, instalada en microcontrolador, hace que el mismo sea reconocido por la computadora *host* como un teclado, un *mouse* o un *joystick* genéricos y provee funciones para emular los eventos de antedichos dispositivos. La principal motivación para usar esta librería es aprovechar los beneficios del protocolo HID el cual fue creado para permitir innovaciones en los dispositivos de entrada; gracias a que es robusto, extensible y auto-descriptivo. La mayoría de los sistemas operativos reconocen dispositivos estándares USB-HID (por ej. teclados y ratones), sin necesidad de un controlador especial; lo que simplifica el proceso de instalar dichos dispositivos.

#### 4.8.2. RF24

- **Tipo de librería:** Programación/ArduinoIDE/Comunicación
- **Autor:** maniacBug (actualizaciones por TMRh20)
- **URL:** <https://github.com/nRF24/RF24>
- **Descripción:** Esta biblioteca controlador para módulos nrf24L01(+) de radio, trabaja a nivel de la 2da capa del modelo OSI. Es fácil de usar para principiantes, y ofrece opciones de configuración avanzadas.
- **Razón de la inclusión:** Esta librería, instalada en el microcontrolador, provee los métodos necesarios para el manejo del módulo transmisor nrf24L01.

#### 4.8.3. MPU9250

- **Tipo de librería:** Programación/ArduinoIDE/Giroscopio
- **Autor:** kriswiner (reescrito por hideakitai)
- **URL:** <https://github.com/hideakitai/MPU9250>
- **Descripción:** Esta librería contiene los métodos para el sensor MPU9250 de 9 ejes (Giroscopio + Acelerómetro + Brújula) MEMS MotionTracking™ Device. Actualmente se encuentra discontinuado.
- **Razón de la inclusión:** Se utilizó esta librería para acceder a la información provista por el sensor MPU9250 ubicado en la tobillera.

---

<sup>5</sup>**HID** (*Human Interface Device*) o dispositivo de interfaz humana, hace referencia a un tipo de interfaz de usuario con la que los humanos interactúan directamente. El término HID comúnmente se refiere a la especificación USB-HID

## 4.9. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentaron las características deseables del prototipo de *gamepad* objeto de esta tesina y se detalló como se implementó. Se proveyeron descripciones de los módulos utilizados, la interacción entre los mismos por medio de esquemas y la descripción de las librerías de terceros que se usaron y el por qué de su incorporación. Además, se indicaron los eventos que emula el controlador cuando se conecta a un computador *host*. Esta lista de eventos será necesaria para el desarrollo del siguiente capítulo.

# Capítulo 5

## Uso del *gamepad* en un caso de estudio. El videojuego *Capitana Aldana*

### 5.1. Introducción

En el capítulo anterior se describió el prototipo de *gamepad* que se propone en esta tesina. En este capítulo se abordará el diseño de un videojuego serio del tipo *exergame* que se integre con el prototipo de controlador anteriormente mencionado. El objetivo de desarrollar este videojuego es poder validar la propuesta del *gamepad*, a través de pruebas específicas con el marco del uso del videojuego.

### 5.2. Descripción del videojuego

“Capitana Aldana” es un videojuego de *exergame* de exploración RPG en primera persona inicialmente para el sistema operativo Windows, aunque podrá exportarse para otras plataformas (véase sección 5.6)

El juego transcurre en una isla desierta llamada “*Hat Island*”, y pone al jugador en el rol de “La Capitana”, una súper heroína que sobrevive a un accidente aéreo, y que luego deberá explorar la isla para encontrar los objetos necesarios para reparar su traje espacial, cumplir su misión y volver a su hogar. En el camino deberá luchar contra los elementos del entorno, escalar montículos, esquivar obstáculos, y gusanos mutantes. Estos han sido diseñados para atacar automáticamente cuando un incauto entra en su territorio. El juego proporcionara pistas para develar el camino hacia

los objetos perdidos, a través de una temática de preguntas y respuestas que se pueden crear ad-hoc. Además, se otorgarán puntos en base a la cantidad de “pasos” y “saltos” realizados, a la cantidad de tiempo que el jugador estuvo “corriendo” y la cantidad de respuestas correctas ingresadas. Al final, se mostrará una tabla de posiciones que se basará en los jugadores que mejor puntuación obtuvieron al completar la aventura. El juego se propone ser un *exergame*, y RPG e incorpora elementos del estilo disparos en primera persona y *open world*.

### 5.3. Argumento

La Capitana, perteneciente a la Organización Black Hat es enviada en una misión para recuperar unos objetos robados por el villano White Hat. Durante el viaje es derribada por los secuaces de White Hat, y termina estrellándose en la isla *Hat Island*. Con su traje averiado e incapaz de comunicarse con la Base de Operaciones deberá recorrer la isla y encontrar los objetos necesarios para reparar su radio; su traje y posteriormente, cumplir su misión y regresar a su hogar.

### 5.4. Escenario

El escenario es una isla desierta llamada “*Hat Island*”. Esta isla presentará un ecosistema compuesto por árboles, arbustos, rocas, un lago, montañas y algunos monstruo-gusanos que rodean la isla (véase figura 5.2). El modelado de la vegetación y los objetos interactivos se realiza con el *software* de modelado 3D y 2D Blender (véase 5.7); al igual que el diseño de personajes y las animaciones (véase 5.8.1) realizadas con la técnica *skeletal animation*. La distribución de la vegetación se realiza con la herramienta Scene Scattering Tool (véase 5.8.5).

El ambiente contiene elementos climáticos tales como la variación entre el día y la noche, niebla, posición del sol y la luna, variación de la luminosidad de estos astros dependiendo la hora del día, entre otros para darle un entorno más dinámico, iluminado y realista. Dichos efectos se logran con la incorporación de la librería *Time of Day* (véase 5.8.3).

La superficie presenta relieves como llanuras, montañas, depresiones y desniveles; los cuales se pensaron para contribuir a incrementar la experiencia inmersiva y de *exergame*, al tener que imponer más o menor esfuerzo para alcanzar los objetivos que están sobre las zonas más altas (véase figura

5.1). Se crea un lago que, cuando el personaje cae en el mismo debe realizar la acción (o evento) de “saltar” para salir “nadando” de él. Estos desniveles se crean con la herramienta HeightMap Terrain Plugin (véase 5.8.4).



Figura 5.1: *Screenshot* muestra de una zona donde se requiere acceder mediante una combinación de saltos

## 5.5. Jugabilidad

El juego comienza presentando un tutorial donde se presenta un poco de la historia, y donde el jugador tiene su primer acercamiento al *gamepad* y con cómo éste se relaciona con el juego (véase figura 5.3). El jugador tiene la posibilidad de ignorar el tutorial, si así lo desea, y entonces se procede a presentar la primera misión.

### 5.5.1. Misiones

Los niveles están divididos en “misiones”. Las misiones a realizar son búsquedas de objetos como se describe a continuación:

1. Buscar una pista de la localización actual del personaje en el mundo virtual. Esta misión es de carácter requerido.
2. Buscar los componentes (3) de la radio para comunicarse con la Base de operaciones. Esta misión es de carácter requerido.

CAPÍTULO 5. USO DEL GAMEPAD EN UN CASO DE ESTUDIO. EL VIDEOJUEGO CAPITANA ALDANA



Figura 5.2: *Screenshot* del ambiente del juego

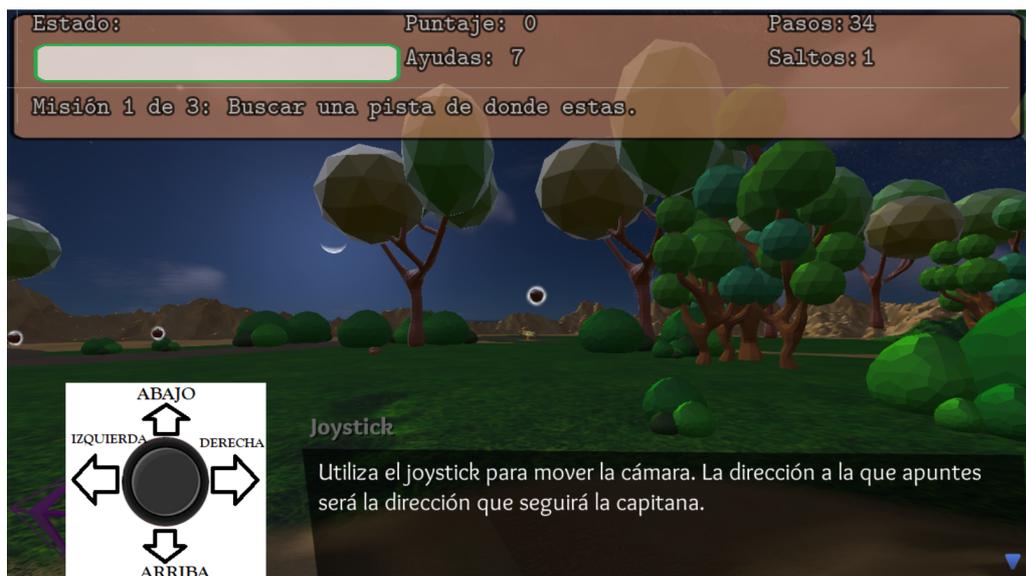


Figura 5.3: *Screenshot* del tutorial

3. Buscar los fragmentos de grafito (3) para reparar el traje de la capitana. Al completar la misión se obtendrá una llave misteriosa. Esta misión es de carácter requerido.
4. Buscar lo que abre la llave misteriosa obtenida en el nivel anterior. Esta misión es de carácter opcional. No se podrán utilizar “ayudas”

para completarla.

### 5.5.2. Ayudas

A partir de la 2da misión, el jugador puede hacer uso de las “ayudas”. Las ayudas consisten en marcas que se dibujan sobre la superficie del videojuego e indican el camino a realizar para localizar uno de los objetos que la actual misión requiere. Las ayudas se entregan al contestar correctamente una pregunta con opciones *multiple choice*. Las preguntas, y respuestas, son tomadas por el juego a través de un archivo previamente provisto por el usuario del sistema (podría ser usado por docentes para trabajar algún tema en particular). El archivo es de tipo .json y debe alojarse en la carpeta “app\_userdata” del sistema de archivos, por ej. en un *host* que corre SO Windows, el archivo debería pegarse en la carpeta “App-Data/Roaming/Godot/ app\_userdata/”. Un ejemplo de la estructura del archivo puede apreciarse en la figura 5.4.

Cuando el jugador pide la “ayuda” se desplegará, en pantalla, una pregunta obtenida del anterior mencionado archivo junto a sus opciones de posibles respuestas (véase figura 5.5). Al seleccionar una respuesta pueden darse 2 escenarios:

- la respuesta es correcta: se dibujará sobre la maleza del escenario del juego un camino hacia el objeto a encontrar más cercano (véase figura 5.6). Además se incrementa el contador de respuestas correctas.
- la respuesta es incorrecta: se decrementa el contador de ayudas disponibles. Además se incrementa el contador de respuestas incorrectas.

### 5.5.3. Enemigos

El juego contará con 3 enemigos que se describen a continuación siendo los “gusanos” los únicos que cuentan con una inteligencia artificial (IA) programada para perseguir al jugador bajo determinadas condiciones. Entre los elementos adversos se encuentran:

- Los Gusanos (*worms*): Son unos pequeños monstruos que se arrastran por el suelo y atacan al jugador cuando entra en un área delimitada, decrementando la “barra de vida”, se alejan cuando el jugador abandona esta área. Pueden ser eliminados con la munición de diamantes (véase figura 5.7).
- Elemento agua: Caer al agua provoca la disminución de la barra de vida del jugador.

```
[
  "1": {
    "nombre": "¿Cuántos minutos tiene una hora?",
    "puntaje": 500,
    "respuesta": {
      "1": {
        "correcta": false,
        "nombre": "15"
      },
      "2": {
        "correcta": false,
        "nombre": "30"
      },
      "3": {
        "correcta": true,
        "nombre": "60"
      },
      "4": {
        "correcta": false,
        "nombre": "120"
      }
    }
  },
  "2": {
    "nombre": "¿Cuántas patas tiene una araña?",
    "puntaje": 500,
    "respuesta": {
      "1": {
        "correcta": false,
        "nombre": "2"
      },
      "2": {
        "correcta": false,
        "nombre": "4"
      },
      "3": {
        "correcta": false,
        "nombre": "6"
      },
      "4": {
        "correcta": true,
        "nombre": "8"
      }
    }
  }
}
```

Figura 5.4: Archivo de preguntas de ayuda para el juego

- Elemento fuego: acercarse mucho a las fogatas provoca la disminución de la barra de vida del jugador.



Figura 5.5: *Screenshot* de cómo se muestra la pregunta de ayuda en pantalla



Figura 5.6: *Screenshot* de cómo se muestra la ayuda en pantalla

#### 5.5.4. Salud y munición

Existen objetos que son recolectables que influyen en la vida y munición del personaje. Se describen a continuación:

- Manzanas: al obtener las mismas se incrementa la barra de vida.

CAPÍTULO 5. USO DEL GAMEPAD EN UN CASO DE ESTUDIO. EL VIDEOJUEGO CAPITANA ALDANA



Figura 5.7: *Screenshot* de cómo se muestran los gusanos en pantalla

- Diamantes: al obtener los mismos se incrementa la barra de munición disponible para defenderse de los enemigos.



Figura 5.8: *Screenshot* del juego donde se pueden ver los diamantes y la barra de munición en la esquina inferior izquierda.

### 5.5.5. Puntajes

A lo largo de la travesía virtual del jugador, el sistema contabiliza los pasos, los saltos y el tiempo que transcurre realizando las acciones “caminando” y “corriendo”; estos valores se muestran en pantalla durante la partida en el margen superior. Al finalizar el nivel, se realiza la contabilidad de los puntos antedichos, más una cantidad adicional por los objetos recogidos, misiones completadas y respuestas correctas, e incorrectas, de la siguiente manera:

- Diamante recolectado x 100
- Manzana recolectada x 100
- Misión completada x 500
- Preguntas contestadas correctamente x 300
- Preguntas contestadas incorrectamente x -300
- Pasos realizados x 1
- Saltos realizados x 1
- Tiempo “corriendo” en segundos x 1

Con las cifras calculadas, se mostrará una pantalla de “Resumen del Nivel” (véase figura 5.9) indicando el puntaje total obtenido.

Inmediatamente después de mostrar el “Resumen”, se presenta una “Tabla de puntajes” (véase figura 5.10). Ésta ordena los jugadores que mejor puntuación obtuvieron durante la sesión de juego, siendo el mayor puntaje la mejor posición en la tabla.

### 5.5.6. Guardado y carga de partidas

El videojuego cuenta con un sistema de guardado de partidas accesible desde el “menú”. A través de mismo, se da la opción a “Guardar la partida” que actualmente está en juego o “Cargar” una partida previamente guardada.

### 5.5.7. Mapa de entradas

El mapa de entradas que reconoce el videojuego se detalla en la tabla 5.1 (y puede apreciarse en la figura 5.11 como se muestra en Godot). Éste determina un conjunto de acciones reconocidas por el videojuego y que producen un efecto en el mismo, acciones tales como “avanzar”, “voltrear la cámara en x dirección”, “agarrar un objeto”, etc. El programador asocia



Figura 5.9: *Screenshot* del resumen del nivel donde se muestran los puntajes obtenidos por el jugador.

cada evento a un dispositivo y un botón (o *stick*) que resulta el responsable de activar dicho evento.

A continuación, se detalla una lista de acciones/eventos que son capaces de ser reconocidos por el videojuego, el efecto que produce en el mismo y el dispositivo asociado:

Nombre de la acción	Tipo	Se asocia al Dispositivo y botón	Descripción
ui_accept	Botón del mando	Dispositivo 0, Botón 0 (DualShock Cross, Xbox A, Nintendo B)	Aceptar/agarrar.
ui_cancel / disparo	Botón del mando	Dispositivo 0, Botón 1 (DualShock Circle, Xbox B, Nintendo A)	Cancelar/ Desenfundar/ Disparar.
ui_select	Botón del mando	Dispositivo 0, Botón 3 (DualShock Triangle, Xbox Y, Nintendo X)	Acceder a “ayudas”.
avanzar_adelante	Botón del mando	Dispositivo 0, Botón 5 (R, R1)	Avanzar hacia delante.
avanzar_correr	Botón del mando	Dispositivo 0, Botón 7 (R2)	Avanzar hacia delante corriendo.
atras_adelante	Botón del mando	Dispositivo 0, Botón 9 (R3)	Alterna entre avanzar hacia atrás o hacia delante.
saltar	Botón del mando	Dispositivo 0, Botón 4 (L, L1)	Avanzar hacia delante saltando.
ui_left	Eje del mando	Dispositivo 0, Eje 2 - (Right Stick Left)	Girar cámara hacia izquierda.
ui_up	Eje del mando	Dispositivo 0, Eje 3 - (Right Stick Up)	Girar cámara hacia abajo.
ui_right	Eje del mando	Dispositivo 0, Eje 2 + (Right Stick Right)	Girar cámara hacia derecha.
ui_down	Eje del mando	Dispositivo 0, Eje 3 + Right Stick Down	Girar cámara hacia arriba.
ui_menu	Tecla	Esc	Acceder al menú.

Tabla 5.1: Mapa de entradas y descripción

Mejores puntuajes					
1	sabri	6500	2	luciano	5702
3	lorenzo	5041	4	andrea	3742
5	jugador7	2900	6	andy	1800
7	aldana	0	8	jugador10	0
9	jugador8	0	10	jugador6	0
11	jugador5	0	12	jugsdor4	0

Figura 5.10: Screenshot de la tabla de posiciones.

## 5.6. Motor de videojuego - Godot

Un motor de juego, según la fabricante de procesadores ARM en su sitio Website (s.f.-d), es un entorno de desarrollo de software, también conocido como “arquitectura de juego” o “marco de juego”, con ajustes y configuraciones que optimizan y simplifican el desarrollo de videojuegos en una variedad de lenguajes de programación. Un motor de juego puede incluir un motor renderizador de gráficos 2D o 3D compatible con diferentes formatos de importación, un motor de física que simula actividades del mundo real, inteligencia artificial (IA) que responde automáticamente a las acciones del jugador, un motor de sonido que controla los efectos de sonido, un motor de animación y una serie de otras características.

Los primeros videojuegos se desarrollaron con sus propios motores de renderizado, cada uno diseñado específicamente para un juego. Con el tiempo, los motores de juego evolucionaron de motores internos patentados a motores desarrollados comercialmente, que están ampliamente disponibles en la actualidad. Los desarrolladores de juegos, que tienen una demanda extremadamente alta, pueden simplificar y acelerar el proceso de desarrollo de juegos mediante el uso de motores de juegos desarrollados comercialmente para producir nuevos juegos o extender los juegos existentes a plataformas adicionales.

Para este videojuego se considera ideal que el motor del videojuego sea:

- *Open-Source*,

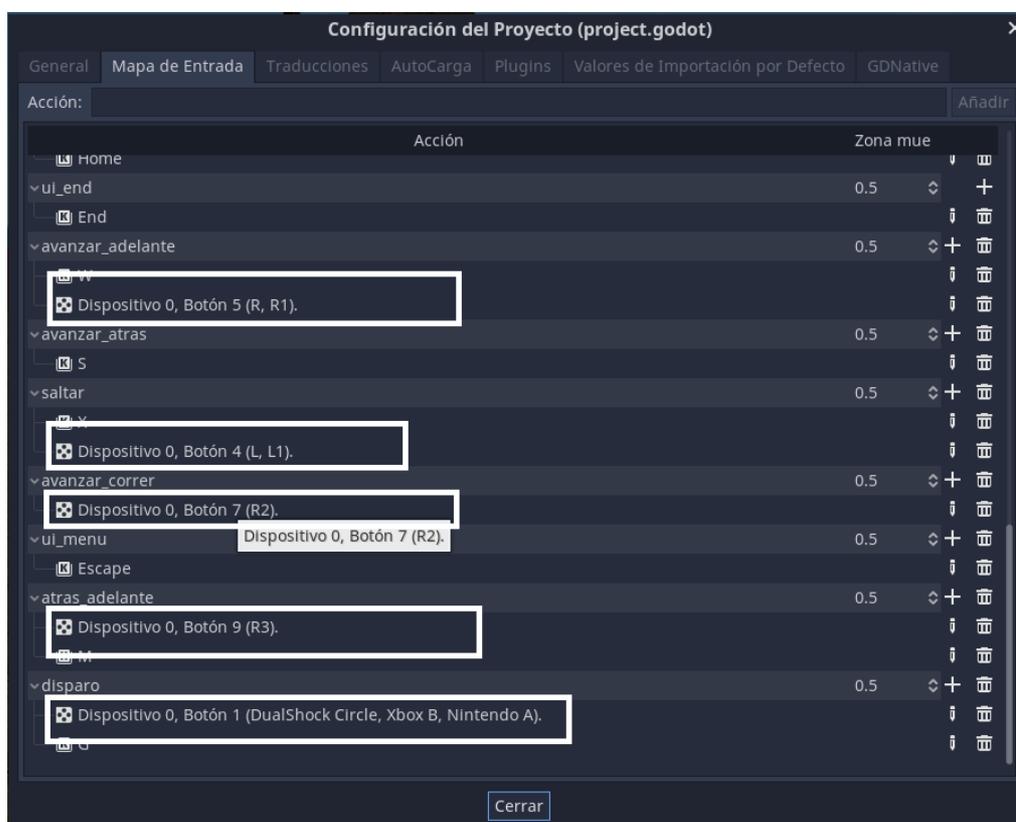


Figura 5.11: Godot - Mapa de Entradas

- con licencia de uso gratuita,
- que sea expansible e integre funcionalidades mediante librerías instalables,
- que tenga una sólida base de documentación y
- que provea compilación a ambientes de escritorio

Teniendo en cuenta estas características deseables se optó por utilizar Godot Engine. Godot Engine es un motor de videojuegos multiplataforma con múltiples características para crear juegos 2D y 3D desde una interfaz unificada. Provee un conjunto exhaustivo de herramientas comunes para que los usuarios puedan enfocarse en crear juegos sin tener que reinventar la rueda. Los juegos pueden exportarse a numerosas plataformas, incluyendo las principales plataformas de escritorio (Linux, macOS, Windows), móviles (Android, iOS) y basadas en la web (HTML5).

Es completamente gratuito y de código abierto, bajo la licencia permisiva del MIT. El desarrollo de Godot es independiente y dirigido por la

comunidad, lo que permite a los usuarios ayudar a dar forma al motor para que coincida con sus expectativas. Está respaldado por Software Freedom Conservancy<sup>1</sup>.

## 5.7. Software de modelado 3D - Blender

Para el modelado de los elementos que conforman el entorno del videojuego (árboles, arbustos, cofres, objetos interactivos) se buscó una herramienta: *open-source*, compatible con Godot, relativamente fácil de utilizar y con una cuantiosa documentación disponible; se utilizó Blender.

Blender, como se cita de su sitio Website (s.f.-a), es “una suite de creación 3D gratuita y de código abierto con la que se puede hacer modelado 3D, montaje, animación, simulación, renderizado, composición y seguimiento de movimiento, incluso edición de vídeo y creación de juegos”. Permite a los usuarios avanzados, a través de la API Blender, crear secuencias de comandos de Python para personalizar la aplicación y escribir herramientas especializadas. Blender se adapta bien a los particulares y los estudios pequeños, ya que es multiplataforma (Linux, Windows y Macintosh). Su interfaz usa OpenGL para brindar una experiencia consistente, está impulsado por la comunidad bajo la Licencia Pública General GNU (GPL), el público está facultado para realizar cambios pequeños y grandes en la base del código, lo que conduce a nuevas funciones, correcciones de errores y una mejor usabilidad.

## 5.8. Assets

A continuación se listan los distintos assets y librerías utilizadas para complementar los *softwares* utilizados (Godot y Blender).

### 5.8.1. Blender glTF 2.0 Importer and Exporter

- **Nombre del asset:** Blender glTF 2.0 Importer and Exporter
- **Tipo del asset:** Blender/Exportador
- **Autor:** julienduroure
- **URL:** <https://github.com/KhronosGroup/glTF-Blender-I0>

---

<sup>1</sup>**Software Freedom Conservancy, Inc.** es una organización sin fines de lucro que brinda soporte para el hogar y la infraestructura, incluidos los servicios legales, para proyectos de software libre/de código abierto.

- **Descripción:** Este asset provee una interfaz importador/exportador. Para la exportación, los datos de la escena de Blender se extraen y se convierten en una escena glTF para luego exportarse al archivo JSON glTF final; incluyendo malla, animación y textura. Para la importación, los datos glTF se analizan y se escriben en una escena Python glTF. Usando el árbol de escena glTF importado, se genera la escena interna de Blender a partir de esta información.
- **Razón de la inclusión:** se utilizó este asset para exportar los objetos modelados con Blender a glTF, un formato reconocible por Godot para manejar los objetos que poseen animación mediante huesos (*skeletal animation* o *bone based animation*). De esta manera, puede animarse un objeto o escena en Blender, utilizando su interfaz y luego exportar dicha animación a Godot.

### 5.8.2. Dialogic

- **Nombre del asset:** Dialogic
- **Tipo del asset:** Godot/addon/dialogo
- **Autor:** coppolaemilio
- **URL:** <https://github.com/coppolaemilio/dialogic>
- **Descripción:** Dialogic es un complemento (*addon*) lanzado para el motor de juego Godot, que agiliza el proceso de agregar conversaciones al juego proveyendo un editor visual simple e integrado; y un conjunto de eventos asociados a los mismos.
- **Razón de la inclusión:** el juego tendrá una narrativa por medio de diálogos. Además, provee una interfaz de *multiple choice*, lo cual es útil para la fase de preguntas y respuestas para obtener las ayudas.

### 5.8.3. Time Of Day Plugin

- **Nombre del asset:** Time Of Day Plugin
- **Tipo del asset:** Godot/plugin/entorno
- **Autor:** jk7c
- **URL:** <https://github.com/jk7c/jc.godot3.time-of-day>
- **Descripción:** Es un *plugin*/complemento para Godot de código abierto para configurar un *world environment* dinámico. Permite ajustar las estrellas, la luna, el sol, la atmósfera, niebla, etc.
- **Razón de la inclusión:** se utilizó para darle un acabado más realista y dinámico al ambiente del juego.

#### 5.8.4. HeightMap Terrain Plugin

- **Nombre del asset:** HeightMap terrain
- **Tipo del asset:** Godot/plugin/entorno
- **Autor:** Zylann
- **URL:** [https://github.com/Zylann/godot\\_heightmap\\_plugin](https://github.com/Zylann/godot_heightmap_plugin)
- **Descripción:** Este complemento provee herramientas para generar depresiones (valles y montañas) en el mapa del juego, ya que Godot no cuenta con un sistema de terreno (o *terrain system*) para 3D nativo. El complemento actualmente está implementado en GDScript. Recientemente, algunas partes comenzaron a implementarse como una biblioteca nativa de GDN (solo en plataformas compatibles), de manera que Godot podría tener un sistema de terreno en el futuro.
- **Razón de la inclusión:** por tratarse de un videojuego de ejercicio (exergame), es interesante agregar relieves en la superficie virtual por donde “transitará” el jugador; de esta manera, compele al usuario a variar la potencia impresa en la marcha.

#### 5.8.5. Scene Scattering Tool

- **Nombre del asset:** Scene scattering tool
- **Tipo del asset:** Godot/plugin/entorno
- **Autor:** Zylann
- **URL:** [https://github.com/Zylann/godot\\_scatter\\_plugin](https://github.com/Zylann/godot_scatter_plugin)
- **Descripción:** Este complemento agrega herramientas para ayudar a colocar muchas instancias de una escena en un entorno, “pintando” sobre él, en lugar de arrastrarlas y soltarlas manualmente desde el sistema de archivos.
- **Razón de la inclusión:** se lo incluye porque es una herramienta que facilita la inserción de objetos de entorno como árboles, arbustos, rocas, etc.

### 5.9. Mapa de entradas y relación con el prototipo de *gamepad* propuesto

Como se reseñó en la sección 5.4, el terreno de la isla posee distintos tipos de relieves que deberán recorrerse, esto es un buen concepto para implementar *walking in place*, de una manera inmersiva de manera similar a como lo hizo el videojuego “HappyRun” mencionado en el capítulo 2.5.5. La búsqueda de objetos a través de la isla invita a que el jugador deba

“caminar” para avanzar a través del juego; los distintos relieves en el terreno influyen en la potencia que el jugador debe imprimir en la marcha, lo mismo sucede cuando el jugador se encuentre siendo perseguido por algún enemigo y deba escapar de él “corriendo”. De manera análoga, cuando el jugador deba “saltar”, para obtener los objetos que restablecen la barra de vida, los que le proporcionan munición para defenderse o para salir de los entornos acuáticos.

A continuación, se muestra en la tabla 5.2 como quedan asociados los eventos del mapa de entradas del videojuego que se enumeraron en 5.5.7 con las entradas del prototipo de controlador de videojuego. En la tabla se incluye el campo “Registro”, el cual se reseñó en el capítulo 4, y se describe cómo se relaciona con los eventos del controlador presentado en esta tesina en 4.1. Cabe destacar que el juego es perfectamente funcional si se asocian los eventos a las entradas adecuadas de un controlador convencional.

Tabla 5.2: Mapa de entradas del controlador/videojuego y su descripción

Componente Origen	Registro	En CC representa el evento	Entrada (Godot)	Descripción
Gamepad	Botón A	Joystick.pressButton(0)	Dispositivo 0, Botón 0 (DualShock Cross, Xbox A, Nintendo B)	Aceptar/agarrar
Gamepad	Botón B	Joystick.pressButton(2)	No se utilizó	Sin acción asignada
Gamepad	Botón C	Joystick.pressButton(3)	Dispositivo 0, Botón 3 (DualShock Triangle, Xbox Y, Nintendo X)	Acceder a "ayudas"
Gamepad	Botón D	Joystick.pressButton(1)	Dispositivo 0, Botón 1 (DualShock Circle, Xbox B, Nintendo A)	Cancelar/ Desenfundar/ Disparar
Gamepad	Botón E	Joystick.pressButton(9)	Dispositivo 0, Botón 9 (R3)	Alterna entre avanzar hacia atrás o hacia delante
Gamepad	MapX	Joystick.setRxAxis	Dispositivo 0, Eje 2 - (Right Stick Left) Dispositivo 0, Eje 2 + (Right Stick Right)	Girar cámara hacia izquierda Girar cámara hacia derecha
Gamepad	MapY	Joystick.setRyAxis	Dispositivo 0, Eje 3 - (Right Stick Up) Dispositivo 0, Eje 3 + Right Stick Down	Girar cámara hacia abajo Girar cámara hacia arriba
Tobillera	estado = caminando	Joystick.pressButton(5)	Dispositivo 0, Botón 5 (R, R1)	Avanzar hacia delante
Tobillera	estado = corriendo	Joystick.pressButton(7)	Dispositivo 0, Botón 7 (R2)	Avanzar hacia delante corriendo
Tobillera	estado = saltando	Joystick.pressButton(4)	Dispositivo 0, Botón 4 (L, L1)	Avanzar hacia delante saltando

## 5.10. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se realizó una introducción del juego “Capitana Aldana” junto con la mecánica de juego propuesta. Se describió el escenario, los elementos que lo componen, las misiones, el funcionamiento del puntaje, los enemigos, y cómo estos aportan para que resulte en un *exergame*. Esto se debe a que influyen en el movimiento *walking in place* que debe realizar el jugador para afrontar dichos desafíos. Cada una de estas secciones fue acompañada con imágenes que muestran algunos diseños preliminares y el resultado final, producto del desarrollo del juego. También, se describió el motor de juegos utilizado, se enumeraron las librerías de 3ros integradas con una breve explicación sobre su inclusión.

Para finalizar, se presentó la tabla de entradas del videojuego y cómo la misma se relaciona con el prototipo *gamepad* presentado en esta tesina, de manera que cada evento, ya sea de tipo *walking in place* (proveniente del CT) o de tipo analógico/digital (proveniente del CG), quede integrado al juego de manera natural como si se tratase de un *gamepad* convencional.



## Capítulo 6

# Pruebas con usuarios del videojuego con el *gamepad* propuesto

### 6.1. Introducción

En este capítulo se presenta la evaluación del prototipo de *gamepad* propuesto junto al videojuego desarrollado en el capítulo anterior. Entre los objetivos planteados para la tesina, se indicó el realizar una evaluación de la usabilidad de este dispositivo. Por ello, se comienza en este capítulo por presentar una definición del concepto de usabilidad de un sistema, algunos métodos para su evaluación, para luego continuar con la descripción de las sesiones de pruebas realizadas y los contextos en que se desarrollaron.

### 6.2. Contexto de las pruebas

Las pruebas se llevaron a cabo en dos contextos, el primero en el ámbito de la Facultad de Informática perteneciente a la UNLP y contó con la participación de alumnos de la carrera de Ingeniería en Computación y Licenciatura en Informática. Este grupo estuvo conformado por 4 personas de entre 20 y 24 años, 3 de género masculino y uno de género femenino; todos con experiencia en el uso de videojuegos. El espacio destinado a la prueba es un salón de exposición de una superficie mayor a 6 x 4 metros. El juego se reprodujo con una pantalla grande (proyector sobre pared de fondo blanco). Al grupo en este contexto se lo llamará G1.

El segundo contexto fue un departamento dedicado al campo de tecno-

logías de la información (IT) por fuera del ámbito educativo y contó con la participación de personas tanto relacionadas al campo IT como ajenas a dicha coyuntura. Este grupo está conformado por 6 participantes, 3 de género masculino y 3 de género femenino, de entre 40 y 63 años; 2 de ellos con experiencia en el uso de videojuegos, 1 con experiencia, pero no usuario habitual; y los restantes no están relacionados al área de informática tampoco cuentan con experiencia en el uso de videojuegos. El espacio destinado a la prueba es una habitación de 3 x 3 metros. El juego se reprodujo con una pantalla pequeña (computador *laptop*), y posteriormente en una pantalla de TV de 42 pulgadas. Al grupo en este contexto se lo llamará G2.

### 6.3. Usabilidad e instrumentos de recogida de datos

La usabilidad de un sistema, tal como se define en la norma ISO 9241 Parte 11, refiere a la capacidad de un software de ser comprendido, aprendido, usado y ser atractivo para el usuario, en condiciones específicas de uso. Es por ello, que las medidas de usabilidad se concentran en 3 aspectos fundamentales:

- Eficacia (pueden los usuarios lograr con éxito sus objetivos)
- Eficiencia (cuánto esfuerzo y recursos se gastan para lograr esos objetivos)
- Satisfacción (fue satisfactoria la experiencia)

Existen diversos métodos estandarizados para medir la usabilidad de un sistema. A continuación, se describen dos de ellos, que son reconocidos en el campo de las Ciencias de la Computación:

#### 6.3.1. *Software Usability Measurement Inventory (SUMI)*

El SUMI es un cuestionario utilizado para la evaluación de la calidad de un conjunto software (es bastante específico en este sentido) desde el punto de vista del usuario final. Este cuestionario puede ser utilizado para evaluar nuevos productos, efectuar comparaciones con versiones previas y establecer objetivos para desarrollos futuros. Consiste en 50 puntos a los que el usuario ha de responder “De acuerdo”, “No sé”, “En desacuerdo”. Serán suficientes doce usuarios para la obtención de datos significativos y no más de treinta si se pretende llevar a cabo una encuesta.

### 6.3.2. *System Usability Scale (SUS)*

La escala SUS es una escala de estilo Likert<sup>1</sup> que genera un único número, representando una medida compuesta de la usabilidad del sistema sometido a estudio. Hay que advertir que las puntuaciones independientes no son significativas por sí mismas.

El cuestionario SUS fue desarrollado en 1986 como parte de la introducción de la Ingeniería de usabilidad a los sistemas de oficina de Digital Equipment Co. Ltd.

Su propósito era proporcionar un test con un número acotado de preguntas, fácil de completar y puntuar y que permitiera establecer comparaciones entre productos (por ej. “el sistema ‘A’ es más usable que el sistema ‘B’”). Ha sido usado extensivamente en evaluaciones de proyectos en Digital Equipment Co. Ltd (sistemas de oficina, herramientas técnicas y sistemas de hardware), y se ha convertido en un estándar de la industria, ya que se considera un método fiable, rápido, intuitivo y que puede ser usado con un muestreo pequeño.

La escala SUS se utiliza generalmente, después de que un usuario ha tenido la oportunidad de utilizar un sistema, pero antes de que cualquier informe o discusión tenga lugar. Consiste en solicitarle a los usuarios el registro inmediato de su respuesta a cada punto, en lugar de pensar largamente en los mismos. Todos los puntos han de ser comprobados. Si el usuario no se siente capaz de responder a alguna cuestión en particular, deberá señalar el valor central de la escala.

En la encuesta el usuario deberá responder valorando los siguiente 10 puntos:

1. Creo que me gustaría usar el sistema con frecuencia.
2. Encuentro el sistema innecesariamente complejo.
3. Creo que el sistema es fácil de usar.
4. Creo que necesitaría la ayuda de un técnico para poder usar este sistema.
5. Me parece que las diferentes funciones de este sistema están bien integradas.

---

<sup>1</sup>**Likert** es una escala psicométrica comúnmente utilizada en las investigaciones de Ciencias Sociales que emplean cuestionarios. Es el enfoque más utilizado para ordenar por gradiente las respuestas en la investigación por encuestas, de modo que el término “escalas tipo Likert” se asocia a “escala de valoración”, aunque existen otros tipos de escalas de valoración.

6. Creo que el sistema tenía muchas inconsistencias.
7. Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este sistema muy rápido.
8. Me parece que el sistema es muy complicado de usar.
9. Me siento muy seguro usando el sistema.
10. Necesitaba aprender muchas cosas antes de avanzar con este sistema.

Para calcular la puntuación del SUS, hay que sumar primero las contribuciones de cada punto. La contribución de cada punto valdrá entre 0 y 4. Para los puntos 1, 3, 5, 7 y 9, la contribución será la posición de la escala menos 1. Para los puntos 2, 4, 6, 8 y 10, la contribución será 5 menos la posición en la escala. Se multiplica la suma de los resultados por 2.5 para obtener el valor global del SUS. El resultado estará entre 0 y 100. El puntaje promedio del cuestionario es 68. Eso significa que una puntuación SUS superior a 68 está por encima del promedio, y por debajo de 68 está por debajo del promedio y dará una idea inmediata de la facilidad de uso general de la solución diseñada.

Como se puede ver en la figura 6.1 (Ozturk (2017)), los puntajes del SUS se clasifican en una variedad de categorías: lo mejor que se pueda imaginar, excelente, bueno, aceptable, deficiente y lo peor que se pueda imaginar.

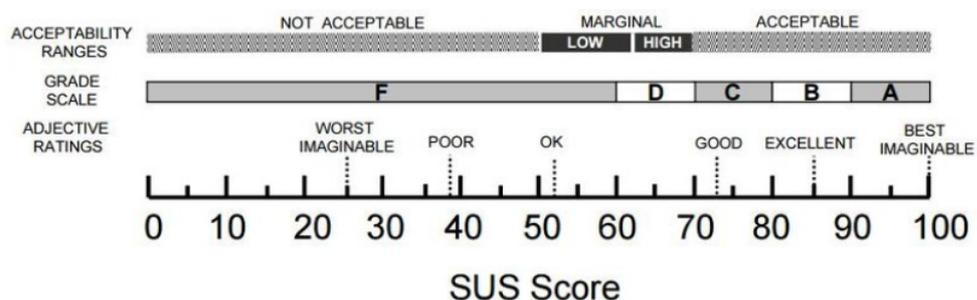


Figura 6.1: SUS - Puntaje de aceptación

## 6.4. Desarrollo de las sesiones

En esta sección se describen las sesiones realizadas para llevar adelante las pruebas de usabilidad. Para evaluar la usabilidad del prototipo del controlador propuesto junto al videojuego desarrollado en el capítulo anterior, se utilizará la escala SUS. Las razones son: que ha sido ampliamente utilizado, proporcionando una medida calibrada de usabilidad, lo cual es

importante para interpretar los datos, ya que una “usabilidad baja” podría comprometer la inmersión de la relación *gamepad* / videojuego. La recolección del *feedback* provisto por los usuarios se realizará a través del envío del formulario con los puntos del SUS, a los participantes.

### 6.4.1. Prueba con usuarios cercanos al entorno de desarrollo

Se realizaron pruebas informales con los directores de esta tesina, y otros usuarios cercanos al entorno de desarrollo del tesista: otros informáticos, participantes del III LIDI. Las pruebas consistían en que los participantes jugaran el videojuego utilizando el prototipo de *gamepad* a modo de testear la exactitud y la velocidad en la respuesta que el controlador producía en el juego. De estas pruebas preliminares surgieron observaciones que llevaron a las siguientes acciones:

- se rediseñó la forma de la tobillera, el primer diseño era de forma rectangular y no era cómoda ni adaptable a la forma del tobillo del jugador;
- se agregó color a los botones del *gamepad* para que sean fácilmente identificables;
- se cambiaron los bancos de baterías que alimentaban los dispositivos;
- se revisaron formas para mejorar el cableado de los módulos internos del CG y CT, al igual que la sujeción de los componentes dentro de los dispositivos para que resistan el movimiento del usuario;
- se sometieron a modificación los modelos 3D del videojuego a modo de hacerlos más amigables y llamativos;
- se agregaron funcionalidades del tipo: la posibilidad de ayudar al jugador a encontrar los objetos, se amplió el área de detección de los objetos para poder recogerlos, se implementó la contaduría de pasos, se colocaron carteles cuando las misiones se concluían, se agregó la tabla de posiciones al final del nivel, entre otras;
- se quitaron algunas funciones que no tenían mucha influencia en el desarrollo del juego;
- se reversionó la historia de videojuego para hacerla más acotada;
- y se analizó la correcta redacción y ortografía en los textos y guiones que conforman “Capitana Aldana”.

Estas pruebas se realizaron desde el inicio con prototipos evolutivos del controlador y el videojuego, y continuaron hasta su versión final. Los resultados de esas pruebas han sido sustanciales para llegar a la versión

actual.

### 6.4.2. Pruebas con destinatarios reales de la aplicación

Se llevaron a cabo 2 sesiones de prueba (véase figura 6.2), una ellas con el grupo G1 y la otra con el grupo G2. A continuación se presenta su detalle:

#### 6.4.2.1. Grupo G1

Para las pruebas con este grupo se convocó a los participantes y se les explicó el objeto de la prueba. Se procedió a presentar el *gamepad* y sus aspectos básicos como el funcionamiento de los botones, el avance en el campo de juego usando la tobillera y la forma en que se maneja la visión con el *stick* del *gamepad*. Una vez explicados estos fundamentos se procedió a iniciar la sesión de juego, la misma no tendría límite de tiempo y el objetivo fue intentar finalizar el nivel. Las pruebas trascurrieron sin mayores inconvenientes; el dispositivo respondió bien y todos lograron completar el nivel, a excepción de un caso donde el jugador entró a un “área inaccesible” del juego del que no logró salir por lo que no pudo completar el nivel. La duración promedio de las sesiones de juego finalizado fue entre 13 y 15 minutos con un promedio de 1700 pasos dados. Para finalizar la sesión, se agradeció la participación de los colaboradores y se les envió la encuesta SUS para recoger el *feedback*. Varios de ellos respondieron en el mismo momento.

#### 6.4.2.2. Grupo G2

Para las pruebas con este grupo se convocó a los participantes y, como en el grupo anterior, se les explicó el objeto de la prueba y se presentó el *gamepad*. Las condiciones fueron las mismas que el experimento anterior. Las pruebas trascurrieron sin mayores inconvenientes; el dispositivo respondió, a excepción de un caso donde el *gamepad* se apagó y hubo que repararlo. A diferencia del grupo anterior solo 3 jugadores lograron completar el juego; los demás no lograron finalizarlo debido a que presentaron una ligera fatiga, por lo que decidieron dar por finalizada la sesión. La duración promedio de las sesiones de juego finalizado fue entre 12 y 17 minutos con un promedio de 2100 pasos (incluye saltos) contabilizados. Vale destacar que los jugadores que decidieron no hacer uso de las ayudas fueron los que más pasos dieron y más tiempo tardaron, mientras que los que más rápido lo lograron utilizaron las ayudas para localizar los elementos. Una vez finalizada



Figura 6.2: *Collage* de algunos *screenshots* provenientes de los registros audiovisuales de las pruebas con usuarios.

la sesión se agradeció la participación de los convocados y se les envió la encuesta SUS a sus respectivos correos electrónicos.

## 6.5. Conclusiones del capítulo

Este capítulo se dedicó a introducir al lector en el contexto de las pruebas que se realizaron del prototipo controlador de videojuegos para probar su usabilidad. Se recordó el concepto de “usabilidad” y se reseñaron 2 métodos que se utilizan ampliamente en la industria del *hardware/software* para tal fin. Una vez elegido el método para medir la usabilidad del *gamepad* se procedió a describir la forma en que trascurrieron las sesiones de prueba, cuyos resultados se darán a conocer en el capítulo siguiente.



# Capítulo 7

## Resultados obtenidos

### 7.1. Introducción

En el capítulo anterior se presentó una descripción de las sesiones de prueba desarrolladas para analizar la usabilidad del prototipo con usuarios reales. Este capítulo se dedicará a presentar los resultados obtenidos de las pruebas, algunas apreciaciones y comentarios de los participantes para luego finalizar con el resultado del cálculo final proveniente del cuestionario SUS.

### 7.2. Resultados obtenidos por grupo de trabajo

#### 7.2.1. Grupo G1

En el grupo G1 el juego recibió críticas positivas 4,5/5 en promedio de los valores por cada ítem (teniendo como máximo el valor 5). La integración del *gamepad* con el videojuego fue valorada positivamente; se la calificó como intuitiva y como una buena manera de integrar los movimientos de la parte superior e inferior del cuerpo al juego, cumpliendo así su rol inmersivo.

Los participantes mostraron interés en conocer sobre esta tecnología implementada en videojuegos de deporte, aventura y terror; incluso ampliarlo para ambientes multijugador.

Por la parte técnica, se descubrió en los participantes de elevada estatura la tobillera presentaba algunos problemas para contabilizar los pasos generando algunos *bugs*; por lo que se sugirió implementar una sección del

Grupo	Valor de aporte por punto										Suma	Valor SUS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
G1	2.75	3.5	3.5	3	3.25	3	3.5	4	3.25	4	33.75	84.37

Tabla 7.1: Cuadro de resultados de cuestionario SUS en contexto G1

juego donde cada jugador pueda configurar y entrenar la tobillera antes de empezar a jugar. También se señaló la existencia de algunos *bugs* en el juego, uno de ellos impidió al jugador concluir el nivel. Las demás cuestiones mencionadas no influyeron de gran manera en la sesión de juego. La adición de los *worms* fue un agregado entretenido, haciendo que los jugadores corrieran intentando escapar de ellos, y también que idearan estrategias para eliminarlos antes de empezar la búsqueda de objetos.

En cuanto a las respuestas al formulario SUS de los participantes del experimento, arrojaron los datos presentados en la tabla 7.1 respecto a su usabilidad. Con un puntaje de 84.37, el *gamepad* se posiciona por encima del promedio SUS entre “Bueno” y a una mínima distancia de “Excelente”, indicando que el componente tiene una buena usabilidad y es mejorable.

### 7.2.2. Grupo G2

El grupo G2, a pesar de un inicial escepticismo al describir oralmente el funcionamiento del *gamepad*, presentó entusiasmo ante el desarrollo una vez que lo testearon, y lo señalaron como algo novedoso. Los usuarios habituales de videojuegos lo encontraron como una alternativa divertida a los controladores convencionales. Los participantes que no son usuarios habituales lo valoraron como una buena opción para realizar actividad física en días de lluvia o viento; algunos indicaron que recomendarían el controlador para sus familiares más jóvenes. Señalaron que les gustaría ver el controlador aplicado en juegos de deporte como fútbol, carreras y actividades que refuercen las actividades motrices en niños. El apartado gráfico del videojuego también fue valorado positivamente; los sonidos de ambiente, los efectos al recolectar los objetos, completar misiones, entre otros ayudaron a crear un entorno inmersivo. También, algunos usuarios valoraron negativamente la desconexión que sufrió la tobillera durante la prueba, pero que les gustaría ver futuras evoluciones del producto. Como recomendación, se indicó que les gustaría que se implementaran más niveles de dificultad al juego e incluso más sensores para que la experiencia sea más inmersiva.

El juego recibió una crítica general de 4.6/5 en promedio; y las respues-

Grupo	Valor de aporte por punto										Suma	Valor SUS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
G2	3.33	3.33	3.33	3.66	3.66	3.5	3.83	2	3.5	3.16	33.3	83.25

Tabla 7.2: Cuadro de resultados de cuestionario SUS en contexto G2.

tas al formulario SUS de los participantes del experimento arrojaron los datos presentados en la tabla 7.2 respecto a su usabilidad. Con un puntaje de 83.25, el controlador se posiciona por encima del promedio SUS entre “Bueno” y a una mínima distancia de “Excelente”, indicando que el componente tiene una buena usabilidad y aún es mejorable, según la opinión de este grupo de participantes.

### 7.2.3. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentó la evaluación realizada del prototipo desarrollado en conjunto con el videojuego propuesto en esta tesina. La evaluación se realizó a través de sesiones de prueba durante el desarrollo y con la versión final. Las pruebas dan cuenta de resultados satisfactorios obtenidos tanto del cuestionario SUS como a partir de las observaciones y comentarios de los propios participantes. En todos los casos, los participantes manifestaron agrado al usar el *gamepad*, aportaron ideas de mejoras y mostraron interés en ver la futura evolución del dispositivo y su aplicación en otros videojuegos.



# Capítulo 8

## Conclusiones y trabajos futuros

### 8.1. Introducción

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas a lo largo de este trabajo. Luego se continúa en la sección 8.3 con las líneas de trabajos futuros, que se abren a partir de. desarrollo de esta tesina.

### 8.2. Conclusiones

La reciente pandemia de COVID-19 ha significado un semillero de oportunidades para los videojuegos del tipo *exergames*, que han demostrado ser una herramienta que ayuda a mantener a los jugadores activos tanto física como mentalmente y son una alternativa a los videojuegos sedentarios. Sin embargo, para poder aprovechar las ventajas es importante que el juego esté bien diseñado y desarrollado.

Tan importante como la temática del videojuego es la tecnología con la que trabajará el juego. Las marcas comerciales han lanzado al mercado dispositivos innovadores y atractivos con las cuales los desarrolladores de videojuegos pueden trabajar, si cumplen las condiciones de antedichas compañías. Es decir, aquí se encuentra una barrera para los desarrolladores, y es en este punto en el que se buscó hacer un aporte en esta tesina.

En este trabajo se realizó un relevamiento del concepto de videojuego del tipo *exergame*, su historia y sus beneficios en la salud de las personas. Una vez analizado el contexto de los *exergame* e identificada la acción de

“caminar” como el ejercicio que más completo y que más beneficios trae al ser humano, se exploraron los métodos de locomoción utilizados en VR y cómo podían aplicarse los mismos a imitar la acción de “caminar” de una manera inmersiva en un ambiente no VR.

Realizado el análisis de la técnica *walking in place* como la manera más cercana a obtener los beneficios de la caminata, se procedió a reseñar las tecnologías comerciales que se han usado para tal fin, como éstas resolvieron dicha implementación y los comentarios que los críticos del ámbito de videojuegos señalaron en su momento.

Para no acotar solo a las tecnologías comerciales, en el capítulo 3 se relataron 3 experiencias de trabajos, como antecedentes en el campo de tecnologías aplicadas al ámbito de los *exergames*. Con estas bases, el capítulo 4 describió los requerimientos del prototipo de *gamepad*, sus funcionalidades, y su diseño producto de una amalgama de 3 componentes. En el capítulo 5 se describió el desarrollo de un mini-videojuego para probar el prototipo *gamepad*; es interesante observar que el videojuego podía jugarse con teclado convencional y la introducción del *gamepad* lo convirtió en un videojuego del tipo *exergame*. Lo que da cuenta que esta característica podría extenderse a otros videojuegos *no-exergame*. En el capítulo 6 y 7 se presentaron las pruebas del dispositivos con usuarios reales, y se describieron los contextos que abarcaron las pruebas junto con los resultados obtenidos.

En resumen, se indican, a continuación, los objetivos alcanzados en esta tesina:

- Se estudió la temática de los *exergames* en profundidad
- Se estudiaron los mecanismos actualmente comerciales para la detección de locomoción en videojuegos y en especial WIP.
- Se desarrolló un prototipo de controlador para videojuegos que permite que un computador *host* lo reconozca como un mando (*joypad*) estándar, lo que lo hace compatible con muchos videojuegos y permite utilizarlos como *exergames* aunque no lo sean.
- Para el prototipo de *gamepad* se analizó y eligió hardware con componentes Arduino (describiendo todos sus componentes y justificando su elección por sobre otras alternativas), se conectó las distintas placas, se integró dentro de una carcasa hecha ad-hoc con impresora 3D. Además, se implementó el software en cada una de las partes integrando librerías de software libre para poder hacer funcionar componente de software en su totalidad.
- Se desarrolló un videojuego de mundo libre 3D con herramientas de

software libre pensado desde sus orígenes para ser usado con el prototipo, pero que perfectamente se puede jugar con un mando convencional o con teclado y *mouse*.

- Se analizaron técnicas para llevar adelante la evaluación del prototipo desarrollado.
- Se realizaron sesiones de prueba con diferentes grupos, durante el desarrollo y cuando el prototipo se consideró avanzado.
- Se eligió una de las técnicas de medición de experiencia de usuario y se aplicó a los grupos de prueba.
- Se obtuvieron resultados positivos tanto con el uso del mando como del videojuego.

Se considera que esta tesina ha realizado un aporte a la investigación en el tema de *exergames*, tanto desde la conformación de un estudio teórico como con la propuesta y la posterior evaluación del prototipo y el videojuego. Al mismo tiempo, las pruebas y sus resultados permitieron conocer oportunidades de mejora, que se esperan realizar a futuro. Cabe aclarar que este trabajo ha motivado en la estudiante el interés en la investigación en estos temas.

### 8.3. Líneas futuras de trabajo

A partir de las conclusiones obtenidas se proponen las siguientes líneas de trabajo a futuro:

Con respecto al prototipo *gamepad*:

- Extender el *CG* para agregarle más botones con el objetivo de tener la misma cantidad de funciones que un controlador *joypad* convencional.
- Portar la manera que está implementado el circuito actual a un circuito impreso, de modo de prescindir del uso de cables, eliminando la posibles desconexiones.
- Agregar la posibilidad que reconozca otros movimientos, como por ej.: “agacharse”.
- Agregar un sensor de pulso cardíaco para monitorear la actividad cardíaca del jugador
- Agregar la posibilidad de utilizar la tobillera en otro aparato de ejercicio como bicicleta fija.
- Integrar el *gamepad* con juegos del tipo realidad virtual.
- Generar una guía para desarrolladores para que puedan integrar un prototipo de controlador similar a diversos juegos que no sean del tipo

*exergame*.

Con respecto al videojuego:

- Reparar los restantes *bugs* detectados durante las pruebas.
- Implementar más desafíos, tanto físicos como lógicos.
- Agregar más niveles de modo de completar la historia de La Capitana con cinemáticas.
- Implementar niveles de dificultad.
- Implementar una API y servidor del cual descargar rutinas de ejercicio según la rutina requerida por usuario.
- Implementar un apartado de “sincronización” donde el usuario podrá practicar los movimientos básicos antes de comenzar el juego y que sirva además como entrenamiento del algoritmo detector de movimiento.
- Realizar nuevas pruebas y evaluaciones, ampliando la muestra.

# Referencias

- Bakalar, J. (2010, 03 de 11). *microsoft-kinect-series-review*. <https://www.cnet.com/reviews/microsoft-kinect-series-review/>. ([Online; accessed 4-may-2022])
- Bolton, M. (2019, 28 de 02). *Playstation move review*. <https://www.techradar.com/reviews/gaming/gaming-accessories/playstation-move-713638/review/5>. ([Online; accessed 18-jun-2022])
- Bond, S., Laddu, D., Ozemek, C., Lavie, C., y Arena, R. (2019, 09). Exergaming and virtual reality for health: Implications for cardiac rehabilitation. *Current Problems in Cardiology*, 46.
- Chen, J. (2010, 17 de 09). *Sony move review: Don't be wii 2.0*. <https://gizmodo.com/sony-move-review-dont-be-wii-2-0-5640908>. ([Online; accessed 18-jun-2022])
- Cherni, H., Métayer, N., y Souliman, N. (2020, 03). Literature review of locomotion techniques in virtual reality. *International Journal of Virtual Reality*, 20, 1-20. doi: 10.20870/IJVR.2020.20.1.3183
- Cooper, D. (2020, 04 de 11). *Ten years on, kinect's legacy goes beyond xbox*. <https://www.engadget.com/kinect-10-years-retrospective-150011349.html>. ([Online; accessed 4-may-2022])
- Corregidor Sanchez, A. I., Polonio-López, B., Martín, J., Rodríguez-Hernández, M., Mordillo Mateos, L., Schez-Sobrino, S., y Criado-Alvarez, J. (2021, 07). Exergames to prevent the secondary functional deterioration of older adults during hospitalization and isolation periods during the covid-19 pandemic. *Sustainability*, 13, 7932. doi: 10.3390/su13147932
- Cortis, C., Giancotti, G., Rodio, A., Bianco, A., y Fusco, A. (2020, 05). Home is the new gym: Exergame as a potential tool to maintain adequate fitness levels also during quarantine. *Human Movement*, 21. doi: 10.5114/hm.2020.94826

- Guerra, J. (2021, 25 de 11). *Cada movimiento cuenta para mejorar la salud – dice la oms*. <https://www.who.int/es/news/item/25-11-2020-every-move-counts-towards-better-health-says-who>. ([Online; accessed 9-april-2022])
- Hwang, I., Lee, U., Lee, S., Yoo, C., Lee, Y., Jang, H., ... Song, J. (2012, 06). Exerlink: Enabling pervasive social exergames with heterogeneous exercise devices. *MobiSys'12 - Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*. doi: 10.1145/2307636.2307639
- Infobae, y Branch. (2021, 30 de 06). *¿cuánto tiempo pasamos en las redes sociales y qué plataformas preferimos?* <https://www.universidad.com.ar/cuanto-tiempo-pasamos-en-las-redes-sociales-y-que-plataformas-preferimos>. ([Online; accessed 9-april-2022])
- iProUp. (2021, 01 de 03). *Facebook: ¿cuánto deberá pagar la empresa de mark zuckerberg por violar la privacidad de sus usuarios?* <https://www.iproup.com/innovacion/20952-facebook-pagara-us650-m-por-demanda-de-violacion-de-privacidad>. ([Online; accessed 12-jul-2022])
- Jurado, F., Albusac, J. A., Castro, J. J., y Vallejo, D. (2015). *Desarrollo de videojuegos. un enfoque práctico*. (Vol. 4 Desarrollo de componentes). CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Krekhov, A. (2020, 09). How to improve your virtual experience – exploring the obstacles of mainstream vr.
- López Serrano, S., Suárez Manzano, S., Ruiz Ariza, A., y Martínez López, E. (2017). *Exergames: Videojuegos activos para la promoción de la actividad física y el desarrollo cognitivo en educación primaria y secundaria* (W. Editorial, Ed.).
- Marti, A. C., Álvarez Pitti, J. C., Guixeres Provinciale, J., Lisón, J. F., y Baños Rivera, R. (2015, 02). Opciones alternativas para prescribir actividad física entre niños y adolescentes obesos: marcha rápida con el apoyo de videojuegos activos. *Nutrición Hospitalaria*, 31.
- Miller, R. (2010, 01 de 09). *Playstation move review*. <https://www.engadget.com/2010-09-01-playstation-move-review.html>. ([Online; accessed 17-jun-2022])

- Montola, M., Stenros, J., y Waern, A. (2009). *Pervasive games: Theory and design*. doi: 10.1201/9780080889795
- Muñoz, J., Villada, J., y Giraldo Trujillo, J. (2013, 07). Exergames: a technological tool for the physical activity abstract. , 19, 126-130.
- Ozturk, Y. (2017). *Development of a model for simple educational mobile applications: A case study of evaluation matrix* (Tesis Doctoral no publicada).
- Playstation, S. (s.f.). *Ready to join playstation partners*. <https://register.playstation.net/prerequisite>. ([Online; accessed 27-jun-2022])
- Rivington, J. (2010, 04 de 11). *Microsoft kinect for xbox 360 review*. <https://www.techradar.com/reviews/gaming/games-consoles/controllers/microsoft-kinect-for-xbox-360-905010/review>. ([Online; accessed 4-may-2022])
- Samit, S. (2020, 13 de 03). *Ring fit adventure is sold out everywhere, nintendo confirms*. <https://www.polygon.com/2020/3/13/21177214/ring-fit-adventure-sold-out-stock-coronavirus-nintendo-switch>. ([Online; accessed 9-april-2022])
- Shaw, A., Wünsche, B., Lutteroth, C., Marks, S., y Callies, R. (2015, 01). Challenges in virtual reality exergame design. *Conferences in Research and Practice in Information Technology Series*, 162, 61-68.
- Sociedad Argentina de Cardiología. (2017, 03 de 04). *Sedentarismo y actividad física: Cómo impactan en la salud*. <https://www.sac.org.ar/institucional/sedentarismo-y-actividad-fisica-como-impactan-en-la-salud/>. ([Online; accessed 19-July-2008])
- Stein, S. (2021, 9 de 12). *Oculus quest 2 review*. <https://www.cnet.com/tech/gaming/facebook-oculus-quest-2-vr-review-one-of-my-favorite-game-consoles/>. ([Online; accessed 12-jul-2022])
- Sánchez, M., Martínez Martínez, A., Zurita Ortega, F., Chacón Cuberos, R., Espejo-Garcés, T., y Cabrera Fernández, A. (2015, 01). Uso de videojuegos y su relación con las conductas sedentarias en una población escolar y universitaria. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 6, 40-51.

- Tanaka, K., Parker, J., Baradoy, G., Sheehan, D., Holash, J., y Katz, L. (2012, 01). A comparison of exergaming interfaces for use in rehabilitation programs and research. *The Journal of the Canadian Game Studies Association*, 6, 69-81.
- Torre, M., y Temprado, J.-J. (2022, 03). Effects of exergames on brain and cognition in older adults: A review based on a new categorization of combined training intervention. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14. doi: 10.3389/fnagi.2022.859715
- Wallace, K. (2015, 03 de 11). *Los adolescentes pasan 9 horas al día usando los medios, según informe.* <https://cnnespanol.cnn.com/2015/11/03/los-adolescentes-pasan-9-horas-al-dia-usando-los-medios-segun-informe/>. ([Online; accessed 9-april-2022])
- Website. (s.f.-a). *About - the software.* <https://www.blender.org/about/>. ([Online; accessed 12-ago-2022])
- Website. (s.f.-b). *Mpu-9250.* <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/>. ([Online; accessed 12-ago-2022])
- Website. (s.f.-c). *Pro micro - 5v/16mhz.* <https://www.sparkfun.com/products/12640>. ([Online; accessed 12-ago-2022])
- Website. (s.f.-d). *What is gaming engine.* <https://www.arm.com/glossary/gaming-engines>. ([Online; accessed 12-ago-2022])
- Website. (2018, 05 de 02). *What is arduino?* <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. ([Online; accessed 12-ago-2022])
- Westaway, L. (2010, 22 de 09). *Sony playstation move review: Sony playstation move.* <https://www.cnet.com/reviews/sony-playstation-move-review/>. ([Online; accessed 12-jun-2022])