



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Hermosillo

División de Estudios de Posgrado e Investigación

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Sistema computacional que emule un recorrido en bicicleta para niños con síndrome de Down, utilizando realidad virtual

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Julio Alberto González Encinas

Director:

Dra. María Trinidad Serna Encinas

Hermosillo Sonora, México

Agosto 2024.



Av. Tecnológico 115, Col. Sahuaro, Hermosillo, Sonora, Tel. 2606500 ext. 136
e-mail: posgrado@hermosillo.tecnm.mx



2024

Felipe Carrillo
PUERTO

GOBIERNO DEL ESTADO DE SONORA
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



Hermosillo, Sonora a 19 de junio de 2024
SECCIÓN: Div. Est. Pos. e Inv.
No. Oficio: DEPI/157/24.
ASUNTO: Autorización de
Impresión de Tesis.

**C. JULIO ALBERTO GONZÁLEZ ENCINAS
P R E S E N T E**

Por este conducto, y en virtud de haber concluido la revisión del trabajo de tesis que lleva por nombre "SISTEMA COMPUTACIONAL QUE EMULE UN RECORRIDO EN BICICLETA PARA NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN, UTILIZANDO REALIDAD VIRTUAL"; que fue dirigida por la Dra. María Trinidad Serna Encinas, que presenta para el examen de grado de la MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, y habiéndola encontrado satisfactoria, nos permitimos comunicarle que se autoriza la impresión del mismo a efecto de que proceda el trámite de obtención de grado.

Deseándole éxito en su vida profesional, quedo de usted.

ATENTAMENTE

DRA. MARÍA TRINIDAD SERNA ENCINAS
DIRECTORA

M.C. RAFAEL ARMANDO GALÁZ BUSTAMANTE
SECRETARIO

DRA. ROSALÍA DEL CARMEN GUTIÉRREZ URQUÍDEZ
VOCAL

M.A. IVONNE ESMERALDA LIZARRAGA CORONADO
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

IELC/momv*



ISO 9001:2015
Sistema de Gestión de Calidad Certificado





CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Hermosillo Sonora a el día 12 de Agosto del año 2024 el que suscribe C. Julio Alberto González Encinas , alumno de la maestría en Ciencias de la Computación adscrito a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis titulado "Sistema computacional que emule un recorrido en bicicleta para niños con síndrome de Down, utilizando realidad virtual" bajo la dirección de Dra. María Trinidad Serna Encinas y ceden los derechos del mismo al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben de reproducir el contenido textual, gráficas, tablas o datos contenidos sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido a la dirección de correo electrónico siguiente: Julio_ac_15_08@hotmail.com. Una vez otorgado el permiso se deberá expresar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ATENTAMENTE

Julio Alberto González Encinas



Agradecimientos

Antes de todo, quiero expresar mi más profunda gratitud a Dios, cuya guía y fortaleza me han permitido completar este importante paso en mi vida. A Él le debo todo mi éxito.

A mi familia, que ha sido el pilar fundamental durante este viaje académico, quiero agradecerles desde el fondo de mi corazón. Su amor incondicional, paciencia y palabras de aliento me han sostenido en los momentos más difíciles. A mi madre, por su sabiduría y sacrificios que me han permitido llegar hasta aquí; a mis hermanos, por su constante motivación y apoyo, y a todos mis seres queridos que han creído en mí y me han brindado su compañía y comprensión durante estos años.

A mis profesores, quienes han sido una fuente inagotable de conocimiento e inspiración a lo largo de mi formación académica, les estoy inmensamente agradecido. Cada uno de ustedes ha dejado una huella indeleble en mi vida, enseñándome no solo en el ámbito académico, sino también valores y principios que me guiarán siempre.

En particular, quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Dra. María Trinidad Serna Encinas, mi directora de tesis. Su incansable dedicación, valiosa orientación y apoyo incondicional han sido esenciales para la realización de este trabajo. Su compromiso con mi proyecto me ha inspirado a superar los desafíos y a aspirar a la excelencia. Su paciencia y generosidad al compartir su tiempo y conocimientos son invaluable.

A todos aquellos que de una u otra manera han contribuido a la culminación de esta tesis, ya sea con su conocimiento, consejo o apoyo moral, quiero decirles que este logro también les pertenece. Gracias por ser parte de este viaje.

Resumen

El síndrome de down es una condición genética causada por una copia extra del cromosoma 21, que afecta el desarrollo físico y cognitivo. Esta condición puede provocar retrasos en el desarrollo motor y coordinación, dificultades en el tono muscular y habilidades motoras finas, limitando la capacidad de realizar actividades físicas cotidianas de manera fluida y precisa.

La realidad virtual, una tecnología con aplicaciones en videojuegos, simuladores y diseño de ambientes, ha comenzado a ser utilizada en terapia y medicina. Esta tecnología puede ser útil para ayudar a niños con síndrome de Down a orientarse en distintos entornos mediante experiencias simuladas.

En este trabajo de investigación se propone desarrollar un sistema con el uso de realidad virtual, destinado a mejorar la calidad de vida de niños con síndrome de down. El proyecto se fundamenta en una investigación exhaustiva de los conceptos clave relacionados con esta condición genética, abordando sus efectos físicos, cognitivos y sociales. El sistema incluye una bicicleta estacionaria equipada con sensores para detectar el movimiento del usuario y se estructura en tres niveles de dificultad graduales, adaptados a las necesidades específicas de los niños con síndrome de down. El objetivo es proporcionar una herramienta terapéutica y educativa efectiva, evaluando posteriormente el impacto del sistema en la mejora de habilidades motoras e integración social de los usuarios.

En la evaluación funcional del sistema de juego y simulación vial para CRIT Sonora, se compararon los resultados de los tres niveles de dificultad: principiante, intermedio y avanzado. En el nivel 1, se logró una precisión del 95% en la detección de señalamientos, un 90% en la recolección de puntos y en la evitación de colisiones, gracias a su configuración sencilla y recta. El nivel 2, que introdujo giros de 90 grados, semáforos y rampas con aceleradores, mostró un 85% de éxito en la navegación de giros y un 80% en la sincronización con semáforos y uso de rampas, reflejando una mayor complejidad y desafíos en la sincronización y control. En el nivel 3, que combinó elementos de los niveles anteriores y añadió un circuito complejo, se obtuvo un 80% de éxito en la navegación de curvas y un 90% en la estabilidad del sistema bajo carga.

Aunque la precisión disminuyó ligeramente con la complejidad de las mejoras implementadas, especialmente en la calibración del manubrio, la optimizaron del rendimiento del sistema; con el fin de asegurar una experiencia educativa efectiva y segura para los usuarios.

Índice General

ÍNDICE GENERAL	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2 ANTECEDENTES	14
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.4 OBJETIVOS	16
<i>Objetivo General.....</i>	<i>16</i>
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>16</i>
1.5 ALCANCES Y DELIMITACIONES	17
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.7 METODOLOGÍA	18
1.8 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	18
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.....	20
2.1. INTRODUCCIÓN.....	20
2.2. DISCAPACIDAD.....	20
2.3 SÍNDROME DE DOWN	24
<i>2.3.1 Características del síndrome de Down.....</i>	<i>24</i>
<i>2.3.1.1 Orientación en el síndrome de Down.....</i>	<i>24</i>
<i>2.3.1.2 Equilibrio en el síndrome de Down</i>	<i>25</i>
<i>2.3.1.3 Percepción en el síndrome de Down</i>	<i>26</i>

2.3.2 Clasificación del síndrome de Down.....	28
2.4 REALIDAD VIRTUAL	30
2.5 SENSORES.....	33
2.6 ANDROID.....	36
2.6.1 Aplicaciones móviles en Android.....	37
2.6.1.1 Unity	38
2.6.1.2 Unreal Engine	40
2.7 TRABAJOS RELACIONADOS.....	41
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA	43
3.1 INTRODUCCIÓN.....	43
3.2 METODOLOGÍA	43
3.3 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO.....	44
3.3.1 Diagrama de contexto nivel 0.....	44
3.3.2 Diagrama de nivel superior nivel 1.....	45
3.3.3 Diagrama de casos de uso	46
3.4.1 Diagrama de secuencia.....	47
3.4.2 Diagrama de clases	49
3.4.2 Diagrama de actividades.....	51
3.4.3 Diagrama de componentes.....	54
3.5 MODELO DE DATOS	56
3.6 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	58
CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	60
4.1 GENERACIÓN E IMPORTACIÓN DE ASSETS.....	60
4.2 CONFIGURACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	63

4.3 NIVEL 1 (PRINCIPIANTE):.....	67
4.4 NIVEL 2 (INTERMEDIO):.....	73
4.5 NIVEL 3 (AVANZADO):.....	76
4.6 COMUNICACIÓN SERIAL:.....	78
4.7 PRUEBAS FUNCIONALES:.....	81
4.7.1 Pruebas del nivel 1.....	82
4.7.2 Pruebas del nivel 2.....	84
4.7.3 Pruebas del nivel 3.....	85
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO	87
5.1 CONCLUSIONES.....	87
5.2 TRABAJO A FUTURO.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	90

Índice de Figuras

Figura 2.1 Interacciones Entre Los Componentes De La Cif.	21
Figura 2.2 Patologías Presentadas Por Adultos Con Síndrome De Down Entre 2005 Y 2014 [22].	25
Figura 2.3 Mujer Con Síndrome De Down Por Translocación	29
Figura 2.4 Distribución Cromosómica Tipo Mosaico	30
Figura 2.5 Arquitectura Para Sistemas De Realidad Virtual	31
Figura 2.6 Formatos De Contenido De RV	33
Figura 2.7 Funcionamiento Sensorial De Controladores Para Realidad Virtual.	35
Figura 2.8 Características Funcionales De Android	37
Figura 2.9 Interfaz De Trabajo De Unity	39
Figura 2.10 Interfaz De Desarrollo De Unreal Engine.....	40
Figura 3.1 Metodología De Trabajo.....	43
Figura 3.2 Diagrama De Contexto Nivel 0.....	44
Figura 3.3 Diagrama Superior Nivel 1.....	45
Figura 3.4 Diagrama De Caso De Uso.....	46
Figura 3.5 Diagrama De Secuencia.	48
Figura 3.6 Diagrama De Clases.....	50
Figura 3.7 Diagrama De Actividad De Inicio De Sesión.....	51
Figura 3.8 Diagrama De Actividad De Menú Principal.....	52
Figura 3.9 Diagrama De Actividad De Recorrido Virtual.....	53
Figura 3.10 Diagrama De Componentes Del Sistema.....	55
Figura 3.11 Modelo De Datos.	57
Figura 3.12 Arquitectura Del Sistema Virtual.	59

Figura 4.1 Integración De Assets Generales.	61
Figura 4.2 Diseño En Blender.	62
Figura 4.4 Rampa Con Textura.....	63
Figura 4.5 Código Componente RigidBody.....	64
Figura 4.6 Código De Propiedad Torque.....	65
Figura 4.7 Código De Función De Aceleración.	65
Figura 4.8 Código De Animación De Colisión	66
Figura 4.9 Código De Puntos De Verificación	67
Figura 4.10 Señalamiento De Ciclovía.....	68
Figura 4.11 Animación De Puntos.	68
Figura 4.12 Señalamiento De Stop (Alto) Y Paso De Cebra.	69
Figura 4.13 Momentos Antes Del Impacto Con Un Automóvil.	70
Figura 4.14 Momento Justo De Colisión.....	70
Figura 4.15 Reparación En Un Punto De Verificación (Señal De Dirección).....	71
Figura 4.16 Puerta De Meta.....	72
Figura 4.17 Finalización De Nivel.....	72
Figura 4.18 Vuelta De 90 Grados Justo Enfrente Del Jugador	73
Figura 4.19 Semáforo Con Luz Roja Encendida.....	74
Figura 4.20 Rampa Y Multiplicador De Velocidad.....	75
Figura 4.21 Jugador En El Aire Después De Cruzar La Rampa.	75
Figura 4.22 Vista Aérea Del Circuito De Vueltas.....	76
Figura 4.23 Líneas Y Barras De Protección Del Circuito.....	77
Figura 4.24 Velocidad Del Puerto Serial.....	78
Figura 4.25 Script Que Buscar Los Puertos Com Disponibles	79
Figura 4.26 Arreglo De Datos De Los Sensores.....	80

Figura 4.27 Pruebas De Funcionalidad Por Parte Del Desarrollador.	81
Figura 4.28 Pantalla De Prueba En Unity.....	82
Figura 4.29 Antes y después de las mejoras.....	82

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Test Diagnóstico Y Test De Uso De Av3d.....	42
Tabla 4.1 Pruebas De Funcionalidad De Nivel 1.....	83
Tabla 4.2 Pruebas De Funcionalidad Del Nivel 2	84
Tabla 4.3 Pruebas De Funcionalidad Del Nivel 3	86

Capítulo I: Introducción

1.1 Introducción

Según la Organización mundial de la Salud (OMS), se estima que 1300 millones de personas presentan algún tipo de discapacidad significativamente importante, eso es equivalente al 16% de la población global [1]. Basados en el censo nacional de 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), sólo en México 6,179,890 sufren de problemas para realizar actividades físicas como caminar, ver, oír, o comunicarse; representando el 4.9% de personas de todo el país, presentando más incidencia en las mujeres con un 53%, mientras que los hombres es el 47% [2].

Una de las discapacidades relacionada con problemas de orientación y comunicación es el síndrome de Down, que es una condición genética que es provocada cuando hay una copia extra del cromosoma 21. En condiciones normales, las células humanas tienen 23 pares de cromosomas, lo que significa que hay un total de 46 cromosomas. Sin embargo, en personas con síndrome de Down, hay una copia extra del cromosoma 21, lo que significa que tienen 47 cromosomas [3]. Esta condición puede causar ciertos rasgos físicos distintivos, como ojos almendrados, cabeza más pequeña, dedos cortos y una lengua más grande. También puede estar asociado con discapacidades cognitivas, problemas de aprendizaje y retrasos en el desarrollo [4].

En los últimos años, el desarrollo de nuevas tecnologías como la realidad virtual han tomado gran relevancia en el desarrollo de aplicaciones digitales; aunque ya tiene décadas existiendo, sobre todo en los temas de videojuegos, simuladores de entrenamientos, diseño de ambientes, etc. Actualmente se comenzó a incluir en los temas de terapia y medicina [5]. Esto puede ser de gran utilidad para ayudar a niños con síndrome de Down, a relacionarlos con recorridos virtuales basados en ambientes distintos a lo que viven a diario. Con el propósito de ayudarlos a orientarse por medio de guías y que puedan vivir una experiencia simulada como si fuera real.

1.2 Antecedentes

La Clasificación de Tipo de Discapacidad publicada por el INEGI, incluye distintas deficiencias y discapacidades, y muestra una clasificación de acuerdo con el órgano, función o área del cuerpo que se encuentra afectada o presenta limitación. El clasificador se conforma por cuatro grupos principales que incluyen los siguientes: Discapacidades Motrices, que incluyen aquellas discapacidades para caminar, manipular objetos y coordinar movimientos. La segunda clasificación son las Discapacidades Mentales, que abarcan las discapacidades para aprender y para comportarse, se divide en discapacidades intelectuales y discapacidades conductuales y otras mentales. La tercera comprende las Discapacidades Sensoriales y de la Comunicación, que tratan aquellas relacionadas con la vista, escucha y el habla. Finalmente, la cuarta clasificación son las Discapacidades Múltiples y otras, que comprenden discapacidades múltiples y otras discapacidades no correspondientes a los grupos anteriormente mencionados [6].

De las discapacidades más notorias físicamente resalta el síndrome de Down, la cual se produce a través de una alteración genética del cromosoma 21. Los efectos del síndrome de Down pueden variar de persona a persona, pero algunos efectos comunes incluyen retraso en el desarrollo físico y cognitivo, características faciales distintivas, problemas cardíacos, problemas de audición y visión, y una mayor susceptibilidad a ciertos problemas de salud, como infecciones respiratorias [7].

La clasificación de síndrome de Down se divide en 3, la primera es la Trisomía 21, que se refiere cuando existe una copia del cromosoma 21 en todas las células. Después está la Translocación, que ocurre cuando una parte del cromosoma 21 se adhiere a otro cromosoma, generalmente el cromosoma 14, en lugar de existir como un cromosoma separado. Y por último por Mosaicismo, que es cuando sólo una cantidad relativamente baja de células tienen una copia adicional del cromosoma 21, mientras que otras células tienen la cantidad normal [3].

La utilización de sistemas basados en realidad virtual (RV), ha ayudado en los últimos años en el área de la medicina, ya que se puede utilizar para mejorar la rehabilitación cognitiva en personas con discapacidad intelectual [8]. Combinado con

la creación de entornos simulados, la RV ha causado impacto en pacientes con síndrome de Down, que no tienen completamente desarrolladas sus habilidades motrices, ya que los sumerge en un entorno muy similar a la vida real, creando una inclusión a los escenarios sociales típicos [9].

La alta compatibilidad del sistema operativo de Android, ha facilitado en gran manera la incorporación de aplicaciones relacionadas con la RV. Componentes como Google Cardboard o Samsung Gear VR, son visores especializados que han tenido un alto impacto en la ejecución de juegos y softwares basadas en RV [10].

Una de las aplicaciones de gran relevancia compatibles con Android es el motor de juegos Unity, que ha escalado en el desarrollo de sistemas virtuales y realidad aumentada; debido a su versatilidad con los objetos tridimensionales se pueden recrear escenarios simulados, que pueden ser ejecutados a través de cualquier dispositivo móvil [11].

En el trabajo [12] se describe cómo se puede utilizar la realidad virtual para mejorar el desarrollo cognitivo de los niños con síndrome de Down, especialmente en áreas como la memoria, la atención y la resolución de problemas.

1.3 Planteamiento del Problema

Basándose en la información proporcionada por la dirección General de Salud, en 2018 nacieron 689 niños con síndrome de Down [13]. Particularmente en Sonora de acuerdo con el sistema DIF, habitan en el estado 1678 personas registradas oficialmente con esta discapacidad [14].

La discapacidad del síndrome de Down es una alteración que afecta negativamente a los niños que la poseen. Esto debido a que son muy propensos a contraer otras enfermedades; además de sufrir problemas con sus músculos, con la orientación y percepción de su entorno, lo que les dificulta realizar actividades físicas cotidianas [15].

Con lo mencionado anteriormente, es importante tomar en consideración las necesidades de los niños que padecen este trastorno, para poder relacionarlos a un

ambiente de una vida común con el de resto de personas. Con esto surge la necesidad de realizar un sistema virtual basado en una actividad física, que involucre realizar ejercicio y trabajar en el desarrollo de las habilidades motoras de los niños. De esto surgen las siguientes preguntas de investigación.

¿Qué es el síndrome de Down y sus causas?

¿Qué herramientas computacionales pueden utilizarse para proponer una solución?

¿Qué requisitos funcionales deben tomarse en cuenta al desarrollar una aplicación para niños con síndrome de Down?

¿Cómo desarrollar el prototipo físico ideal para complementar el uso de la aplicación virtual?

Lo anterior lleva a la siguiente problemática:

¿Qué funcionalidades debe tener un sistema para realizar un recorrido en bicicleta estacionaria utilizando realidad virtual y que pueda ser utilizado por niños con síndrome de Down?

1.4 Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema de realidad virtual, que emule un recorrido en bicicleta estacionaria para niños con síndrome de Down, de manera que permita realizar un trayecto utilizando una ciclovía, considerando factores como discriminación visual y reglas de vialidad.

Objetivos Específicos

1. Conocer a profundidad los conceptos relacionados con la temática del proyecto.
2. Determinar las herramientas a utilizar, considerando los requerimientos funcionales del usuario final.

3. Analizar y diseñar el funcionamiento del sistema propuesto.
4. Implementar el sistema de realidad virtual del recorrido.
5. Realizar pruebas de funcionalidad y de usabilidad.
6. Analizar los resultados obtenidos.

1.5 Alcances y Delimitaciones

El presente proyecto consiste en el desarrollo de una herramienta computacional, que emule virtualmente un recorrido en bicicleta, con el fin de motivar a niños con síndrome de Down a conocer su entorno, así como de facilitar su inclusión en la sociedad.

El sistema de recorrido estará complementado con una bicicleta estacionaria que contendrá sensores para detectar al usuario. El recorrido será emulado a través de una pantalla o Tablet, no se usarán lentes de realidad virtual.

El juego contendrá niveles de dificultad los cuales serían: Nivel bajo, nivel intermedio y nivel experto. Cada nivel contendrá distintos tipos de objetos de la vida real, como carros, personas, semáforos, altos, perros, árboles, entre otros. Se mostrarán reglas de tránsito que se tienen que cumplir para no ser acreedores de una infracción, con el propósito de instruir al jugador sobre las diferentes normas de vialidad. El juego sólo será compatible con dispositivos Android.

El proyecto será desarrollado para el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT Sonora), ubicado en el municipio de Hermosillo, Sonora y se implementará en colaboración con el Tecnológico Nacional de México Campus Hermosillo.

1.6 Justificación

Una de las formas más convenientes de ayudar a las personas con discapacidades es mediante la tecnología, principalmente en el desarrollo de aplicaciones en dispositivos móviles. El objetivo del proyecto es la implementación de una herramienta computacional que emule virtualmente un recorrido, utilizando el motor de juegos Unity; con el fin de motivar a niños con capacidades diferentes a

conocer su entorno, así como el facilitar su inclusión en la sociedad. El desarrollo del presente trabajo deberá considerar que pueda ser utilizado por niños con síndrome de Down.

1.7 Metodología

Fase 1: consistirá en realizar una búsqueda exhaustiva del estado del arte, considerando las temáticas que incidan con el presente proyecto, con el propósito de recopilar y analizar información relevante de proyectos actuales, relacionados con la problemática presentada; dichos análisis serán utilizados para determinar métodos y técnicas que ayudarán a la implementación del prototipo y poder darle sustento a la propuesta de solución.

Fase 2: se identificarán los procedimientos y componentes requeridos para llevar a cabo la proyección del diseño del sistema; es decir, se creará el modelado del prototipo de bicicletas y se realizará el análisis y diseño del sistema propuesto

Fase 3: se implementará el sistema virtual que emule el recorrido en bicicleta para niños con síndrome de Down

Fase 4: por último, se aplicará una fase de pruebas para evaluar el funcionamiento del sistema y verificar que cada componente este cumpliendo su rol correctamente; así como también realizar pruebas de usabilidad, de manera a corroborar que el recorrido se realiza de manera adecuada por los usuarios finales.

1.8 Organización de la tesis

Capítulo 2: Estado del arte, consistirá en investigaciones de diferentes temas para la realización del capítulo, se analizarán distintas fuentes de información relacionadas con el proyecto propuesto, que ayuden a la fundamentación de éste, tales como: discapacidad, síndrome de Down, realidad virtual, entre otros.

Capítulo 3: Análisis y diseño, se describirá el sistema a implementar, se integrarán esquemas de los procesos del sistema y se añadirán los diversos diagramas que muestren la funcionalidad del mismo.

Capítulo 4: Implementación del sistema, se describe el desarrollo del sistema propuesto; además, se presentarán las experimentaciones realizadas y las pruebas de funcionalidad y usabilidad aplicadas.

Capítulo 5: Análisis de los resultados obtenidos en la etapa de pruebas de funcionalidad y de usabilidad, que permitirán medir la interacción del usuario final con el sistema, así como su facilidad de uso.

Capítulo 6: se presentarán las conclusiones obtenidas y se incluirán los trabajos a futuro, que propongan aristas de investigación posteriores.

Capítulo II: Estado del arte

2.1. Introducción

En este capítulo se lleva a cabo un examen minucioso de los temas principales que se tratan en el trabajo de investigación actual. En la sección 2.2 se presenta un análisis de la discapacidad y sus diversas tipologías. La sección 2.3 se enfoca en la alteración genética de síndrome de Down, así como sus características y clasificación. En la 2.4 se habla de temas relacionados con la realidad virtual, qué es lo que la compone y qué áreas de aplicación tiene. La sección 2.5 se centra en los sensores y en los tipos que existen dependiendo de su implementación, mientras que en la sección 2.6 se explica en qué consiste las aplicaciones Android y Unity, así como sus funciones. Finalmente, se describe una serie de trabajos previos relacionados con el presente proyecto en la sección 2.7.

2.2. Discapacidad

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la discapacidad se define como "cualquier restricción o ausencia (debida a una deficiencia) de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen considerado normal para un ser humano" [16].

Esta definición se encuentra en el documento "Clasificación Internacional del Funcionamiento de la Discapacidad y de la Salud" (CIF), que es una herramienta de la OMS para describir la salud y los estados relacionados con la salud en términos de funcionamiento y discapacidad.

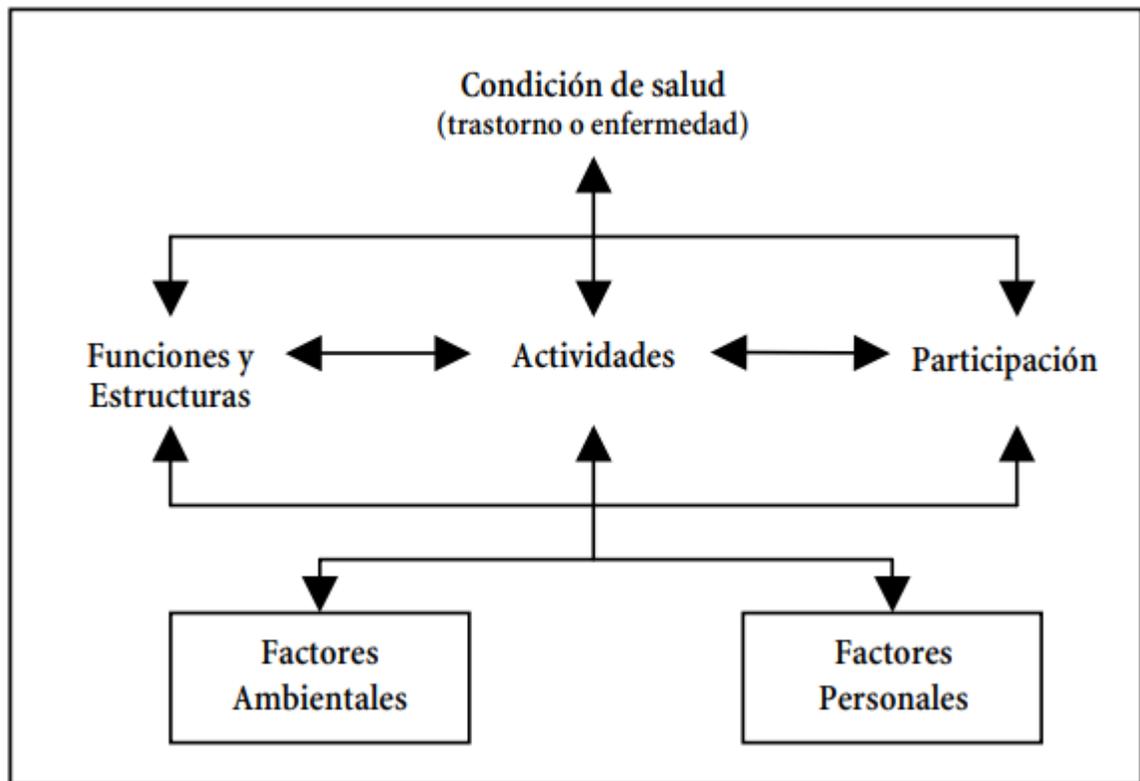


Figura 2.1 Interacciones entre los componentes de la CIF [17].

Como se representa en la Figura 2.1, la CIF se enfoca en la capacidad del individuo para participar en la vida cotidiana, en lugar de centrarse en la presencia o ausencia de una enfermedad o trastorno [17].

La discapacidad puede ser causada por deficiencias en el cuerpo, por ejemplo, una pérdida de visión; en la actividad, por ejemplo, dificultad para caminar; o en la participación, por ejemplo, dificultad para participar en actividades sociales. La discapacidad puede ser temporal o permanente, y puede variar en grado y en el impacto que tiene en la vida de la persona [18].

La OMS estima que alrededor del 15% de la población mundial (más de mil millones de personas) vive con algún tipo de discapacidad. Es importante destacar que la discapacidad no está necesariamente relacionada con la edad, ya que las personas pueden nacer con una discapacidad o adquirirla en cualquier momento de su vida [1].

Clasificación de Discapacidad

La Clasificación de Tipo de Discapacidad (CTD), es una herramienta utilizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México, para clasificar la discapacidad en la población del país. La CTD se basa en el modelo de discapacidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y clasifica los tipos de discapacidad en cuatro categorías principales [17]:

1. Discapacidad Motriz: esta categoría de discapacidad se refiere a las limitaciones que afectan el movimiento y la capacidad de la persona para realizar actividades físicas. Los subgrupos incluyen: Paraplejia: pérdida de la función motora y/o sensitiva de las piernas debido a lesiones en la médula espinal. Tetraplejia: pérdida de la función motora y/o sensitiva de las extremidades superiores e inferiores debido a lesiones en la médula espinal. Amputación: pérdida de una extremidad, ya sea debido a una lesión o una cirugía. Debilidad muscular: reducción de la fuerza muscular debido a una variedad de causas, como enfermedades neurológicas, trastornos metabólicos o enfermedades musculares. Espasticidad: rigidez muscular y movimientos involuntarios causados por daño cerebral. Otros trastornos motores: incluyen cualquier otra limitación que afecte el movimiento, como la ataxia que es la pérdida de coordinación muscular o la distonía que son contracciones musculares involuntarias y dolorosas.
2. Discapacidad visual: esta categoría se refiere a las limitaciones visuales que afectan la capacidad de la persona para percibir y procesar la información visual. Los subgrupos incluyen: Ceguera: pérdida total de la capacidad de ver. Baja visión: disminución significativa de la capacidad de ver que no puede ser corregida con lentes. Daltonismo: trastorno que dificulta la percepción de ciertos colores. Otros trastornos visuales: incluyen cualquier otra limitación visual que afecte la capacidad de la persona para ver, como el glaucoma o la retinopatía diabética.
3. Discapacidad auditiva: esta categoría se refiere a las limitaciones auditivas que afectan la capacidad de la persona para percibir y procesar la información auditiva. Los subgrupos incluyen: sordera profunda: pérdida total de la

capacidad de oír; sordera parcial: disminución significativa de la capacidad de oír; otros trastornos auditivos: incluyen cualquier otra limitación auditiva que afecte la capacidad de la persona para oír, como el tinnitus o la enfermedad de Menière.

4. Discapacidad mental: esta categoría se refiere a las limitaciones cognitivas y emocionales, que afectan la capacidad de la persona para procesar información, aprender y participar en actividades cotidianas. Los subgrupos incluyen: discapacidad intelectual: limitación en la capacidad intelectual y adaptativa, que afecta el aprendizaje, el razonamiento y la resolución de problemas. Trastornos psiquiátricos: trastornos que afectan la salud mental, como la depresión, la ansiedad o la esquizofrenia. Autismo: trastorno del desarrollo que afecta la comunicación, la interacción social, y a menudo incluye patrones repetitivos de comportamiento. Es importante destacar que la discapacidad mental no es una condición estática, puede variar en gravedad y manifestarse de diferentes maneras en cada individuo.

Cada una de estas categorías se subdivide en diferentes niveles de gravedad o afectación. La CTD utiliza los siguientes niveles de gravedad:

1. Leve: cuando la limitación no impide la realización de las actividades diarias de manera independiente.
2. Moderada: cuando la limitación afecta la realización de las actividades diarias, pero aún se puede realizar con ayuda de terceros.
3. Severa: cuando la limitación impide la realización de las actividades diarias y se necesita ayuda constante de terceros.
4. Profunda: cuando la limitación impide la realización de las actividades diarias y se necesita atención constante de un cuidador.

La CTD permite al INEGI obtener información detallada sobre la discapacidad en la población, para diseñar programas y servicios adecuados para atender a las necesidades específicas de las personas con discapacidad.

2.3 Síndrome de Down

El síndrome de Down es una condición genética que se presenta cuando hay una tercera copia del cromosoma 21, lo que resulta en un total de 47 cromosomas, en lugar de los 46 normales. Esta copia adicional puede originarse por una alteración en la formación de los óvulos o espermatozoides, o durante el desarrollo del feto [18]. La mayoría de los casos no son hereditarios y ocurren al azar. Esta discapacidad tiene una incidencia de 1 de cada 800 nacidos [19].

Existen tres tipos de síndrome de Down, siendo el más común la trisomía 21, que se caracteriza por tener una copia completa extra del cromosoma. También se encuentra la translocación, donde una parte del cromosoma 21 se une a otro cromosoma, y el mosaico, donde sólo algunas células presentan una copia adicional [20].

Las personas con síndrome de Down usualmente tienen rasgos físicos distintivos, como un rostro redondeado, ojos ligeramente inclinados y una nariz pequeña y achatada. Además, pueden padecer problemas de salud, como problemas cardíacos, de audición y visión, tiroides y gastrointestinales [21].

A pesar de los problemas de salud, las personas con síndrome de Down pueden presentar retraso en el desarrollo intelectual y del habla, necesitando de un apoyo adicional en la escuela y en la vida cotidiana.

2.3.1 Características del Síndrome de Down

Algunas de las características del síndrome de Down son [7]:

Discapacidad intelectual leve a moderada: las personas con síndrome de Down tienen un coeficiente intelectual promedio de alrededor de 50%, lo que significa que pueden tener dificultades en el aprendizaje y la comprensión.

Rasgos faciales distintivos: estas personas a menudo tienen ojos almendrados inclinados hacia arriba, pliegues de piel en las esquinas internas de los ojos, una nariz pequeña y chatita, una boca pequeña con lengua gruesa y cuello corto.

Problemas de salud: las personas que sufren síndrome de Down tienen un mayor riesgo de tener ciertos problemas de salud, como defectos cardíacos congénitos, problemas de visión y audición, problemas gastrointestinales y una mayor susceptibilidad a infecciones.

Desarrollo motor más lento: los niños que padecen el síndrome de Down a menudo pueden tardar más tiempo en alcanzar ciertos hitos de desarrollo como sentarse, gatear y caminar.

Personalidad amistosa: estas personas son conocidas por ser amables y afectuosas. Pueden tener una personalidad extrovertida y disfrutar de la interacción social.

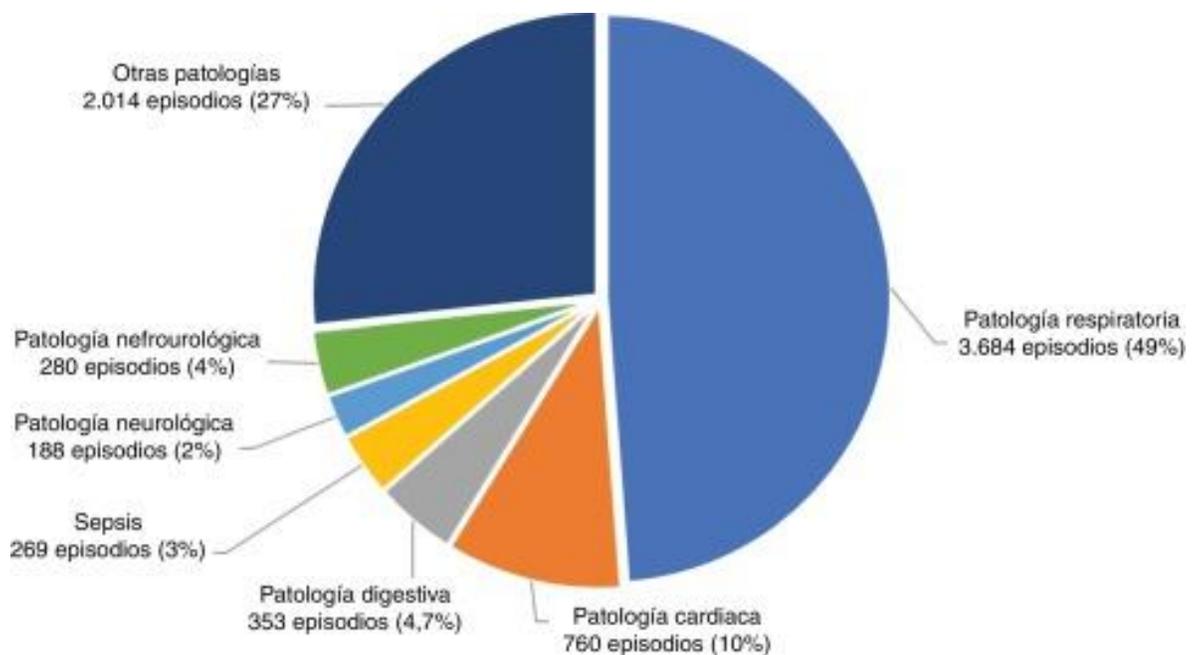


Figura 2.2 Patologías presentadas por Adultos con síndrome de Down entre 2005 y 2014 [22].

La Figura 2.2 muestra una gráfica con las patologías presentadas por Adultos con síndrome de Down entre 2005 y 2014 [22].

2.3.1.1 Orientación en el síndrome de Down

Los déficits de memoria espacial en el síndrome de Down pueden estar relacionados con alteraciones en la transmisión sináptica, especialmente en el hipocampo. El hipocampo es una estructura cerebral clave implicada en la formación y consolidación de la memoria, incluida la memoria espacial y la orientación en el espacio [23].

Las personas con síndrome de Down a menudo presentan ciertas características físicas, como hipotonía muscular (tono muscular bajo) y una configuración craneofacial particular, que pueden influir en su coordinación motora. Además, algunos niños con síndrome de Down pueden tener diferencias en la estructura y función del cerebro, lo que puede afectar su capacidad para procesar y responder a la información espacial y direccional.

El hallazgo del equipo liderado por Juan Lerma en el Instituto de Neurociencias SCIC-UMH (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad Miguel Hernández) en Alicante, España; acerca del gen GRIK1 y su relación con los problemas de orientación espacial en individuos con síndrome de Down, representa un avance de gran importancia en nuestra comprensión de cómo los factores genéticos influyen en este trastorno. Para llegar a este descubrimiento se realizaron pruebas en ratones y se comprobó que, al normalizar la dosis se observa que los problemas de memoria espacial dejan de manifestarse. En otras palabras, al corregir la dosis de este gen en los ratones, se elimina la dificultad que tenían para recordar y orientarse en el espacio [24].

2.3.1.2 Equilibrio en el síndrome de Down

Los niños con síndrome de Down suelen enfrentar dificultades en el equilibrio y presentan déficits en el sistema que controla la postura. El desarrollo motor puede ser más lento en personas con síndrome de Down, lo que repercute en la adquisición de habilidades de equilibrio, como mantenerse erguido, caminar y coordinar movimientos. Además, algunos individuos pueden experimentar problemas de percepción sensorial, lo que dificulta interpretar y responder adecuadamente a las señales del entorno necesarias para mantener el equilibrio [25].

Interuniversity Centre of Bioengineering of the Human Neuromusculoskeletal System (BOHNES) ubicado en Italia, realizó un estudio donde participaron quince niños con síndrome de Down, once niños con SPW y doce niños con desarrollo típico. A los participantes se les pidió que caminaran una distancia de 10 metros mientras llevaban sensores especiales en la pelvis, el esternón y las espinillas. Estos sensores registraron cómo caminaban, incluyendo la velocidad, la frecuencia y la longitud de sus pasos, así como la estabilidad de su cuerpo mientras caminaban. También se evaluaron las habilidades motoras gruesas y el cociente intelectual de cada participante. Luego, los investigadores analizaron si había alguna relación entre las habilidades motoras y cognitivas de los participantes y cómo caminaban [26].

Los niños con síndrome de Down y síndrome de Prader-Willi no lograron mantener una estabilidad adecuada en la parte superior del cuerpo en comparación con niños sanos, posiblemente debido a que tienen ligamentos más flexibles y tono muscular más bajo.

A pesar de estos desafíos, muchas personas con síndrome de Down pueden mejorar sus habilidades de equilibrio con la intervención adecuada, que puede incluir fisioterapia, ejercicios específicos y actividades deportivas adaptadas. La práctica regular de actividades que fomenten el equilibrio, como el yoga o la natación, puede ser beneficiosa para mejorar estas habilidades. Con atención temprana a las necesidades de equilibrio y coordinación, las personas con síndrome de Down pueden alcanzar su máximo potencial y participar plenamente en sus actividades cotidianas [27].

2.3.1.3 Percepción en el síndrome de Down

Una de las áreas de interés dentro del estudio del síndrome de Down es la percepción, que abarca cómo las personas con esta condición procesan y comprenden la información sensorial del mundo que les rodea.

En términos de percepción visual, se han observado diferencias significativas en individuos con síndrome de Down [28]. Estos pueden experimentar dificultades en la percepción del color, la profundidad y la distancia. Estas dificultades pueden influir en sus habilidades motoras y su capacidad para navegar de manera efectiva en su entorno.

Por ejemplo, algunas personas con síndrome de Down pueden tener problemas para juzgar la distancia al caminar o para distinguir entre objetos de colores similares.

La percepción auditiva también puede estar afectada en personas con síndrome de Down. A menudo, enfrentan dificultades para discriminar sonidos y para filtrar el ruido ambiental [28]. Esto puede dificultar su capacidad para comprender el habla y participar en conversaciones en entornos ruidosos. Además, la pérdida auditiva es común en personas con síndrome de Down debido a anomalías en la estructura del oído interno.

En cuanto a la percepción táctil, algunas personas con síndrome de Down pueden experimentar sensibilidades aumentadas o disminuidas a ciertos estímulos [29]. Esto puede influir en su preferencia por ciertas texturas y sensaciones. Además, pueden experimentar dificultades en la percepción fina, lo que puede afectar su capacidad para manipular objetos con precisión y realizar tareas que requieran coordinación.

2.3.2 Clasificación del síndrome de Down

Existen diferentes clasificaciones del síndrome de Down, pero una de las más comunes se basa en su etiología o causa, la figura 2.3 muestra a una mujer con síndrome de Down por translocación [30]:

Trisomía 21: es la forma más común de síndrome de Down y ocurre cuando hay una copia extra del cromosoma 21 en cada célula del cuerpo. Esto se debe a una no disyunción durante la meiosis, lo que significa que el par de cromosomas 21 no se separó correctamente durante la formación de los gametos.

Translocación: este tipo de síndrome de Down ocurre cuando una parte del cromosoma 21 se adhiere a otro cromosoma. El resultado es que una persona tiene dos copias completas del cromosoma 21 y una porción adicional de otro cromosoma. La translocación puede ser heredada u ocurrir de forma espontánea.

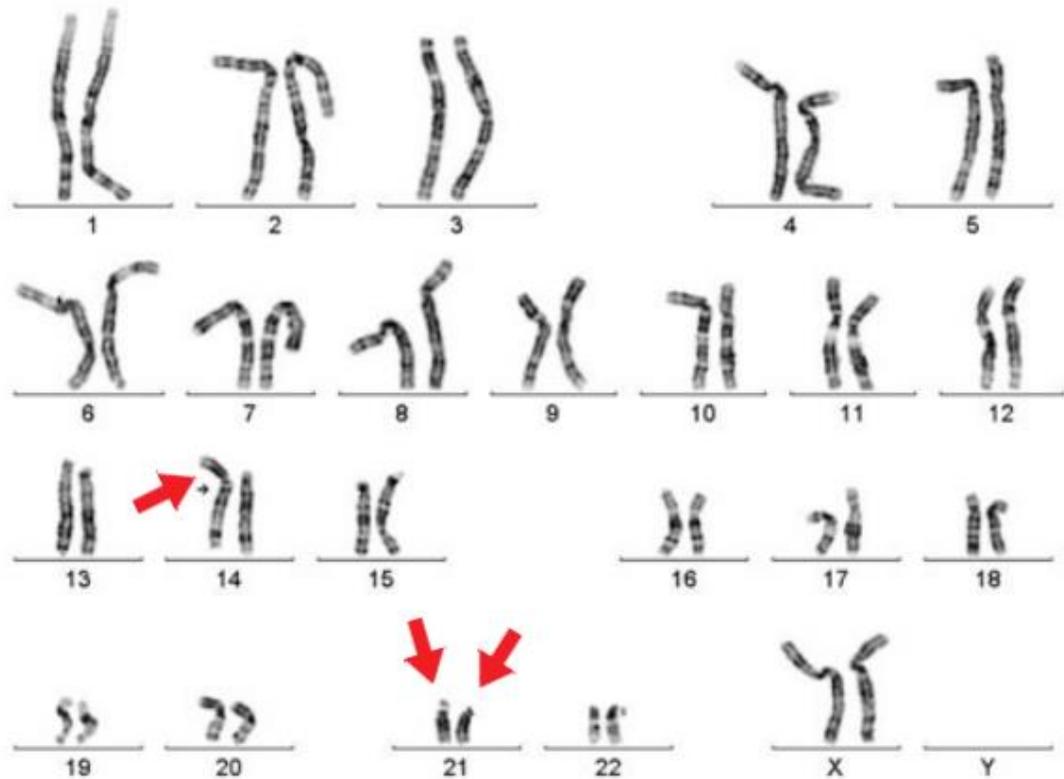


Figura 2.3 Mujer con síndrome de Down por translocación [30].

En la Figura 2.3 se observan los pares de cromosomas de una mujer adulta con síndrome de Down, destacando la trisomía de los cromosomas 14 y 21 debida a una translocación.

Mosaicismo: en algunos casos, el error en la división celular que causa el síndrome de Down, sólo ocurre en algunas células del cuerpo, no en todas. En la figura 2.4 se representa la distribución cromosómica de tipo mosaico. En este caso, se dice que la persona tiene un mosaicismo de síndrome de Down. Esto significa que algunas células tienen una copia extra del cromosoma 21 y otras no.

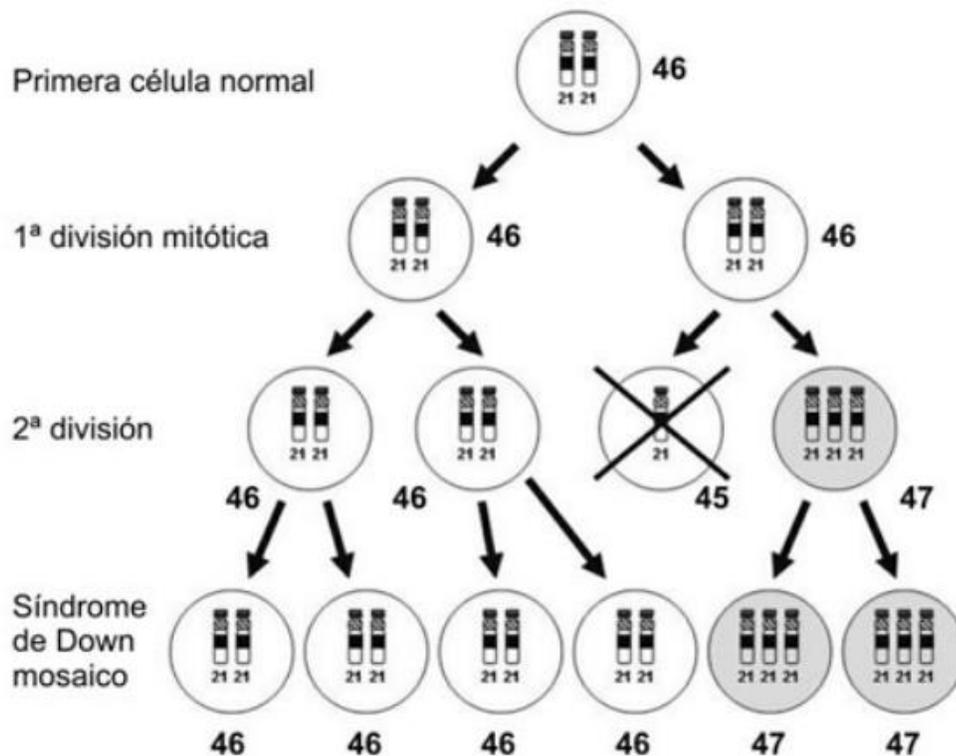


Figura 2.4 Distribución cromosómica tipo mosaico [30].

En la Figura 2.4 se observa la distribución cromosómica de una persona con síndrome de Down de tipo mosaico. La imagen muestra cómo a partir de la segunda división celular se produce la trisomía, resultando en la presencia de un cromosoma 47 adicional.

2.4 Realidad Virtual

De las últimas herramientas innovadoras que han tenido un gran auge en la actualidad está la realidad virtual (VR), que es una tecnología que permite crear y experimentar un entorno virtual simulado, que puede ser explorado e interactuado por una persona de manera inmersiva; es decir, a través de la realidad virtual se puede crear un ambiente que puede ser percibido como si se tratara del mundo real, aunque en realidad es una simulación virtual [31].

La realidad virtual se basa en la combinación de la tecnología de visualización, que puede ser a través de gafas de realidad virtual, pantallas envolventes o proyectores 3D y la tecnología de seguimiento de movimiento, que permite a los usuarios interactuar con el entorno virtual y moverse en él.

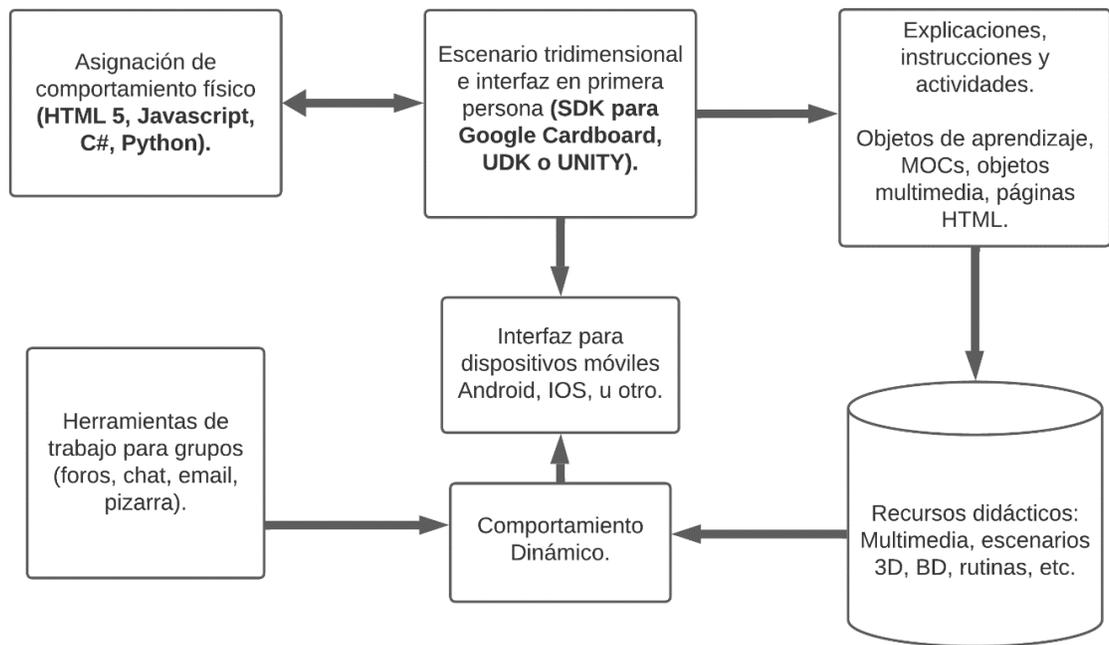


Figura 2.5 Arquitectura para sistemas de Realidad Virtual [32].

La Figura 2.5 presenta la arquitectura de sistemas que comúnmente son utilizados en interfaces de dispositivos móviles de RV [32].

La VR puede ser utilizada en diferentes campos, como en la educación, la medicina, el entrenamiento y el entretenimiento. En la educación, por ejemplo, la realidad virtual puede ser utilizada para crear experiencias de aprendizaje inmersivas e interactivas, permitiendo a los estudiantes explorar lugares y situaciones, que de otra manera serían difíciles de experimentar en la vida real. En la medicina, la VR se utiliza para el tratamiento de trastornos mentales, como el trastorno de estrés postraumático (TEPT), la ansiedad, la depresión y para la rehabilitación física. En el entrenamiento, la

VR se utiliza para ofrecer simulaciones de entrenamiento más realistas y seguras, y en el entretenimiento, la VR se utiliza para crear experiencias de entretenimiento inmersivas, como en los videojuegos, películas y parques temáticos [33].

Características de la Realidad Virtual

El concepto de Realidad Virtual es bastante extenso y abarca una amplia gama de características, como las que se muestran a continuación [34]:

Inmersión: la realidad virtual proporciona una experiencia inmersiva al usuario; es decir, le transporta a un ambiente virtual que se siente como si fuera real.

Interactividad: la realidad virtual permite al usuario interactuar con el entorno virtual, lo que crea una experiencia más realista y personalizada.

Estereoscopia: la realidad virtual utiliza la tecnología de visualización estereoscópica para crear una imagen 3D que se percibe como realista.

Seguimiento de la posición y el movimiento: la realidad virtual utiliza sensores y dispositivos de seguimiento de posición y movimiento para rastrear los movimientos del usuario y ajustar el entorno virtual en consecuencia.

Realismo: la realidad virtual utiliza gráficos y tecnología de sonido avanzados para crear una experiencia realista que simula el mundo real.

Adaptabilidad: la realidad virtual es altamente adaptable y puede utilizarse en una amplia gama de aplicaciones, desde la educación y la formación hasta el entretenimiento y la medicina.

Accesibilidad: la realidad virtual puede ser accesible a través de diferentes dispositivos, desde gafas de realidad virtual y pantallas envolventes, hasta teléfonos móviles y ordenadores personales

La realidad virtual es una tecnología que proporciona una experiencia inmersiva e interactiva al usuario, utiliza tecnología avanzada para crear imágenes y sonidos

realistas, se adapta a una amplia variedad de aplicaciones y es accesible a través de diferentes dispositivos.



Figura 2.6 Formatos de Contenido de RV [35].

La Figura 2.6 presenta los diferentes formatos de contenido de RV más utilizados en la actualidad y en qué tipo escenarios son aplicados [35].

2.5 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de medir una magnitud física o química, y transformarla en una señal eléctrica o electrónica que puede ser procesada por un sistema electrónico o informático [36]. Los sensores se utilizan para medir una amplia

variedad de magnitudes, como la temperatura, la presión, la aceleración, la posición, la luz, el sonido, entre otras.

El principio de funcionamiento de los sensores depende del tipo de magnitud que se desea medir. Por ejemplo, un sensor de temperatura puede utilizar un termistor o un termopar para medir la variación de la temperatura, mientras que un sensor de presión puede utilizar un diafragma o un manómetro para medir la variación de la presión [37].

En la industria, los sensores se utilizan para medir y controlar procesos productivos, como la temperatura en un horno, la presión en una línea de gas, o la velocidad en una cinta transportadora. En la medicina, los sensores se utilizan para medir y monitorear las funciones fisiológicas de los pacientes, como la frecuencia cardíaca o la concentración de oxígeno en la sangre [38].

Tipos de Sensores

En la actualidad existe una gran variedad de modelos y tipos de sensores, las cuales cada uno cambia sus características y propiedades físicas de acuerdo a su aplicación. Algunos de los sensores más utilizados dentro del concepto de realidad virtual son [39]:

Sensores de posición: estos sensores se utilizan para seguir la posición del usuario en el espacio. Algunos ejemplos incluyen cámaras de seguimiento óptico, sistemas de seguimiento magnético y sensores de movimiento.

Sensores de orientación: estos sensores se utilizan para seguir la orientación de la cabeza del usuario. Algunos ejemplos incluyen giroscopios, acelerómetros y sensores de campo magnético.

Sensores de presión: estos sensores se utilizan para detectar la presión ejercida por los dedos del usuario sobre los controladores de VR. Esto puede permitir que el usuario interactúe con objetos virtuales de una manera más natural.

Sensores de temperatura: estos sensores se utilizan para detectar la temperatura de la piel del usuario, lo que puede ser utilizado para ajustar la temperatura de la experiencia virtual para que coincida con la del mundo real.

En general, los sensores utilizados en sistemas de realidad virtual deben ser altamente precisos y capaces de capturar movimientos rápidos y sutiles para garantizar una experiencia de VR fluida y realista.

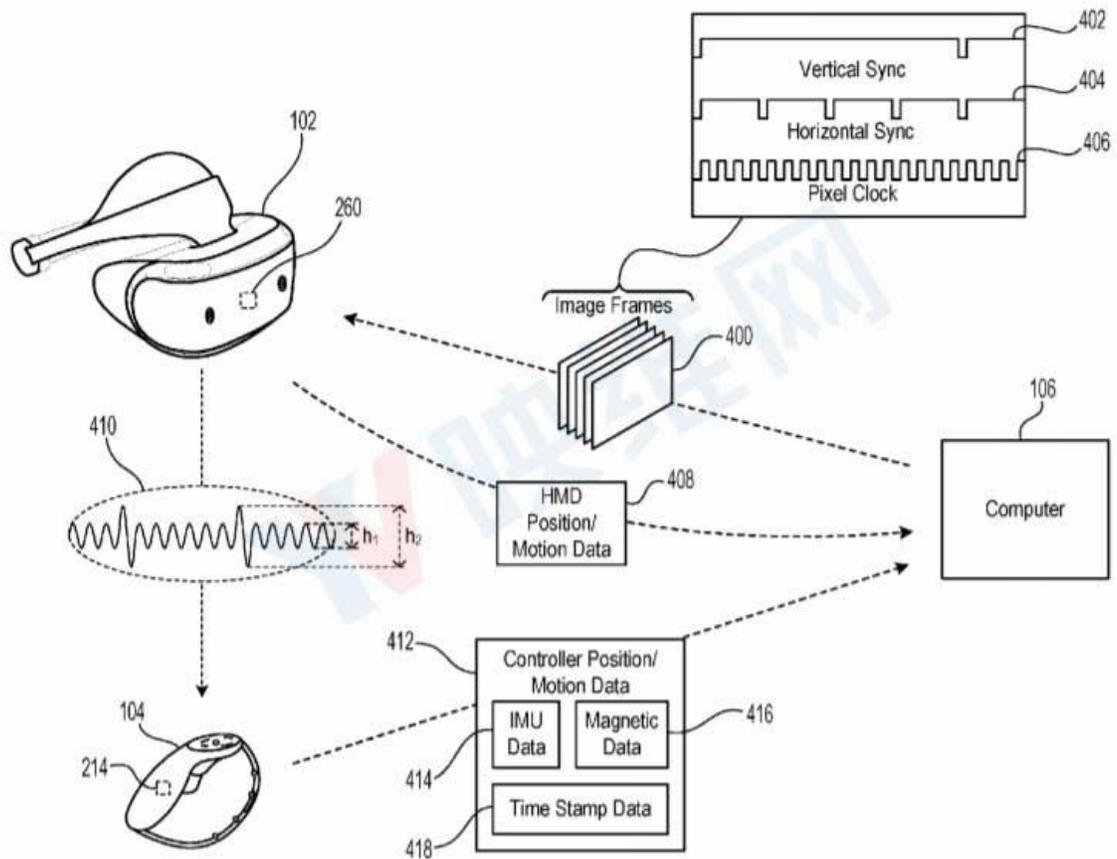


Figura 2.7 Funcionamiento Sensorial de Controladores para Realidad Virtual [40].

La Figura 2.7 muestra cómo se comunican los diferentes controladores de realidad virtual (RV) mediante la función sensorial. Además, ilustra cómo estos

controladores interactúan y sincronizan sus datos para proporcionar una experiencia inmersiva y coherente. [40].

2.6 Android

Existen múltiples cantidades de sistemas operativos, para ordenadores y dispositivos móviles. Entre los más importantes y además más comunes esta Android, que es un sistema operativo móvil desarrollado por Google, diseñado principalmente para dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes, tabletas y relojes inteligentes. Fue lanzado inicialmente en septiembre de 2008 y ha evolucionado desde entonces con nuevas versiones y características [41].

El sistema operativo Android está basado en el núcleo del sistema operativo Linux, y está diseñado para ser altamente personalizable y adaptable a diferentes dispositivos y necesidades de los usuarios. Ofrece una amplia gama de aplicaciones y servicios de Google, como Google Play Store, Google Maps, Gmail, Google Drive, entre otros [42]. También permite la instalación de aplicaciones de terceros desde otras tiendas de aplicaciones o directamente desde la web.

Una de las características principales de Android es su capacidad de personalización, lo que significa que los usuarios pueden personalizar la apariencia y la funcionalidad de sus dispositivos según sus preferencias. Además, Android cuenta con una comunidad activa de desarrolladores y usuarios que crean y comparten aplicaciones, ROM personalizadas y otros mods para mejorar la experiencia de los usuarios.

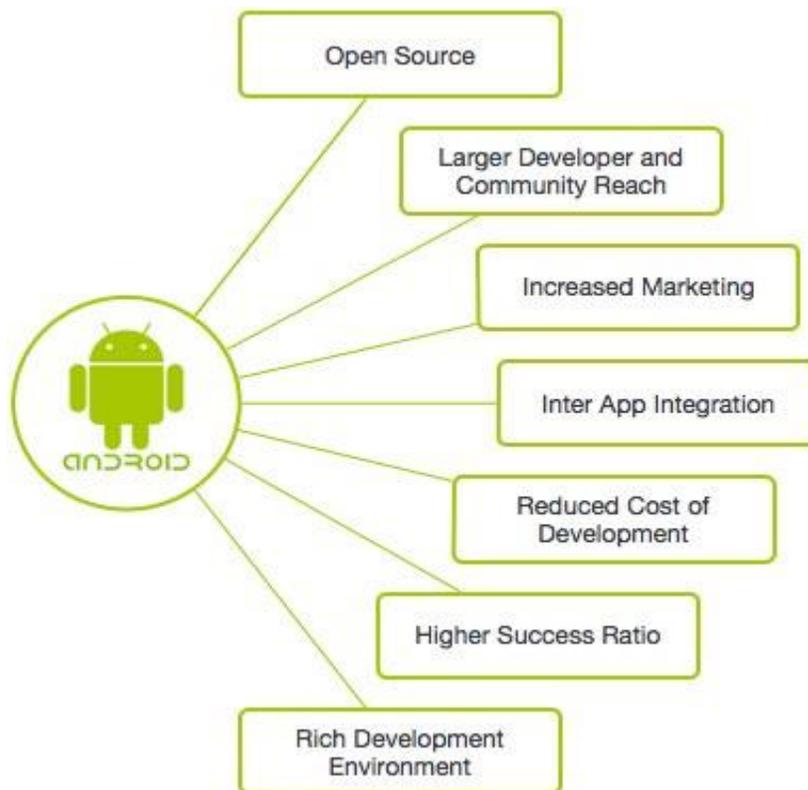


Figura 2.8 Características funcionales de Android [43].

En la figura 2.8 se muestran algunas de las características de Android enfocadas a la escalabilidad del sistema operativo.

2.6.1 Aplicaciones móviles en Android

El sistema operativo de Android cuenta con varias opciones de aplicaciones disponibles. Aquí hay algunas aplicaciones populares para el desarrollo de aplicaciones en 3D y RV [44]:

Unity: Ésta es una de las plataformas de desarrollo de RV más populares y poderosas, que permite a los usuarios crear experiencias de RV en 3D altamente interactivas y personalizables.

Unreal Engine: es otra plataforma de desarrollo de RV popular que se utiliza ampliamente en la industria de los videojuegos, pero también se puede utilizar para crear experiencias de RV en otros ámbitos.

Blender: es una herramienta de modelado y animación 3D, que puede ser utilizada para crear modelos y escenas que pueden ser exportados para su uso en aplicaciones de RV.

SketchUp: herramienta de modelado 3D que se utiliza para crear diseños arquitectónicos y de interiores, que se pueden exportar a formatos de archivo compatibles con aplicaciones de RV.

Tilt Brush: herramienta de dibujo en 3D, que permite a los usuarios crear dibujos y modelos en realidad virtual utilizando controladores de movimiento.

Gravity Sketch: otra herramienta de dibujo en 3D que se utiliza para crear modelos en RV y que ha sido especialmente diseñada para artistas y diseñadores.

Éstas son solo algunas de las muchas aplicaciones de diseño de RV disponibles en la actualidad. La elección de la aplicación dependerá en gran medida de las necesidades y objetivos específicos de cada proyecto de RV. Se seleccionaron dos herramientas para estudiarlas y determinar cuál es la óptima a utilizar, considerando el tipo de aplicación a desarrollar. Las herramientas seleccionadas son Unity y Unreal Engine. A continuación, se describe cada una de ellas.

2.6.1.1 Unity

Unity es una plataforma de desarrollo de software que se utiliza para crear aplicaciones y videojuegos en 2D y 3D. Fue desarrollada originalmente por Unity Technologies y lanzada en 2005 [45]. Desde entonces, se ha convertido en una de las herramientas más populares para el desarrollo de videojuegos y aplicaciones interactivas, y es utilizado por desarrolladores de todo el mundo.

Algunas de las características clave de Unity incluyen su capacidad para trabajar con una amplia variedad de plataformas, su facilidad de uso y su comunidad activa y de apoyo. La plataforma también cuenta con una amplia gama de recursos de

aprendizaje, como documentación, tutoriales y foros en línea, que facilitan la curva de aprendizaje para los desarrolladores nuevos. En general, Unity es considerado como una herramienta poderosa y accesible para el desarrollo de software en 2D y 3D.



Figura 2.9 Interfaz de trabajo de Unity [46].

En la Figura 2.9 se representa la interfaz principal del motor de juego Unity donde se realiza el desarrollo de videojuegos y aplicaciones.

Según un informe de Statista de 2021 [47], Unity es una de las plataformas de desarrollo de videojuegos más populares en el mundo, con una cuota de mercado del 53% en el sector de los videojuegos de móviles y del 34% en el sector de los videojuegos para PC y consolas de videojuegos. El informe también destaca la facilidad de uso de Unity, así como su capacidad para trabajar en una amplia gama de plataformas.

2.6.1.2 Unreal Engine

Unreal Engine es un motor de desarrollo de videojuegos creado por Epic Games. Es conocido por sus numerosas herramientas que permiten a los desarrolladores crear experiencias interactivas de alta calidad [48].

Es utilizado para crear una amplia variedad de experiencias interactivas, como videojuegos, aplicaciones de realidad virtual (RV), aplicaciones de realidad aumentada (RA), visualizaciones arquitectónicas y simulaciones.



Figura 2.10 Interfaz de desarrollo de Unreal Engine [49].

Como se muestra en la Figura 2.10, Unreal Engine proporciona un conjunto completo de características y complementos que permiten a los desarrolladores crear juegos de alta calidad con gráficos impresionantes y mecánicas de juego avanzadas [49].

Algunas de las características más destacadas de Unreal Engine son [50]:

Renderizado en tiempo real: Unreal Engine utiliza un avanzado sistema de renderizado que permite generar gráficos de alta calidad y realistas. Ofrece soporte

para efectos de iluminación dinámica, sombras, materiales basados en físicas y efectos de postprocesamiento, lo que resulta en imágenes visualmente impactantes.

Sistema de física: cuenta con un motor de simulación física que permite simular interacciones realistas entre objetos en el mundo del juego. Esto incluye colisiones, gravedad, efectos de ragdoll y otros comportamientos físicos.

Sistema de partículas: Unreal Engine incluye un potente sistema de partículas que permite crear efectos visuales detallados, como fuego, humo, explosiones y otros fenómenos dinámicos.

Herramientas de animación: el motor ofrece herramientas de animación sofisticadas que permiten crear animaciones de personajes realistas y fluidas. Esto incluye sistemas de esqueletos, animación por captura de movimiento y controles de animación basados en clave.

Programación visual: Unreal Engine utiliza un sistema de programación visual llamado Blueprint, que permite a los desarrolladores crear lógica de juego, interacciones y comportamientos sin necesidad de escribir código. Es una interfaz visual donde se pueden conectar nodos para definir la lógica del juego.

Multiplataforma: Unreal Engine es compatible con múltiples plataformas, lo que significa que los juegos y aplicaciones desarrollados en el motor pueden ejecutarse en PC, consolas de videojuegos, dispositivos móviles y plataformas de realidad virtual y realidad aumentada.

2.7 Trabajos Relacionados

En 2018 se realizó un estudio basado en realidad virtual y su efecto en el desarrollo y control postural de niños con síndrome de Down. En el cual se realizaron pruebas a diecinueve niños de diferentes escuelas. Se capacitaron a cuatro profesores especialistas en educación física para ayudar a la aplicación de las etapas de prueba.

Para aplicar el proceso de experimentación se utilizó una consola Wii, en la cual los niños debían jugar por 20 minutos a juegos de deportes que involucrara un

movimiento físico. El procedimiento se repitió por 5 semanas hasta concluir con resultados satisfactorios, obteniendo una mejoría en la postura de los niños [12].

Otro estudio publicado en 2013 por la Universidad Católica del Norte, presenta información de cómo se construye un ambiente virtual tridimensional que está dirigido para niños con síndrome de Down, con el propósito de desarrollar habilidades de lectura y escritura. Se aplicaron once escenarios diferentes donde a través de personajes y objetos, se les brindaban pistas a los usuarios para poder escribir la palabra correcta. Cada escenario 3D era un nivel diferente e involucraba poner distintas palabras, aumentado la dificultad conforme se avanzaba de mundo.

Tabla 2.1 Test Diagnóstico y Test de uso de AV3D [51].

<i>Datos estadísticos muestra de 6 niños</i>	<i>Test de diagnóstico</i>	<i>Test de uso AV3D</i>
Media	2,045	2,118
Varianza	0,067	0,138
Observaciones	11,000	11,000
Coefficiente de correlación de Pearson	0,919	
Diferencia hipotética de las medias	0,000	
Grados de libertad	10,000	
Estadístico t	-1,437	
P(T<=t) una cola	0,091	
Valor crítico de t (una cola)	1,812	
P(T<=t) dos colas	0,181	
Valor crítico de t (dos colas)	2,228	
Nivel de confianza (95 %)	1,998	1,957

En este estudio se utilizó Unity para desarrollar todo el proyecto [51]. En la anterior tabla (Tabla 2.1) se muestra una prueba diagnóstica y una prueba con el uso del Ambiente Virtual en 3D, aplicadas en niños con 6 años de edad. Se observa que la variación entre los niños de test diagnóstico y los que usaron el sistema AV3D, es relativamente baja.

Capítulo III: Análisis y Diseño del Sistema

3.1 Introducción

En el presente capítulo se muestra la metodología que se utilizó para llevar a cabo el desarrollo del sistema, se incluyen los diagramas de análisis y de diseño del sistema a implementar (Sección 3.2 y 3.3, respectivamente). En la sección 3.4 se anexan los datos del modelado y su estructura. Finalmente, la sección 3.5 presenta la arquitectura del proyecto propuesto.

3.2 Metodología

La estructura de trabajo está dividida de 4 fases que se muestran a continuación en la Figura 3.1:

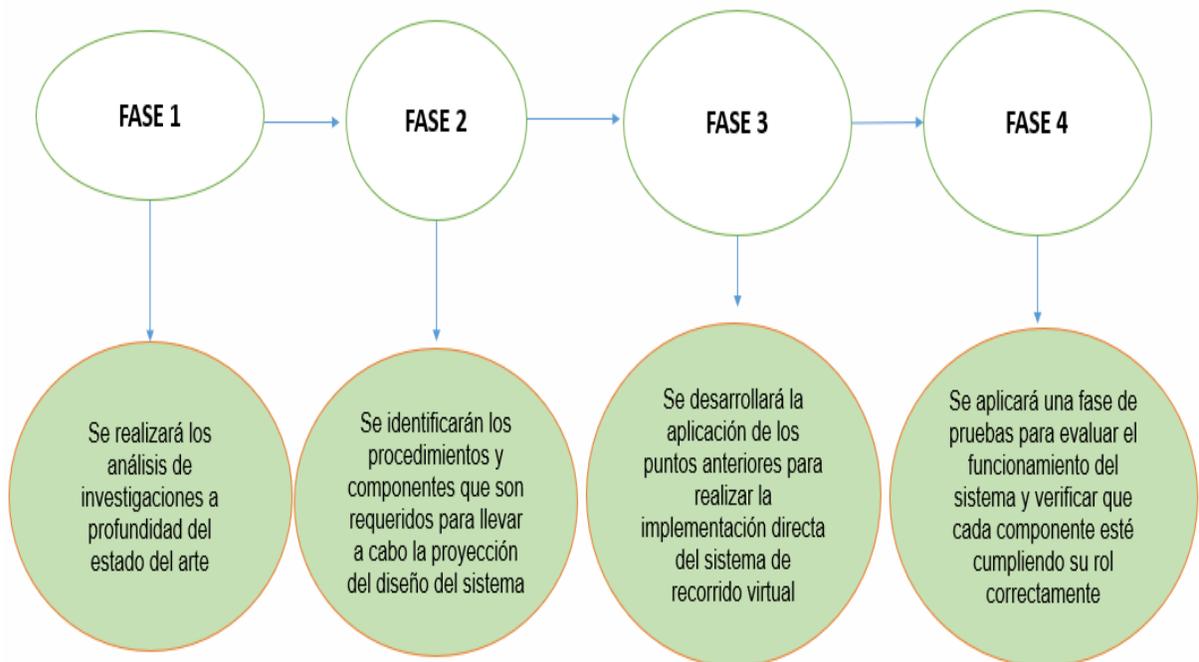


Figura 3.1 Metodología de trabajo.

La metodología de trabajo para el desarrollo del sistema parte desde la Fase 1 que consiste en realizar investigaciones de los temas relacionados con el proyecto (estado del arte). Se realizaron revisiones exhaustivas para complementar la información obtenida. Una vez realizada la obtención de artículos y documentos necesarios, se procede a pasar a la Fase 2, que consiste en identificar los componentes y características que serán requeridas para el diseño y modelado del sistema propuesto, en esta fase se anexan los diagramas y consideraciones del diseño del sistema. Al terminar la estructura del diseño, se aplica la información obtenida anteriormente y se comienza la Fase 3, que consiste en aplicar el desarrollo del prototipo físico; es decir, comienza la implementación directa. Para finalizar se aplica una Fase 4, el cual consiste en realizar pruebas a detalle del sistema para verificar que no existan fallas tanto en la estructura física, como del recorrido virtual, y con ello corroborar que cada elemento cumple con su propósito de manera satisfactoria.

3.3 Análisis y diseño del sistema propuesto

3.3.1 Diagrama de contexto nivel 0

Para representar un panorama general del proyecto, se implementó un diagrama de contexto de nivel 0, donde se presenta una vista de las entidades externas con las que se relaciona el sistema.

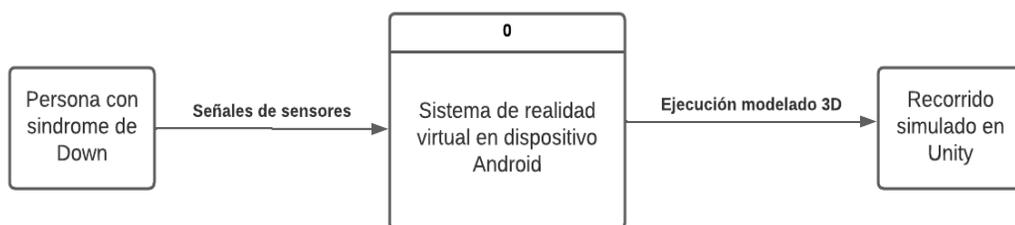


Figura 3.2 Diagrama de contexto nivel 0.

Como se muestra en la Figura 3.2, el sistema recibe señales de los sensores que están siendo presionados por el usuario final. El sistema obtiene datos de esos transductores y los procesa para comenzar la ejecución del modelado 3D, dando como salida el recorrido simulado en la aplicación de Unity.

3.3.2 Diagrama de nivel superior nivel 1

En el diagrama de nivel superior, nivel 1, se muestra el sistema de una manera más centrada enfocándose en puntos más específicos del desarrollo del proyecto. En la siguiente figura (Figura 3.3) se puede observar, primeramente, como el usuario activa los sensores del prototipo con su presencia, haciendo que estos manden señales con información para ser procesadas por un convertidor ADC (Analogic-Digital-Convert) que transforma la señal analógica proveniente de los sensores, en señales digitales que accionan el sistema.

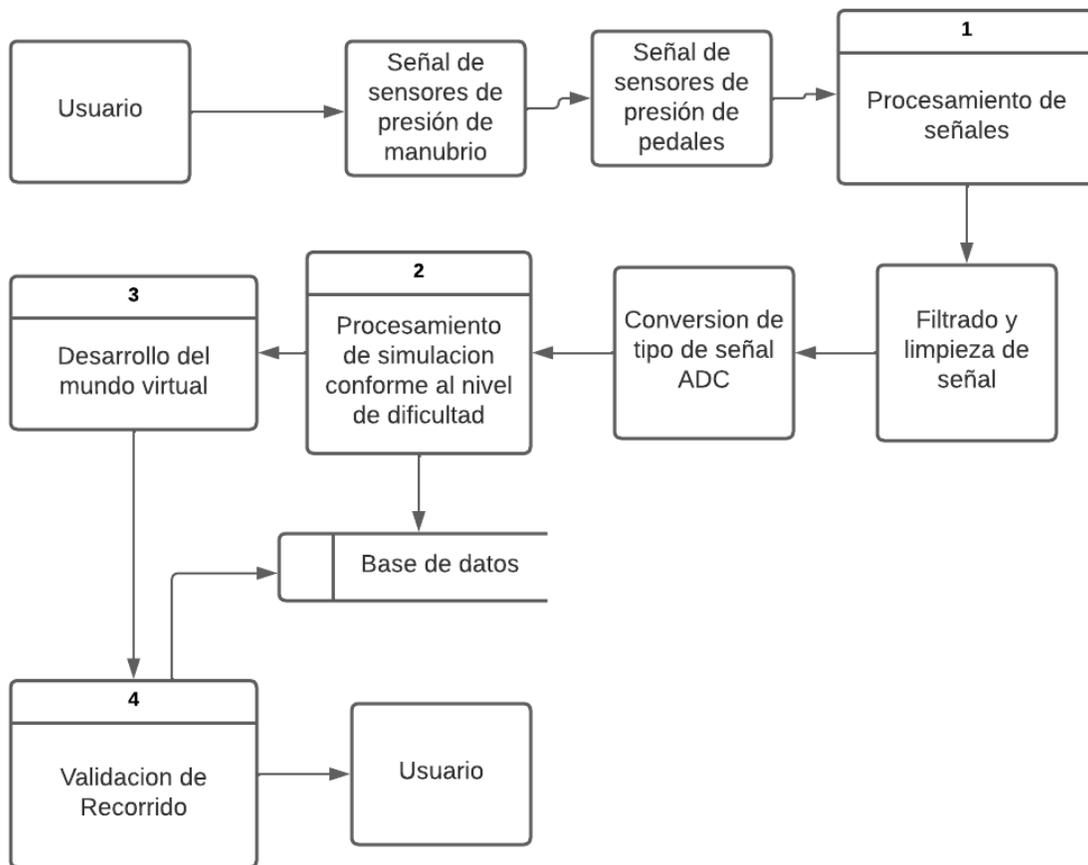


Figura 3.3 Diagrama superior nivel 1.

3.3.3 Diagrama de casos de uso

El diagrama de casos de uso nos proporcionara una representación más detallada de cómo se relacionan los diversos actores con el sistema [52]. En esta ocasión se tienen tres actores, el terapeuta físico, el usuario y el sistema. El primero que es el sistema, es el encargado de generar los niveles de juego, pero para ello tendrá validar el acceso al terapeuta físico. El terapeuta, que es el segundo actor, realiza el inicio de sesión para poder acceder al menú principal, en el cual se pueden realizar ciertas funciones, donde la principal es registrar el nombre del usuario o eliminar uno ya existente. El tercer otro actor serio representado por el usuario final, es la persona que maniobraría la bicicleta estacionaria. El diagrama de casos de uso se muestra en la Figura 3.4.

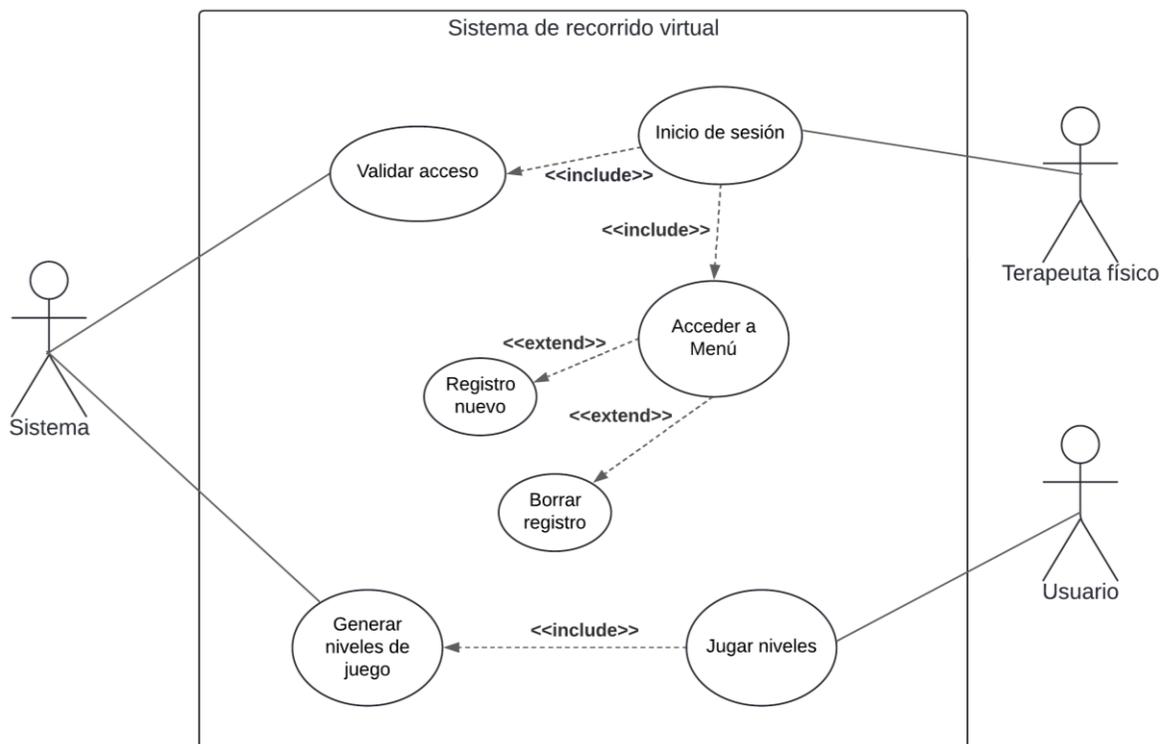


Figura 3.4 Diagrama de caso de uso.

3.4 Diagramas del análisis y diseño del sistema

3.4.1 Diagrama de secuencia

Un diagrama de secuencia es un tipo de diagrama de interacción en el lenguaje de modelado unificado (UML), utilizado para representar cómo los objetos interactúan entre sí a través del tiempo en un sistema [53]. En el diagrama de la Figura 3.6 se refleja cómo el terapeuta físico realiza todas las configuraciones y ajustes iniciales en el sistema, incluyendo la interacción con la guía de recorrido para el usuario. Posteriormente, el usuario interactúa con el sistema para jugar el nivel seleccionado, mientras que el sistema virtual gestiona y registra los resultados del juego.

Terapeuta Físico:

- Ingresar al sistema y registrar nuevos usuarios.
- Configurar y ajustar la guía de recorrido para el Usuario.

Sistema Virtual:

- Procesar la configuración de la guía y la muestra al Usuario Final.
- Desplegar los niveles disponibles después de que el Usuario Final selecciona un nivel.

Usuario:

- Seleccionar un nivel para jugar.

Jugar Nivel:

- El Usuario Final jugar el nivel seleccionado.

Almacenamiento de Tiempo y Puntos:

- El Sistema Virtual registrar el tiempo y los puntos obtenidos por el Usuario Final durante el juego.

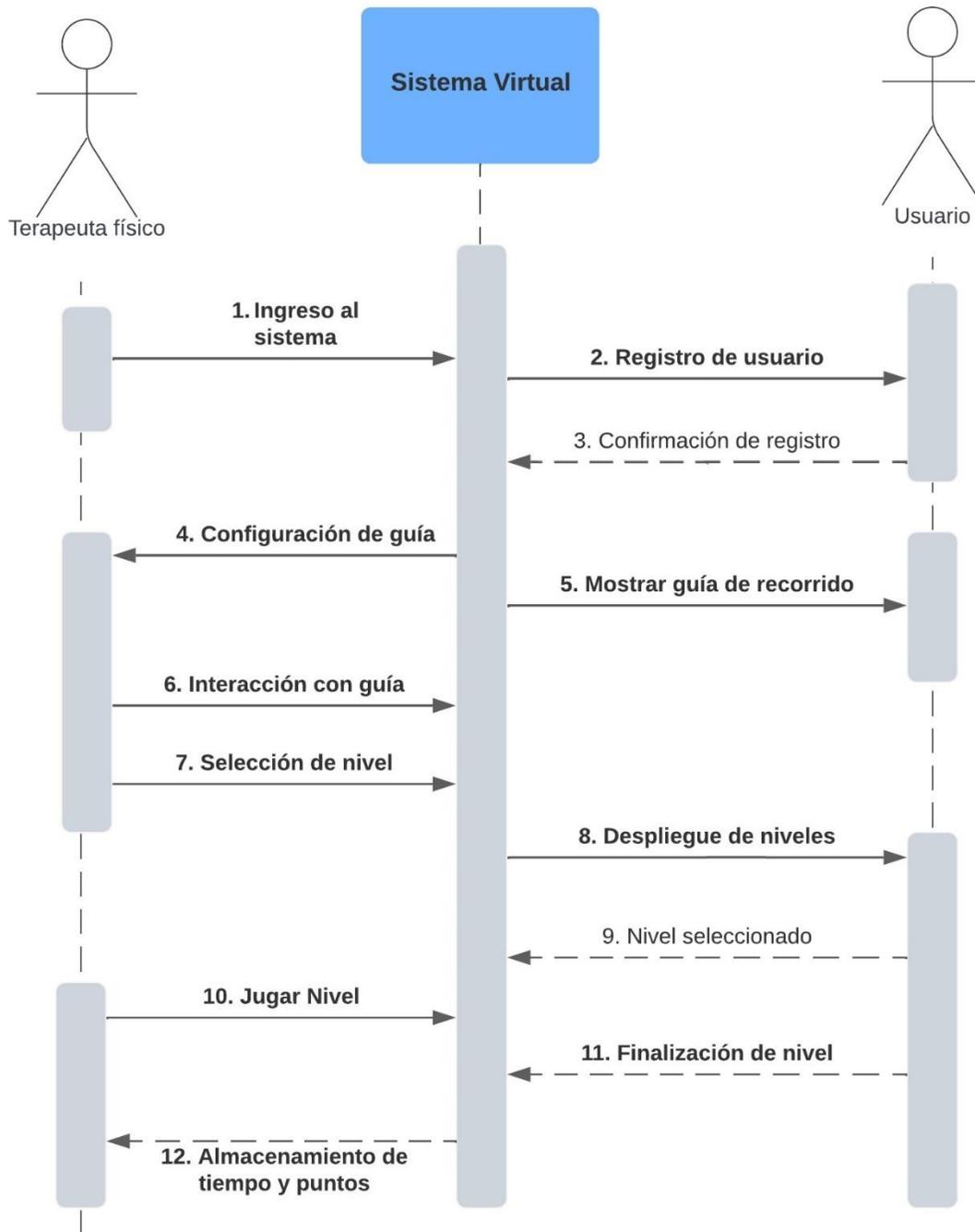


Figura 3.1 Diagrama de secuencia.

3.4.2 Diagrama de clases

Un diagrama de clases es un tipo de diagrama estático utilizado en la Ingeniería de Software y en el desarrollo de sistemas orientados a objetos, particularmente dentro del contexto de la metodología UML (Lenguaje Unificado de Modelado, por sus siglas en inglés), que representa la estructura del sistema mostrando sus clases, atributos, operaciones y las relaciones entre los objetos [54]. En la Figura 3.6 se muestran las clases del sistema.

Clase: Usuario

Administra a los usuarios, permitiendo verificar contraseñas y gestionar la información del usuario (insertar, modificar, eliminar).

Clase: SistemaVirtual

Gestiona los recorridos en la simulación, inicializando niveles, mostrando instrucciones y manejando obstáculos.

Clase: Sensor

Captura y procesa señales de los sensores en la bicicleta, proporcionando datos en tiempo real al sistema para adaptar la simulación.

Clase: DatosRecorrido

Maneja la información del rendimiento del usuario, mostrando puntuaciones, reproduciendo audio, y permitiendo avanzar o repetir niveles

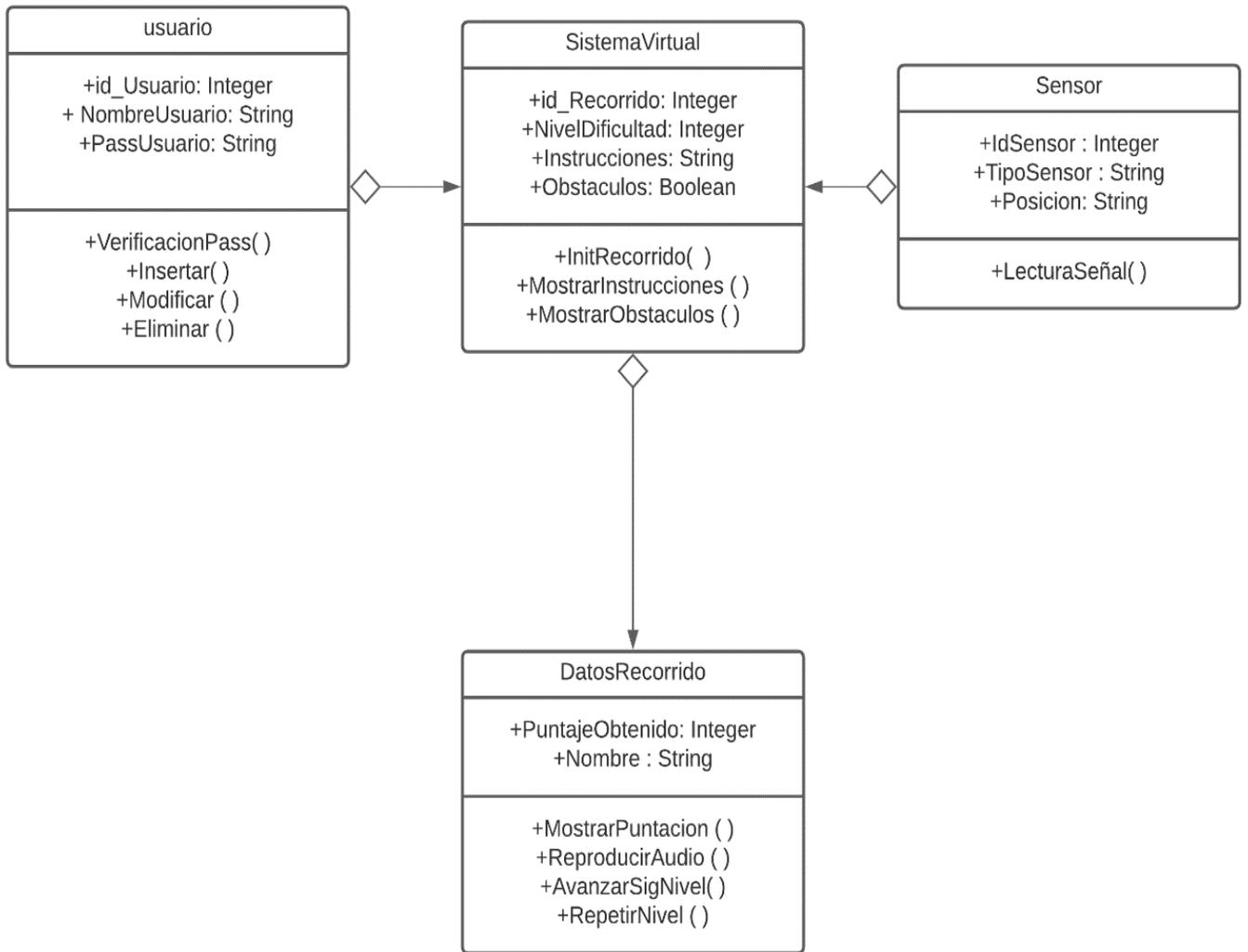


Figura 3.2 Diagrama de clases.

3.4.3 Diagrama de actividades

Un diagrama de actividades es una representación gráfica que se utiliza para describir los flujos de trabajo de un sistema, mostrando las actividades, los pasos y las decisiones que ocurren en un proceso [55]. La Figura 3.7 describe el proceso de inicio de sesión por parte del terapeuta físico, para poder realizar el registro de un nuevo usuario o eliminar registros antiguos.

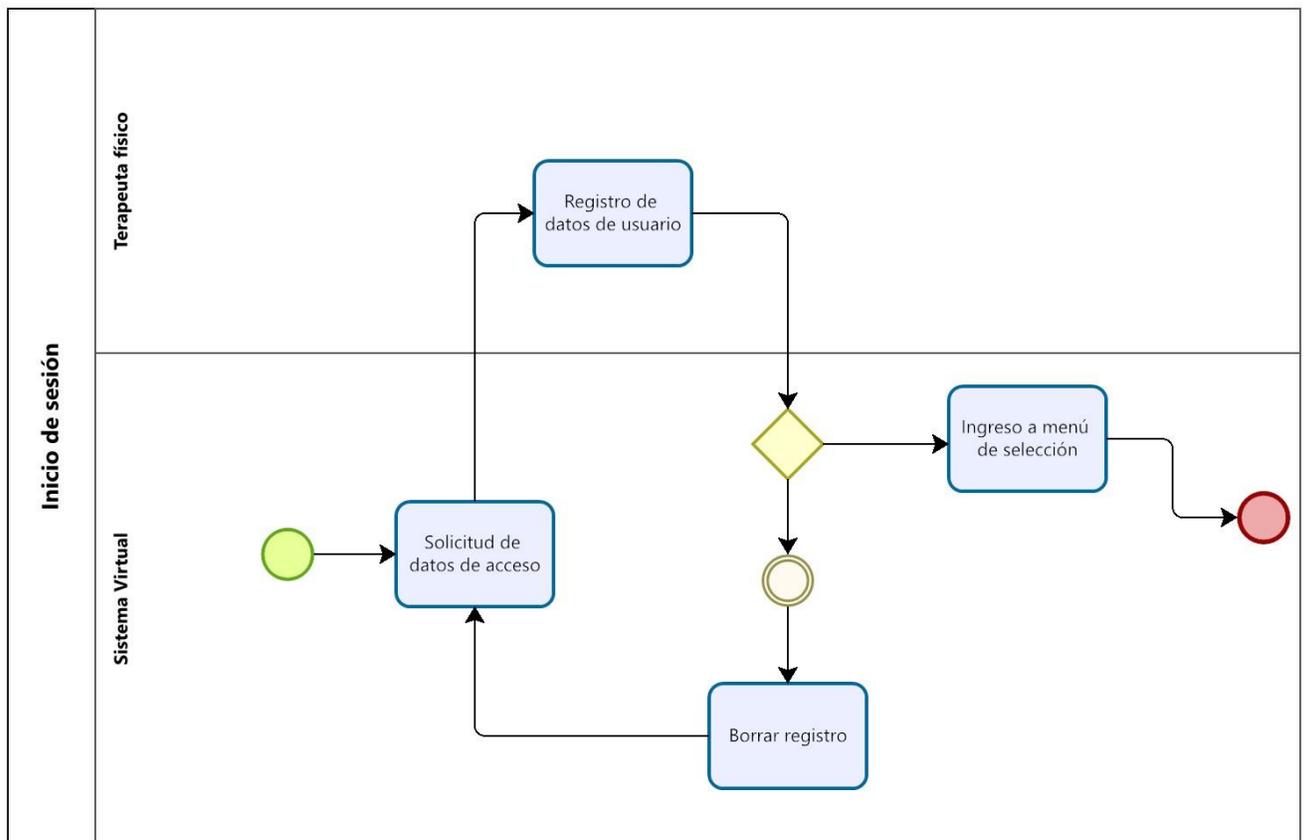


Figura 3.7 Diagrama de actividad de inicio de sesión.

Por otra parte, en la Figura 3.6 se representa el proceso de ingreso al menú principal. En este paso, el usuario ve varias opciones clave que determinan su interacción inicial con la aplicación. Estas opciones incluyen jugar, donde el usuario puede comenzar o continuar una partida; modificar el nivel de volumen, permitiendo ajustar el sonido del juego según sus preferencias; y salir de la aplicación, lo que finaliza la sesión y cierra el juego.

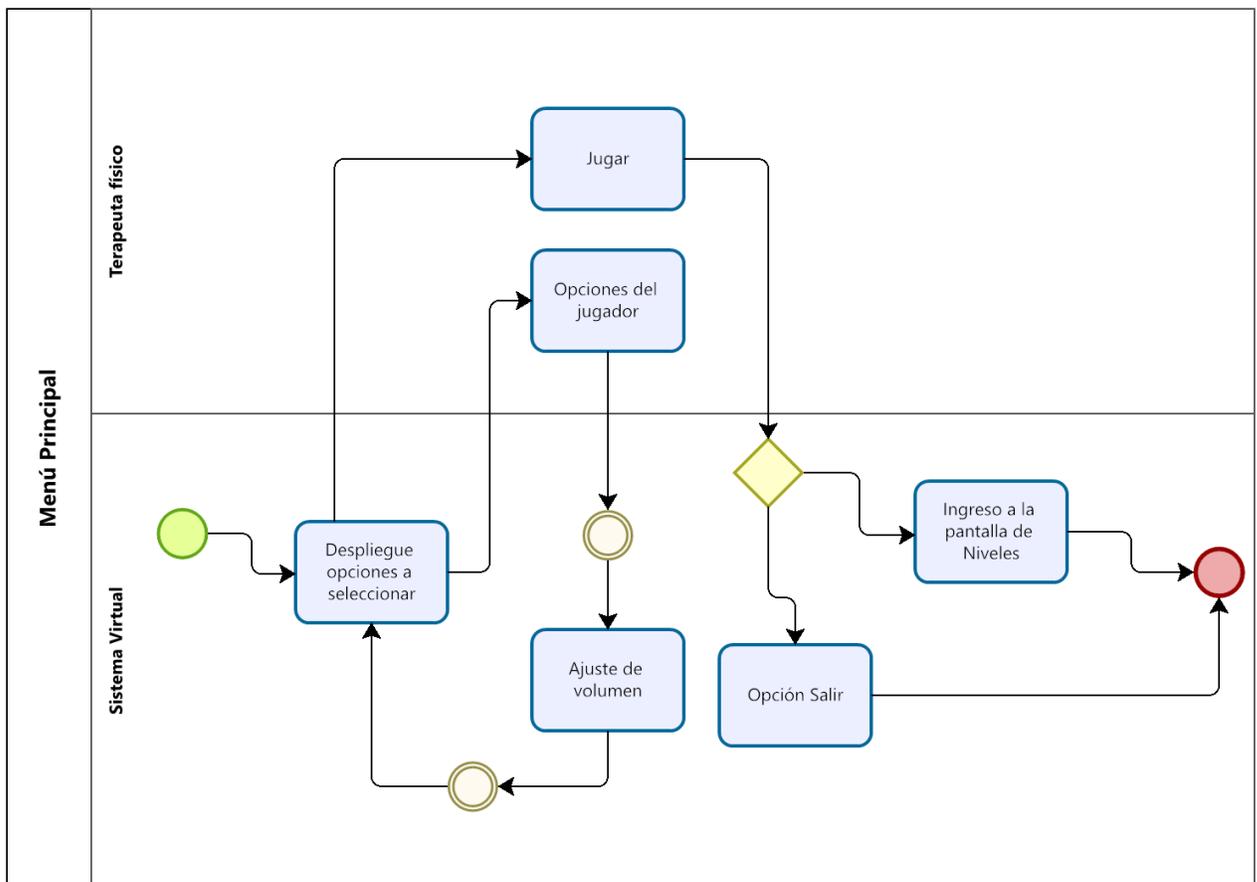


Figura 3.8 Diagrama de actividad de menú principal.

Otra actividad importante a describir es el despliegue recorrido virtual. Aquí, el usuario tiene la tarea de adquirir puntos y evadir obstáculos para poder llegar a la puerta de meta al final del mapa, mientras que el sistema se encarga de procesar la información del usuario y mostrarla en la pantalla de juego. Si el jugador colisiona con algún obstáculo, reaparecerá en un punto de verificación. El diagrama de la actividad de recorrido virtual se muestra en la Figura 3.9.

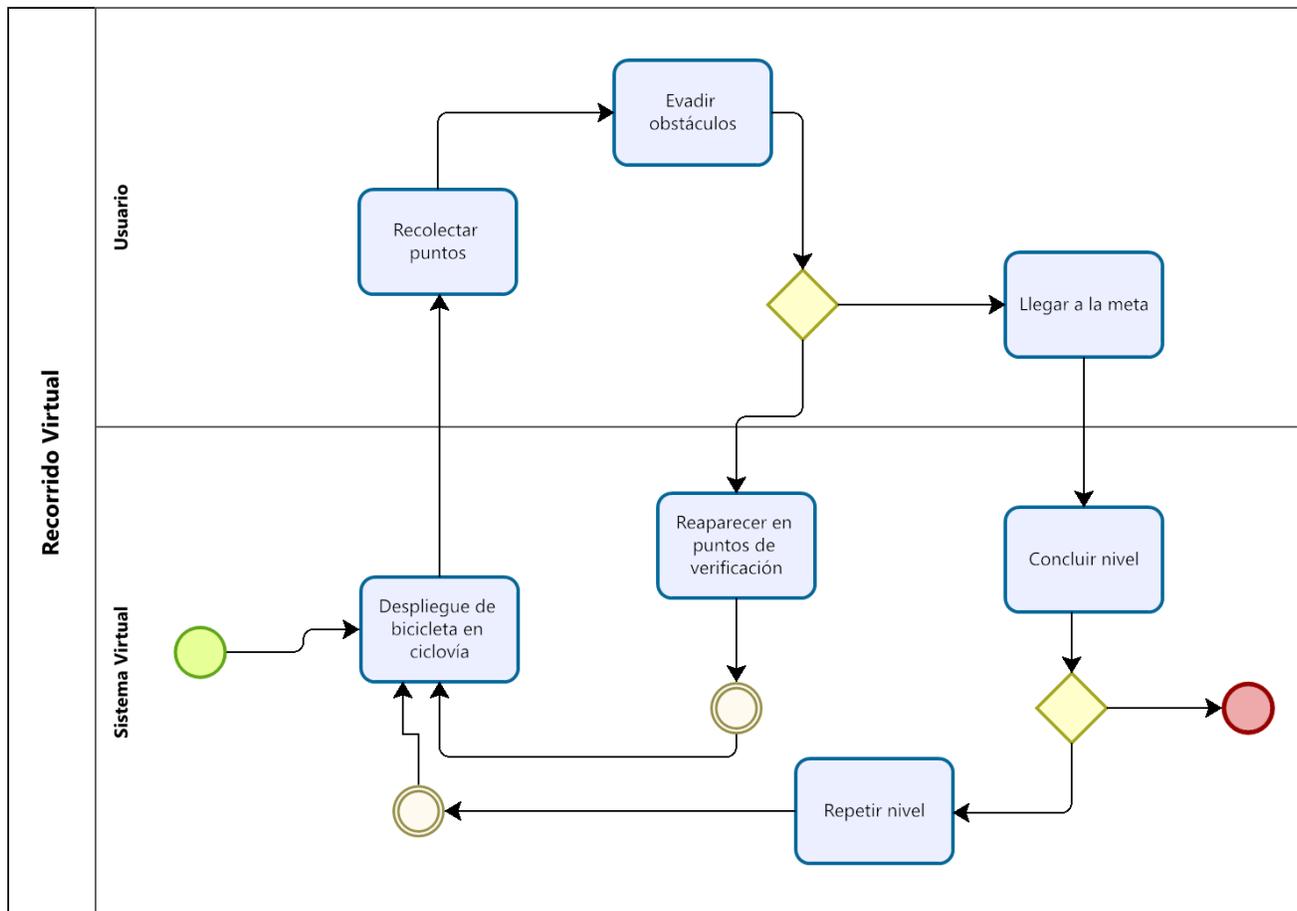


Figura 3.9 Diagrama de actividad de recorrido virtual

3.4.4 Diagrama de componentes

Un diagrama de componentes es una herramienta gráfica que se utiliza para visualizar la organización y las relaciones entre las distintas partes de un sistema. Estas partes pueden incluir módulos de software, servicios, bibliotecas, paquetes, u otros bloques funcionales que forman parte de una aplicación o sistema [56]. A continuación, se describen los elementos del sistema y cómo interactúan entre ellos. En la Figura 3.10 se muestra el diagrama completo de estas interacciones.

Arduino:

- Se conecta a los Sensores para recibir datos en tiempo real.
- Envía datos a la Base de Datos para almacenamiento.
- Proporciona datos al Sistema Virtual para simular la experiencia de ciclismo en un entorno digital.

Sensores en la Bicicleta:

- Están conectados físicamente al Arduino.
- Proporcionan datos críticos como velocidad y posición que el Arduino procesa y envía a otros componentes.

Base de Datos:

- Recibe y almacena datos provenientes del Arduino.
- Facilita el acceso al Sistema Virtual para recuperar datos históricos o en tiempo real.

Sistema Virtual:

- Utiliza la información del Arduino para ajustar el entorno virtual en función de la actividad del usuario.
- Puede acceder a la Base de Datos para obtener datos necesarios para la simulación.

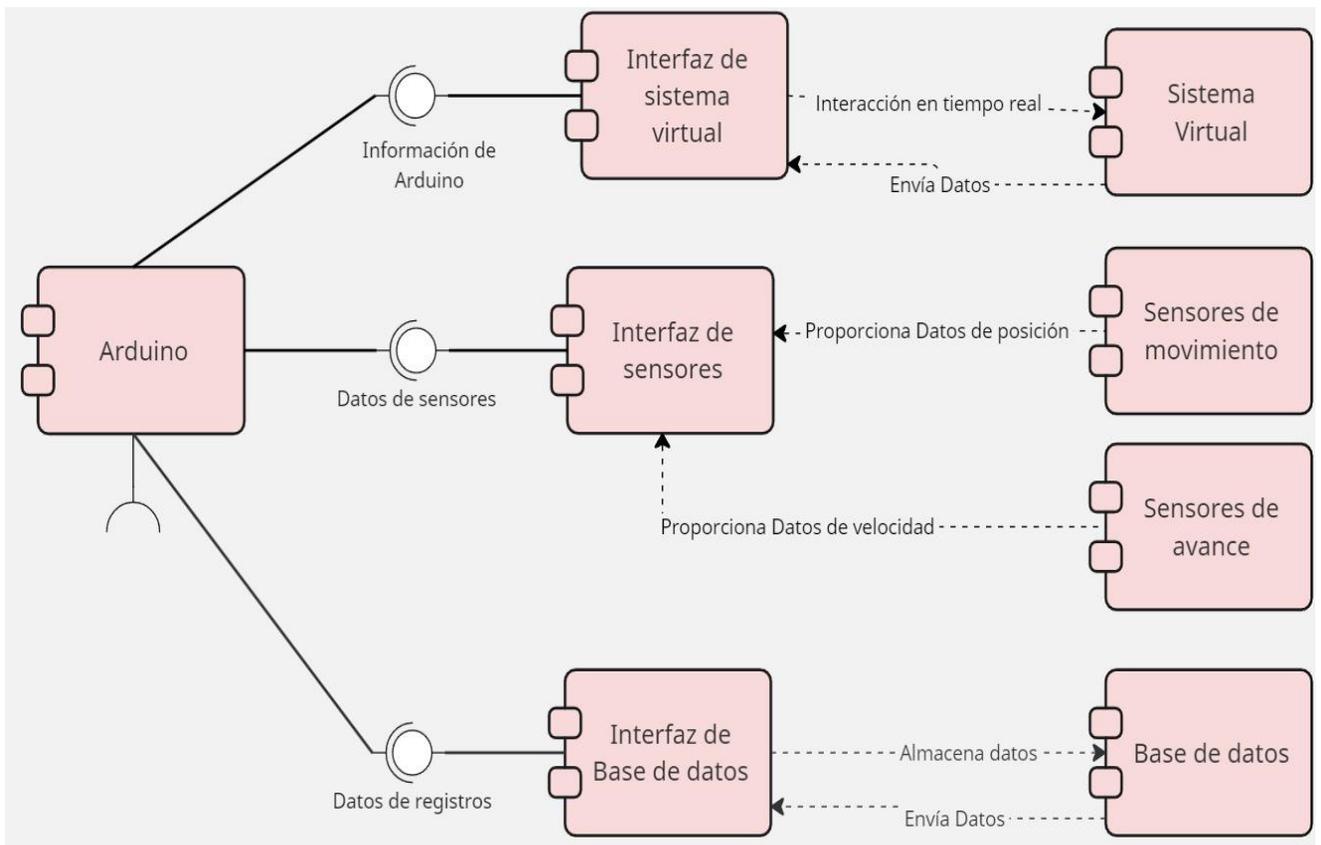


Figura 3.10 Diagrama de componentes del sistema

3.5 Modelo de Datos

El modelo de datos está diseñado para gestionar eficientemente las interacciones y elementos esenciales del sistema, proporcionando una experiencia de juego interactiva y bien estructurada. El **Usuario**, identificado por atributos como ID único, nombre y contraseña, puede participar en múltiples recorridos virtuales, cada uno de los cuales se concibe como un nivel de juego. Los **Recorridos**, definidos por atributos como ID de recorrido y nombre del recorrido, están asociados a un **SistemaVirtual** específico. Cada **SistemaVirtual** se caracteriza por un ID único, nivel de dificultad e instrucciones, y representa el entorno donde se desarrollan los niveles del juego. Los **Sensores** recopilan datos como la posición del jugador y el rendimiento durante el recorrido. Los sistemas virtuales también incluyen **Obstáculos Móviles** y **Obstáculos Fijos** que son identificados por su ID y descripción. Estos añaden complejidad y variedad a los niveles del juego. Los usuarios acumulan **Puntuaciones** a medida que completan los recorridos, reflejando sus logros y desempeño en cada nivel. Este modelo de datos proporciona una base sólida para la gestión integral de los recorridos virtuales en bicicleta, optimizando la experiencia del usuario y facilitando la personalización y el seguimiento del progreso. La estructura y las relaciones entre las entidades se visualizan en la Figura 3.11.

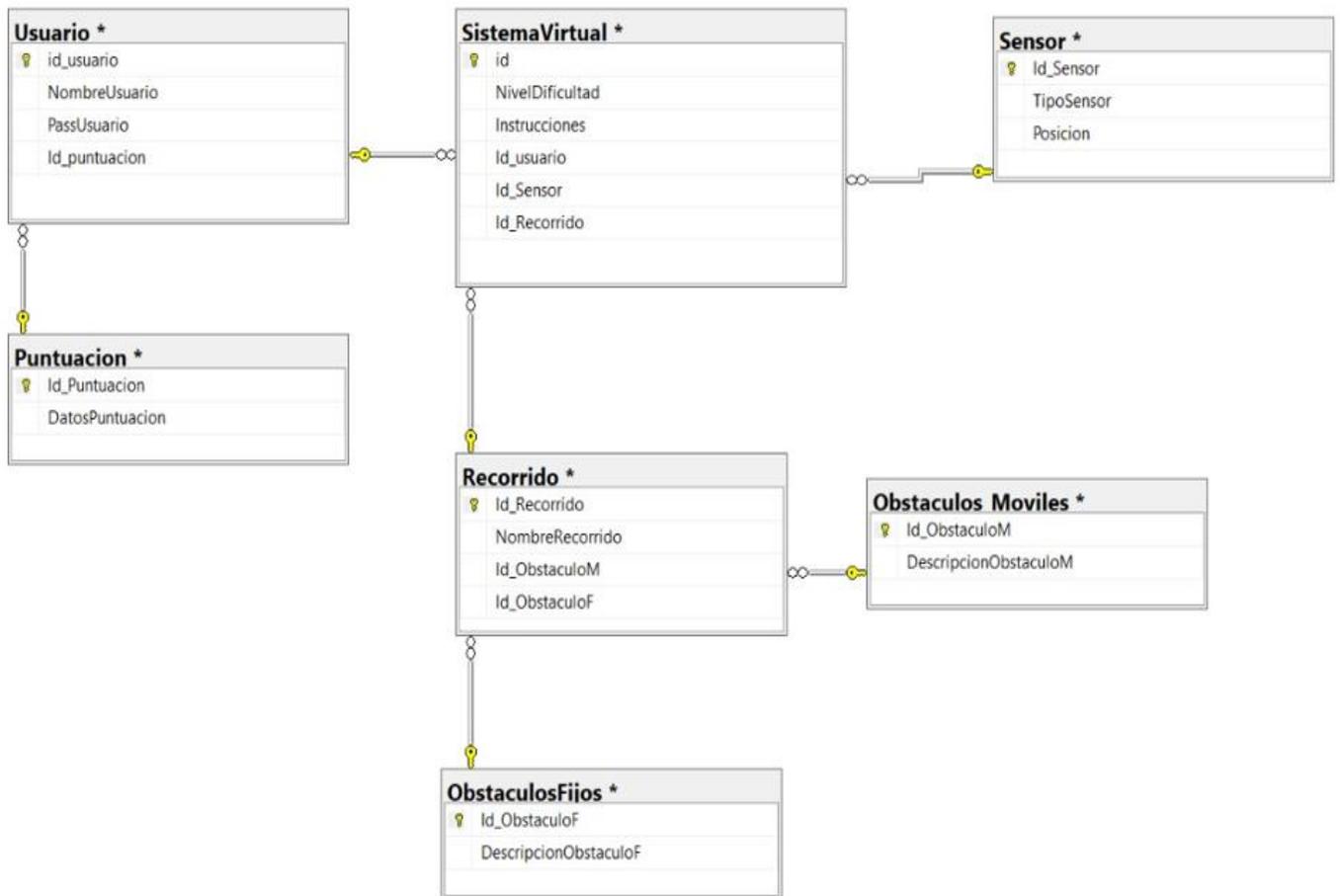


Figura 3.11 Modelo de datos.

3.6 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema para el proyecto de recorrido virtual en bicicleta está compuesta por varios módulos clave, cada uno desempeñando un papel esencial en la creación de una experiencia de juego inmersiva y dinámica. El **Módulo de Entrada** se encarga de capturar y transmitir las señales generadas por la bicicleta estacionaria mediante sensores que monitorean variables como la velocidad y posición. Estas señales son procesadas por el **Módulo de Procesamiento de Señal**, que adquiere los datos brutos de los sensores, los filtra para eliminar el ruido y los convierte en datos digitales utilizables. Estos datos se almacenan en una base de datos, facilitando su acceso para usos posteriores.

El **Módulo de Desarrollo del Sistema** utiliza estos datos almacenados para definir la estructura y la dinámica del recorrido virtual. En este módulo se establecen los niveles de dificultad y se desarrollan las características del mundo virtual, incluyendo elementos visuales, obstáculos y escenarios interactivos, todo ello programado en C#. Este módulo está estrechamente integrado con la base de datos para configurar el comportamiento del juego en función de las señales de los sensores y las preferencias del usuario.

Finalmente, el **Módulo de Ejecución de Juego** se basa en el motor de juego Unity para renderizar el entorno virtual y gestionar la interacción del usuario con el juego. La ejecución del juego se despliega en una pantalla o monitor, proporcionando una visualización inmersiva del recorrido. La estructura de esta Arquitectura se visualiza en la Figura 3.12

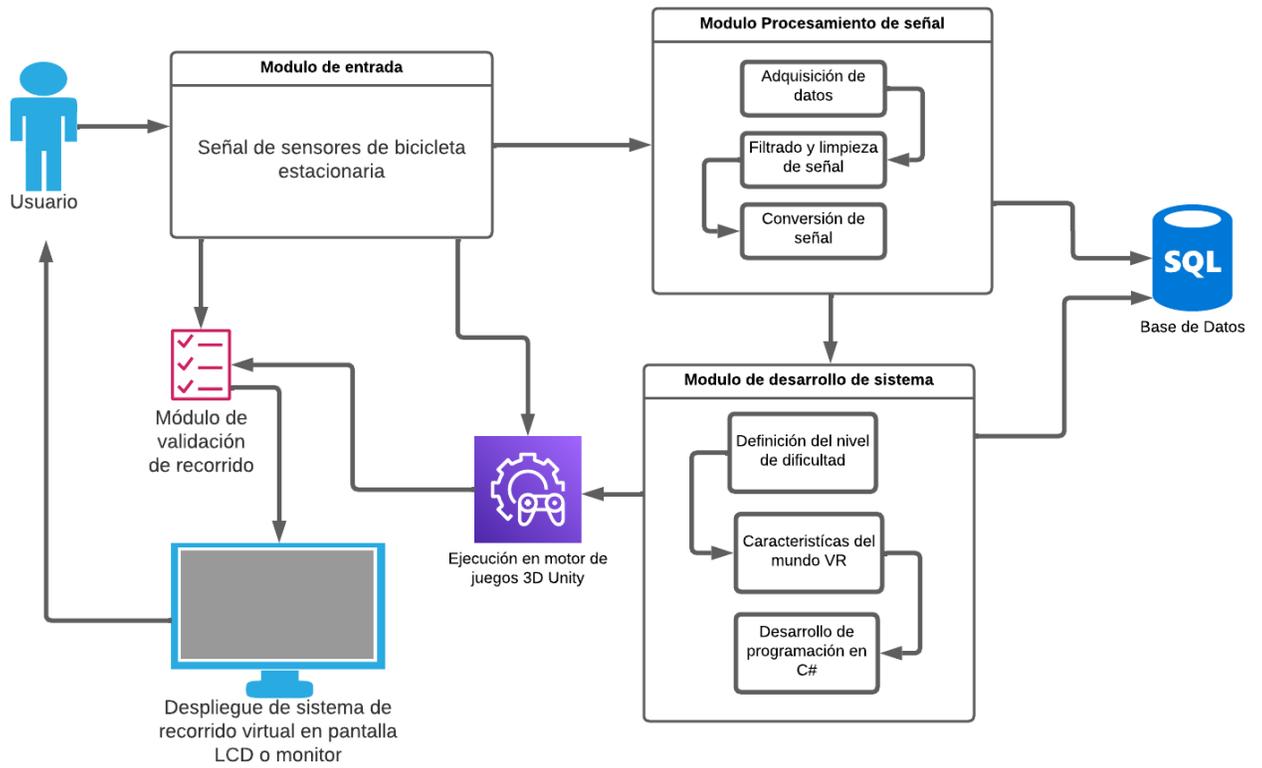


Figura 3.12 Arquitectura del sistema virtual.

Capítulo IV: Implementación del Sistema

Este capítulo muestra todas las actividades y tareas realizadas para llevar a cabo la implementación del sistema de recorrido virtual. En la primera sección se describe como se recolectaron e integraron los assets necesarios para la elaboración del sistema en Unity (sección 4.1). Seguido, se muestra cómo se desarrollaron las características para crear los parámetros físicos del mundo virtual (sección 4.2). Después, se muestran las especificaciones que contiene cada uno de los niveles: nivel principiante (sección 4.3), nivel intermedio (sección 4.4) y nivel avanzado (sección 4.5). Para finalizar, se explica cómo se obtuvieron los datos de los sensores de la bicicleta para procesarlos con Arduino y, posteriormente enviarlos a Unity (sección 4.6).

4.1 Generación e importación de assets.

Recolección de assets generales.

Los principales assets del mapa fueron obtenidos de la tienda oficial de Unity llamada Unity Asset Store, la cual es una plataforma utilizada para extraer objetos para el desarrollo de videojuegos. La recolección de estos componentes se realizó con el objetivo de recrear un mapa de una pequeña ciudad genérica. Se agregaron edificios, calles, arboles, vehículos y personas para hacer una experiencia visual más interactiva. Adicionalmente, se recurrió a otras páginas web para obtener audios y efectos de sonido como lo son, Pixabay y FreeSound, que son plataformas gratuitas que ofrecen una gran variedad de contenido.

En la selección de assets se estableció una lista de criterios claves esenciales, para que el proyecto pudiera cumplir con los requisitos técnicos del sistema.

Costo: los assets debían tener un coste muy reducido o de preferencia que estuvieran disponibles en la modalidad gratuita.

Calidad: La calidad visual y auditiva estaba priorizada, el diseño 3D de los assets tenía que ser suficiente claro para identificar a detalle las características de los objetos, y los tracks de audio tenían que corresponder a los sonidos que generalmente emiten los assets visuales y escucharse claramente sin distorsión alguna.

Rendimiento: Es importante tomar en cuenta la capacidad de ejecución del sistema, por lo tanto, fue crucial seleccionar assets basados en el rendimiento funcional. El juego se tiene que ejecutar a una tasa de frames estables, por lo que agregar objetos demasiado renderizados afectaría la experiencia visual del usuario. Por lo mencionado anteriormente, se seleccionaron assets con el mismo tipo de resolución para evitar conflictos de este tipo.

Licencias: Antes de cargar todos los componentes que serían utilizados en el juego, era importante verificar que cumplieran con la licencia de Creative Commons o similar. Esto nos otorga el permiso para utilizar los assets en diferentes proyectos sin incurrir en problemas legales o de derechos autor.

En la siguiente imagen (Figura 4.1) se muestra un ejemplo de los assets generales ya integrados en un escenario de Unity.



Figura 4.1 Integración de assets generales.

Diseño de assets específicos.

Algunos objetos prefabricados no fueron extraídos de las plataformas en línea. Esto debido a que no contaban con disponibilidad o simplemente su costo era demasiado elevado. Por lo tanto, se optó por diseñarlos en la interfaz de Unity o en aplicaciones externas. Por ejemplo, Blender, el cual es un programa informático que está desarrollado especialmente para diseñar modelado 3D y crear animaciones para videojuegos.

1. Diseño de puntos en Blender (Diamantes)

Uno de los objetos que no se obtuvo por medio de páginas fueron los puntos, estos mismos fueron creados en Blender. El proceso se diseñó por medio de la manipulación de vértices y caras para tratar de lograr una estructura poligonal formando un aspecto parecido a un diamante. Se aplicó un modificador de suavizado para formar un aspecto más realista y llamativo. Al obtener la estructura interior de la figura, se exportaron los archivos a Unity y se agregó una textura azul reflectante, para simular el brillo característico de los diamantes. En la figura 4.2, se puede observar el diseño realizado en Blender, y en la figura 4.3 el diamante ya pulido con textura en Unity.

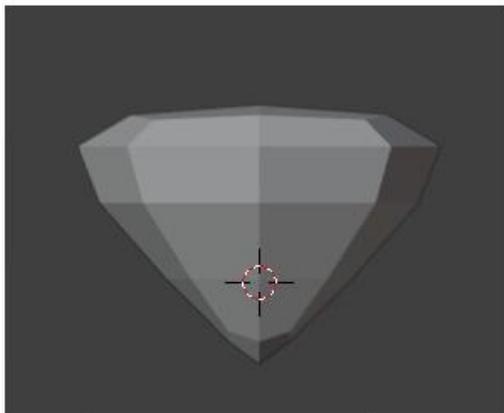


Figura 4.2 Diseño en Blender.

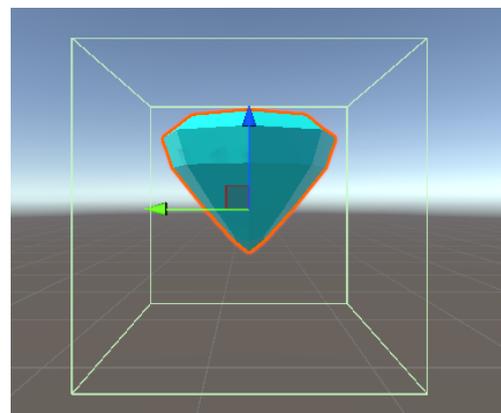


Figura 4.3 Diamante con textura.

2. Diseño de rampa

Para la creación de la rampa del juego, se diseñó una figura similar a la forma de un triángulo escaleno. El proceso consistió en crear una malla triangular básica y aplicarle escala para obtener el tamaño deseado. Se agregaron subdivisiones de bordes y texturas de concreto. Después se añadió el color rojo para darle distinción entre otros objetos del mapa.

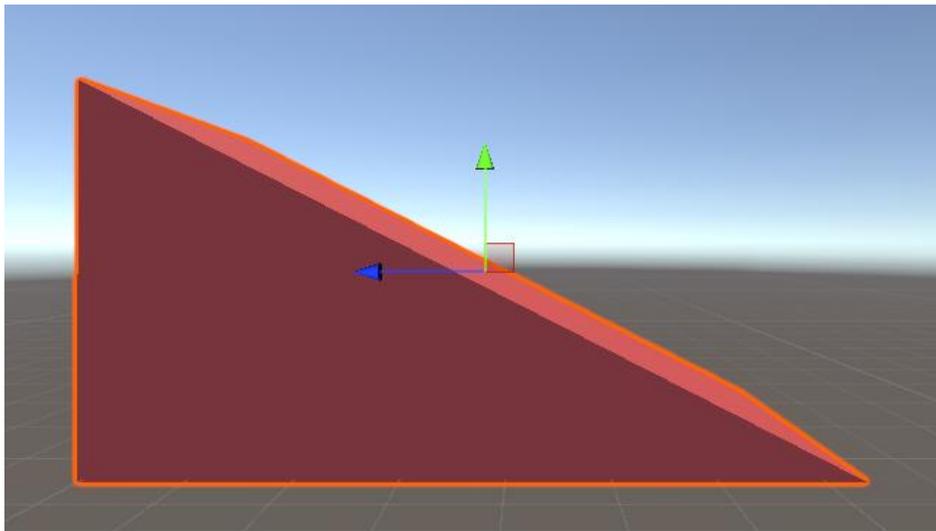


Figura 4.4 Rampa con textura.

La inclinación fue determinada de acuerdo a las propiedades físicas de la bicicleta, y para permitir que cruce por ella sin complicación. La Figura 4.4 muestra la figura de la rampa en Unity.

4.2 Configuración de propiedades físicas.

En el desarrollo de simulaciones y videojuegos, es importante que todos los objetos relacionados cumplan con ciertas propiedades físicas, éstas mismas nos aseguran que las interacciones entre ellos sean coherentes con las leyes del mundo real, evitando comportamientos no realistas y exagerados. Propiedades como la masa, gravedad, fricción y el torque, deben configurarse correctamente para mantener la

verosimilitud. En Unity, estas características se gestionan a través del motor de física que ya tiene incorporado. A continuación, se muestra cómo se fueron integrando cada una de las propiedades, por medio de componentes en programación.

3. **Rigidbody:** es el componente que permite que un objeto obtenga movimientos físicos generales. Esto incluye respuesta a fuerzas, colisiones y movimientos generados por código.

```
// Start is called before the first frame update
void Start()
{
    rigidBody = GetComponent<Rigidbody>();

    // Adjust center of mass vertically, to help prevent the car from rolling
    rigidBody.centerOfMass += Vector3.up * centreOfGravityOffset;
}
```

Figura 4.5 Código Componente Rigidbody.

En la figura 4.5 se muestra cómo se asignó el '**Rigidbody**' a la bicicleta, para que pudiera interactuar con diferentes fuerzas.

El método '**GetComponent<Rigidbody>()**' retoma el componente '**Rigidbody**' que está vinculado con la bicicleta, otorgando permiso para manipular propiedades que afectan directamente a la gravedad, como la masa.

4. **Fuerza y torque de Motor:** para obtener la fuerza de desplazamiento de la bicicleta, se utilizó la propiedad de torque. Para simular este efecto sobre las ruedas de la bicicleta, se aplicó el componente '**WheelCollider**' como se muestra en la Figura 4.6.

```

void Update()
{
    if (serialPort.IsOpen)
    {
        float currentMotorTorque = Mathf.Lerp(motorTorque, 0, speedFactor);
        foreach (var wheel in wheels)
        {
            if (wheel.motorized)
            {
                wheel.WheelCollider.motorTorque = vInput * currentMotorTorque;
            }
        }
    }
}

```

Figura 4.6 Código de propiedad torque.

```

if (isAccelerating)
{
    // Apply torque to Wheel colliders that have "Motorized" enabled
    if (wheel.motorized)
    {
        wheel.WheelCollider.motorTorque = vInput * currentMotorTorque;
    }
    wheel.WheelCollider.brakeTorque = 0;
}
else
{
    // If the user is trying to go in the opposite direction
    // apply brakes to all wheels
    wheel.WheelCollider.brakeTorque = Mathf.Abs(frenoF) * brakeTorque;
    wheel.WheelCollider.motorTorque = 0;
}

```

Figura 4.7 Código de función de aceleración.

5. **Aceleración y resistencia:** el script de la Figura 4.7 muestra cómo se generó el método de aceleración de la bicicleta. Se inicia en valor cero y conforme el usuario va aplicando movimiento en los pedales, la entrada `'vInput'` captura ese valor. Por lo tanto, la aceleración aumenta o disminuye dependiendo de la magnitud del valor de `'vInput'`. Para aplicar resistencia a la bicicleta, se utilizó la entrada `'frenoF'`, que al estar activa permite que el motor de aceleración, baje su valor hasta cero, ocasionado con ello un frenado total.
6. Colisiones: Las colisiones se programaron utilizando eventos como `'OnCollisionEnter'` y `'OnTriggerEnter'`, que permite que la bicicleta pueda conectar con otros objetos como por ejemplo personas, automóviles o puntos de control. En las siguientes figuras se puede observar las rutinas que se ejecutan al colisionar con objetos en movimiento. En la Figura 4.8 se muestra la rutina de la animación que se reproduce al momento de contacto, y en la Figura 4.9 se visualiza el código necesario para poder reaparecer en un punto de verificación.

```
Instantiate(explosion, transform.position, Quaternion.identity);
yield return new WaitForSeconds(3);
transform.position = checkpointP;
transform.rotation = checkpointR;

foreach (Transform parte in this.gameObject.transform)
{
    if (parte.gameObject != Camera.main.gameObject)
    {
        parte.gameObject.SetActive(true);
    }
}
```

Figura 4.8 Código de animación de colisión

```

public void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.CompareTag("Checkpoint"))
    {
        checkpointP = transform.position;
        checkpointR = Quaternion.identity;
    } else if (other.CompareTag("acelerar"))
    {
        rb.velocity *= 2;
        Invoke("speedDown", 2);
    } else if (other.CompareTag("Wall"))
    {
        StartCoroutine(Respawn());
    }
}

```

Figura 4.9 Código de puntos de verificación

4.3 Nivel 1 (Principiante):

El primer nivel del juego está diseñado para introducir a los niños con síndrome de Down, al mundo virtual de manera comprensible y amigable. Este nivel cuenta con un camino totalmente recto sin vueltas, con el objetivo de que logren familiarizarse con los movimientos del manubrio y pedales de la bicicleta, así como también reconocer los diferentes obstáculos y señalamientos básicos de tránsito.

Lista de señalamientos y obstáculos.

- Altos.
- Paso de cebra o paso peatonal.
- Señal de dirección hacia adelante.
- Automóviles (Evitar colisionar).
- Peatones (Evitar colisionar).

Al iniciar, el usuario se encuentra dentro de un carril exclusivo para bicicletas, también llamado ciclovía. En la Figura 4.10, se observa el señalamiento de ciclovía.

Durante el camino se encuentran los diamantes azules que deben ser recolectados para ir aumentando la puntuación del jugador. En la Figura 4.11, se puede observar cómo aparece confetti cuando el personaje obtiene un punto.



Figura 4.10 Señalamiento de ciclovía



Figura 4.11 Animación de puntos.

A lo largo del camino del nivel 1 se presentan diversos tipos de obstáculos y señalamientos que deben ser superados de manera correcta. En la Figura 4.12 se aprecia como el personaje está enfrente de un STOP (Alto) y de un paso de cebra, por lo que el usuario debe detenerse y corroborar que no hay automóviles o peatones para poder continuar.



Figura 4.12 Señalamiento de STOP (Alto) y paso de cebra.

En caso de no respetar el señalamiento de alto, el personaje puede impactar con algún automóvil o con los peatones que están cruzando la calle. Al ocurrir esto, se genera un efecto de animación de explosión, como se puede visualizar en las Figuras 4.13 y 4.14.



Figura 4.13 Momentos antes del impacto con un automóvil.



Figura 4.14 Momento justo de colisión.

Después el personaje reaparecerá en el punto de verificación más cercano a la colisión. Estos puntos están ubicados en las flechas que indican la señal de dirección como se muestra en la Figura 4.15.



Figura 4.15 Reparación en un punto de verificación (señal de dirección).

El objetivo final es llegar a la línea de meta mientras se navega por la ciclovía evitando los obstáculos ya mencionados y respetando los señalamientos de tránsito. En la Figura 4.16 se puede apreciar la puerta de meta y en la Figura 4.17 aparece la animación de festejo que indica la finalización del nivel.



Figura 4.16 Puerta de meta.



Figura 4.17 Finalización de nivel.

4.4 Nivel 2 (Intermedio):

El segundo nivel a diferencia del primero, no es completamente recto; en éste se agregaron vueltas de 90 grados que exigen mayor movimiento del manubrio por parte del usuario. El nivel intermedio incluye todos los señalamientos y obstáculos del nivel principiante, y adicionalmente se añadieron nuevos obstáculos que aumentan la dificultad del juego, ofreciendo una experiencia más amplia al usuario. Entre los obstáculos nuevos se incluye una rampa equipada con un multiplicador de velocidad. Este último elemento aumenta el valor de velocidad de la bicicleta, permitiendo al jugador pasar la rampa con éxito. El otro objeto incorporado en este nivel es un semáforo que fuerza al usuario a detenerse o avanzar dependiendo de la luz que este encendida en ese momento. Estos nuevos desafíos ayudan a mejorar la acción y reacción ante diferentes situaciones.

Lista de señalamientos y obstáculos

- Todos los señalamientos y obstáculos incluidos en el nivel 1 (principiante)
- Rampa con multiplicador de velocidad
- Semáforo

Al inicio del nivel, se presenta un camino recto como el del nivel 1, conforme el jugador va avanzando se encontrará con vueltas de 90 grados, como se muestra en la Figura 4.18.



Figura 4.18 Vuelta de 90 grados justo enfrente del jugador

A medida que el usuario recorre el nivel, se puede observar cómo se encuentra con semáforos en ciertos cruces de calle. Los semáforos funcionan de la misma manera que en la vida real, si la luz verde esta encendida, el jugador debe continuar avanzando. En caso de estar la luz amarilla encendida, el jugador debe tener precaución ya que la luz está a punto de cambiar a luz roja; si ese es el caso, el jugador debe detenerse por completo y esperar a que el semáforo cambie de color. En la figura 4.19 se visualiza el semáforo en estado rojo.



Figura 4.19 Semáforo con luz roja encendida.

Otro obstáculo importante a destacar en este nivel, es la rampa con el multiplicador de velocidad. Estos objetos se muestran justo después de realizar vueltas o pasar un alto. Para que el jugador pueda atravesar, debe pasar por una flecha de aceleración que se encuentra a escasos metros de la misma. El objetivo de esta flecha es aumentar la velocidad base de la bicicleta en 2.5 veces, permitiendo al usuario cruzar la rampa sin dificultades. En la Figura 4.20 se observa la rampa con la flecha multiplicadora de velocidad, y en la Figura 4.21 se muestra al jugador estando en el aire después de cruzar satisfactoriamente el obstáculo.



Figura 4.20 Rampa y multiplicador de velocidad

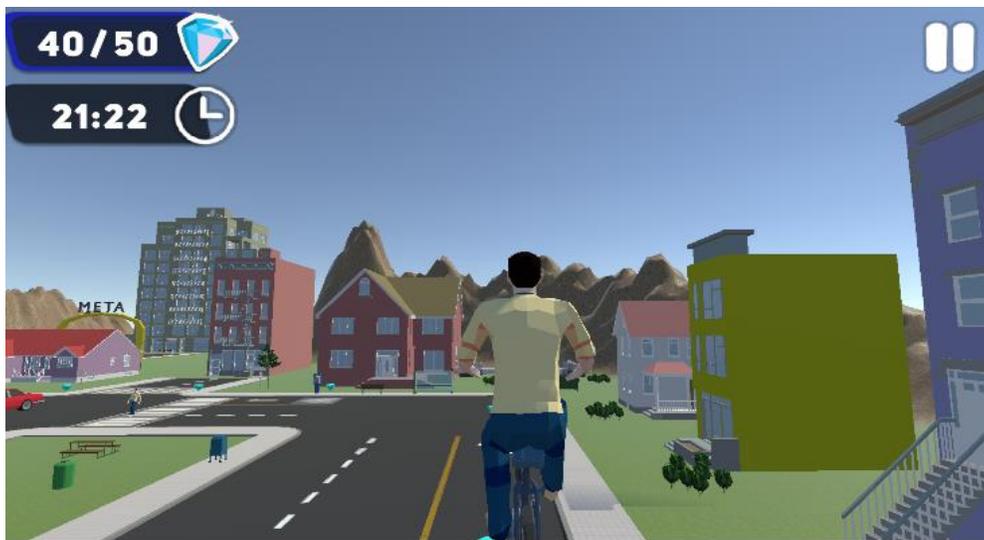


Figura 4.21 Jugador en el aire despuse de cruzar la rampa.

Al igual que en el nivel 1, el presente nivel cuenta con los mismos objetivos. Por tal motivo, el escenario concluye al recolectar todos los puntos (diamantes) y llegar a la puerta de meta.

4.5 Nivel 3 (Avanzado):

El tercer nivel mantiene todas las características del primer y segundo nivel. Adicionalmente, este nivel introduce un circuito diseñado específicamente para hacer uso de las vueltas, combinaciones de curvas cerradas y cambios de dirección, aumentando la complejidad y la habilidad necesaria para navegar a través de él.

Lista de señalamientos y obstáculos

- Todos los señalamientos y obstáculos incluidos en el nivel 1 y 2 (principiante e intermedio).
- Circuito de vueltas.

El diseño del circuito se basó en elementos característicos de pistas de Fórmula 1, conocidas por su complejidad y demanda técnica. Se diseñaron curvas en S y giros en U para poner a prueba la destreza para cambiar de dirección rápidamente. Se prestó especial atención a la fluidez del recorrido, asegurando una transición suave entre las diferentes secciones de la pista. En la figura 4.22 se muestra una vista aérea del circuito armado.



Figura 4.22 Vista aérea del circuito de vueltas

Se pintaron líneas y marcas a los costados del pavimento para delinear áreas de maniobra, y se instalaron barreras de seguridad y amortiguadores de impacto a lo largo del circuito, para proteger tanto a los conductores como a los vehículos, en caso de salidas de pista o errores durante las vueltas. Las líneas y barras de protección se muestran en la Figura 4.23

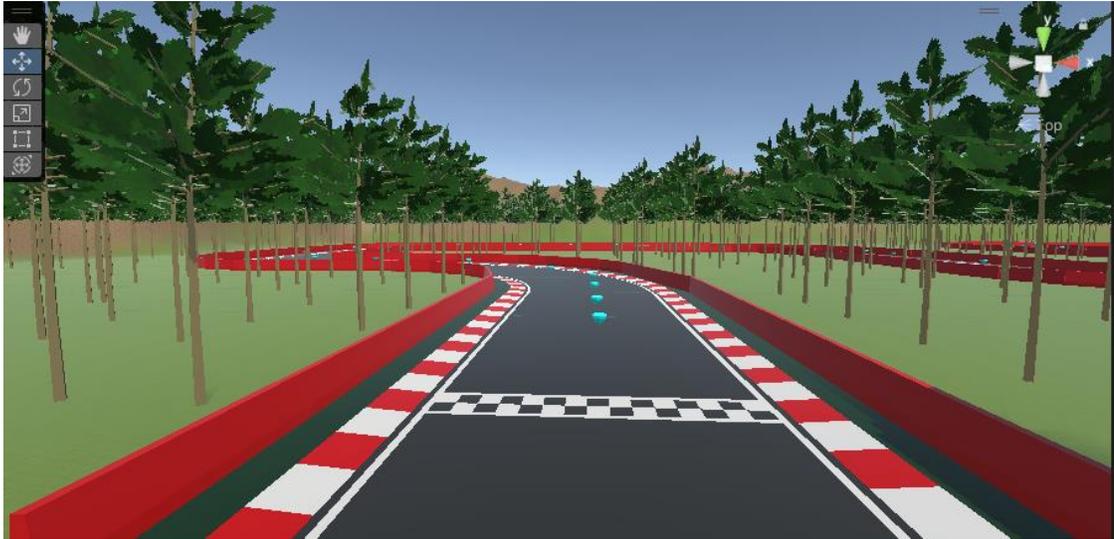


Figura 4.23 Líneas y barras de protección del circuito.

Al finalizar el circuito, se presenta la puerta de meta, que al igual que en los niveles anteriores (1 y 2), representa la conclusión del escenario.

4.6 Comunicación Serial:

En el desarrollo del sistema, la comunicación entre un Arduino y el entorno virtual se estableció utilizando comunicación serial. Esta técnica se seleccionó por su simplicidad y fiabilidad para transmitir datos en tiempo real.

Así como se muestra en la Figura 4.24 la comunicación entre el Arduino y el sistema virtual, se configuró la transmisión a una velocidad de 9600 baudios. Esta velocidad es un estándar común en dispositivos de comunicación serial, ya que es suficientemente rápida para gestionar señales de control en tiempo real, necesarias para el funcionamiento del simulador. Se determinó que los datos debían enviarse a intervalos de 100 milisegundos, lo que se traduce en una tasa de actualización de 10 veces por segundo. Este intervalo de tiempo fue elegido para proporcionar una respuesta en tiempo real sin sobrecargar la capacidad de procesamiento del sistema.

```
void setup() {  
  pinMode(potPin, INPUT);  
  pinMode(reedSwitchPin, INPUT_PULLUP);  
  pinMode(limitSwitch, INPUT_PULLUP);  
  pinMode(limitSwitch2, INPUT_PULLUP);  
  // Velocidad serial a 9600 bps  
  Serial.begin(9600);  
}
```

Figura 4.24 Velocidad del Puerto Serial.

Uno de los desafíos comunes al conectar dispositivos como el Arduino, es la variabilidad de los puertos COM asignados por la computadora cada vez que se conecta el dispositivo. Para resolver este problema, se implementó un mecanismo de detección automática de puertos COM en el sistema virtual. En la Figura 4.25 aparece el script que muestra los puertos COM disponibles.

```

string[] ports = SerialPort.GetPortNames();

if (ports.Length == 0)
{
    Debug.Log("No se encontraron puertos");
}
else
{
    foreach (var port in ports)
    {
        if (port != "COM1")
        {
            serialPort = new SerialPort(port, baudRate);
            try
            {
                serialPort.Open();
                if (serialPort.IsOpen)
                {
                    //COM.saveCom = port;
                    Debug.Log("Se conecto al puerto " + port);
                    break;
                }
            }
            else
            {
                serialPort.Close();
            }
        }
        catch
        {
            Debug.Log("No se econtraron puertos de Arduino");
        }
    }
}
}

```

Figura 4.25 Script que buscar los puertos COM disponibles.

Para el control de la bicicleta en el simulador, se gestionaron cuatro tipos principales de datos: aceleración, freno, reversa y el control del manubrio. Estos datos se empaquetan en un arreglo de cuatro elementos antes de ser enviados a través de la conexión serial al sistema virtual.

El arreglo de datos se estructura de la siguiente manera: la primera posición representa la aceleración, la segunda la reversa, la tercera el freno y la cuarta el control del manubrio. Este formato permite una transmisión eficiente y organizada de múltiples comandos en un solo paquete de datos. Al enviar los datos en un arreglo, se simplifica tanto la codificación en el Arduino como la decodificación en el sistema virtual, reduciendo la complejidad y aumentando la eficiencia de la comunicación. El arreglo de datos mencionado se representa en la Figura 4.26.

```
void Update()
{
    if (serialPort.IsOpen)
    {
        try
        {
            string[] palabra = serialPort.ReadLine().Split(',');
            string acelerar = palabra[0];
            string reversa = palabra[1];
            string freno = palabra[2];
            string manubrio = palabra[3];

            float vInput = 0;

            if (acelerar == "1")
            {
                vInput = float.Parse(acelerar);
            }
            else if (reversa == "-1")
            {
                vInput = float.Parse(reversa);
            }
            else if (acelerar == "1" && reversa == "-1")
            {
                vInput = 0;
            }

            Debug.Log(vInput);
        }
    }
}
```

Figura 4.26 Arreglo de datos de los sensores.

4.7 Pruebas funcionales:

Este apartado muestra los resultados de las pruebas funcionales realizadas durante el proceso de desarrollo del sistema de juego y simulación vial. Se llevaron a cabo evaluaciones exhaustivas para asegurar el correcto funcionamiento de cada componente y nivel del sistema. A continuación, se presentan los resultados de las pruebas realizadas para cada uno de los tres niveles del juego, así como para los aspectos técnicos relacionados con la conexión y comunicación entre el Arduino y el sistema virtual. Al final de la sección, se discuten los resultados obtenidos y las mejoras implementadas en respuesta a los problemas identificados. En la Figura 4.27, se muestra al desarrollador poniendo a prueba el sistema, y en la Figura 4.28, lo que se proyecta en pantalla.



Figura 4.27 Pruebas de funcionalidad por parte del desarrollador.

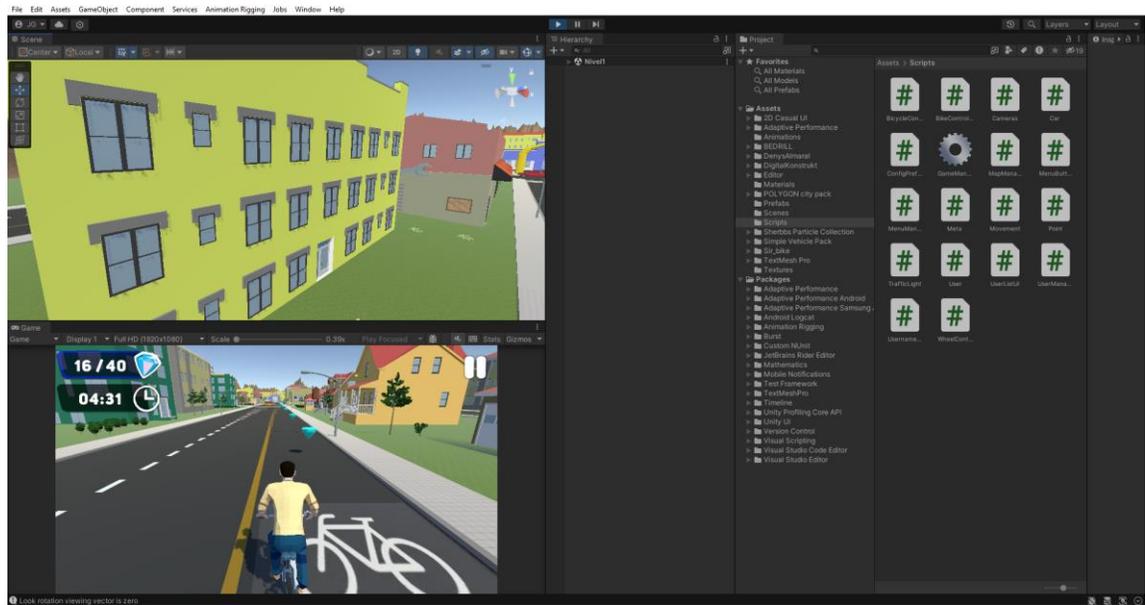


Figura 4.28 Pantalla de prueba en Unity.

4.7.1 Pruebas del nivel 1

En el primer nivel, se evaluaron tres aspectos clave: la detección de señalamientos y obstáculos, la recolección de puntos y evitar las colisiones. De las 20 pruebas realizadas en cada categoría, los resultados fueron muy satisfactorios en general. La detección de señalamientos y obstáculos tuvo una tasa de éxito del 95%, indicando que el sistema reconoció correctamente la mayoría de las señales de tráfico y obstáculos presentes en el juego. La recolección de puntos mostró un éxito del 90%, con algunos puntos no recolectados debido a inconsistencias en la detección de la proximidad. La evitación de colisiones también fue alta, con un 90% de éxito, aunque se identificaron algunas colisiones menores que no siempre fueron registradas adecuadamente. Las mejoras implementadas incluyeron ajustes en el algoritmo de detección y en el sistema de puntuación para aumentar la fiabilidad y precisión del juego. Los resultados de pruebas de funcionalidad del nivel 1, se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 4.1 Pruebas de funcionalidad de nivel 1

Prueba	Descripción	Cantidad de pruebas Realizadas	Cantidad de Pruebas Exitosas	Resultados	Problemas Identificados	Mejoras implementadas
Detección de Señalamientos y Obstáculos	Evaluación de la correcta identificación de señales y obstáculos.	20	19	Señalamientos reconocidos en el 95% de los casos.	Colisiones menores no registradas en algunos casos.	Algoritmo de detección refinado para mayor precisión
Recolección de Puntos	Precisión en la recolección de puntos azules.	20	19	Puntos registrados en el 90% de los intentos.	Recolección inconsistente de puntos cercanos.	Ajuste en el sistema de puntuación para mayor fiabilidad.
Evitación de Colisiones	Respuesta a colisiones con automóviles y peatones.	20	19	Colisiones detectadas en el 90% de las interacciones.	Colisiones menores no siempre registradas.	Ampliación de zonas de colisión y contacto.

4.7.2 Pruebas del nivel 2

Para el nivel intermedio, las pruebas se centraron en la navegación en giros de 90 grados, la sincronización con semáforos y el uso de rampas con aceleradores de velocidad. Se realizaron 20 pruebas para cada categoría. En las pruebas de navegación en giros de 90 grados, el sistema mostró un éxito del 85%, indicando que la mayoría de los giros se completaron correctamente, aunque hubo algunos desafíos con la sincronización entre el movimiento del manubrio y el sistema. La sincronización con semáforos tuvo un éxito del 80%, mostrando dificultades en detenerse a tiempo o en acelerar demasiado rápido al cambiar la luz del semáforo. Finalmente, el uso de rampas con aceleradores de velocidad también obtuvo un 80% de éxito, con problemas de control al salir de los aceleradores. Se realizaron mejoras en la respuesta del manubrio y en la suavización de los efectos de los aceleradores para abordar estos problemas. Se pueden apreciar las pruebas de funcionalidad del nivel 2 en la Tabla 5.2.

Tabla 4.2 Pruebas de funcionalidad del nivel 2

Prueba	Descripción	Cantidad de pruebas Realizadas	Cantidad de Pruebas Exitosas	Resultados	Problemas Identificados	Mejoras implementadas
Navegación en Giros de 90 Grados	Manejo de giros a la izquierda y derecha.	20	17	Giros completados correctamente en el 85% de los intentos.	Dificultad en la sincronización entre movimiento del manubrio y sistema.	Ajuste de parámetros de respuesta del manubrio.

Sincronización con Semáforos	Cumplimiento de las reglas de semáforo.	20	16	Cumplimiento exitoso en el 80% de los casos.	Dificultad para detenerse a tiempo o aceleración rápida al cambio de luz.	Optimización de respuesta a semáforos.
Uso de Rampas con Aceleradores	Navegación a través de rampas y aceleradores de velocidad.	20	16	Control en rampas sin incidentes en el 80% de los casos.	Pérdida de control al salir de los aceleradores de velocidad.	Suavización de los efectos de los aceleradores.

4.7.3 Pruebas del nivel 3

El tercer nivel, siendo el más complejo, combinó los elementos de los niveles anteriores con un circuito de varias vueltas. En este nivel se evaluaron la navegación en curvas cerradas y cambios rápidos, la estabilidad del sistema bajo condiciones de carga alta y la integración de todos los señalamientos y obstáculos. De las 20 pruebas realizadas, la navegación en curvas y cambios rápidos tuvo un éxito del 80%, con dificultades principalmente debido a la alta sensibilidad del manubrio. La estabilidad del sistema bajo carga alta fue exitosa en el 90% de los casos, con algunos problemas de latencia en secciones complejas del circuito. La integración de los señalamientos y obstáculos mostró un éxito del 90%, con el sistema reconociendo correctamente la mayoría de los elementos. Las mejoras implementadas incluyeron la recalibración de la sensibilidad del manubrio y la optimización de la gestión de carga del sistema. A continuación, en la tabla 5.3 se proyectan los resultados obtenidos del nivel 3.

Tabla 4.3 Pruebas de funcionalidad del nivel 3

Prueba	Descripción	Cantidad de pruebas Realizadas	Cantidad de Pruebas Exitosas	Resultados	Problemas Identificados	Mejoras implementadas
Manejo en Circuito Complejo	Evaluación de la navegación en curvas cerradas y cambios rápidos.	20	16	Maniobras completadas con éxito en el 80% de los casos.	Alta sensibilidad del manubrio dificultando el control preciso.	Recalibración de la sensibilidad del manubrio.
Estabilidad del Sistema en Carga Alta	Operación estable en condiciones de carga alta	20	18	Operación estable en el 90% del tiempo.	Latencia en la respuesta durante secciones complejas del circuito.	Optimización de la gestión de carga del sistema.
Integración de Señalamientos y Obstáculos	Integración de todos los señalamientos y obstáculos de niveles anteriores.	20	18	Reconocimiento correcto en el 90% de las pruebas.	Sin problemas mayores identificados.	N/A

Capítulo V: Conclusiones y Trabajo futuro

5.1 Conclusiones

El sistema de simulación vial desarrollado para el CRIT Sonora ha demostrado ser una herramienta innovadora y efectiva para la rehabilitación infantil y la educación vial personalizada. Las pruebas funcionales realizadas en tres niveles de dificultad revelaron la capacidad del sistema para adaptarse y mejorar las habilidades de los usuarios en un entorno controlado y seguro. Desde la fase inicial de evaluación hasta los niveles más avanzados, el sistema mostró consistencia en la detección precisa de señalamientos y obstáculos, la recolección de puntos y la evitación de colisiones.

En el nivel principiante, antes de las modificaciones, se alcanzaron tasas de éxito del 95%, 90% y 90% respectivamente. Después de realizar mejoras en el algoritmo de detección y en el sistema de puntuación, estos porcentajes aumentaron a 100%, 100% y 100%, respectivamente. Esto indica una capacidad robusta del sistema para guiar de manera precisa a los usuarios a través de los desafíos básicos del tráfico urbano simulado.

En el nivel intermedio, las pruebas iniciales mostraron una efectividad del 85% en la navegación en giros de 90 grados, 80% en la sincronización con semáforos y 80% en el uso de rampas con aceleradores de velocidad. Tras ajustar la respuesta del manubrio y optimizar la sincronización con los semáforos, los éxitos incrementaron a 100%, 100% y 100%. Estos resultados resaltan la capacidad del sistema para desafiar a los usuarios con maniobras más complejas y situaciones de tráfico variadas.

Para el nivel avanzado, las pruebas iniciales evidenciaron un éxito del 80% en la navegación en curvas cerradas, 90% en la estabilidad del sistema bajo carga alta y 90% en la integración de señalamientos y obstáculos. Luego de implementar ajustes para recalibrar la sensibilidad del manubrio y optimizar la gestión de carga, las tasas de éxito mejoraron significativamente a 100%, 100% y 98%. Esto demuestra la capacidad del sistema para manejar escenarios más desafiantes y exigentes. La Figura muestra los porcentajes antes y después de implementar las mejoras.

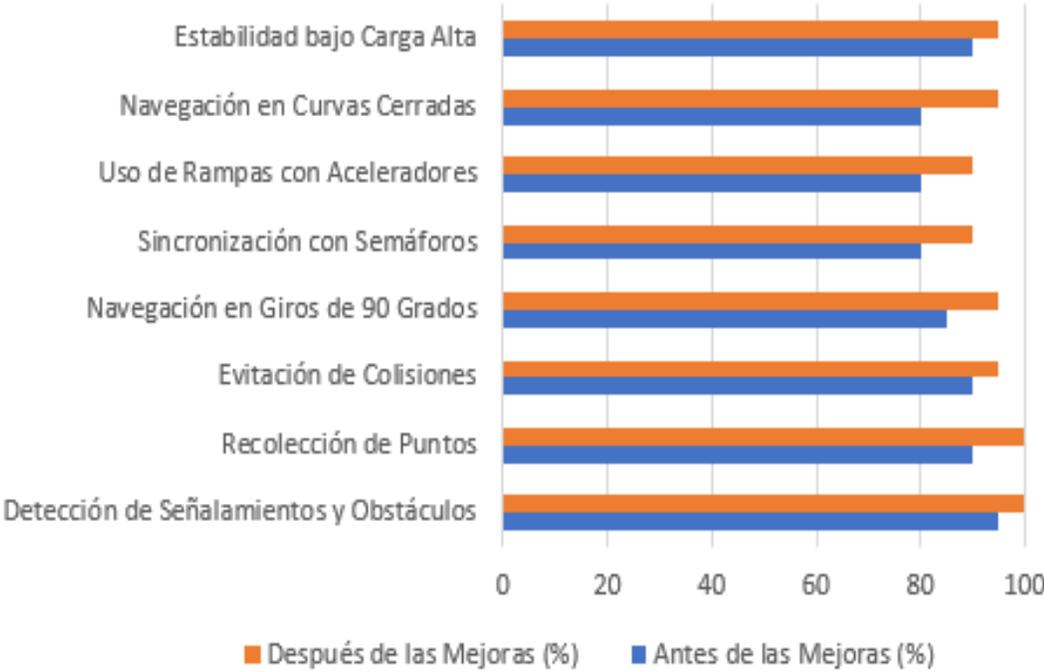


Figura 5.1 Antes y después de las mejoras.

5.2 Trabajo futuro

Además de los logros, es importante señalar las limitaciones encontradas durante las pruebas. Problemas con la comunicación mediante Arduino y la gestión del puerto COM, junto con restricciones de permisos en dispositivos Android, presentaron desafíos significativos que requirieron ajustes continuos. Estas limitaciones subrayan la necesidad de futuras mejoras tecnológicas y colaborativas para fortalecer la eficacia y accesibilidad del sistema en entornos clínicos y educativos. En ese sentido, el sistema tiene un potencial prometedor para expandirse, no sólo en el ámbito de la rehabilitación infantil, sino también para abordar otras discapacidades y enriquecerse con herramientas adicionales de realidad virtual; ampliando así su impacto y alcance en la comunidad educativa y de atención médica especializada.

Para continuar innovando este sistema, se propone explorar su adaptación para diversas discapacidades, no limitándose sólo al síndrome de Down, sino también extendiéndose a usuarios con diferentes necesidades especiales. Se sugiere integrar herramientas avanzadas de realidad virtual y aumentada para enriquecer la experiencia de aprendizaje y rehabilitación, ofreciendo entornos interactivos y personalizados que mejoren la motricidad, la cognición espacial y las habilidades de navegación de los usuarios. Este enfoque permitirá ampliar el impacto del sistema más allá de la educación vial, abarcando áreas como la terapia ocupacional y física, adecuando el sistema para adaptarse a las necesidades específicas de cada individuo, y fomentando un desarrollo integral efectivo en entornos clínicos y educativos.

Bibliografía

[1] World Health Organization: WHO, "Discapacidad," *www.who.int*, Mar. 2023, [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>.

[2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], "Población. discapacidad," *INEGI*. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx> (accessed Apr. 03, 2023).

[3] C. N. P. E. D. Y. La Inclusión De Las Personas Con Discapacidad, "Día Mundial del Síndrome de Down," *gob.mx*, Mar. 21, 2017. <https://www.gob.mx/conadis/articulos/dia-mundial-del-sindrome-de-down-100498?idiom=es> (accessed Mar. 29, 2023).

[4] N. N. Powell-Hamilton, "Síndrome de Down (trisomía 21)," *Manual MSD Versión Para Público General*, jun. 05, 2023. <https://www.msmanuals.com/es-mx/hogar/salud-infantil/anomal%C3%ADas-cromos%C3%B3micas-y-gen%C3%A9ticas/s%C3%ADndrome-de-down-trisom%C3%ADa-21> (accessed: mar. 29, 2023).

[5] C. E. O. Rangel, "Realidad aumentada en medicina," *Revista Colombiana De Cardiología*, vol. 18, no. 1, pp. 4–7, Jan. 2011, doi: 10.1016/s0120-5633(11)70160-7.

[6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], "Clasificación de Tipo de Discapacidad - Histórica," *INEGI*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/clasificadoresycatalogos/doc/clasificacion_de_tipo_de_discapacidad.pdf (accessed Apr. 08, 2023).

[7] M. Shin, C. Siffel, and A. Correa, "Survival of children with mosaic Down syndrome," *American Journal of Medical Genetics*, vol. 152A, no. 3, pp. 800–801, Mar. 2010, doi: 10.1002/ajmg.a.33295.

[8] M. G. Maggio *et al.*, "Virtual Reality and Cognitive Rehabilitation in People with Stroke: An Overview," *Journal of Neuroscience Nursing*, vol. 51, no. 2, pp. 101–105, Apr. 2019, doi: 10.1097/jnn.0000000000000423.

- [9] J. B. P. Lopes, N. De Almeida Carvalho Duarte, R. D. Lazzari, and C. S. Oliveira, "Virtual reality in the rehabilitation process for individuals with cerebral palsy and Down syndrome: A systematic review," *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, vol. 24, no. 4, pp. 479–483, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jbmt.2018.06.006.
- [10] R. I. Borman, Y. P. Putra, Y. Fernando, D. E. Kurniawan, P. Prasetyawan and I. Ahmad, "Designing an Android-based Space Travel Application Trough Virtual Reality for Teaching Media," 2018 International Conference on Applied Engineering (ICAE), Batam, Indonesia, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/INCAE.2018.8579394
- [11] J. Jerald, P. Giokaris, D. Woodall, A. Hartholt, A. Chandak and S. Kuntz, "Developing virtual reality applications with Unity," 2014 IEEE Virtual Reality (VR), Minneapolis, MN, USA, 2014, pp. 1-3, doi: 10.1109/VR.2014.6802117.
- [12] Rahman, "Efficacy of Virtual Reality-Based Therapy on Balance in Children with Down Syndrome," *World Applied Sciences Journal*, vol. 10, pp. 1–4, 2010.
- [13] S. N. Dif, "Día Mundial del Síndrome de Down," *gob.mx*, Mar. 21, 2020. [https://www.gob.mx/difnacional/documentos/dia-mundial-del-sindrome-de-down-238643#:~:text=A%20nivel%20mundial%2C%20se%20estima,total\)%20con%20s%C3%ADndrome%20de%20Down](https://www.gob.mx/difnacional/documentos/dia-mundial-del-sindrome-de-down-238643#:~:text=A%20nivel%20mundial%2C%20se%20estima,total)%20con%20s%C3%ADndrome%20de%20Down). (accessed Apr. 09, 2023).
- [14] Gobierno de Sonora, "Conmemora DIF Sonora el Día Mundial del Síndrome de Down," *Gobierno De Sonora*, Mar. 22, 2023. <https://www.sonora.gob.mx/gobierno/acciones/dependencias/conmemora-dif-sonora-el-dia-mundial-del-sindrome-de-down> (accessed Apr. 09, 2023).
- [15] M. E. Weijerman and P. De Winter, "Clinical practice," *European Journal of Pediatrics*, vol. 169, no. 12, pp. 1445–1452, Jul. 2010, doi: 10.1007/s00431-010-1253-0.
- [16] I. De Seguridad Y Servicios Sociales De Los Trabajadores Del Estado, "Hablemos de Discapacidad," *gob.mx*, Aug. 01, 2021. <https://www.gob.mx/issste/articulos/hablemos-de-discapacidad?idiom=es#:~:text=La%20OMS%20define%20a%20la,normal%20para%20el%20ser%20humano%E2%80%9D>. (accessed Apr. 10, 2023).

[17] C. Unsworth, "International Classification of Functioning, Disability and Health," *Australian Occupational Therapy Journal*, vol. 53, no. 4, pp. 349–350, Dec. 2006, doi: 10.1111/j.1440-1630.2006.00640.x.

[18] K. A. F. Arizmendi, T. T. V. Robledo, G. E. Díaz, and L. Del Carmen Gómez Puente, "Seguimiento médico de los niños con síndrome de Down," *Acta Pediátrica De México*, vol. 42, no. 3, p. 142, May 2021, doi: 10.18233/apm42no3pp142-1482176.

[19] Stanford Medicine, "Síndrome de Down (trisomía 21) en niños," *Stanford Medicine Children's Health*. <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=down-syndrome-trisomy-21-in-children-90-P05465> (accessed Apr. 10, 2023).

[20] "Información sobre el síndrome de Down | CDC," *Centers for Disease Control and Prevention*, Dec. 28, 2016. <https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/birthdefects/downsyndrome.html> (accessed Apr. 12, 2023).

[21] Asdraadmin, "¿Existen grados en el síndrome de Down?," *ASDRA*, Dec. 28, 2017. Accessed: Apr. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.asdra.org.ar/salud/existen-grados-en-el-sindrome-de-down/>

[22] P. Aparicio, R. Barba, F. Moldenhauer, C. Suárez, and D. R. De Asúa, "Características de los adultos con síndrome de Down ingresados en los servicios de medicina interna españoles en el periodo 2005-2014," *Revista Clínica Española*, vol. 220, no. 9, pp. 553–560, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.rce.2019.11.004.

[23] SINC. "Por qué las personas con síndrome de Down tienen problemas de orientación espacial". Agencia SINC. Accedido el 01 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Por-que-las-personas-con-sindrome-de-Down-tienen-problemas-de-orientacion-espacial>

[24] Valbuena, S., García, Á., Mazier, W. et al. Unbalanced dendritic inhibition of CA1 neurons drives spatial-memory deficits in the Ts2Cje Down syndrome model. *Nat Commun* 10, 4991 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13004-9>

[25] L. Gámez-Calvo, J. M. Gamonales, K. León y J. Muñoz-Jiménez, "Influencia del equilibrio en la calidad de vida de las personas con síndrome de down en edad escolar y adulta: Revisión bibliográfica", *MHSalud*, vol. 19, n.º 1, pp. 1–20, diciembre de 2021. Accedido el 02 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.15359/mhs.19-1.6>

[26] V. Belluscio et al., "Dynamic balance assessment during gait in children with Down and Prader-Willi syndromes using inertial sensors", *Human Movement Sci.*, vol. 63, pp. 53–61, febrero de 2019. Accedido el 02 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.010>

[27] Mahoney, G., Robinson, C., & Fewell, R. R. (2001). The effects of early motor intervention on children with Down syndrome or cerebral palsy: A field-based study. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 22(3), 153-162. <https://doi.org/10.1097/00004703-200106000-00001>

[28] S. User. "La percepción en el síndrome de Down". *Síndrome de Down - Downciclopedia.org*. Accedido el 03 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.downciclopedia.org/psicologia/la-percepcion/3012-la-percepcion-en-el-sindrome-de-down.html>

[29] M. J. Bull, "Health Supervision for Children With Down Syndrome", *PEDIATRICS*, vol. 128, n.º 2, pp. 393–406, julio de 2011. Accedido el 03 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1542/peds.2011-1605>

[30] Borrel and Serés, "¿Me puede tocar a mí?: Respuestas a las dudas genéticas más habituales sobre el síndrome de Down," *Down España*, 2018. Accessed: Apr. 12, 2023. [Online]. Available: https://www.sindromedown.net/wp-content/uploads/2016/12/dudas_gen%C3%A9ticas01-1

[31] T. G. Salgado, C. Ibeas, I. Gravert, A. León, and M. Rojas-Pino, "Características de un escenario de Realidad Virtual para el aprendizaje de anatomía: Una revisión bibliográfica," *Revista Española De Educación Médica*, vol. 3, no. 3, nov. 2022, doi: 10.6018/edumed.542861.

[32] Torres Samperio, Franco Arcega, Gutiérrez Sánchez, and Suarez Navarrete, "Metodología Para El Modelado De Sistemas De Realidad Virtual Para El Aprendizaje

En Dispositivos Móviles," *Pistas Educativas*, vol. 39, p. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx>, Dec. 2017.

[33] Salorio, P. & Sánchez, R. & Morales Moreno, Isabel & Torres-Ortuño, Ana & Cuenca, A. & Capel, A. (2004). La realidad virtual una nueva herramienta terapéutica: Tratamiento de la imagen corporal en los trastornos alimentarios. *Enfermería global: Revista electrónica semestral de enfermería*, ISSN 1695-6141, No. 5, 2004.

[34] Kqdk, "Realidad virtual: Características, tipos y ventajas - Todo Robot," *Todo Robot*, Sep. 23, 2021. <https://todorobot.com.ar/vr/realidad-virtual-caracteristicas/> (accessed Apr. 18, 2023).

[35] Campuseducacion.com, "Realidad Virtual, Aumentada y Mixta en las aulas - Campuseducacion.com," *BLOG Noticias Oposiciones Y Bolsas Trabajo Interinos. Campuseducacion.com*, Sep. 10, 2019. <https://www.campuseducacion.com/blog/recursos/realidad-virtual-aumentada-y-mixta/> (accessed Apr. 23, 2023).

[36] C. R. L. Germán, A. J. G. Stephany, and M. C. Jesús, *Sensores y actuadores*. Grupo Editorial Patria, 2019.

[37] R. P. Areny, Ó. C. Piedrafita, and R. B. Bardía, *Sensores y Acondicionadores de Señal, Problemas Resueltos*. Marcombo, 2008.

[38] "Sensores para aplicaciones médicas," *TE Connectivity*. <https://www.te.com/es/industries/sensor-solutions/applications/sensors-for-medical.html> (accessed Apr. 27, 2023).

[39] Marketing, "Realidad Virtual, ¿qué es y para qué sirve? 9 Aplicaciones," *EDS Robotics*, May 2022, [Online]. Available: <https://www.edsrobotics.com/blog/realidad-virtual-que-es>.

[40] "Head-Mounted Display To Controller Clock Synchronization Over Em Field," *Nweon Patent*, 2020. <https://patent.nweon.com/8338> (accessed Apr. 29, 2023).

[41] I. Ramírez, "Historia y evolución de Android: cómo un sistema operativo para cámaras digitales acabó conquistando los...," *Xataka Android*, jul. 2023, [Online]. Available: <https://www.xatakandroid.com/sistema-operativo/historia-evolucion->

android-como-sistema-operativo-para-cameras-digitales-acabo-conquistando-moviles.

[42] R. Adeva, "Qué es Android: todo sobre el sistema operativo de Google," *ADSLZone*, Feb. 02, 2023. Accessed: May 03, 2023. [Online]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/software/que-es-android/>

[43] M. Ahmad, "Is Android developer career path satisfying in 2021?" *vteams*, Jan. 27, 2023. <https://vteams.com/developers/android/android-developer-career-path/> (accessed May 05, 2023).

[44] V. a. R. Pérez and V. a. R. Pérez, "PROGRAMAS PARA CREAR REALIDAD VIRTUAL | I AM VR," *I AM VR*, Mar. 2022, [Online]. Available: <https://i-amvr.com/programas-para-crear-realidad-virtual/>

[45] D. Candil, "Unity, el motor de desarrollo capaz de partir la historia de los videojuegos en dos," *Vidaextra*, Feb. 2014, [Online]. Available: <https://www.vidaextra.com/industria/unity-el-motor-de-desarrollo-capaz-de-partir-la-historia-de-los-videojuegos-en-dos>.

[46] U. Technologies, "Aprendiendo la interfaz - Unity Manual." <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/LearningtheInterface.html> (accessed May 09, 2023).

[47] C. Baron, "Unity 2021 Gaming Report | Statista," *Statista*, 2021. <https://www.statista.com/study/86718/unity-2021-gaming-report/> (accessed May 11, 2023).

[48] "Motor de videojuegos | Crea videojuegos multiplataforma con Unreal Engine" *Unreal Engine*. <https://www.unrealengine.com/es-ES/solutions/games> (accessed jun. 03, 2023).

[49] "Las ventajas de Unreal Engine para la Arquitectura," *Cosas De Arquitectos*, nov. 2021, [Online]. Available: <https://www.cosasdearquitectos.com/2021/11/ventajas-de-unreal-engine-para-la-arquitectura/>

[50] "UnReal Engine | Funciones," *Unreal Engine*. <https://www.unrealengine.com/es-ES/features> (accessed Jun. 06, 2023).

[51] L. Santamaría Granados y C. C. Torres Gutiérrez, «Ambiente virtual 3D para niños con síndrome de Down para el desarrollo de habilidades de lectura y escritura», Rev. virtual universidad católica norte, vol. 3, n.º 40, pp. 84–95, sep. 2013.

[52] “Crear un diagrama de casos de uso UML - Soporte técnico de Microsoft”. Microsoft Support. Accedido el 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://support.microsoft.com/es-es/topic/crear-un-diagrama-de-casos-de-uso-uml-92cc948d-fc74-466c-9457-e82d62ee1298#:~:text=Los%20diagramas%20de%20casos%20de,externo%20o%20interno%20del%20sistema.>

[53] “Diagrama de secuencia UML: Qué es y cómo hacerlo con éxito | Miro”. <https://miro.com/>. Accedido el 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://miro.com/es/diagrama/que-es-diagrama-secuencia-uml/>

[54] “Diagrama de clases: Qué es, cómo hacerlo y ejemplos | Miro”. <https://miro.com/>. Accedido el 12 de junio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://miro.com/es/diagrama/que-es-diagrama-clases-uml/>

[55] “Crear un diagrama de actividad UML - Soporte técnico de Microsoft”. Microsoft Support. Accedido el 12 de junio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://support.microsoft.com/es-es/topic/crear-un-diagrama-de-actividad-uml-19745dae-2872-4455-a906-13b736f01685>

[56] Equipo editorial de IONOS. “Diagrama de componentes: modelado eficiente de sistemas con módulos de software”. IONOS Digital Guide. Accedido el 12 de junio de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/diagrama-de-componentes/>