

SIMULACIÓN DE UN RECORRIDO EN BICICLETA PARA NIÑOS CON SÍNDROME DE DOWN, UTILIZANDO REALIDAD VIRTUAL NO INMERSIVA

SIMULATION OF A BICYCLE RIDE FOR CHILDREN WITH DOWN SYNDROME USING NON-IMMERSIVE VIRTUAL REALITY

Julio Alberto González Encinas¹, María Trinidad Serna Encinas^{2*}, Rafael Armando Galaz Bustamante³,
Rosalía del Carmen Gutiérrez Urquidez⁴

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v7i2.328>

¹Ingeniero en Mecatrónica. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, División de Estudios de Posgrado e Investigación. m22331025@hermosillo.tecnm.mx, 6625143924, Av. Tecnológico 115, Col. Sahuaro, CP. 83170, Hermosillo, Sonora, México. <https://orcid.org/0009-0004-5199-3118>

²Doctora en Ciencias de la Computación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, División de Estudios de Posgrado e Investigación. *maria.sernae@hermosillo.tecnm.mx, 6622606500, Ext. 136, Av. Tecnológico 115, Col. Sahuaro, CP. 83170, Hermosillo, Sonora, México. <https://orcid.org/0000-0002-2020-791X>

³Maestro en Ciencias en Ciencias Computacionales. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, División de Estudios de Posgrado e Investigación. rafael.galazb@hermosillo.tecnm.mx, 6622606500, Ext. 136, Av. Tecnológico 115, Col. Sahuaro, CP. 83170, Hermosillo, Sonora, México. <https://orcid.org/0009-0003-4021-5882>

⁴Doctora en Ciencias en Ciencias de la Ingeniería. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, División de Estudios de Posgrado e Investigación. rosalia.gutierrezu@hermosillo.tecnm.mx, 6622606500, Ext. 136, Av. Tecnológico 115, Col. Sahuaro, CP. 83170, Hermosillo, Sonora, México. <https://orcid.org/0009-0002-7721-9759>

Resumen -- El síndrome de Down es una condición genética, caracterizada por la presencia de material extra en el cromosoma 21 en las células somáticas. En México, esta alteración genética afecta a 1 de cada 650 nacimientos, y provoca dificultades en el desarrollo de las habilidades motoras, complicando la realización de actividades físicas diarias. Esto genera la necesidad de implementar estrategias basadas en tecnologías avanzadas, para apoyar a los niños con esta condición en su desarrollo motor. El presente trabajo propone un sistema diseñado para CRIT (Centro de Rehabilitación e Inclusión Infantil Teletón) Sonora, cuyo objetivo es simular un recorrido en bicicleta dirigido a niños con síndrome de Down, con el propósito de incentivar la actividad física de manera entretenida. El sistema utiliza tecnología de realidad virtual no inmersiva, permitiendo que los niños experimenten un paseo virtual, mientras utilizan una bicicleta estacionaria adaptada. Esta experiencia ofrece estímulos visuales y sensoriales, que motivan una participación más activa y divertida en las actividades físicas. El proyecto abarca desde la conceptualización hasta la implementación del sistema, incluyendo diagramas del análisis y diseño, modelo de datos del sistema y la arquitectura del sistema propuesto. Se detallan también las metodologías y procesos empleados en la realización del proyecto, integrando tanto el desarrollo de software como del hardware necesario, así como las pruebas de funcionalidad del sistema.

Palabras Clave: Realidad virtual, síndrome de Down, recorrido en bicicleta, simulación.

Abstract -- Down syndrome is a genetic condition, characterized by the presence of extra material on chromosome 21 in somatic cells. In Mexico, this genetic alteration affects 1 in every 650 births, and causes difficulties in the development of motor skills, complicating the performance of daily physical activities. This creates a need to implement strategies based on advanced technologies, to support children with this condition in their motor development. This paper proposes a system designed for the CRIT (Centro de Rehabilitación e Inclusión Infantil Teletón) Sonora, aimed at simulating a bicycle ride for children with Down syndrome, with the goal of encouraging physical activity in an engaging way. The system utilizes non-immersive virtual reality technology, allowing children to experience a virtual ride, while using an adapted stationary bicycle. This experience provides visual and sensory stimuli, that motivate more active and enjoyable participation in physical activities. The project encompasses everything from conceptualization to system implementation, including analysis and design diagrams, data model system, and the proposed system architecture. It also details the methodologies and processes used in the project, integrating both software development and the necessary hardware integration, along with functionality tests system.

Key words – Virtual reality, Down syndrome, bicycle ride, simulation.

INTRODUCCIÓN

La discapacidad es un desafío significativo que afecta a una parte considerable de la población mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que 1,300 millones de personas presentan algún tipo de discapacidad, lo que representa aproximadamente el 16% de la población total [1]. En México, el censo nacional de 2020, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), reportó que 6,179,890 personas tienen dificultades para realizar actividades físicas, como: caminar, ver, oír o comunicarse; siendo más común en mujeres (53%) que en hombres (47%) [2]. Entre las diversas discapacidades, el síndrome de Down destaca por su impacto en la orientación y comunicación. Esta condición genética resulta de la presencia de una copia extra del cromosoma 21, lo que lleva a un total de 47 cromosomas en lugar de 46 [3]. Entre las características físicas distintivas de las personas con síndrome de Down, se encuentran: ojos almendrados y cabeza más pequeña, junto con discapacidades cognitivas y retrasos en el desarrollo; además, se subraya la importancia de abordar sus necesidades específicas [4]. Según la Dirección General de Salud, en 2018 nacieron 689 niños con síndrome de Down en México. En el estado de Sonora, el sistema DIF reporta que actualmente residen 1,678 personas, oficialmente registradas con esta anomalía genética [5]. Esta alta prevalencia resalta la urgencia de desarrollar soluciones adecuadas, que mejoren la calidad de vida y la inclusión social de estos niños.

En los últimos años, el avance de tecnologías como la realidad virtual (RV) ha comenzado a desempeñar un papel crucial en la terapia y la rehabilitación [6]. Aunque la RV ha existido durante décadas en el ámbito de los videojuegos y simuladores, su inclusión en el ámbito médico representa una oportunidad valiosa para ayudar a niños con síndrome de Down, a interactuar con entornos virtuales que simulan situaciones cotidianas, facilitando su adaptación social y su desarrollo.

Se ha demostrado que la RV puede mejorar la restauración cognitiva en personas con discapacidad intelectual, creando entornos simulados que permiten a los pacientes con síndrome de Down, practicar habilidades motrices y sociales en un ambiente seguro y controlado [7] [8].

La discapacidad no solo afecta a estos niños en su desarrollo físico y cognitivo, sino que también los hace vulnerables a enfermedades y limita su capacidad para participar en actividades cotidianas [9]. Por lo tanto, es fundamental entender las necesidades específicas de estos niños, para integrarlos en un entorno que favorezca su inclusión social. Esto ha llevado a la necesidad de desarrollar un sistema virtual que facilite la actividad física y el desarrollo de habilidades motoras. 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?

Para responder a esta pregunta, se planteó el objetivo general siguiente: implementar un sistema de realidad virtual que simule un recorrido en bicicleta para niños con síndrome de Down, considerando factores como la discriminación visual y las normas de tráfico. Los objetivos específicos son:

- Conocer a profundidad los conceptos relacionados con la temática del proyecto.
- Determinar las herramientas a utilizar, considerando los requerimientos funcionales del usuario final.
- Analizar y diseñar el funcionamiento del sistema propuesto.
- Implementar el sistema de realidad virtual del recorrido.
- Realizar pruebas de funcionalidad y de usabilidad.
- Analizar los resultados obtenidos.

La creación de un sistema de realidad virtual que simule un recorrido en bicicleta, no solo proporciona un enfoque innovador para la rehabilitación y el desarrollo de habilidades motrices, sino que también contribuye a la integración social de los niños con síndrome de Down; al permitir que estos niños experimenten situaciones de la vida real, en un entorno controlado y seguro; además, se fomenta su autonomía, confianza y habilidades sociales. La realidad virtual puede ser una herramienta clave en la educación y la terapia, mejorando así la calidad de vida de estos niños y promoviendo una sociedad más inclusiva.

DESARROLLO

Metodología

El proceso de desarrollo del sistema, comienza con una fase de investigación exhaustiva sobre temas relacionados con el proyecto, conocida como la Fase 1. Durante esta etapa, se lleva a cabo una revisión detallada del estado del arte, recopilando información completa y actualizada a través de artículos en congreso, en revistas, en tesis, así como en estudios previos relevantes con el tema. Este análisis profundo proporciona una base sólida de conocimiento que es esencial para las siguientes fases del proyecto.

En la Fase 2 se identifican los componentes y características necesarios, para el diseño y modelado del sistema propuesto. Se elaboran diagramas y se detallan las consideraciones de diseño, construyendo así la estructura del sistema.

Con el diseño finalizado, se procede a la Fase 3, que consiste en el desarrollo del prototipo físico. En esta etapa, se aplica toda la información recopilada y se comienza la implementación directa del sistema

La Fase 4 se dedica a realizar pruebas detalladas del sistema para asegurar su correcto funcionamiento. Se verifica tanto la estructura física como el recorrido virtual, asegurándose de que no haya fallos y que cada componente opere según lo previsto. En la figura 1 se observan las fases de la metodología.

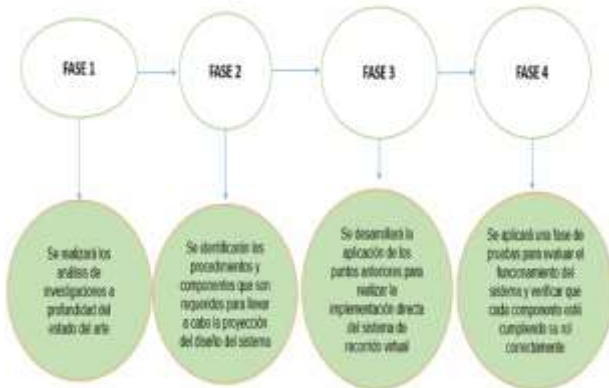


Figura 1. Fases de la metodología
Fuente. Elaboración propia.

Diagrama de flujo de datos (DFD)

Este diagrama presenta el sistema con un enfoque más detallado, en aspectos específicos del desarrollo del proyecto. En la figura 2 se ilustra cómo, inicialmente, el usuario activa los sensores del prototipo con su presencia. Estos sensores envían señales que son procesadas por un convertidor ADC (Analogic-Digital-Convert), el cual transforma las señales analógicas de los sensores en señales digitales que activan el sistema.

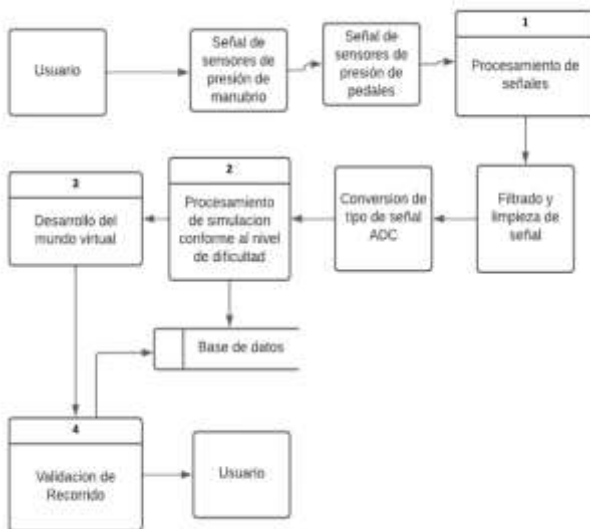


Figura 2. Diagrama de flujo de datos (Elaboración propia).

Diagrama casos de uso

El diagrama de casos de uso, proporciona una representación detallada de las interacciones entre los distintos actores y el sistema [10]. En este caso, se identifican tres actores principales: el terapeuta físico, el usuario y el sistema en sí. El sistema tiene la responsabilidad de generar los niveles de juego, pero primero debe validar el acceso del terapeuta físico; además, debe iniciar sesión para acceder al menú principal. En este menú, se pueden realizar diversas funciones, siendo la más relevante el registro del nombre del usuario o la eliminación de un usuario existente. Por último, el tercer actor es el usuario final, quien es la persona que interactúa directamente con la bicicleta estacionaria. El diagrama de casos de uso se presenta en la figura 3.



Figura 3. Diagrama de casos de uso
Fuente. Elaboración propia.

Diagrama de secuencia

Un diagrama de secuencia es una representación visual que pertenece al lenguaje de modelado unificado (UML, por sus siglas en inglés), y se utiliza para ilustrar las interacciones entre los objetos de un sistema, a lo largo del tiempo [11]. En la figura 4, se presenta el proceso en el que el terapeuta físico, realiza las configuraciones iniciales del sistema, lo que incluye la interacción con la guía de recorrido diseñada para el usuario. Una vez que se han completado estas configuraciones, el usuario puede iniciar el nivel elegido, mientras que el sistema virtual, se encarga de procesar y registrar los resultados obtenidos durante la partida.

Diagrama de clases

Un diagrama de clases es una representación estática, utilizada en ingeniería de software y en el desarrollo de sistemas orientados a objetos. Este tipo de diagrama ilustra la estructura del sistema al mostrar sus clases, atributos, operaciones y las relaciones que existen entre los diferentes objetos. Las cuatro clases identificadas son: *Usuario*, *SistemaVirtual*, *Sensor* y *DatosRecorrido* [12].

En la figura 5, se presentan las clases que componen el sistema.

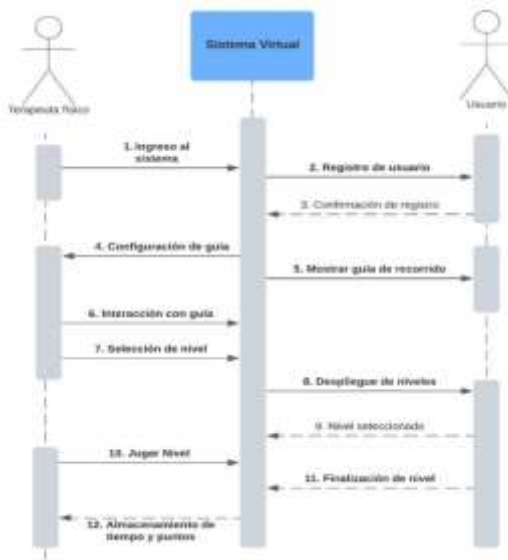


Figura 4. Diagrama de secuencia.
Fuente. Elaboración propia.

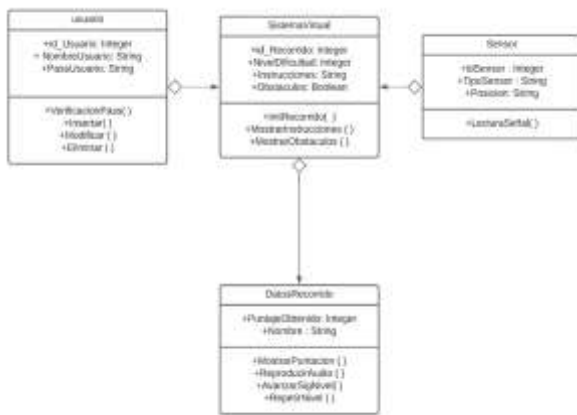


Figura 5. Diagrama de clases.
Fuente. Elaboración propia.

Arquitectura de Software

La arquitectura del sistema para el recorrido virtual en bicicleta, se compone de varios módulos esenciales. El Módulo de entrada captura las señales de la bicicleta, a través de sensores que monitorean velocidad y posición. Estas señales son procesadas por el Módulo de procesamiento de señal, que filtra el ruido y convierte los datos en un formato digital, almacenándolos en una base de datos. El Módulo de desarrollo del sistema utiliza estos datos para definir la estructura del recorrido virtual, estableciendo niveles de dificultad y creando elementos visuales y obstáculos en C#. Este módulo se integra con la base de datos, para ajustar el comportamiento del juego según las señales de los sensores. Por último, el Módulo de ejecución de juego, basado en Unity, renderiza el entorno virtual y gestiona la interacción del usuario,

ofreciendo una experiencia inmersiva en pantalla. La estructura de esta arquitectura se muestra en la figura 6.

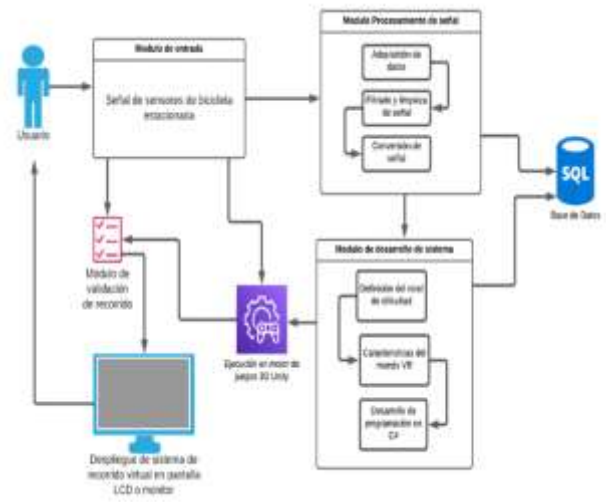


Figura 6. Arquitectura de Software propuesta.
Fuente. Elaboración propia.

Adquisición de recursos para el desarrollo del mapa virtual

Los principales elementos del mapa fueron adquiridos en la tienda oficial de Unity, conocida como Unity Asset Store, una plataforma dedicada a la obtención de recursos para el desarrollo de videojuegos. La recolección de estos elementos tuvo como objetivo recrear un mapa de una ciudad genérica. Se incluyeron edificios, calles, árboles, vehículos y personajes para enriquecer la experiencia visual e interactiva. Además, se utilizaron otras páginas web como Pixabay y FreeSound [13].

Algunos objetos prefabricados, como los puntos en forma de diamante y un obstáculo en forma de rampa, no fueron obtenidos de las plataformas en línea debido a su falta de disponibilidad. Por ello, se decidió diseñarlos directamente en la interfaz de Unity o utilizando aplicaciones externas. Por ejemplo, se utilizó Blender [14]. Estos objetos se visualizan en las figuras 7 y 8 respectivamente.

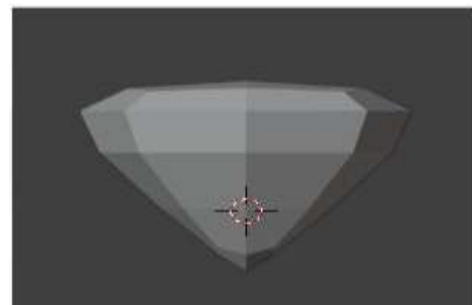


Figura 7. Punto en forma de diamante.
Fuente. Elaboración propia.

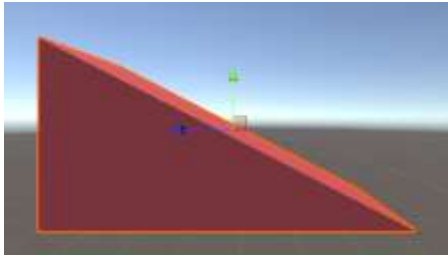


Figura 8. Obstáculo rampa.
Fuente. Elaboración propia.

Nivel 1 (Principiante)

El primer nivel del juego, introduce a los niños con síndrome de Down al mundo virtual de manera sencilla. Cuenta con un camino recto para que se familiaricen con los movimientos de la bicicleta y reconozcan obstáculos y señales de tránsito como altos, pasos peatonales, señales de dirección, automóviles y peatones. El usuario empieza en una ciclovía completamente recta, y debe recolectar diamantes azules para aumentar su puntuación. En la figura 9 se observa la animación del jugador al obtener puntos, y se incluye una lluvia de confetis para festejar, lo que se espera motive al usuario a seguir las reglas.



Figura 9. Animación al obtener puntos.
Fuente. Elaboración propia.

A lo largo de este recorrido, los jugadores deben navegar por varios obstáculos y señales de tránsito. En la figura 10, el personaje se enfrenta a una señal de alto y un paso de cebra, donde el usuario debe detenerse y comprobar que no haya coches ni peatones antes de proceder.



Figura 10. Paso de cebra y señal de alto.
Fuente. Elaboración propia.

Si el jugador no hace caso a la señal de alto, existe la posibilidad de que el personaje colisione con un automóvil o con peatones que estén cruzando la calle. Este tipo de incidente activa una animación de explosión para representar el impacto, como se puede observar en la figura 11.



Figura 11. Colisión con un automóvil.
Fuente. Elaboración propia.

Nivel 2 (Intermedio)

En el segundo nivel, el recorrido presenta giros de 90 grados que requieren un mayor control del manubrio, como se muestra en la figura 12. Este nivel mantiene las señales y obstáculos del anterior, pero añade nuevos desafíos.



Figura 12. Giros de 90 grados.
Fuente. Elaboración propia.

Durante el recorrido del nivel, el usuario se encuentra con semáforos en varios cruces. Estos funcionan como en la vida real: si la luz verde está encendida, el jugador puede avanzar. Si la luz amarilla está activa, debe proceder con precaución, ya que cambiará a roja pronto; en ese caso, debe detenerse y esperar a que el semáforo cambie. La figura 13 muestra el semáforo en rojo.



Figura 13. Semáforo en rojo.
Fuente. Elaboración propia.

Un obstáculo notable en este nivel es la rampa con el multiplicador de velocidad. Estas rampas aparecen después de completar giros o pasar por una señal de alto. Para atravesarlas, el jugador debe pasar primero por una flecha de aceleración ubicada a pocos metros. Esta flecha incrementa la velocidad base de la bicicleta en 2.5 veces, lo que permite al usuario cruzar la rampa con facilidad. La figura 14 ilustra la rampa junto a la flecha que multiplica la velocidad.



Figura 14. Rampa y flecha de aceleración.
Fuente. Elaboración propia.

Nivel 3 (Avanzado)

El tercer nivel conserva todas las características de los niveles anteriores, pero también presenta un circuito diseñado específicamente para aprovechar las curvas, combinaciones de giros cerrados y cambios de dirección; lo que incrementa la complejidad y las habilidades requeridas para navegar por él.

Este circuito se inspira en las pistas de Fórmula 1, conocidas por su desafío técnico. Se incorporaron curvas en S y giros en U para poner a prueba la capacidad del jugador para cambiar de dirección con rapidez. Además, se prestó especial atención a la fluidez del recorrido, garantizando transiciones suaves entre las distintas secciones de la pista. La figura 15 ofrece una vista aérea del circuito en su totalidad.



Figura 15. Vista aérea del circuito.
Fuente. Elaboración propia.

Comunicación Serial

Para facilitar la comunicación entre la bicicleta y el entorno virtual, se implementó la comunicación serial a través de Arduino. Como se muestra en la figura 16, la conexión entre el Arduino y el sistema virtual, se configuró a una velocidad de 9600 baudios, que es un estándar común para dispositivos de comunicación serial. Esta velocidad es adecuada para manejar señales de control, necesarias para el funcionamiento del simulador. Se estableció que los datos se enviarán cada 100 milisegundos, lo que equivale a una tasa de actualización de 10 veces por segundo. Este intervalo se eligió para asegurar una respuesta en tiempo real sin sobrecargar el sistema de procesamiento.

```
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 16. Velocidad de transmisión de datos.
Fuente. Elaboración propia.

Pruebas funcionales

En el primer nivel se evaluaron tres aspectos clave del sistema: la detección de señalamientos, la recolección de puntos y el evitar colisiones. Se realizaron 20 pruebas en cada categoría, y los resultados fueron generalmente satisfactorios. La detección de señalamientos alcanzó una tasa de éxito del 95%, lo que demuestra que el sistema fue capaz de reconocer la mayoría de las señales de tráfico y obstáculos en el entorno del juego. En cuanto a la recolección de puntos, se obtuvo un 90% de efectividad, aunque se identificaron algunos puntos que no fueron recolectados debido a inconsistencias en la detección de proximidad. El evitar colisiones también mostró un 90% de éxito, aunque se registraron algunas colisiones menores, que no fueron capturadas adecuadamente por el sistema. Estas pruebas se pueden visualizar en la tabla 1.

Tras analizar estos resultados, se implementaron mejoras en el algoritmo de detección y en el sistema de puntuación para aumentar la fiabilidad y precisión del juego. Como resultado de estas mejoras, se logró un 100% de efectividad en todas las áreas evaluadas en pruebas posteriores. Estos resultados demuestran el impacto positivo de las optimizaciones realizadas en el nivel 1, cuyos detalles se presentan en la tabla 2.

Tabla 1. Pruebas funcionales del nivel 1

Descripción	Cantidad de Pruebas	Resultados	Problemas Identificados
Identificación de señales.	20	95% de reconocimiento.	Colisiones menores no registradas.
Recolección de puntos azules.	20	90% de puntos registrados.	Recolección inconsistente de puntos.
Colisiones con vehículos y peatones.	20	90% de colisiones detectadas.	Colisiones menores no siempre registradas.

Tabla 2. Pruebas con mejoras optimizadas del nivel 1.

Descripción	Cantidad de Pruebas	Resultados	Mejoras optimizadas
Identificación de señales.	20	100% de reconocimiento.	Algoritmo de detección refinado.
Recolección de puntos azules.	20	100% de puntos registrados.	Ajuste en el sistema de puntuación.
Colisiones con vehículos y peatones.	20	100% de colisiones detectadas.	Ampliación de zonas de colisión.

Fuente. Elaboración propia.

En el nivel intermedio, se llevaron a cabo pruebas centradas en giros de 90 grados, sincronización con semáforos y rampas con aceleradores. En cada categoría se realizaron 20 pruebas. La navegación en giros tuvo un 85% de éxito, aunque se encontraron problemas de respuesta de conexión entre el manubrio y el sistema. La sincronización con semáforos mostró un 80% de efectividad, enfrentando dificultades para detenerse a tiempo y acelerar adecuadamente. El uso de rampas también alcanzó un 80%, con desafíos en el control tras los aceleradores. Se realizaron ajustes en la respuesta del manubrio y en la suavidad de los aceleradores. Las pruebas de funcionalidad del nivel 2 se presentan en la tabla 3.

En respuesta a los problemas identificados, se realizaron ajustes en la respuesta del manubrio y en la suavidad de los aceleradores para abordar los problemas identificados. Las pruebas de funcionalidad del nivel 2 se presentan en la tabla 4.

Tabla 3. Pruebas funcionales del nivel 2.

Descripción	Cantidad de Pruebas	Resultados	Problemas Identificados
Navegación en giros de 90 grados.	20	85% de éxito.	Problemas de respuesta de conexión con el manubrio.
Sincronización con semáforos.	20	80% de efectividad.	Dificultades para detenerse a tiempo.
Uso de rampas con aceleradores	20	80% de éxito	Desafíos en el control tras los aceleradores.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 4. Pruebas con mejoras optimizadas del nivel 2.

Descripción	Cantidad de Pruebas	Resultados	Mejoras optimizadas
Navegación en giros de 90 grados.	20	100% de éxito.	Ajuste en la respuesta del manubrio.
Sincronización con semáforos.	20	100% de efectividad.	Ajuste en la respuesta del sistema.
Uso de rampas con aceleradores	20	100% de éxito	Suavidad en los efectos de los aceleradores.

Fuente. Elaboración propia.

El tercer nivel, el más complejo, integró elementos de los niveles anteriores en un circuito de varias vueltas. Se evaluó: la navegación en curvas cerradas y cambios rápidos, la estabilidad bajo alta carga, y la integración de señalizaciones. De 35 pruebas, la navegación en curvas y cambios rápidos tuvo un 80% de éxito, afectada por la sensibilidad del manubrio. La estabilidad bajo carga fue del 90%, debido a que se presentaron problemas de latencia en secciones complejas. Estas pruebas se visualizan en la tabla 5.

Para corregir la sensibilidad del manubrio, se aplicaron optimizaciones para estabilizar la respuesta en curvas y cambios rápidos, así como en la gestión de carga para optimizar el rendimiento del sistema. Estos cambios fueron cruciales para lograr una mayor estabilidad y control. Los resultados del nivel 3 con las mejoras optimizadas se muestran en la tabla 6.

Tabla 5. Pruebas con mejoras optimizadas del nivel.

Descripción	Cantidad de Pruebas	Resultados	Problemas Identificados
Navegación en curvas cerradas y cambios rápidos.	35	80% de éxito.	Sensibilidad excesiva del manubrio.
Estabilidad bajo carga alta.	35	90% de efectividad.	Problemas de latencia en secciones complejas.

Tabla 6. Pruebas funcionales del nivel 3.

Descripción	Cantidad de Pruebas	Resultados	Mejoras optimizadas
Navegación en curvas cerradas y cambios rápidos.	35	100% de éxito.	Sensibilidad excesiva del manubrio.
Estabilidad bajo carga alta.	35	98% de efectividad.	Optimización de la gestión de carga.

Fuente. Elaboración propia.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos y las mejoras implementadas demuestran un avance significativo en el proyecto, subrayando el compromiso con la creación de una herramienta educativa efectiva y accesible. La alta tasa de éxito en la identificación de señalamientos y en la navegación a través de curvas cerradas y cambios rápidos indica un sólido entendimiento de los conceptos fundamentales. Estos aspectos son cruciales para asegurar que los niños con síndrome de Down tengan una experiencia realista y educativa, mejorando su aprendizaje sobre las normas de tránsito y la seguridad vial.

Diversos estudios han respaldado la efectividad de la realidad virtual (RV) y los simuladores en la educación de habilidades prácticas y adaptativas. Larson et al. [15] destacan que la RV es beneficiosa en la rehabilitación cognitiva, ya que permite a los pacientes practicar habilidades en un entorno controlado y seguro, lo cual es fundamental para nuestra aplicación, que simula situaciones de tráfico para ayudar a los niños con síndrome de Down a mejorar su comprensión de las normas viales.

Parsons et al. [16] investigaron el uso de la realidad virtual para enseñar habilidades sociales y cognitivas en

personas con autismo, demostrando que los simuladores virtuales ofrecen una forma efectiva de entrenar habilidades en situaciones prácticas. Estos estudios proporcionan una base sólida para el uso de entornos simulados en el desarrollo de habilidades funcionales y en la mejora de la interacción con entornos complejos, lo cual es relevante para el objetivo de nuestro sistema, que busca no solo enseñar normas de tránsito, sino también fomentar la seguridad vial a través del uso del sistema desarrollado, ya que este contiene los señalamientos de tránsito y reglas de vialidad.

Por último, Pedrolí et al. [17] también han evidenciado el impacto positivo de la RV en la rehabilitación cognitiva, sugiriendo que los entornos de RV pueden mejorar la concentración, la atención y la respuesta a estímulos visuales, en usuarios con discapacidades intelectuales. Esta investigación resalta la utilidad de los entornos virtuales como herramientas terapéuticas, debido a que también utiliza una bicicleta estacionaria para hacer un recorrido virtual, orientado a personas mayores que convivan con alguna discapacidad. Este proyecto es el más parecido al nuestro; sin embargo, la gran diferencia es que está orientado a niños que padecen síndrome de Down. La tasa de éxito en la navegación aumentó del 80% al 100% tras realizar ajustes en la sensibilidad del manubrio, mejorando la precisión en los giros y cambios de dirección, lo que permitió a los niños sentirse más seguros al interactuar con el entorno. La implementación del sistema de realidad virtual integró efectivamente conceptos de discriminación visual y reglas de vialidad.

Durante las pruebas se confirmó que el sistema respondía adecuadamente a las interacciones del usuario, manteniendo un alto grado de realismo. Este aspecto es crucial para los niños con síndrome de Down, quienes pueden beneficiarse de un entorno que simula situaciones de la vida real. Las pruebas de funcionalidad, realizadas por el equipo de desarrollo, fueron realizadas en cada nivel, permitiendo identificar áreas de mejora y realizar ajustes necesarios para optimizar la experiencia del usuario. Los resultados generales fueron satisfactorios, mostrando un incremento significativo en el éxito de las pruebas tras implementar las mejoras. Ver figura 17.



Figura 17. Comparación de antes y después de mejoras.

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados generales fueron satisfactorios, mostrando un incremento significativo en el éxito de las pruebas tras implementar las mejoras. Las pruebas funcionales aplicadas a los ocho indicadores contenidos en la figura, presentan la mayoría un incremento al 100%.

El porcentaje alcanzado, tras las pruebas de funcionalidad en tres de los indicadores que presentaron mayores conflictos, reflejan un 100% como se muestra en la figura 18.



Figura 18. Indicadores con mayor conflicto.
Fuente. Elaboración propia.

La figura presenta una optimización del 100% para la navegación, la recolección de puntos y la detección de colisiones; esto último, resalta la eficacia de las modificaciones realizadas. Estos hallazgos demuestran que el proyecto se está consolidando como una herramienta valiosa para la educación vial de los niños con síndrome de Down, proporcionando no solo una experiencia inmersiva y segura, sino también una plataforma educativa que puede ser adaptada a las necesidades individuales de cada usuario.

Por último, el único indicador que no alcanzó el 100% tras las mejoras es la estabilidad, lo que se muestra en la figura 19.



Figura 19. Estabilidad bajo carga alta.
Fuente. Elaboración propia.

La estabilidad del sistema bajo condiciones de carga alta mostró una mejora notable, pasando del 90% al 98% después de optimizar la gestión de carga.

CONCLUSIONES

El sistema de simulación vial desarrollado para CRIT Sonora, ha demostrado ser una herramienta innovadora y efectiva para la rehabilitación infantil y la educación vial personalizada. Durante las pruebas funcionales, que se llevaron a cabo en los tres niveles de dificultad, se

evidenció la capacidad del sistema para adaptarse a las habilidades de los usuarios, mejorando su desempeño 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 señales y obstáculos, así como en la recolección de puntos y para evitar colisiones. A pesar de estos logros, es importante señalar las limitaciones encontradas durante las pruebas. Se presentaron problemas de comunicación mediante Arduino y dificultades en la gestión del puerto COM, además de restricciones de permisos en dispositivos Android. Estas dificultades representaron desafíos significativos que requirieron ajustes continuos durante el proceso de implementación. Estos obstáculos subrayan la necesidad de futuras mejoras tecnológicas y colaborativas para fortalecer la eficacia y accesibilidad del sistema en entornos clínicos y educativos.

Con el fin de optimizar el sistema y ampliar su impacto, se proponen las siguientes dos mejoras a implementar. Integrar herramientas avanzadas de realidad virtual y aumentada y expandir el sistema a terapia ocupacional y física. Implementar estas mejoras no solo potenciará el sistema de simulación vial, sino que también ampliará su alcance y efectividad en el ámbito de la rehabilitación infantil. De esta manera, se podrá beneficiar a un mayor número de usuarios, optimizando su experiencia de rehabilitación y aprendizaje, y contribuyendo a un entorno más inclusivo y accesible.

Finalmente, se desea remarcar la propuesta de explorar la adaptación del sistema desarrollado para utilizarse en diversas discapacidades. Lo anterior puede lograrse integrando 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.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] World Health Organization. Discapacidad [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023 Mar [citado 2023 Mar]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>.
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Población. discapacidad [Internet]. INEGI; 2023 [citado 2023 Abr 03]. Disponible en: <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx>.
- [3] Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación y la Inclusión de las Personas con Discapacidad. Día Mundial del Síndrome de Down [Internet]. gob.mx; 2017 Mar 21 [citado 2023 Mar 29]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conadis/articulos/dia-mundial-del-sindrome-de-down-100498?idiom=es>.

[4] Powell-Hamilton NN. Síndrome de Down (trisomía 21) [Internet]. Manual MSD Versión Para Público General; 2023 Jun 05 [citado 2023 Jun 29]. Disponible en: <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>.

[5] Gobierno de Sonora. Conmemora DIF Sonora el Día Mundial del Síndrome de Down [Internet]. Gobierno De Sonora; 2023 Mar 22 [citado 2023 Abr 09]. Disponible en:

<https://www.sonora.gob.mx/gobierno/acciones/dependencias/conmemora-dif-sonora-el-dia-mundial-del-sindrome-de-down>.

[6] Torres Samperio, Franco Arcega, Gutiérrez Sánchez, Suarez Navarrete. Metodología para el modelado de sistemas de realidad virtual para el aprendizaje en dispositivos móviles. Pistas Educativas [Internet]. 2017 Dic [citado 2024 Abr 19];39. Disponible en: <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx>.

[7] Salorio P, Sánchez R, Morales Moreno I, Torres-Ortuño A, Cuenca A, Capel A. La realidad virtual: una nueva herramienta terapéutica para el tratamiento de la imagen corporal en los trastornos alimentarios. Enferm Global [Internet]. 2004;5 [citado 2024 Ago 05]. Disponible en: ISSN 1695-6141.

[8] Campuseducacion.com. Realidad virtual, aumentada y mixta en las aulas [Internet]. Campuseducacion.com; 2019 Sep 10 [citado 2023 Abr 23]. Disponible en: <https://www.campuseducacion.com/blog/recursos/realidad-virtual-aumentada-y-mixta/>.

[9] SINC. Por qué las personas con síndrome de Down tienen problemas de orientación espacial [Internet]. Agencia SINC; [citado 2024 Mar 01]. Disponible en: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Por-que-las-personas-con-sindrome-de-Down-tienen-problemas-de-orientacion-espacial>.

[10] Microsoft. Crear un diagrama de casos de uso UML [Internet]. Microsoft Support; [citado 2024 Jun 10]. Disponible en: <https://support.microsoft.com/es-es/topic/crear-un-diagrama-de-casos-de-uso-uml-92cc948d-fc74-466c-9457-e82d62ee1298>.

[11] Miro. Diagrama de secuencia UML: Qué es y cómo hacerlo con éxito [Internet]. Miro; [citado 2024 Jun 10]. Disponible en: <https://miro.com/es/diagrama/que-es-diagrama-secuencia-uml/>.

[12] Miro. Diagrama de clases: Qué es, cómo hacerlo y ejemplos [Internet]. Miro; [citado 2024 Jun 12]. Disponible en: <https://miro.com/es/diagrama/que-es-diagrama-clases-uml/>.

[13] LittleRobotSoundFactory. Sound 270302 [Internet]. Freesound; [citado 2024 Abr 05]. Disponible en: <https://freesound.org/people/LittleRobotSoundFactory/sounds/270302/>.

[14] Blender. Blender: Software de creación 3D gratuito y de código abierto [Internet]. Blender; [citado 2024 Abr 05]. Disponible en: <https://www.blender.org>.

[15] Larson EB, Feigon M, Gagliardo P, Dvorkin AY. Virtual reality and cognitive rehabilitation: a review of current outcome research. NeuroRehabilitation. 2014;34(4):759–72. doi: 10.3233/NRE-141078. PMID: 24820166.

[16] Parsons S, Cobb S. State-of-the-art of virtual reality technologies for children on the autism spectrum. Eur J Spec Needs Educ. 2011;26(3):355–66. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/08856257.2011.593831>.

[17] Pedroli E, Greci L, Colombo D, Serino S, Cipresso P, Arlati S, Mondellini M, Boilini L, Giussani V, Goulene K, et al. Characteristics, usability, and user experience of a system combining cognitive and physical therapy in a virtual environment: Positive Bike. Sensors (Basel) [Internet]. 2018 [citado 2024 Ago 07];18(7):2343. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s18072343>.

ROLES DE CONTRIBUCIONES

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Julio Alberto González Encinas
Curación de datos	Julio Alberto González Encinas
Metodología	María Trinidad Serna Encinas
Administración del Proyecto	Julio Alberto González Encinas (igual) - María Trinidad Serna Encinas (igual).
Recursos	Rafael Armando Galaz Bustamante (igual) - Rosalía del Carmen Gutiérrez Urquidez (igual).
Software	Julio Alberto González Encinas
Supervisión	María Trinidad Serna Encinas
Validación	Rosalía del Carmen Gutiérrez Urquidez
Visualización	Julio Alberto González Encinas (igual) - María Trinidad Serna Encinas (igual).
Redacción, borrador original.	Julio Alberto González Encinas (igual) - María Trinidad Serna Encinas (igual).
Redacción, revisión y edición.	Julio Alberto González Encinas (igual) - María Trinidad Serna Encinas (igual) - Rafael Armando Galaz Bustamante (igual).



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.