

Arquitectura de un videojuego para la mejora de motricidad fina en niños con TEA

Luis Fernando Leyva Luna
División de Estudios de Posgrado e
Investigación
Tecnológico Nacional de México/I.T
Orizaba
Orizaba, México
m23011388@orizaba.tecnm.mx

Giner Alor Hernández
División de Estudios de Posgrado e
Investigación
Tecnológico Nacional de México/I.T
Orizaba
Orizaba, México
giner.ah@orizaba.tecnm.mx

Maritza Bustos López
División de Estudios de Posgrado e
Investigación
Tecnológico Nacional de México/I.T
Orizaba
Orizaba, México
maritza.bl@orizaba.tecnm.mx

Beatriz Alejandra Olivares Zepahua
División de Estudios de Posgrado e
Investigación
Tecnológico Nacional de México/I.T
Orizaba
Orizaba, México
beatriz.oz@orizaba.tecnm.mx

José Luis Sánchez Cervantes
División de Estudios de Posgrado e
Investigación
Tecnológico Nacional de México/I.T
Orizaba
Orizaba, México
jose.sc@orizaba.tecnm.mx

Abstract— El Trastorno del Espectro Autista (TEA) es una condición neuropsiquiátrica que se presenta durante los primeros años de vida de un individuo y que permanece el resto de su vida, las principales afecciones del TEA se concentran en el desarrollo de la motricidad fina. En este artículo se presenta el diseño de una arquitectura de un videojuego de Realidad Virtual (RV) para mejorar las habilidades de motricidad fina en niños con TEA. La arquitectura presenta un diseño basado en capas. El videojuego propuesto se estructura en escenarios de la vida real, donde los niños practican actividades que estimulan sus habilidades de motricidad fina, proporcionando retroalimentación inmediata y adaptándose a sus necesidades específicas. Esta herramienta busca mejorar la eficacia de las intervenciones terapéuticas al ofrecer un enfoque lúdico y motivador.

Keywords— Motricidad Fina, Realidad Virtual, Trastorno del Espectro Autista, Trastorno del Neuro Desarrollo, Videojuego

I. INTRODUCCIÓN

El trastorno del espectro autista (TEA) es una condición neuropsiquiátrica que se presenta durante los primeros años de vida de un individuo y la cuál, permanece el resto de su vida. De acuerdo al Instituto Nacional de la Salud et al [1] algunas características del TEA se centran principalmente en que la persona presenta problemas para dialogar con otras personas, suele también desarrollar patrones repetitivos de comportamiento además de que al menos durante su etapa maternal, presenta problemas para jugar con su imaginación. El TEA también afecta el Desarrollo psicomotor del individuo, esto cusa muchos problemas tales como el hecho de que, en sus primeras etapas de vida, no aprende a escribir adecuadamente, tiene dificultades para desempeñar actividades físicas, entre otros. Según la Organización Mundial de la Salud et al [2], en el mundo 1 de cada 160 niños tiene TEA, mientras que un estudio por parte de Teletón et al [3], en México 1 de cada 115 niños tiene TEA. Un análisis presentado por Hirota et al [4] menciona que una de las partes más afectadas del desarrollo psicomotor es la capa de motricidad fina del cerebro. La motricidad fina es la encargada de que el ser humano desempeñe actividades delicadas que estén relacionada con la coordinación mano-ojo, un mal desarrollo desencadenará en que actividades tan simples como lo son el usar tijeras, se vuelva un completo desafío. Con el análisis adecuado de las tecnologías que se utilizan para el desarrollo de videojuegos de realidad virtual para el

mejoramiento de las habilidades de motricidad fina en niños con TEA, se puede definir una combinación adecuada que permita emplear terapias con realidad virtual. Este artículo propone el diseño de una arquitectura de un videojuego para la mejora de motricidad fina en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA). La aplicación tiene como objetivo ofrecer un entorno inmersivo, interactivo y seguro en el que los niños puedan realizar ejercicios terapéuticos enfocados en la mejora de la motricidad fina. A través de la implementación de diferentes niveles y escenarios de juego, el sistema busca proporcionar una herramienta eficaz para complementar las terapias tradicionales, adaptándose a las necesidades individuales de los usuarios y brindando retroalimentación inmediata. En la arquitectura se presentan sus componentes y la integración de tecnologías avanzadas, como C# y Unity, junto con el uso del visor autónomo Meta Quest 2, con el fin de maximizar la accesibilidad y optimización del sistema. Una de las principales contribuciones de este trabajo es una arquitectura que permite estructurar de manera eficiente y modular el videojuego. Esta arquitectura no solo facilita el desarrollo técnico, sino que también sienta las bases para una metodología de intervención terapéutica que busca mejorar el desarrollo psicomotor en el área de la motricidad fina en niños con TEA. A través de la integración de ejercicios y actividades diseñadas específicamente para estimular estas habilidades, la arquitectura garantiza que las intervenciones se adapten a las necesidades individuales de cada usuario, asegurando la reproducibilidad y escalabilidad del sistema. El artículo está estructurado de la siguiente forma: En la Sección II se presenta el estado del arte, un análisis de los trabajos relacionados con el tema de investigación, en la Sección III se presenta el diseño de la arquitectura del videojuego y la descripción de sus componentes, la Sección IV presenta el prototipo de las interfaces del videojuego, en la Sección V se presenta la descripción de la jugabilidad empleada en el videojuego. Finalmente, en la Sección VI se presenta las métricas de evaluación de la motricidad fina, conclusiones y trabajos a futuro.

II. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentan los trabajos relacionados con este proyecto de investigación, los cuales, muestran cómo es que actualmente, se está abordando el tratamiento del TEA mediante el uso de tecnologías de realidad virtual (RV).

Behnam Karami et al. [5] desarrollaron una herramienta de realidad virtual (RV) para el entrenamiento y la rehabilitación en diversas áreas relacionadas para el desarrollo de habilidades en la vida diaria. La investigación presentó un metaanálisis que incluyó 33 estudios con un total de 540 participantes con TEA. Finalmente se destacó la prometedora eficacia de la realidad virtual (RV) como herramienta terapéutica. M. Zhang et al. [6] presentaron un análisis de las perspectivas actuales y las aplicaciones basadas en la tecnología de la RV en el contexto educativo y en la intervención para niños con TEA. Los resultados tras implementar herramientas de simulación de entornos destacaron el impacto positivo de la intervención basada en RV en el desarrollo de habilidades sociales en niños con TEA. Ip H.H.S. et al. [7] desarrollaron un programa de realidad virtual para mejorar las habilidades socioemocionales en niños con TEA. Se presentaron seis escenarios en un entorno inmersivo, con un estudio de 94 niños en 28 sesiones. Se observó una mejora significativa en la regulación emocional, pero no en las medidas secundarias. El estudio demuestra la viabilidad de usar realidad virtual como herramienta para el aprendizaje en personas con TEA. T. Manju et al. [8] propusieron una terapia basada en realidad virtual estructurada en tres niveles: (1) habilidades sociales, (2) emocionales y (3) atención para niños con TEA, destacando que la implementación de RV transforma las terapias convencionales en entornos atractivos, efectivos y mediante entrenamiento repetitivo mejora los resultados. Maggie A. Mosher et al. [9] realizaron una revisión sistemática en 41 artículos sobre la implementación de tecnologías inmersivas (RV, RA, Realidad Mixta y Realidad Extendida). Las investigaciones tuvieron como objetivo el desarrollo de las habilidades sociales: (1) habilidades de relación, (2) reconocimiento de emociones, (3) cooperación, (4) funciones ejecutivas y (5) conciencia social en estudiantes de edad escolar dentro del espectro autista. Finalmente, como hallazgos, 32 investigaciones reportaron mejoras en las habilidades sociales, resaltando que las intervenciones mediante RV y RA tuvieron un mayor éxito. M. Alcañiz Raya et al. [10] utilizaron realidad virtual y aprendizaje automático para analizar movimientos corporales en niños con TEA y neurodesarrollo típico. El estudio identificó diferencias significativas en movimientos, con una precisión del 82.98% en la clasificación de TEA. El método propone una forma más objetiva de diagnóstico comparado con evaluaciones tradicionales. G. Lorenzo et al. [11] evaluaron el impacto de la realidad aumentada en habilidades sociales en niños con TEA. Aunque no hubo diferencias significativas entre los grupos de control y experimental, se observó una percepción positiva sobre el uso de RA en la atención y motivación. Sugirieron más estudios con muestras más amplias. M. Alcañiz et al. [12] mejoraron la evaluación del TEA utilizando realidad virtual y seguimiento ocular para captar datos más objetivos. Se identificaron diferencias en la atención visual de niños autistas, logrando una precisión del 86% en su clasificación. Este enfoque innovador ofrece una evaluación más cercana a situaciones reales. E. Bozgeyikli et al. [13] evaluaron técnicas de locomoción en realidad virtual para individuos con TEA. Se concluyó que las técnicas de joystick y teletransporte son las más adecuadas para esta población, mejorando la comodidad y experiencia del usuario. Las técnicas de vuelo y aleteo fueron menos efectivas. Bozgeyikli et al. [14] revisaron el estado de la realidad virtual para personas con TEA, destacando sus ventajas en entrenamientos específicos. Se propuso una taxonomía para clasificar estudios anteriores y se identificaron desafíos de

diseño. La RV es prometedora, pero se necesitan más estudios para definir principios de diseño. A Dechsling et al. [15] realizaron un análisis de 49 estudios que utilizaron RA y RV en intervenciones para el mejoramiento de habilidades sociales en participantes con TEA. Y. S. N. V. Yuan et al. [16] investigaron el uso de la realidad virtual (RV) para el entrenamiento de habilidades emocionales y sociales en niños con trastorno del espectro autista (TEA). Utilizando seis escenarios de RV que reflejan la vida diaria de niños típicos en Hong Kong, el estudio incluyó a 94 niños, quienes mostraron mejoras en la expresión emocional, regulación y adaptación social. A pesar de desafíos con los visores de RV, los niños lograron comprometerse en el entrenamiento. El estudio concluye que la RV es una herramienta prometedora para la capacitación emocional y social, pero sugiere una mayor investigación sobre el apoyo de entrenadores y terapeutas. Parsons, S. et al. [17] revisaron las aproximaciones conductuales y de teoría de la mente (ToM) para enseñar habilidades sociales a personas con TEA. Aunque ambas aproximaciones mostraron éxito en habilidades específicas, la generalización de los comportamientos aprendidos a nuevos entornos sigue siendo un reto. Se propuso el uso de realidad virtual (RV) como un entorno seguro e inmersivo para practicar roles y repetir tareas, facilitando el aprendizaje en diversos contextos. La RV se destacó como una herramienta eficaz para promover la flexibilidad y la simulación de eventos sociales, permitiendo una resolución de problemas más efectiva. G. P. Jarus et al. [18] desarrollaron un programa de realidad virtual basado en historias sociales para mejorar las habilidades socioemocionales y la capacidad de toma de perspectiva en niños con trastorno del espectro autista (TEA). Utilizando el método Delphi, se validaron 75 historias cortas sobre diversas dificultades emocionales en entornos sociales como el hogar, la escuela y la comunidad, con un 75% de acuerdo entre padres y profesionales. Los resultados sugieren que este programa es una herramienta eficaz para mejorar las habilidades socioemocionales en niños con TEA. Ke, F. et al. [19] investigaron el uso de un entorno de aprendizaje de realidad virtual (RV) basado en OpenSimulator para mejorar las habilidades sociales de niños con TEA. Siete niños participaron en sesiones de juego de roles y diseño socializado durante más de 20 horas. Aunque los cuestionarios no mostraron resultados estadísticamente significativos, se observó una mejora en la negociación, flexibilidad cognitiva y competencia social, junto con una reducción en los síntomas de TEA tras la intervención, lo que respalda el uso de entornos basados en RV para el aprendizaje de habilidades sociales. Artiran *et al.* [20] desarrollaron un sistema de realidad virtual para analizar la modulación social de la mirada en individuos neurodivergentes, especialmente aquellos con condición del TEA. Su estudio reveló diferencias significativas en el comportamiento ocular entre participantes neurotípicos y aquellos con TEA. Los autores demostraron el potencial del sistema en contextos de comunicación profesional. Basri *et al.* [21] desarrollaron una intervención de habilidades de comunicación social para jóvenes con autismo de alto funcionamiento, integrando el modelado en video y realidad virtual basada en video esférico (SVVR). Evaluaron la experiencia de usuario en sesiones con diez jóvenes y cinco expertos, quienes percibieron positivamente la psicoeducación y las técnicas de relajación. Señalaron la necesidad de la inclusión de actividades para el hogar y participación de los padres para mejorar su efectividad. Koirala *et al.* [22] desarrollaron un sistema de evaluación sensorial en realidad virtual (SAVR) para adolescentes con

TEA. Compararon las respuestas visuales y táctiles de 12 adolescentes con TEA y 12 adolescentes neurotípicos mediante un juego de pintura interactivo, evaluaron patrones de movimiento como respuestas de seguimiento ocular. Concluyeron que SAVR puede mejorar la objetividad en la evaluación de procesamiento sensorial. Artiran *et al.* [23] exploraron el uso de entrevistas laborales simuladas en RV para analizar la orientación de la cabeza y la atención conjunta en individuos con TEA. Implementaron un sistema que utiliza un algoritmo de aprendizaje automático para ajustar los valores de rotación de la cabeza y medir la interacción con los objetivos virtuales. Los resultados indicaron que los participantes con TEA se orientaban hacia los entrevistadores con menor frecuencia que los participantes neurotípicos. Amat *et al.* [24] desarrollaron ViRCAS, un simulador de actividades colaborativas en RV para adultos con TEA en entornos laborales. ViRCAS, permite la práctica de habilidades de trabajo en equipo en un entorno virtual compartido entre usuarios con TEA y neurotípicos. Evaluaron la viabilidad con 12 pares de participantes, demostrando la aceptación del sistema y su efectividad en la práctica colaborativa. Rane *et al.* [25] desarrollaron VGDART, una plataforma de realidad virtual para evaluar tareas de puntería sensibles a la mirada en personas con TEA. Compararon el rendimiento de 20 adolescentes con TEA y 20 neurotípicos en un entorno virtual de lanzamiento de dardos, observando diferencias significativas en la duración de fijaciones y trayectorias visuales durante la ventana de planificación del movimiento.

La revisión destaca las aplicaciones de la realidad virtual y aumentada en la rehabilitación y diagnóstico del TEA. En comparación con los trabajos descritos anteriormente, este trabajo se enfoca en mejorar la motricidad fina en estudiantes mediante ejercicios en entornos virtuales controlados, permitiendo una práctica segura y eficiente.

III. ARQUITECTURA DEL VIDEOJUEGO

En la figura 1 se presenta el diseño de la arquitectura del videojuego, la cual presenta un diseño basado en capas. Así también se describen los componentes e interrelaciones:

Capa de Presentación: Es la capa responsable de interactuar directamente con el usuario. Proporciona la interfaz para que los usuarios finales accedan y controlen las funcionalidades del sistema, ya sea a través de un navegador web o un dispositivo de realidad virtual.

Capa de Aplicación: En esta capa se encuentra la lógica de negocio del sistema. Esta capa procesa las solicitudes del usuario recibidas desde la Capa de Presentación y coordina las operaciones entre las demás capas (acceso a datos, persistencia). A través de los controladores, maneja las operaciones principales del sistema.

Capa de Acceso a Datos: Esta capa es responsable de gestionar el acceso a los datos. Interactúa con la base de datos y proporciona métodos para consultar, actualizar o eliminar información. Actúa como una capa de intermediación entre la capa de aplicación y de persistencia.

Capa de Persistencia: Es la capa que interactúa directamente con la base de datos. Se encarga de la persistencia de los datos, es decir, el almacenamiento y recuperación de la información en la base de datos. Todas las solicitudes de la capa de acceso a datos pasan a través de esta capa para acceder o modificar los datos en la base de datos.

A continuación, se presentan los componentes que conforman la arquitectura:

Navegador web: El portal donde los usuarios acceden a la gestión de ejercicios, pacientes y resultados. Aquí los usuarios pueden ingresar datos y ver los resultados de las interacciones con el sistema.

Videojuego: Es el videojuego donde los usuarios completan niveles interactivos, como capturar mariposas, dentro de un entorno inmersivo.

Controlador de gestión de usuarios: Se encarga de gestionar el registro de usuarios, jugadores, así como la autenticación de los mismos.

Controlador de Registro Ejercicios: Gestiona el registro de los ejercicios que completan los usuarios.

Controlador de Análisis de Resultados: Analiza los resultados de los ejercicios realizados. Además proporciona los resultados de los pacientes para su visualización.

Controlador de Desbloqueo de Niveles: Permite la liberación de nuevos niveles en el videojuego en función del progreso del usuario.

Autenticación: Gestiona las credenciales de los usuarios y valida su acceso.

Registro Ejercicios: Se encarga de almacenar los datos de los ejercicios completados.

Análisis Resultados: Procesa y almacena los resultados derivados de los análisis de las interacciones de los usuarios con los ejercicios.

Registro Pacientes: Guarda los datos personales y de interacción de los pacientes.

Listar Resultados: Proporciona la información de los resultados almacenados en la base de datos.

Desbloquear Nivel: Gestiona la información relacionada con los niveles del videojuego, desbloqueando niveles en función del progreso.

Entidades: Representa las estructuras de los datos almacenados en la base de datos (por ejemplo, tablas o colecciones de la base de datos).

Conexión SQL: Gestiona la conexión con la base de datos SQL, a través de la cual se realizan las operaciones de lectura y escritura.

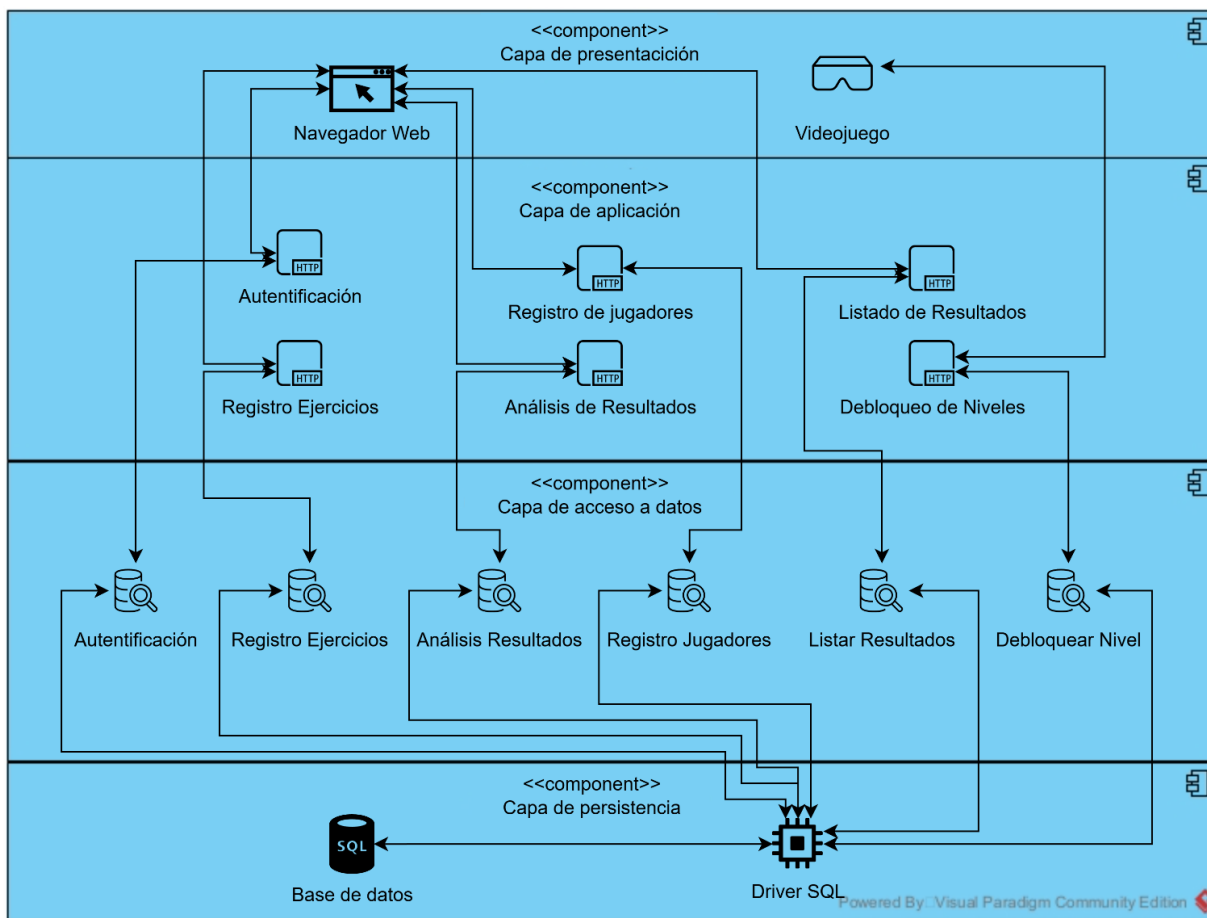


Fig. 1. Arquitectura del videojuego

IV. PROTOTIPO DEL VIDEOJUEGO

El videojuego de RV tiene como objetivo principal mejorar las habilidades de motricidad fina en niños con trastorno del espectro autista, mediante una serie de ejercicios, los cuales, se llevarán a cabo en entornos virtuales basados en escenarios de la vida real. Estos ejercicios se dividen en al menos seis categorías diferentes las cuales son: 1) Coordinación Mano-Ojo ; 2) Coordinación Bimanual ; 3) Precisión ; 4) Fuerza de Agarre ; 5) Destreza Digital y 6) Movimientos Finos . A continuación, se muestra la figura 2 que contiene la clasificación los ejercicios de motricidad fina que se emplean en las terapias para niños con TEA.



Fig. 2. Clasificación de ejercicios de motricidad fina

Los ejercicios de motricidad fina se clasificaron en tres niveles considerando la dificultad de cada uno de ellos que representa para el niño con TEA, esta clasificación fue respaldada y sugerida por especialistas psicoterapeutas que trabajan con niños con TEA.

A continuación, se muestran los ejercicios que fueron clasificados en la tabla 1:

TABLA I. EJERCICIOS DE MOTRICIDAD FINA CLASIFICADOS

Ejercicios de motricidad fina		
Nivel Básico	Nivel Intermedio	Nivel Avanzado
Ensartar Perlas	Insertar Clavos	Colorear Figuras
Apretar Clips	Escribir en un Teclado Virtual	Cortar Frutas
Trenzar Cuerdas	Ensamblar Modelos de Aviones	Lanzar Pelotas a Cestas
Servir Bebidas en Copas	Manejar un Ratón	Tocar Teclas de Piano
	Usar Herramientas de Taller	Atrapar Objetos Voladores
	Pasar Frutas de un Tazón a Otro	
	Romper Plásticos de Burbujas	
	Torcer Toallas	

Con esta clasificación de los ejercicios para la mejora de las habilidades de motricidad fina se establece un enfoque en el diseño de cada uno de los niveles, adaptando los escenarios para que el jugador pueda desempeñar de forma satisfactoria cada uno de los ejercicios. A continuación, se muestran

algunos prototipos de los escenarios que se utilizan en el videojuego y el ejercicio que se realiza en cada uno de ellos.

En la figura 3 y 4 se presenta el desarrollo del ejercicio “Servir Bebidas en Copas” dentro de una cocina, el cual consiste en que el niño sostenga con una mano una jarra que contiene algún tipo de bebida dulce, mientras que con su otra mano sostenga una copa e intente rellenarla con el contenido de la jarra, este ejercicio debe repetirse hasta llenar la cantidad de siete copas.

La ejecución de la actividad implementada en el ejercicio de “Servir Bebidas en Copas” fortalece en los niños la habilidad de Coordinación Bimanual.

La figura 3 representa la introducción al ejercicio, en esta pantalla se le mostrará al niño las indicaciones que debe seguir para poder completar el ejercicio.

La figura 4 representa los movimientos que el niño debe realizar con sus manos de acuerdo al objetivo del ejercicio.



Fig. 3. Pantalla de instrucciones “Servir bebidas en copas”



Fig. 4. Escenario del ejercicio “Servir Bebidas en Copas”

La figura 5 y 6 representa el desarrollo del ejercicio “Pasar Frutas de un Tazón a Otro” en el escenario de la cocina, el cual, tiene como objetivo que el niño con el uso de cualquiera de sus dos manos traslade las frutas de un tazón a otro a fin de que aprenda a coordinar sus movimientos con una sola mano. La ejecución de esta actividad en el ejercicio de “Pasar Frutas de un Tazón a Otro” ayuda a fortalecer en los niños la habilidad de Coordinación Bimanual.

En la figura 5 representa la introducción al ejercicio, en esta pantalla se le muestra al niño las indicaciones que debe seguir para poder completar el ejercicio.

La figura 6 representa el movimiento que el niño debe realizar con su mano de acuerdo al objetivo del ejercicio.



Fig. 5. Pantalla de instrucciones “Pasar frutas de un tazón a otro”



Fig. 6. Escenario del ejercicio “Pasar Frutas de un Tazón a Otro”

La figura 7 y 8 representa el desarrollo del ejercicio “Atrapar Objetos Voladores” en el escenario de un bosque, el objetivo es que el niño usando una sola mano, utilice una red para atrapar mariposas, las cuales, se encontrarán volando por todo el escenario, de esta forma debe mantener la concentración y coordinar sus movimientos para atrapar el número de mariposas solicitado para completar el ejercicio. La Coordinación Mano-Ojo es la habilidad que se tiene como objetivo fortalecer en los niños durante la ejecución del ejercicio “Atrapar Objetos Voladores”.

La figura 7 representa la pantalla de introducción al ejercicio, en ella se muestra un cuadro de dialogo en el que se describirán las indicaciones para que el niño pueda completar el nivel.

La figura 8 representa el ejercicio que debe realizar el niño, sosteniendo con una mano la red de fondo las mariposas volando en todo el escenario.



Fig. 7. Pantalla de instrucciones “Atrapar objetos voladores”



Fig. 8. Escenario del ejercicio “Atrapar Objetos Voladores”

V. DESCRIPCIÓN DE LA JUGABILIDAD

El diagrama de actividades en la figura 9 representa el flujo de jugabilidad del videojuego enfocado en la selección de niveles y subniveles, seguido por una actividad específica del jugador dentro del subnivel. El juego comienza con un nodo de inicio que marca el comienzo de la interacción del jugador. Aquí, el jugador se enfrenta inicialmente a la selección de nivel, con opciones que incluyen Jugar Nivel Básico, Jugar Nivel Intermedio, y Jugar Nivel Avanzado. Tras elegir uno de estos niveles, el jugador procede a la selección de subnivel donde debe decidir entre diferentes ejercicios tales como Ensartar Perlas, Recoger Monedas o Servir Bebidas. Cada elección determina el tipo de ejercicio en el que el jugador se involucrará, moviendo el flujo del juego hacia la etapa de Iniciar Subnivel, donde los elementos específicos de ese subnivel son cargados. En la etapa de Iniciar Subnivel, si se selecciona, por ejemplo, el ejercicio Ensartar Perlas, el juego entra en una fase donde el jugador necesita ensartar cada perla individualmente. Esta actividad

continúa hasta que se complete el requisito de ensartar todas las perlas. Un nodo de decisión evalúa si todas las perlas han sido ensartadas: si no es así, el jugador debe continuar con el ejercicio; si todas las perlas están ensartadas, el ejercicio se considera completo y el flujo del juego avanza hacia el fin del ejercicio, indicando que el subnivel ha sido exitosamente completado por el jugador. Este proceso estructurado no solo facilita la navegación del juego, sino que también asegura que cada paso sea ejecutado de manera secuencial y ordenada.

VI. MEDICIÓN DE LA MOTRICIDAD FINA

La evaluación del desarrollo de habilidades de motricidad fina en niños con TEA durante el uso de un videojuego de realidad virtual se fundamenta en diversas métricas cuantitativas y cualitativas. Estas métricas permiten evaluar tanto el rendimiento como el comportamiento del niño al interactuar con el entorno virtual. A continuación, se describen las métricas más relevantes y sus respectivas fórmulas de medición.

A. Métricas de rendimiento en los ejercicios de motricidad fina

Estas métricas permiten cuantificar el progreso en el control motor fino y desarrollo psicomotor a partir del desempeño en actividades específicas.

1) **Tiempo de ejecución:** Mide el tiempo total que el niño tarda en completar una actividad específica. Esta métrica se representa mediante la siguiente fórmula donde T representa el tiempo de ejecución, Tf el tiempo en que finaliza la ejecución y Ti el tiempo de inicio de la ejecución de la actividad:

$$T = T_f - T_i \tag{1}$$

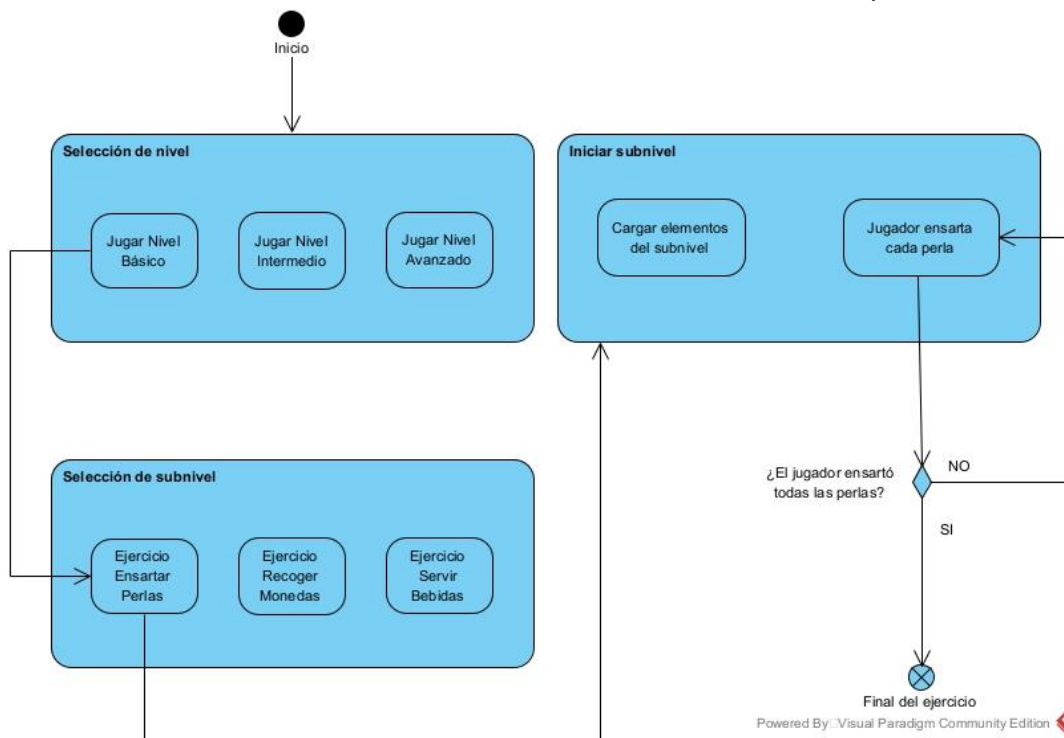


Fig. 9. Diagrama de actividades de la jugabilidad

2) **Precisión:** La precisión se calcula como la proporción de intentos exitosos frente al número total de intentos durante una actividad donde P es la precisión, N_e número de intentos exitosos y N_t el número total de intentos:

$$P = \frac{N_e}{N_t} \quad (2)$$

3) **Número de intentos:** Representa la cantidad de veces que el niño intenta completar una actividad. Se registra como un valor absoluto (N_i) para cada ejercicio, y una reducción en el número de intentos puede ser un indicador positivo de progreso.

B. Métricas de aprendizaje y progreso

Estas métricas permiten evaluar el progreso de los niños a lo largo de diferentes sesiones y niveles del videojuego.

1) **Tasa de éxito:** La tasa de éxito (T_e) se calcula como la relación entre el número de actividades completadas exitosamente (A_e) y el número total de actividades realizadas (A_r):

$$T_e = \frac{A_e}{A_r} \quad (3)$$

2) **Progreso a lo largo de los niveles:** Para medir el progreso entre niveles, se puede definir el nivel alcanzado (N_a) por el niño en función de la secuencia de niveles disponibles. Un aumento en L indica una mejora en las habilidades.

3) **Reducción de errores:** La métrica de errores (E) mide cuántos errores comete el niño durante la actividad, donde E_i es el número de errores al inicio de la evaluación, E_f es el número de errores al finalizar la evaluación, por lo que se puede calcular de la siguiente manera:

$$E = \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100\% \quad (4)$$

CONCLUSIONES

Este trabajo destaca el papel crucial de la realidad virtual en el manejo de desafíos complejos asociados con el Trastorno del Espectro Autista (TEA). Al enfrentar el problema de mejorar las habilidades de motricidad fina en niños con TEA. En este trabajo se propone un videojuego de realidad virtual diseñado específicamente para esta tarea. Este juego pretende ofrecer un entorno estimulante y controlado donde los niños practiquen habilidades esenciales de manera lúdica y efectiva, lo que tradicionalmente es un desafío en entornos terapéuticos convencionales. La habilidad del videojuego para personalizar las intervenciones según las necesidades individuales de cada niño y proporcionar retroalimentación instantánea y motivación resalta su potencial para transformar la terapia para el TEA. Al integrar principios pedagógicos dentro de un formato de juego atractivo, el videojuego no solo se alinea con las necesidades pedagógicas, sino que también captura el interés de los niños, facilitando un aprendizaje más profundo y sostenido. El trabajo presentado cumple con el objetivo de desarrollar una arquitectura de software para un videojuego de realidad virtual que mejore las habilidades de motricidad fina en niños con TEA. La arquitectura modular y basada en capas permite una implementación eficiente y escalable de

ejercicios terapéuticos adaptados a las necesidades específicas de los usuarios. A través de las pruebas preliminares y el diseño estructurado, se demostró que el sistema tiene el potencial de integrarse de manera efectiva en entornos terapéuticos reales, proporcionando una herramienta viable y adaptable para mejorar las habilidades psicomotoras de los niños. Esto refuerza la contribución significativa de la arquitectura en el contexto de las terapias basadas en tecnología.

Como trabajo a futuro, se contempla concluir el desarrollo del videojuego integrando cada uno de los ejercicios de motricidad fina en un entorno de realidad virtual con el fin de ayudar a los niños con TEA a mejorar sus habilidades motoras. Una vez concluido el desarrollo e implementación del videojuego, se realizará un caso de estudio con el fin de evaluar su efectividad en un contexto real a fin de que las intervenciones terapéuticas en niños con TEA reciban una herramienta que les permita mejorarlas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnológico (CONACYT), el Tecnológico Nacional de México (TecNM) y la Secretaría de Educación Pública (SEP) a través de PROMEP.

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Nacional de México por apoyar este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Institutos Nacionales de la Salud. "Trastorno del espectro autista." Publicación de NIH Núm. 24-MH-8116S. Revisada en 2024.
- [2] World Human Organization, "Autismo", <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>, Nov. 15, 2023.
- [3] Teletón México, "Panorama del autismo en México y el mundo", <https://teleton.org/panorama-del-autismo-en-mexico-y-el-mundo/>, Dic. 12, 2023.
- [4] T. Hirota and B. H. King, "Autism Spectrum Disorder: A Review," JAMA, vol. 329, no. 2, pp. 157-168, Jan. 10, 2023. DOI: 10.1001/jama.2022.23661.
- [5] B. Karami, R. Koushki, F. Arabgol, M. Rahmani, and A.-H. Vahabie, "Effectiveness of Virtual/Augmented Reality-Based Therapeutic Interventions on Individuals With Autism Spectrum Disorder: A Comprehensive Meta-Analysis," *Front. Psychiatry*, vol. 12, p. 665326, 2021. DOI: 10.3389/fpsy.2021.665326.
- [6] M. Zhang, H. Ding, M. Naumceska, and Y. Zhang, "Virtual Reality Technology as an Educational and Intervention Tool for Children with Autism Spectrum Disorder: Current Perspectives and Future Directions," *Behav. Sci.*, vol. 12, p. 138, 2022. DOI: 10.3390/bs12050138.
- [7] Ip H.H.S., Wong S.W.L., Chan D.F.Y., Byrne J., Li C., Yuan V.S.N., Lau K.S.Y. & Wong J.Y.W., "Enhance emotional and social adaptation skills for children with autism spectrum disorder: A virtual reality enabled approach" *Computers & Education*, 2017, doi:10.1016/j.compedu.2017.09.010.
- [8] T.Manju, S.Padmavathi, y D.Tamilselvi, "A Rehabilitation Therapy for Autism Spectrum Disorder Using Virtual Reality " in *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol.808, pp.328-336, mayo 2018.
- [9] M. A. Mosher, A. C. Carreon, S. L. Craig, et al., "Immersive Technology to Teach Social Skills to Students with Autism Spectrum Disorder: a Literature Review," *Rev. J. Autism Dev. Disord.*, vol. 9, pp. 334-350, 2022, doi: 10.1007/s40489-021-00259-6.
- [10] M. Alcañiz Raya, J. Marín-Morales, M. E. Minissi, G. Teruel Garcia, L. Abad, and I. A. Chicchi Giglioli, "Machine Learning and Virtual Reality on Body Movements' Behaviors to Classify Children with Autism Spectrum Disorder," *J. Clin. Med.*, vol. 9, no. 5, p. 1260, Apr. 26, 2020, doi: 10.3390/jcm9051260. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7287942/>
- [11] G. Lorenzo, M. Gómez-Puerta, G. Arráez-Vera, and A. Lorenzo-Lledó, "Preliminary study of augmented reality as an instrument for

- improvement of social skills in children with autism spectrum disorder," *Education and Information Technologies*, vol. 24, no. 1, pp. 181–204, Jan. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9768-5>
- [12] M. Alcañiz, I. A. Chicchi-Giglioli, L. A. Carrasco-Ribelles, J. Marín-Morales, M. E. Minissi, G. Teruel-García, M. Sirera, and L. Abad, "Eye gaze as a biomarker in the recognition of autism spectrum disorder using virtual reality and machine learning: A proof of concept for diagnosis," *Autism Res.*, vol. 15, no. 1, pp. 131-145, Jan. 2022. doi: 10.1002/aur.2636.
- [13] E. Bozgeyikli, A. Raji, S. Katkooi, and R. Dubey, "Locomotion in Virtual reality for individuals with autism spectrum disorder," in *SUI 2016 - Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction*, pp. 33-42, Association for Computing Machinery, Inc., 2016. <https://doi.org/10.1145/2983310.2985763>
- [14] L. Bozgeyikli, A. Raji, S. Katkooi, and R. Alqasemi, "A Survey on Virtual Reality for Individuals with Autism Spectrum Disorder: Design Considerations," in *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 11, no. 2, pp. 133-151, April-June 2018, doi: 10.1109/TLT.2017.2739747.
- [15] A. Dechsling, S. Orm, T. Kalandadze, S. Sütterlin, R.A. Øien, F. Shic, and A. Nordahl-Hansen, "Virtual and Augmented Reality in Social Skills Interventions for Individuals with Autism Spectrum Disorder: A Scoping Review," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 52, no. 11, pp. 4692-4707, Nov. 2022. doi: 10.1007/s10803-021-05338-5.
- [16] Y. S. N. V. Yuan and H. H. S. Ip, "Using virtual reality to train emotional and social skills in children with autism spectrum disorder," *London J. Prim. Care (Abingdon)*, vol. 10, no. 4, pp. 110-112, Jun. 2018. doi: 10.1080/17571472.2018.1483000. PMID: 30083244; PMID: PMC6074644.
- [17] Parsons, S., & Mitchell, P. (2002, June). The potential of virtual reality in social skills training for people with autistic spectrum disorders. *Journal of Intellectual Disability Research*, 46(Pt 5), 430-443. doi: 10.1046/j.1365-2788.2002.00425.x. PMID: 12031025.
- [18] G. P. Jarus, T. Zwicker, J. G. Lucyshyn, J. Mow, K. Ledingham, A. "Social Stories for Children with Autism Spectrum Disorder: Validating the Content of a Virtual Reality Program," **J. Autism Dev. Disord.**, vol. 49, no. 2, pp. 660-668, Feb. 2019. doi: 10.1007/s10803-018-3737-0. PMID: 30203311.
- [19] Ke, F., Moon, J., & Sokolikj, Z. (2022). "Virtual Reality–Based Social Skills Training for Children With Autism Spectrum Disorder." **Journal of Special Education Technology**, 37(1) 49-62. <https://doi.org/10.1177/0162643420945603>.
- [20] S. Artiran, R. Ravisankar, S. Luo, L. Chukoskie, and P. Cosman, "Measuring Social Modulation of Gaze in Autism Spectrum Condition With Virtual Reality Interviews," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 30, pp. 2373-2384, 2022, doi: 10.1109/TNSRE.2022.3198933.
- [21] M. A. F. A. Basri et al., "Development of a Social Communication Skills Intervention Using Video Modeling and Spherical Video-Based Virtual Reality for High Functioning Autism Spectrum Disorder Youth: A Preliminary Study," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 77976-77987, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3407114.
- [22] Koirala, Z. Yu, H. Schiltz, A. Van Hecke, B. Armstrong, and Z. Zheng, "A Preliminary Exploration of Virtual Reality-Based Visual and Touch Sensory Processing Assessment for Adolescents With Autism Spectrum Disorder," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 29, pp. 619-628, 2021, doi: 10.1109/TNSRE.2021.3064148.
- [23] S. Artiran, P. S. Bedmutha, and P. Cosman, "Analysis of Gaze, Head Orientation, and Joint Attention in Autism With Triadic VR Interviews," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 32, pp. 759-769, 2024, doi: 10.1109/TNSRE.2024.3363728.
- [24] Z. Amat et al., "Design of a Desktop Virtual Reality-Based Collaborative Activities Simulator (ViRCAS) to Support Teamwork in Workplace Settings for Autistic Adults," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 31, pp. 2184-2194, 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2023.3271139.
- [25] D. Rane, P. Sharma, M. Singh, and U. Lahiri, "Virtual Reality Based Gaze-Sensitive Aiming Task Platform: Role of Attention Allocation in Task Performance for Individuals With Autism and Typically Developing Individuals," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 31, pp. 1492-1501, 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2023.3248126.