

# Prototipo de un sistema de realidades mixtas para favorecer el desarrollo de la coordinación motora fina en niños

Emmanuel Collazos Bravo  
Isaac Escobar Rueda

Director: Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball





Santiago de Cali, 16 de Enero de 2025

**Pontificia Universidad Javeriana Cali.**

Dr. Gerardo Mauricio Sarria, Director de Carrera  
Ingeniería de Sistemas y Computación

Cordial saludo,

Por medio de la presente me permito informarle que los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación, Emmanuel Collazos Bravo e Isaac Escobar Rueda trabajaron bajo mi dirección en el proyecto de grado titulado “Prototipo De Un Sistema De Realidades Expandidas Para Favorecer El Desarrollo De La Coordinación Motora Fina En Niños” el cual se encuentra finalizado y listo para sustentación.

Atentamente,

---

Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball

---

Santiago de Cali, 16 de Enero de 2025

Dr. Gerardo Mauricio Sarria, Director de Carrera  
Ingeniería de Sistemas y Computación Pontificia Universidad Javeriana.  
Cali.

Cordial saludo,

Nos permitimos presentar a su consideración el trabajo de grado denominado **“Prototipo De Un Sistema De Realidades Expandidas Para Favorecer El Desarrollo De La Coordinación Motora Fina En Niños”**, con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para llevar a cabo el proyecto de grado y posteriormente optar al título de Ingeniero de Sistemas y Computación.

Al firmar aquí, damos fe de que entendemos y conocemos las directrices para la presentación de Trabajos de Grado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias aprobadas el 26 de noviembre de 2009, donde se establecen los plazos y normas para el desarrollo del trabajo de grado.

Atentamente,



---

Emmanuel Collazos Bravo  
Código: 8959348



---

Isaac Escobar Rueda  
Código: 8960928



## Abstract

The development of fine motor coordination in children is a crucial aspect of their growth and learning, as it involves the ability to perform precise movements using small muscles, primarily those of the hands, to manipulate small objects and perform detailed tasks. This work presents the design, implementation, and evaluation of a mixed-reality-based system prototype aimed at fostering the development of these motor skills in a pediatric population.

The system combines interactive physical and virtual elements, integrating augmented reality (AR), virtual reality (VR) and mixed reality technologies to offer playful activities that stimulate precise and coordinated use of hands and fingers. The proposed dynamics were designed considering pedagogical principles and key psychological aspects of child development, ensuring the tasks are engaging, challenging, and suitable for the users' abilities.

The system was validated with a group of children from the Instituto Para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, measuring its impact through specific fine motor skill tests conducted via interaction with the prototype. The results indicate that the system has the potential to support the improvement of these skills while also assessing the children's current level, providing an innovative and effective tool to complement traditional methodologies in educational and therapeutic settings.

This prototype demonstrates the potential of mixed reality technologies to address challenges in children's motor development and paves the way for future research into their application in other educational and healthcare domains.

**Keywords:** Fine motor coordination, Child development, Mixed reality, Augmented reality (AR), Interactive technologies, Motor skill development, Educational and therapeutic tools.



## Resumen

El desarrollo de la coordinación motora fina en niños es un aspecto crucial para su crecimiento y aprendizaje, ya que es la habilidad para realizar movimientos precisos que implica músculos pequeños, sobre todo de las manos, para así manipular objetos pequeños y tareas detalladas. Este trabajo presenta el diseño, implementación y evaluación de un prototipo de sistema basado en realidades mixtas, cuyo objetivo es fomentar el desarrollo de estas habilidades motrices en una población infantil.

El sistema combina elementos físicos y virtuales interactivos, integrando tecnologías de realidad aumentada (AR), realidad virtual (VR) y realidad mixta para ofrecer actividades lúdicas que estimulan el uso preciso y coordinado de manos y dedos. Las dinámicas propuestas fueron diseñadas considerando principios pedagógicos y aspectos psicológicos clave en el desarrollo infantil, asegurando que las tareas sean atractivas, desafiantes y adecuadas a las capacidades de los usuarios.

La validación del sistema se realizó con un grupo de niños del Instituto Para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, midiendo su impacto mediante pruebas específicas de motricidad fina mediante la interacción con el prototipo. Los resultados indican que el uso del sistema tiene el potencial de contribuir al desarrollo de estas habilidades, además de también medir el nivel en el que se encuentran, ofreciendo una herramienta innovadora y efectiva para complementar metodologías tradicionales en entornos educativos y terapéuticos.

Este prototipo demuestra el potencial de las tecnologías de realidades mixtas para abordar desafíos en el desarrollo motriz infantil, y abre camino a futuras investigaciones en su aplicación en otros ámbitos educativos y de salud.

### **Palabras Clave:**

Coordinación motora fina, Desarrollo infantil, Realidad mixta, Realidad aumentada (AR), Tecnologías interactivas, Desarrollo de habilidades motrices, Herramientas educativas y terapéuticas.





# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>11</b>
<b>2. Descripción del Problema</b>	<b>12</b>
2.1. Planteamiento del Problema . . . . .	12
2.1.1. Formulación . . . . .	13
2.1.2. Sistematización . . . . .	13
2.2. Objetivos . . . . .	13
2.2.1. Objetivo General . . . . .	13
2.2.2. Objetivos Específicos . . . . .	14
2.3. Justificación . . . . .	14
2.4. Delimitaciones y Alcances . . . . .	15
<b>3. Marco Teórico y Trabajos Relacionados</b>	<b>16</b>
3.1. Marco de Referencia . . . . .	16
3.1.1. Áreas Temáticas . . . . .	16
3.1.2. Marco Teórico . . . . .	17
3.1.3. Trabajos Relacionados . . . . .	20
3.1.4. Discusión . . . . .	21
<b>4. Metodología, Análisis y Actividades</b>	<b>23</b>
4.1. Metodología . . . . .	23
4.1.1. Prototipado Evolutivo . . . . .	23
4.1.2. Principios Fundamentales . . . . .	23
4.1.3. Fases del Prototipado Evolutivo . . . . .	24
4.1.4. Ventajas del Prototipado Evolutivo . . . . .	24
4.1.5. Desventajas del Prototipado Evolutivo . . . . .	24
4.1.6. Prototipado Evolutivo como Metodología del Proyecto . . . . .	25
4.2. Actividades . . . . .	26
<b>5. Educción de Requerimientos</b>	<b>30</b>
5.0.1. Requisitos Funcionales . . . . .	31
5.0.2. Requisitos No Funcionales . . . . .	32
<b>6. Solución y Diseño</b>	<b>33</b>

---

6.1.	Descripción General . . . . .	33
6.2.	Diagramas . . . . .	34
6.2.1.	Diagrama de Casos de Uso . . . . .	34
6.2.2.	Interfaz de Usuario . . . . .	34
6.3.	Diseño . . . . .	35
6.3.1.	Diseño de Videojuegos . . . . .	35
6.3.2.	Integración de los Videojuegos . . . . .	38
6.3.3.	Finalidad de la Propuesta . . . . .	39
<b>7.</b>	<b>Implementación</b>	<b>40</b>
7.1.	Dispositivos de Desarrollo . . . . .	40
7.1.1.	Computador de Escritorio . . . . .	40
7.1.2.	Hololens 2 . . . . .	40
7.2.	Herramientas de Desarrollo . . . . .	41
7.2.1.	Unity . . . . .	41
7.2.2.	MRTK . . . . .	41
7.3.	Videojuegos . . . . .	42
7.3.1.	Actividad Juego de Cubos . . . . .	42
7.3.2.	Actividad Vuelo del Condor . . . . .	44
7.3.3.	Actividad Amarrar el Lazo . . . . .	44
<b>8.</b>	<b>Validación del Sistema y Resultados</b>	<b>46</b>
8.1.	Plan de Pruebas . . . . .	46
8.1.1.	Alcance de las Pruebas . . . . .	46
8.1.2.	Tipos de Pruebas . . . . .	47
8.1.3.	Cronograma . . . . .	48
8.1.4.	Herramientas . . . . .	48
8.1.5.	Fases de Investigación . . . . .	48
8.1.6.	Pruebas Funcionales y No Funcionales . . . . .	49
8.2.	Cuestionario para Usuarios (Niños) . . . . .	50
8.3.	Cuestionario para Terapeutas . . . . .	52
8.4.	Resultados de los Cuestionarios . . . . .	53
8.4.1.	Resultados . . . . .	58
<b>9.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>10.</b>	<b>Trabajo Futuro</b>	<b>62</b>

# Capítulo 1

## Introducción

El desarrollo de la coordinación motora fina es un aspecto fundamental en el crecimiento infantil, ya que influye directamente en la capacidad de los niños para realizar una amplia variedad de actividades cotidianas y académicas. Estas habilidades, que implican la destreza en el control de los músculos pequeños de las manos y los dedos, son esenciales para el logro de tareas como escribir, dibujar, abrochar botones, o utilizar utensilios. Además, la coordinación motora fina tiene un impacto significativo en el desarrollo cognitivo, social y emocional de los niños, ya que fomenta la independencia, la creatividad y la autoestima.

A pesar de su importancia, numerosos niños se topan con obstáculos en el desarrollo de estas competencias, lo que puede impactar su rendimiento en tareas escolares y su habilidad para relacionarse con el ambiente. Así pues, es vital descubrir técnicas innovadoras que complementen los métodos convencionales de enseñanza y terapia, asistiendo a los niños en la mejora de su coordinación motora fina de forma entretenida y eficaz.

En este contexto, el presente trabajo propondrá el diseño e implementación de un prototipo de sistema de realidades mixtas, que combina tecnologías de realidad mixta para fomentar el desarrollo de la coordinación motora fina en niños. Este sistema ofrecerá una serie de actividades interactivas y lúdicas, diseñadas específicamente para estimular la precisión y el control motor de las manos y los dedos, mientras se mantiene el interés y la motivación del niño.

La investigación realizada en este proyecto tiene como objetivo demostrar la viabilidad y efectividad de las realidades mixtas como instrumentos complementarios en el desarrollo motor infantil, proporcionando una opción moderna y asequible frente a los métodos tradicionales. La validación del sistema se llevará a cabo mediante pruebas específicas que miden el impacto de estas actividades en las habilidades motrices finas de los niños, con el fin de ofrecer una solución innovadora para el ámbito educativo y terapéutico.

# Capítulo 2

## Descripción del Problema

### 2.1. Planteamiento del Problema

La problemática actual de la población con trastornos del desarrollo es compleja. Los trastornos del neurodesarrollo son un conjunto de dificultades que tienen su origen en un desarrollo no neurotípico o en la presencia de lesiones o alteraciones en la maduración cerebral. Estos trastornos aparecen en la primera infancia o durante el proceso de desarrollo, pudiéndose por lo general detectar los primeros síntomas de manera temprana [1]. Las alteraciones provocadas por estos trastornos generan dificultades de intensidad variable en los procesos de adaptación y participación social y/o en la realización de actividades básicas para la supervivencia. Es decir que la actividad del individuo se ve limitada o alterada respecto a lo que sería habitual en otros sujetos con la misma edad y condiciones. El DSM V [1] establece la existencia de varios subtipos de trastornos del neurodesarrollo, entre los cuales se encuentran los trastornos del neurodesarrollo motor. Estos afectan la coordinación motora.

La coordinación motora fina (CMF) permite realizar movimientos utilizando los músculos pequeños de las manos y muñecas. Gracias a la CMF es posible realizar actividades comunes en la vida diaria como son sostener un lápiz, escribir con claridad, escribir en un teclado, usar tijeras y otros objetos, cepillarse los dientes y vestirse. Estos movimientos son complejos y requieren coordinación del cerebro y los músculos [2–5].

La realidad mixta [6] busca una integración fluida entre el mundo real y el físico. Es una de las tecnologías de las realidades expandidas entre las que se encuentran también la realidad virtual y la aumentada. Este tipo de tecnologías traen grandes oportunidades en el mundo digital [6]. Por ejemplo, es posible apoyar el desarrollo o la rehabilitación de la coordinación. Por ejemplo, Spitale et al. [7] describen una aplicación móvil para el entrenamiento de personas con trastornos del neurodesarrollo. Esta aplicación integra cámara en espejo que permite mezclar los objetos del

mundo real y físico en una mesa.

Una iniciativa interinstitucional, colaborativa e internacional que involucra a la Universidad de Sherbrooke, al Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (INCS) y a la Pontificia Universidad Javeriana de Cali: El Proyecto Colaborativo-Colombia Quebec (PCCQ): Narrativa, Discapacidad y Realidad Virtual [8] ha permitido el desarrollo de narrativas interactivas sobre animales colombianos para ayudar a desarrollar habilidades en niños, cumpliendo además la función de promover la concienciación sobre los animales en peligro de extinción. El enfoque inicial del PCCQ planteaba aplicaciones que expandieran narrativas para favorecer el desarrollo del lenguaje en niños [8]. Sin embargo, los resultados iniciales del proyecto evidenciaron el potencial para favorecer tanto la detección de condiciones y el desarrollo de otras habilidades. Además, el PCCQ permitió la creación de un laboratorio multisensorial en el INCS. Es así como, teniendo en cuenta las oportunidades de las realidades expandidas y la problemática expuesta, esta propuesta de trabajo de grado busca seguir avanzando a partir de los aprendizajes logrados en el PCCQ hacia una aplicación que favorezca el desarrollo de la coordinación motora fina. En concreto, se busca responder a la pregunta de la formulación.

### **2.1.1. Formulación**

¿Cómo aplicar las realidades expandidas para favorecer el desarrollo de la coordinación motora fina en niños?

### **2.1.2. Sistematización**

- ¿Cómo se desarrolla la coordinación motora fina en niños?
- ¿Cómo diseñar el prototipo de un sistema de realidades expandidas para favorecer el desarrollo de la coordinación motora fina en niños?
- ¿Cómo implementar el prototipo de un sistema de realidades expandidas para favorecer el desarrollo de la coordinación motora fina en niños?
- ¿Cómo se evalúa un sistema de realidades expandidas que favorece el desarrollo de la coordinación motora fina en niños?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo General**

Aplicar las realidades expandidas para favorecer el desarrollo de la coordinación motora fina en niños.

### 2.2.2. Objetivos Específicos

- Entender cómo se desarrolla la coordinación motora fina en niños.
- Diseñar el prototipo de un sistema de realidades expandidas para favorecer el desarrollo de la coordinación motora fina en niños.
- Implementar el prototipo de un sistema de realidades expandidas para favorecer el desarrollo de la coordinación motora fina en niños.
- Evaluar un sistema de realidades expandidas que favorece el desarrollo de la coordinación motora fina en niños.

## 2.3. Justificación

Varias investigaciones coinciden en afirmar que el panorama actual es muy preocupante en lo que respecta a los trastornos del desarrollo y del aprendizaje. En la población pediátrica, varios estudios recientes [9] muestran que 1 de cada 20 niños presenta un retardo en el desarrollo motor evidente antes de los 3 años, 4 de cada 1000 niños padecen una limitación motora grave conocida como parálisis cerebral [10], y 6 % de los preescolares presentan dificultades en el desarrollo del lenguaje y de la comunicación que pueden impactar su desarrollo cognitivo [11]. De la misma manera, según el CDC [12], uno de cada 68 niños presenta un Trastorno del Espectro Autista, siendo los niños más afectados que las niñas en una proporción de 5 a 1. Por sí solos, estas dificultades del desarrollo constituyen factores de riesgo que limitan la adquisición posterior de las habilidades necesarias para el aprendizaje escolar. Sin embargo, este tipo de problemas es a menudo desatendido o ignorado por los servicios de salud, y su detección, en alrededor de 25 % de los casos, se hace solo cuando el niño ingresa a la escuela, a pesar de que la evidencia científica muestra que este tipo de problemas pueden identificarse e intervenir tempranamente, mejorando la calidad de vida de los niños y sus familias. En el 75 % de los casos identificados en los servicios de salud, los niños y sus familias no reciben atención y orientación adecuadas, lo que incide negativamente en su calidad de vida y genera repercusiones emocionales, psicosociales y económicas, en el niño y su núcleo familiar.

Desde el punto de vista de la computación, este trabajo de grado contribuye a los intereses de investigación del grupo Destino a través de la continuación del PCCQ. Además, el desarrollo del prototipo evidencia retos en las áreas de Interacción Humano Computadora y la Computación Gráfica y sus aplicaciones, como son las realidades expandidas.

## 2.4. Delimitaciones y Alcances

- ✓ Se elegirá únicamente un dispositivo de realidad expandida que esté disponible en el laboratorio multisensorial del INCS.
- ✓ Se entregará un prototipo de aplicación que funcione en dicho dispositivo. Será responsabilidad del INCS extender su uso.
- ✓ El prototipo se evaluará con un grupo de al menos 4 niños entre los 7 y los 12 años. Previo a esta evaluación se realizará una evaluación preliminar con estudiantes de la carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.
- ✓ Dando continuidad al PCCQ el prototipo utilizará una narrativa basada en algún animal colombiano.
- ✓ El sistema es una aplicación con al menos dos actividades interactivas que estimulen y desarrollen la motricidad fina.
- ✓ Las actividades que pueden pertenecer a este prototipo pueden ser actividades de manipulación con los dedos, actividades de arte y manualidades, juegos de construcción, actividades de escritura y trazado, juegos de precisión y destreza o actividades de cocina.



# Capítulo 3

## Marco Teórico y Trabajos Relacionados

### 3.1. Marco de Referencia

#### 3.1.1. Áreas Temáticas

De acuerdo con el sistema de clasificación ACM (Association for Computing Machinery) [13], las áreas temáticas relacionadas con este proyecto son las siguientes:

#### 1. Human-Centered Computing (Computación Centrada en el Usuario)

- **Interaction Design (Diseño de Interacción):** El diseño de las actividades y la interfaz del sistema para fomentar la coordinación motora fina.
- **Mixed/Augmented Reality (Realidad Mixta/Aumentada):** Uso de tecnologías como las HoloLens 2 para desarrollar un sistema de realidad mixta.
- **Accessibility Technologies (Tecnologías de Accesibilidad):** Inclusión de características para trabajar con niños con diferentes capacidades sensoriales y motrices.

#### 2. Computing Methodologies (Metodologías de la Computación)

- **Simulation and Modeling (Simulación y Modelado):** Creación de entornos interactivos virtuales para simular actividades de desarrollo motor.

#### 3. Applied Computing (Computación Aplicada)

- **Health Informatics (Informática de la Salud):** Uso del sistema como herramienta terapéutica para mejorar habilidades motoras.

- **Education (Educación):** Aplicación del sistema en contextos educativos para el desarrollo de habilidades específicas en niños.

#### 4. Software and Its Engineering (Ingeniería de Software)

- **Interactive Systems and Tools (Sistemas y Herramientas Interactivos):** Desarrollo del prototipo de software que combina interacción física con entornos virtuales.
- **Software Prototyping (Prototipado de Software):** Desarrollo iterativo y pruebas del sistema en escenarios reales.

#### 5. Hardware (Hardware)

- **Sensor Devices and Platforms (Dispositivos y Plataformas de Sensores):** Uso de dispositivos como las HoloLens 2 y otros sensores para capturar movimientos finos.

#### 6. Social and Professional Topics (Temas Sociales y Profesionales)

- **Computing Education (Educación en Computación):** Incorporación de tecnologías emergentes en procesos educativos y terapéuticos.
- **Assistive Technologies (Tecnologías Asistivas):** Creación de herramientas tecnológicas para ayudar a poblaciones con necesidades específicas.

### 3.1.2. Marco Teórico

**Desarrollo Infantil:** Según Del Pilar et al. [14], el desarrollo en la infancia es un proceso complejo y dinámico que se inicia desde la concepción y continúa a lo largo de la vida. Se caracteriza por ser continuo, pero con una velocidad variable que depende de la edad y las estructuras orgánicas de cada niño. Así mismo es muy importante para los niños dado que este sienta las bases de las capacidades que tendrán a futuro.

**Factores Genéticos y Ambientales:** En lo elaborado por De Souza and De Lá Ó Ramallo Veríssimo [15] mencionan que la arquitectura del cerebro se forma a partir de la interacción entre la herencia genética y las influencias del entorno. La herencia genética proporciona el marco para el desarrollo de un niño, pero es el ambiente el que moldea y potencia estas capacidades innatas. Los genes establecen las posibilidades, mientras que el ambiente influye en cómo se manifiestan estas posibilidades. Esto subraya la importancia de un ambiente enriquecedor para el desarrollo cognitivo y emocional del niño.

**Etapas del Desarrollo:** El Ministerio de Educación Nacional República de Colombia [16] menciona en su artículo que los niños transitan por diversas etapas

de desarrollo, donde emergen nuevas habilidades y formas de pensar. Cada etapa del desarrollo es fundamental porque construye la base para la siguiente, los hitos alcanzados en una etapa preparan al niño para los desafíos y aprendizajes del siguiente período, lo que lleva a estructuras más complejas de comportamiento y cognición.

**Primera Infancia:** Así mismo, en el artículo del Ministerio de Educación Nacional República de Colombia [16] se da a entender que el periodo de la primera infancia es crítico, se trata de un período de desarrollo cerebral significativo que sienta las bases para la vida futura del niño. Los factores que inciden en la salud durante esta etapa son fundamentales para el desarrollo integral y el bienestar a largo plazo.

**Desarrollo de la Motricidad Fina en la Primera Infancia:** De acuerdo con la EAD3 [17], en los primeros años de vida el cerebro establece conexiones neuronales clave para el desarrollo de la motricidad finoadaptativa. La estimulación adecuada y la interacción con adultos cuidadores fortalecen estas habilidades, mientras que la ausencia de estímulos puede afectar la formación de redes neuronales específicas. Este proceso es influenciado por factores genéticos, nutricionales y ambientales, lo que resalta la importancia de brindar experiencias enriquecedoras desde edades tempranas.

**Desarrollo de la Motricidad Fina Desde el Conocimiento de los Instructores:** Las charlas y discusiones realizadas con los especialistas e instructores del Instituto de Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca dieron guía para comprender mejor como ocurre y se aplica el desarrollo de la motricidad fina en los niños. Esto lleva a entender como este desarrollo está relacionado con el uso preciso y coordinado de los músculos pequeños, especialmente los de manos y dedos. Este proceso se produce en sentido próximo-distal, es decir, desde el tronco hacia las extremidades, y requiere un mayor control voluntario y destreza en la ejecución de movimientos. Las habilidades motoras finas incluyen la capacidad de manipular objetos pequeños, utilizar herramientas y realizar actividades que demandan precisión, como el dibujo o la escritura.

**Coordinación InterSensorial y su Importancia:** Según la EAD3 [17], la motricidad fina depende en gran medida de la coordinación intersensorial, especialmente la relación mano-ojo, que permite realizar movimientos precisos con base en la percepción visual. Además, involucra el cálculo de distancias y el seguimiento visual, habilidades esenciales para la escritura, el uso de utensilios y la exploración del entorno.

**Importancia de la Evaluación y Seguimiento del Desarrollo:** El seguimiento sistemático del desarrollo infantil permite la detección temprana de alteraciones en la motricidad fina, lo que facilita intervenciones oportunas y promueve el desarrollo integral de los niños. En el documento de la EAD3 [17] se evalúan estas habilidades a través de indicadores específicos que identifican la evolución de la

coordinación y la destreza manual en distintos rangos de edad.

**Impacto de la Motricidad Fina en la Autonomía y Aprendizaje:** Lo realtado en el documento de la EAD3 [17] menciona que, el adecuado desarrollo de la motricidad finoadaptativa influye directamente en la autonomía infantil y en la adquisición de destrezas necesarias para la vida cotidiana y el aprendizaje escolar. La falta de estimulación o el retraso en esta área pueden afectar el desempeño en actividades esenciales, como la escritura, el dibujo y la manipulación de objetos. Por ello, la identificación de dificultades en la motricidad fina permite implementar estrategias pedagógicas y terapéuticas que favorezcan el desarrollo integral del niño o niña.

**Teorías del Desarrollo:** Como mencionan Raymond et al. [18] en su artículo, diversas teorías han contribuido al entendimiento del desarrollo infantil. La teoría de Erik Erikson se enfoca en el desarrollo psicosocial en la vida, mientras que la de Jean Piaget se centra en el desarrollo cognitivo mediante cuatro etapas: sensoriomotor, preoperacional, operaciones concretas y operaciones formales. Cada etapa representa una forma diferente de pensar y entender el mundo.

**Desarrollo Sensoriomotor:** Esta etapa mencionada representa una etapa muy importante que conllevará al correcto desarrollo de la motricidad fina en los niños, de esta manera según lo mencionado por Shunta Rubio et al. [19] en su artículo, en la etapa de educación infantil los niños hallan en su cuerpo, el movimiento las principales vías para entrar en contacto con la realidad que los envuelve, esto constituirán experiencias necesarias sobre las que se irá construyendo el pensamiento infantil.

**Recreación y Aprendizaje:** De acuerdo con Zapata et al. [20], la recreación infantil es un proceso que permite a los niños expresar libremente sus potencialidades y aprender de manera creativa. Las actividades lúdicas son fundamentales para el desarrollo cognitivo y emocional. Desde la computación, se busca contribuir a esta área a través del desarrollo de prototipos que utilizan realidades mixtas y videojuegos para apoyar el desarrollo motor y cognitivo de los niños.

**Aprendizaje mediante las Realidades Mixtas:** En el documento realizado por Sousa-Ferreira et al. [21], hablan sobre como las realidades mixtas (RM) representan un avance significativo en la educación, ofreciendo experiencias inmersivas que transforman la forma en que los estudiantes interactúan con el contenido y adquieren habilidades. Por ejemplo, estos sistemas permiten la creación de objetos virtuales e interactuar con ellos como si estuvieran presentes físicamente. Además, al ofrecer una experiencia de aprendizaje más atractiva y dinámica, esta puede aumentar la motivación y el compromiso de los niños, lo que a su vez puede conducir a mejores resultados de aprendizaje y retención de conocimientos.

**Realidades expandidas:** Las tecnologías del continuo virtual dan soporte a

la idea de realidad expandida, que se refiere a los entornos combinados reales y virtuales y las interacciones generadas por la tecnología informática y los wearables o dispositivos para usar en el cuerpo. [22]

### **3.1.3. Trabajos Relacionados**

#### **Design and Development of a Mixed Reality Acupuncture Training System. [23]**

En este trabajo diseñan y desarrollan un sistema en realidades expandidas pensado para practicar y desarrollar las habilidades de practicantes de acupuntura, una práctica la cual necesita de unas altas capacidades de motricidad fina para ser realizada de manera correcta. En este desarrollo demuestran la capacidad y permisividad que se puede tener con estos sistemas para desarrollar y practicar la motricidad fina con actividades tan precisas como el uso de una aguja en puntos específicos del cuerpo humano.

#### **Interaction Techniques for 3D-positioning Objects in Mobile Augmented Reality. [24]**

En este proyecto elaboran un sistema basado en realidades aumentadas en dispositivos móviles donde el propósito es el posicionamiento de objetos 3D en el espacio. En este proyecto se dedican a probar diferentes métodos que permitan a los usuarios posicionar objetos en 3D, alguno mediante el uso de la cámara y otros mediante el uso de la pantalla táctil, donde todos estos requieren de un mínimo en cuanto a las capacidades motrices finas de los usuarios.

#### **Development of Fine Motor Skills for Early Childhood Based on Augmented Reality. [25]**

Se trata de un estudio donde evalúan la efectividad del uso de realidades aumentadas para el desarrollo de la motricidad fina en niños de temprana edad, concluyen que este efectivamente dio buenos resultados y que el uso de estas tecnologías junto con las herramientas correctas y actividades adecuadas son beneficiosas. En el estudio se realizaron diferentes actividades para probar su influencia en el desarrollo motriz fino de los niños, tales como el uso de utensilios para escritura en el medio virtual, romper trozos de papel con ciertas formas, y demás actividades que aportan igual valor para el desarrollo de los niños.

#### **Application and Effect of Virtual Reality Technology in Motor Skill Intervention for Individuals with Developmental Disabilities: A Systematic Review. [26]**

Este trabajo al igual que en anterior detalla los beneficios en la aplicación de la realidad virtual para mejorar la motricidad fina en niños y adolescentes, con el extra de que estos además tratan con individuos con discapacidades de desarrollo. El

resultado de este también es positivo y presenta evidencia sobre resultados positivos de la aplicación de estos medios para tratar el desarrollo de la motricidad fina.

### **Extended Realities for Sensorially Diverse Children. [27]**

Este artículo presenta el trabajo más reciente y relevante en el marco del Proyecto Colaborativo Colombia-Quebec (PCCQ) [8], titulado “Narrativa, Discapacidad y Realidad Virtual”. El proyecto se centra en la creación de espacios de aprendizaje interactivos y multisensoriales diseñados específicamente para niños con diversas necesidades sensoriales. Estos entornos son desarrollados de manera colaborativa por especialistas en educación especial, tecnólogos en realidades extendidas (XR) y niños con diversidad sensorial, con el objetivo de fomentar la motivación, el desafío y el desarrollo de habilidades clave en los niños, promoviendo así una experiencia de aprendizaje más inclusiva y enriquecedora.

#### **3.1.4. Discusión**

Al comparar el proyecto de desarrollo de un sistema de realidad mixta para favorecer el desarrollo de la motricidad fina en niños con los trabajos relacionados mencionados, se pueden identificar diversas similitudes, diferencias, ventajas y limitaciones.

##### **Similitudes**

Uno de los puntos comunes más destacados entre el proyecto y los estudios referenciados es el objetivo de fomentar y desarrollar las habilidades motrices finas mediante entornos de realidad extendida. Tanto en el proyecto presentado como en el artículo de Sun et al. [23], se aborda el desarrollo de la motricidad fina a través de actividades específicas (uso de cubos en un entorno virtual versus manipulación precisa de agujas). Asimismo, el trabajo de Khasanah et al. [25] y el proyecto comparten el enfoque en el desarrollo de habilidades motrices en niños mediante actividades lúdicas, lo que demuestra la efectividad de entornos virtuales interactivos para lograr este fin.

El estudio de Fu y Ji [26], además de compartir el mismo propósito, aborda una población similar al considerar a niños y adolescentes con dificultades en el desarrollo, lo que complementa el objetivo del proyecto actual al tratar de ampliar su rango de aplicación a niños con discapacidades. Igualmente, el trabajo de Restrepo et al. [27] destaca el uso de realidades extendidas para crear entornos inclusivos dirigidos a niños con diversas necesidades sensoriales, una meta similar a la de este proyecto, que busca ser accesible e inclusivo para diferentes perfiles de usuarios.

##### **Diferencias**

A pesar de las similitudes, existen diferencias importantes en el enfoque y la metodología. Mientras que el proyecto se centra en el desarrollo de una experiencia

de juego lineal y lúdica para niños, los trabajos de Sun et al. [23] y Hellmuth et al. [24] están más orientados hacia usuarios adultos, específicamente en ámbitos profesionales (acupuntura) y técnicos (posicionamiento de objetos 3D). Además, estos últimos emplean tecnologías más avanzadas y específicas, como simulaciones realistas de procedimientos médicos y pruebas comparativas de diferentes métodos de interacción.

Por otro lado, el artículo de Restrepo et al. [27] se distingue por su enfoque en la diversidad sensorial y la narrativa, lo que amplía el alcance del aprendizaje inclusivo, mientras que este proyecto se centra únicamente en la motricidad fina. Sin embargo, ambos comparten el uso de realidades extendidas como herramienta principal de intervención.

### **Ventajas**

El principal valor agregado del proyecto respecto a los trabajos relacionados es su enfoque específico en la motricidad fina infantil en el marco de la Escala Abreviada de Desarrollo 3 (EAD3). Además, el uso del Mixed Reality Toolkit (MRTK) para la interacción en un entorno de realidad mixta garantiza una experiencia inmersiva intuitiva y adaptada a las capacidades de los niños, lo que lo diferencia de los trabajos que utilizan realidad aumentada en dispositivos móviles, como el de Hellmuth et al. [24].

Finalmente, el uso de Unity como motor de desarrollo, en combinación con MRTK, proporciona una gran compatibilidad con dispositivos avanzados como HoloLens 2, a diferencia de otros estudios que utilizan dispositivos móviles o entornos más limitados en cuanto a interacción y realismo.

### **Limitaciones**

A pesar de sus ventajas, el proyecto presenta algunas limitaciones. Una de las principales es la complejidad en la manipulación de objetos virtuales mediante el MRTK, lo que se tradujo en dificultades durante el desarrollo de actividades como el ensartado de cordones, limitando el alcance de ciertas propuestas iniciales. Esta limitación es similar a la mencionada en el trabajo de Hellmuth et al. [24], donde el posicionamiento preciso de objetos en entornos de realidad aumentada también planteó desafíos técnicos significativos.

Además, aunque se logra una experiencia inmersiva y adecuada para los niños, la dependencia de dispositivos avanzados como HoloLens 2 restringe el acceso al sistema, lo que limita su aplicación a entornos específicos con recursos tecnológicos disponibles, a diferencia de los estudios de Khasanah et al. [25] y Fu y Ji [26], que utilizan tecnologías más accesibles como la realidad aumentada en dispositivos móviles.

# Capítulo 4

## Metodología, Análisis y Actividades

### 4.1. Metodología

#### 4.1.1. Prototipado Evolutivo

El prototipado evolutivo es una metodología de desarrollo de software que se caracteriza por construir el sistema de manera incremental y iterativa, creando prototipos funcionales que evolucionan progresivamente hasta convertirse en el producto final. A diferencia del prototipado desechable (donde los prototipos se usan solo como referencia y luego se eliminan), en el prototipado evolutivo los prototipos iniciales sirven como base para el desarrollo continuo, refinándose y ampliándose a medida que avanza el proyecto. [28]

El objetivo principal es permitir un ciclo continuo de desarrollo, retroalimentación y ajuste que garantice que el producto final cumpla con los requisitos del usuario y se adapte a las condiciones cambiantes del entorno. Este enfoque se apoya en la interacción constante con los *stakeholders* y en la flexibilidad para modificar el sistema en respuesta a nuevas necesidades o descubrimientos realizados durante el proceso.

#### 4.1.2. Principios Fundamentales

- **Desarrollo Incremental:** El sistema se construye por etapas, añadiendo funcionalidades de manera gradual en cada iteración.
- **Iteración Continua:** Cada versión del prototipo es evaluada y refinada con base en retroalimentación constante.
- **Colaboración con los Usuarios:** Los usuarios finales participan activamente



en el proceso, brindando opiniones y detectando problemas o áreas de mejora.

- **Adaptabilidad:** Los requisitos no se consideran completamente fijos al inicio del proyecto; en cambio, se espera que evolucionen con el tiempo.

### 4.1.3. Fases del Prototipado Evolutivo

1. **Identificación de Requisitos Iniciales:** Se recolecta la información inicial sobre las necesidades del usuario, priorizando los aspectos más críticos del sistema.
2. **Desarrollo del Primer Prototipo:** Se crea una versión básica del sistema que aborde los requisitos esenciales. Este prototipo puede ser funcional o una representación visual de las características principales.
3. **Evaluación y Retroalimentación:** Los usuarios prueban el prototipo y proporcionan retroalimentación sobre su funcionalidad, diseño y usabilidad.
4. **Refinamiento del Prototipo:** Con base en los comentarios recibidos, se realizan ajustes y mejoras al prototipo, incorporando nuevas funcionalidades o resolviendo problemas identificados.
5. **Repetición del Ciclo:** El proceso de evaluación y refinamiento se repite tantas veces como sea necesario hasta que el prototipo evoluciona hacia el producto final.

### 4.1.4. Ventajas del Prototipado Evolutivo

- Flexibilidad
- Enfoque en el Usuario
- Reducción de Riesgos
- Mejor Comunicación

### 4.1.5. Desventajas del Prototipado Evolutivo

- Alcance Indefinido
- Costos Adicionales
- Dependencia de los Usuarios

#### 4.1.6. Prototipado Evolutivo como Metodología del Proyecto

El prototipado evolutivo es una metodología de desarrollo de software en la que el sistema se construye de manera incremental, mediante la creación de versiones sucesivas del prototipo. Este enfoque permite un ciclo continuo de desarrollo, retroalimentación y refinamiento, lo que facilita la adaptación del producto final a los requerimientos del usuario y a las condiciones específicas del entorno.

En el contexto de un sistema de realidades mixtas para el desarrollo de la coordinación motora fina en niños, el prototipado evolutivo es especialmente útil, ya que el público objetivo (niños de temprana edad) tiene características particulares que requieren una validación constante de la usabilidad y la efectividad del sistema. Además, los sistemas de realidad mixta involucran tecnologías emergentes y entornos complejos donde es necesario ajustar iterativamente la interacción entre el usuario y los elementos virtuales.

Teniendo en cuenta lo anterior, algunas de las principales ventajas al usar esta metodología son las siguientes:

- **Adaptabilidad a los requerimientos cambiantes**

Una de las principales ventajas del prototipado evolutivo es su capacidad para adaptarse a cambios en los requisitos. En el desarrollo de sistemas innovadores como los de realidad mixta, los requerimientos suelen evolucionar a medida que se comprenden mejor las necesidades de los usuarios y las posibilidades tecnológicas.

- **Mejora continua del producto**

Al incorporar retroalimentación en cada iteración, el sistema se mejora de manera continua, lo que garantiza un resultado final más robusto, intuitivo y adaptado a las necesidades del usuario.

- **Evaluación constante de la usabilidad**

La metodología permite realizar pruebas de usabilidad en cada ciclo, lo que es fundamental para asegurar que el sistema de realidad mixta sea accesible, intuitivo y eficaz en el desarrollo de la motricidad fina.

- **Reducción del riesgo**

Al trabajar con versiones funcionales desde etapas tempranas, se pueden identificar y resolver problemas de manera oportuna, reduciendo el riesgo de desarrollar un sistema que no cumpla con los objetivos esperados.

- **Detección temprana de errores**

Al contar con prototipos funcionales en cada iteración, es posible identificar errores de diseño o de implementación en etapas tempranas, lo que reduce los costos de corrección y evita problemas graves en las fases finales del desarrollo.

- **Mayor involucramiento de los usuarios**

El prototipado evolutivo fomenta la participación activa de los usuarios y expertos durante todo el proceso de desarrollo. Esto es crucial en un sistema orientado a niños, ya que sus necesidades específicas deben ser validadas constantemente por especialistas en pedagogía y desarrollo infantil.

## 4.2. Actividades

### 1) Fase de Planificación e Identificación de Requisitos Iniciales

- **Objetivo:** Comprender las necesidades de los niños, terapeutas y expertos en psicomotricidad para definir las funcionalidades principales del sistema.
- **Actividades:**
  - Entrevistas y encuestas con terapeutas y profesores especializados en coordinación motora fina.
  - Investigación sobre juegos y actividades que fomenten habilidades motoras finas.
  - Priorización de funcionalidades clave, como seguimiento de movimientos, retroalimentación visual/audio y detección de gestos con HoloLens 2.
- **Entregables:**
  - Documento de requisitos iniciales con descripciones detalladas de actividades específicas, como apilar objetos virtuales o realizar trazos finos en el aire.
  - Cronograma del proyecto con iteraciones definidas.

### 2) Desarrollo del Primer Prototipo

- **Objetivo:** Construir una versión funcional básica del sistema de realidades mixtas con actividades simples.
- **Actividades:**
  - Implementación inicial del seguimiento de manos con HoloLens 2.
  - Desarrollo de un juego básico, como mover bloques virtuales de un lugar

a otro.

- Diseño de una interfaz sencilla y amigable para niños, con colores llamativos y elementos visuales claros.

■ **Entregables:**

- Primer prototipo funcional que permita completar una tarea básica.

### 3) Evaluación Inicial y Recolección de Retroalimentación

- **Objetivo:** Validar el prototipo inicial con terapeutas y niños, recolectando observaciones sobre usabilidad y efectividad.

■ **Actividades:**

- Realizar pruebas piloto en el Instituto de Niños Ciegos y Sordos, utilizando actividades diseñadas para mejorar la coordinación motora fina.
- Registro de dificultades encontradas por los niños, como problemas para entender las instrucciones o manipular los objetos virtuales.
- Obtención de retroalimentación de terapeutas sobre la utilidad del sistema en sus terapias.

■ **Entregables:**

- Informe de retroalimentación con observaciones detalladas.
- Lista de mejoras identificadas, como simplificación de las instrucciones o ajustes en la detección de movimientos.

### 4) Refinamiento y Desarrollo Incremental

- **Objetivo:** Incorporar mejoras al prototipo y añadir nuevas funcionalidades basadas en la retroalimentación recibida.

■ **Actividades:**

- Refinamiento de las actividades iniciales para facilitar su comprensión sin necesidad de asistencia constante.
- Implementación de nuevas actividades que involucren gestos más complejos, como girar objetos o dibujar formas específicas.
- Optimización del rendimiento del sistema, reduciendo errores en la detección de movimientos y mejorando la estabilidad.

- **Entregables:**

- Segunda versión del prototipo con funcionalidades ampliadas.
- Informe de cambios realizados y su impacto en la experiencia del usuario.

## 5) Pruebas Extensivas con Usuarios Finales

- **Objetivo:** Evaluar el impacto del sistema en el desarrollo de habilidades motoras finas en niños.

- **Actividades:**

- Realización de sesiones de prueba prolongadas en el Instituto de Niños Ciegos y Sordos.
- Comparación de resultados entre niños que utilizaron el sistema y aquellos que siguieron métodos tradicionales.
- Análisis del nivel de participación y disfrute de los niños durante las sesiones.

- **Entregables:**

- Datos cuantitativos y cualitativos sobre la experiencia de los usuarios.

## 6) Entrega del Producto Final

- **Objetivo:** Presentar un sistema consolidado y listo para su uso en entornos terapéuticos.

- **Actividades:**

- Incorporación de ajustes finales al prototipo.
- Presentación del sistema final a los stakeholders.

- **Entregables:**

- Producto final optimizado para uso terapéutico.

## 7) Seguimiento Post-Entrega

- **Objetivo:** Monitorear el uso del sistema en el entorno real y garantizar su efectividad.

- **Actividades:**

- Recolección de datos sobre el uso a largo plazo en el Instituto de Niños Ciegos y Sordos.
  - Soporte técnico para resolver problemas que surjan durante el uso cotidiano.
  - Recomendaciones para futuras versiones del sistema.
- **Entregables:**
- Informe de desempeño post-implementación.
  - Recomendaciones para proyectos futuros basados en el prototipo.

# Capítulo 5

## Educción de Requerimientos

En el desarrollo de un sistema basado en realidades expandidas para fomentar el desarrollo de la motricidad fina en niños, es fundamental establecer requisitos claros y específicos. Estos requisitos proporcionan una base sólida para guiar el diseño, implementación y evaluación del proyecto, asegurando que las necesidades tanto de los usuarios finales como de los involucrados en su implementación sean atendidas.

Para estructurar esta información, los requisitos se clasifican en tres categorías principales:

- **Requisitos de investigación:** Estos están enfocados en los aspectos exploratorios y de conocimiento previo. Incluyen el análisis de tecnologías existentes, metodologías pedagógicas, y el estudio de las necesidades específicas de la población objetivo. Esta etapa asegura una comprensión profunda del problema y su contexto.
- **Requisitos funcionales:** Representan las características y funcionalidades que el sistema debe cumplir para lograr los objetivos del proyecto. Incluyen desde la interacción con el usuario hasta la integración de tecnologías específicas, garantizando una experiencia efectiva y personalizada para los niños.
- **Requisitos no funcionales:** Describen las propiedades de calidad que el sistema debe poseer, como el rendimiento, la usabilidad, la seguridad y la escalabilidad. Estos garantizan que el sistema no solo cumpla con sus funciones, sino que también lo haga de manera eficiente y segura.

En las secciones siguientes, se presentan las tablas correspondientes a cada tipo de requisito, con una descripción detallada que facilitará su comprensión y aplicación en las etapas de desarrollo del proyecto.

<b>ID</b>	<b>Descripción</b>
RI-01	Revisar los avances en realidad mixta (MR) aplicados al aprendizaje infantil.
RI-02	Identificar juegos o actividades virtuales exitosas en terapias psicomotoras.
RI-03	Investigar el impacto de los dispositivos MR en el desarrollo físico y cognitivo infantil.
RI-04	Evaluar cómo los niños interactúan con interfaces tecnológicas: preferencia táctil, voz o movimiento.
RI-05	Explorar enfoques pedagógicos que utilizan tecnología para enseñar habilidades motoras.
RI-06	Analizar las capacidades motrices comunes en niños de diferentes edades.
RI-07	Determinar limitaciones de tiempo de uso en niños para prevenir fatiga o estrés tecnológico.
RI-08	Realizar encuestas a terapeutas y docentes para conocer sus necesidades y preocupaciones.
RI-09	Estudiar normas internacionales de ergonomía para dispositivos tecnológicos infantiles.
RI-10	Evaluar la necesidad de hardware complementario (sensores, guantes hápticos, cámaras de movimiento).

Cuadro 5.1: Requisitos de Investigación

### 5.0.1. Requisitos Funcionales

<b>ID</b>	<b>Descripción</b>
RF-01	Detectar movimientos manuales mediante cámaras o sensores con alta precisión.
RF-02	Incluir un sistema de recompensas visuales y auditivas para motivar a los niños.
RF-03	Ofrecer ejercicios de motricidad fina como unir puntos o ensamblar piezas virtuales.
RF-04	Proporcionar juegos de coordinación ojo-mano como encajar figuras geométricas en movimiento.

Cuadro 5.2: Requisitos Funcionales



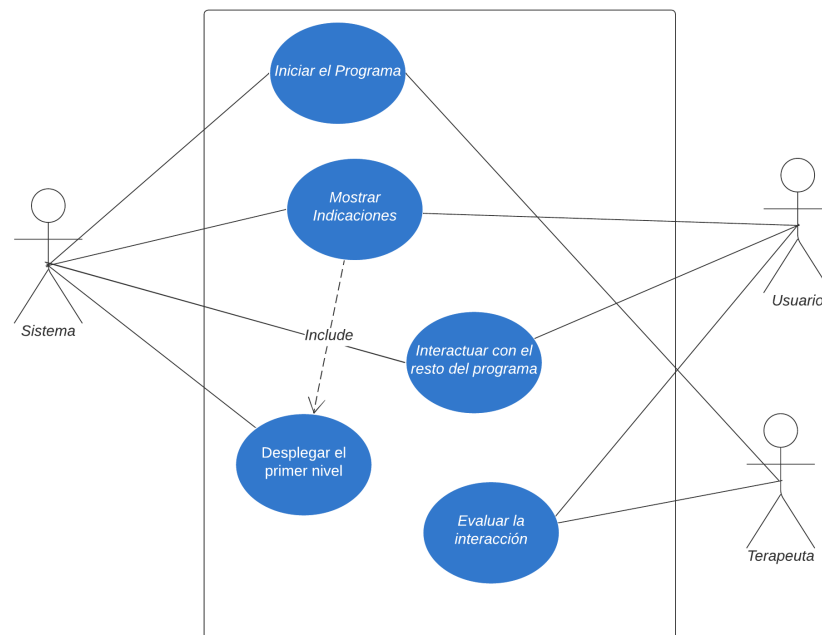
### 5.0.2. Requisitos No Funcionales

ID	Descripción
RNF-01	El tiempo de respuesta para detectar movimientos debe ser inferior a 100 ms.
RNF-02	Optimizar recursos para evitar sobrecalentamiento en dispositivos portátiles.
RNF-03	Cumplir con normativas éticas.
RNF-04	Diseñar una interfaz accesible e intuitiva para niños de 1 a 10 años.
RNF-05	Soportar resolución mínima de 1280x720 en dispositivos hololens.

Cuadro 5.3: Requisitos No Funcionales

A continuación se presenta el diagrama de casos de uso que refleja el objetivo a buscar en cuanto a la interacción del sistema con los niños y los terapeutas implicados.

Diagrama de Casos de Uso Interacción Aplicación Hololens 2



# Capítulo 6

## Solución y Diseño

### 6.1. Descripción General

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una aplicación en forma de videojuego de realidad mixta, diseñada específicamente para fomentar el desarrollo de las capacidades motrices finas en niños de edad temprana y mediana. La propuesta se fundamenta en la incorporación de actividades lúdicas cuidadosamente seleccionadas, con el fin de ofrecer una experiencia amigable y atractiva para los niños, que facilite la adquisición y mejora de sus habilidades motoras finas. Estas actividades se alinean con las indicaciones sobre el desarrollo de la motricidad fina desde temprana edad dadas por los especialistas del Instituto de Niños Ciegos y Sordos, y con los objetivos propuestos en la Escala Abreviada de Desarrollo 3 (EAD3) [17], un instrumento utilizado para evaluar y promover el desarrollo infantil.

El enfoque lúdico del proyecto no solo busca mejorar el compromiso y la motivación de los niños, sino también contribuir de manera efectiva al fortalecimiento de su coordinación y precisión manual, habilidades esenciales en el proceso de aprendizaje y desarrollo infantil. Además, al emplear realidad mixta como tecnología central, se pretende ofrecer una experiencia inmersiva que enriquezca el entorno de aprendizaje, permitiendo a los niños interactuar de manera natural e intuitiva con el entorno virtual y físico, lo que potencia su capacidad de concentración y atención.

Un aspecto fundamental de la propuesta es su enfoque en la accesibilidad, de manera que también pueda ser utilizada por niños con discapacidades motoras, visuales o cognitivas. La realidad mixta ofrece una gran ventaja en este sentido, ya que permite adaptar la interacción a las necesidades específicas de cada usuario mediante el uso de interfaces personalizables y tecnología de seguimiento de movimientos. Con estas adaptaciones, se espera que la aplicación pueda ser utilizada de manera efectiva por una población infantil más amplia, brindando oportunidades equitativas de aprendizaje y desarrollo. Al ampliar el rango de accesibilidad, el proyecto no solo incrementa su efectividad, sino que también contribuye a la inclusión social y

educativa, permitiendo que niños con diferentes capacidades puedan beneficiarse de las mismas actividades lúdicas y terapéuticas.

Este proyecto también tiene una vertiente exploratoria, ya que busca investigar las capacidades y posibilidades que ofrece la realidad mixta en el ámbito de la educación y el desarrollo infantil. Al integrar tecnologías innovadoras, se espera generar un impacto significativo tanto en el ámbito de la salud, al apoyar procesos de rehabilitación y mejora de habilidades motrices, como en el ámbito tecnológico, al sentar las bases para futuras aplicaciones en entornos educativos y terapéuticos.

El diseño de la experiencia de juego se realizó con un enfoque centrado en la usabilidad y la simplicidad, considerando las necesidades específicas de los niños como usuarios finales. La solución propuesta ofrece una experiencia lineal y directa, minimizando el riesgo de que los niños se desorienten o experimenten dificultades al interactuar con el sistema. Para lograr esto, se implementaron controles intuitivos y acciones sencillas, asegurando que cada interacción sea accesible y comprensible, incluso para aquellos con poca o ninguna experiencia previa en entornos de realidad mixta. A pesar de la simplicidad del diseño, se garantiza que cada actividad contribuya de manera efectiva al desarrollo de las habilidades motoras finas.

## 6.2. Diagramas

A continuación se describen los diagramas de caso de uso iniciales que se diseñaron para las actividades propuestas inicialmente. Así mismo también se describe la interfaz de usuario inicial planteada para el programa.

### 6.2.1. Diagrama de Casos de Uso

Con base en los requerimientos del sistema, se elaboró el diagrama de casos de uso [Figura 6.1], el cual presenta las diferentes acciones que pueden realizar los usuarios: el niño participante y el guía experto.

El guía experto desempeña un rol fundamental, ya que es quien tiene la capacidad de iniciar y supervisar las actividades, asegurando que estas se ejecuten de manera adecuada. Por otro lado, el niño participante tiene un rol restringido a la realización de las actividades según las indicaciones proporcionadas, lo que facilita su enfoque en el desarrollo de las habilidades motrices sin distracciones adicionales.

### 6.2.2. Interfaz de Usuario

La interfaz inicial del sistema [Ver Figura 6.2, Figura 6.3 y Figura 6.4] se diseñó siguiendo principios de usabilidad y considerando al usuario final, en este caso, niños de temprana edad. Por ello, se priorizó la simplicidad y claridad en la presentación de las actividades, asegurando que fueran fáciles de comprender y realizar. No obstante, a lo largo del desarrollo, y en concordancia con la metodología empleada, se

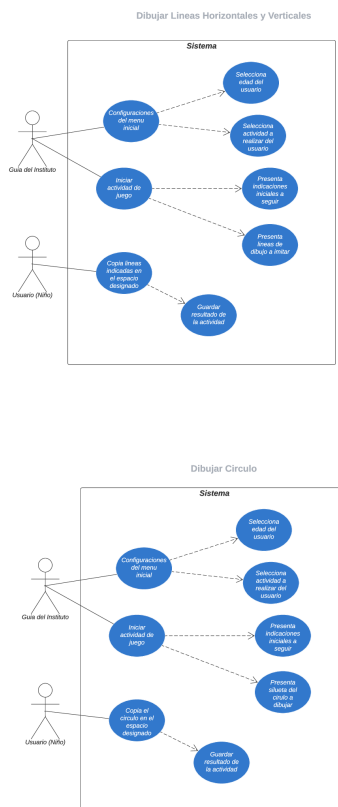


Figura 6.1: Diagramas de Caso de Uso Inicial.

realizaron múltiples ajustes en el diseño tras diversos ciclos de pruebas y la retroalimentación proporcionada por expertos, lo que permitió mejorar significativamente la experiencia del usuario final.

## 6.3. Diseño

### 6.3.1. Diseño de Videojuegos

En este proyecto se diseñaron y desarrollaron un total de tres diferentes experiencias de actividades en realidad mixta, orientadas específicamente a fomentar el desarrollo de la motricidad fina en niños. Estas actividades fueron concebidas teniendo en cuenta principios pedagógicos y lúdicos, con el objetivo de ofrecer una experiencia accesible, divertida y efectiva.

En primera instancia, se tomó como referencia la Escala Abreviada de Desarrollo 3 (EAD3) [17] para identificar y seleccionar aquellas actividades que fomentaran de manera más eficaz el desarrollo de las habilidades motoras finas. La elección de estas actividades se basó no solo en su capacidad de estimular dichas habilidades, sino también en su viabilidad de ser implementadas en un entorno de realidad mixta, manteniendo siempre un enfoque de simplicidad y facilidad de uso para los niños.

Aparece una libreta flotante que le dice al niño que debe hacer y le aparecerá un lápiz en la mano lo que le permitirá hacer la línea. Luego ocurre lo mismo con las líneas horizontales, para luego terminar con el círculo

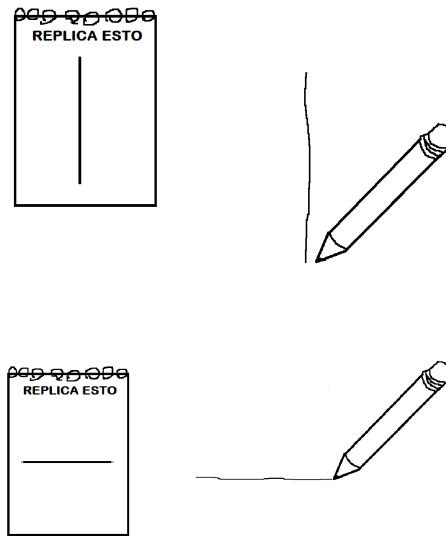


Figura 6.2: Diseño de la Interfaz Inicial.

Entre las diversas actividades evaluadas para el desarrollo del proyecto, se seleccionaron las siguientes: “Modelo de cubos ‘escalera’”, “Copia círculo” y “Ensarta cordón cruzado (cómo amarrarse los zapatos)”. Estas actividades se escogieron cuidadosamente debido a su capacidad para fomentar las habilidades motoras finas y su viabilidad para ser implementadas en un entorno de realidad mixta de manera accesible y entretenida para los niños.

La primera actividad, “Modelo de cubos ‘escalera’” [Figura 6.5], fue seleccionada por varias razones. En primer lugar, el uso de cubos en un entorno tridimensional ofrece múltiples oportunidades de interacción gracias a las seis caras de cada cubo, lo que permite explorar diferentes formas de manipulación y rotación. Esta característica resulta clave para el desarrollo de la coordinación motora fina, ya que los niños deben utilizar ambas manos para girar y posicionar correctamente los cubos en el espacio virtual. Además, la actividad integra un componente lúdico adicional al requerir que los niños combinen correctamente imágenes de animales impresas en las caras de los cubos. Esta tarea no solo estimula la coordinación ojo-mano, sino que también incentiva la percepción espacial y la capacidad de resolver problemas de manera creativa.

Por otro lado, la segunda actividad “Copia círculo” [Figura 6.6] se centró en mejorar la precisión del trazo y el control de los movimientos de las manos. En este

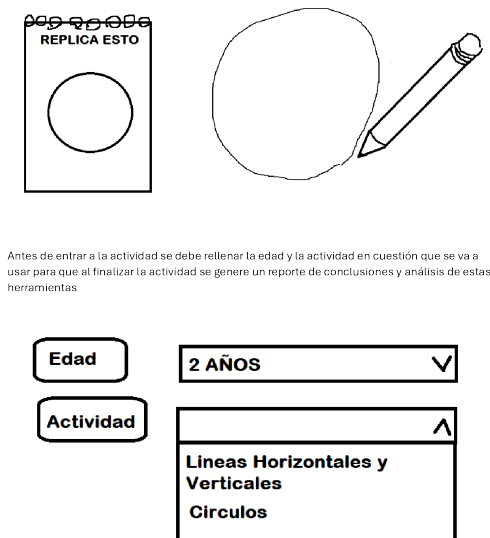


Figura 6.3: Diseño de la Interfaz Inicial.

ejercicio, el niño debe trazar círculos sobre una superficie virtual, lo que requiere mantener un trazo estable y continuo. Este tipo de actividad es fundamental para afinar la motricidad fina, ya que exige precisión en los movimientos de los dedos y un adecuado control del lápiz virtual. La simplicidad de la tarea permite a los niños concentrarse en el perfeccionamiento de sus habilidades motoras básicas sin sentirse abrumados.

Finalmente, la tercera actividad, titulada “Ensarta cordón cruzado (cómo amarrarse los zapatos)”, está diseñada para desarrollar y reforzar la motricidad fina del niño. En la actividad original, el niño debe pasar cuidadosamente un cordón a lo largo de los ojales de un zapato y concluir con un nudo. Para su adaptación en un entorno de realidad mixta, se planificó inicialmente que el niño tomara un cordón virtual y siguiera una guía visual que indicara cómo ensartarlo correctamente a través de los ojales del zapato digital hasta completar el proceso.

Sin embargo, tras la realización de varias pruebas de los participantes del proyecto, se identificaron dificultades significativas al intentar insertar el cordón virtual de manera precisa en los ojales, lo que generaba frustración y entorpecía la experiencia de aprendizaje. Considerando estos inconvenientes y con el fin de mantener un nivel adecuado de desafío sin comprometer la accesibilidad, se optó por rediseñar la actividad. La nueva propuesta consiste en que el niño tome un lazo virtual y realice

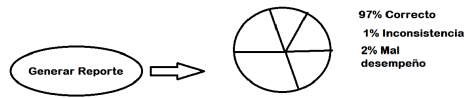


Figura 6.4: Diseño de la Interfaz Inicial.

un amarre sencillo siguiendo una guía visual, lo que facilita la comprensión de la tarea y reduce la complejidad técnica sin perder el objetivo principal de fomentar el desarrollo de la motricidad fina. Este enfoque permite un mejor equilibrio entre la diversión, la accesibilidad y el aprendizaje en el entorno de realidad mixta.

### 6.3.2. Integración de los Videojuegos

Para esta propuesta, se decidió desarrollar los videojuegos en un único proyecto de Unity con el objetivo de ofrecer una experiencia lineal, fluida y coherente que integre todas las actividades propuestas. Esta estrategia permite no solo simplificar el flujo de navegación para los niños, asegurando que puedan avanzar de manera intuitiva entre las distintas etapas del juego, sino también realizar pruebas exhaustivas del sistema en su conjunto. Al concentrar todo en un solo proyecto, se facilitó la evaluación continua de la experiencia completa, desde la interacción inicial con la interfaz hasta el desempeño en cada actividad. Asimismo, esta decisión optimiza la gestión del proyecto, permitiendo un control más preciso sobre el diseño de la interfaz, la implementación de los elementos gráficos y la lógica de las mecánicas de juego.

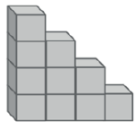
32. Modelo de cubos "escalera".		
Condición de observación	Criterio de respuesta	Materiales
Muéstrele al niño(a) cómo construir una escalera con 10 cubos, adviértale: "Mira bien esta escalera, yo voy a tumbarla y tú deberás hacerla de nuevo".	Puntúe si el niño(a) reproduce correctamente en un único intento la escalera con los 10 cubos tal y como está en el modelo presentado a continuación:  	10 cubos

Figura 6.5: Actividad EAD3 Modelo de cubos ‘escalera’.



26. Copia círculo.		
Condición de observación	Criterio de respuesta	Materiales
Muéstrele al niño(a) cómo dibujar un círculo y solicítele que haga lo mismo, "Pinta uno como éste".	Puntúe si el niño(a) logra reproducir el círculo, el círculo debe cerrarse (si hay una apertura debe ser inferior a 3mm), el dibujo no puede estar formado por líneas rectas y no puede estar compuesto por varios trazos superpuestos. No se requieren trazos perfectos.  <b>Cumple:</b>   <b>No cumple:</b> 	1 hoja de papel 1 crayón

Figura 6.6: Actividad EAD3 Copia círculo.

### 6.3.3. Finalidad de la Propuesta

Ambas actividades se diseñaron para ofrecer una experiencia accesible, divertida y efectiva, permitiendo a los niños aprender y desarrollar sus capacidades mientras interactúan con elementos virtuales. La inclusión de entornos tridimensionales, gráficos amigables y desafíos progresivos contribuye a mantener la atención y el interés de los niños durante toda la experiencia. Además, estas actividades promueven no solo el desarrollo físico, sino también habilidades cognitivas como la concentración, la resolución de problemas y la memoria visual. Este enfoque integral busca maximizar el impacto positivo del sistema de realidad mixta en el desarrollo infantil, ofreciendo una herramienta innovadora y atractiva que facilita el aprendizaje mediante el juego.



# Capítulo 7

## Implementación

### 7.1. Dispositivos de Desarrollo

En este capítulo de implementación, se detallarán inicialmente los dispositivos empleados en la realización del proyecto. A continuación, se presentará una descripción de las herramientas y tecnologías utilizadas, para luego exponer el proceso completo de desarrollo de los videojuegos los cuales se pueden verificar y constatar en el repositorio [29].

#### 7.1.1. Computador de Escritorio

- Procesador: Intel Core i5-12600KF
- CPU: 10 núcleos con 6 núcleos de rendimiento y 4 de eficiencia
- GPU: GeForce RTX 4060 Ti
- RAM: 32 GB

#### 7.1.2. Hololens 2

Las HoloLens 2 [30] cuentan con un procesador Qualcomm Snapdragon 850, diseñado específicamente para ofrecer un rendimiento óptimo en aplicaciones de realidad mixta. Equipadas con un sistema avanzado de sensores, incluyen cámaras de seguimiento ocular y un sensor de profundidad de tiempo de vuelo, lo que permite un seguimiento preciso de las manos y el entorno.

Estas características hacen posible interacciones naturales y precisas, como la manipulación directa de hologramas y el control mediante gestos. Además, su capacidad de mapear espacios en 3D en tiempo real las convierte en una herramienta ideal para aplicaciones de realidad aumentada (RA) y realidad mixta (RM), ofreciendo

una experiencia inmersiva y adaptable a una amplia gama de escenarios, desde la educación hasta la industria.

La selección de los *HoloLens 2* como dispositivo principal para el desarrollo del sistema no fue arbitraria, sino que respondió a diversas restricciones externas y objetivos específicos del proyecto. Una de las principales razones fue la disponibilidad de esta herramienta tanto en la universidad como en el Instituto de Niños Ciegos y Sordos, lo que permitió no solo el desarrollo del sistema, sino también la posibilidad de realizar pruebas de manera continua y en un entorno real. Esta accesibilidad facilitó la validación del sistema con los usuarios finales, asegurando que las actividades diseñadas fueran efectivas y adaptadas a las necesidades del público objetivo.

Adicionalmente, los *HoloLens 2* ofrecen capacidades avanzadas en entornos de realidad mixta, permitiendo un seguimiento preciso de movimientos manuales y la integración de experiencias interactivas complejas. Estas características, junto con un ecosistema de desarrollo robusto y el cumplimiento de los requisitos técnicos del proyecto, hicieron que los *HoloLens 2* fueran la opción más adecuada para alcanzar los objetivos de investigación y desarrollo.

## 7.2. Herramientas de Desarrollo

### 7.2.1. Unity

Unity fue el motor de desarrollo elegido para implementar las dos actividades de juego de realidad mixta desarrolladas. En este entorno, se crearon los espacios virtuales y se integraron las funcionalidades necesarias utilizando el Mixed Reality Toolkit (MRTK), lo que permitió aprovechar las capacidades de realidad mixta de manera eficiente y efectiva.

Además, Unity fue elegido sobre otros motores como Unreal debido a su facilidad de uso, su amplia compatibilidad con dispositivos y tecnologías como el Mixed Reality Toolkit (MRTK), y su gran biblioteca de assets gratuitos. A diferencia de Unreal, que ofrece una curva de aprendizaje más pronunciada y una mayor complejidad en su uso para proyectos de realidad mixta, Unity proporciona un entorno de desarrollo más accesible y flexible. Estas características permiten desarrollar prototipos de manera rápida y eficiente, adaptándose a diversas plataformas y garantizando una experiencia inmersiva y fluida.

### 7.2.2. MRTK

El Mixed Reality Toolkit (MRTK) fue la herramienta principal utilizada para implementar las actividades de juego en realidad mixta. Este marco proporcionó un conjunto robusto de componentes y scripts predefinidos que facilitaron la creación de interacciones inmersivas y naturales, aprovechando al máximo las capacidades de dispositivos como el HoloLens 2.

El Mixed Reality Toolkit (MRTK) fue seleccionado principalmente por su enfoque modular y su integración directa con Unity, lo que permitió un desarrollo ágil y eficiente de las actividades de realidad mixta. A través de sus componentes predefinidos, MRTK facilitó la implementación de interacciones naturales, como el seguimiento de manos y la manipulación de objetos en un entorno 3D, reduciendo significativamente el tiempo de desarrollo y evitando la necesidad de programar desde cero funciones complejas. Además, MRTK es una herramienta ampliamente compatible con dispositivos de realidad mixta, como el HoloLens 2, lo que garantizó que el proyecto pudiera aprovechar al máximo las capacidades del hardware sin problemas de compatibilidad. Su flexibilidad, facilidad de uso y soporte de estándares abiertos fueron determinantes para su elección, asegurando una experiencia inmersiva y adaptable a las necesidades del proyecto.

### 7.3. Videojuegos

Se llevaron a cabo tres actividades diseñadas para promover el desarrollo de la coordinación motora fina en niños. Sin embargo, solo las dos primeras fueron completadas exitosamente. Estas actividades fueron desarrolladas con base en las orientaciones y guías proporcionadas por los especialistas e instructores del Instituto de Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, quienes brindaron los fundamentos teóricos y metodológicos necesarios para comprender cómo se desarrolla la motricidad fina desde edades tempranas y qué estrategias resultan más efectivas para su estimulación.

El apoyo de estos expertos permitió seleccionar actividades adecuadas a las necesidades y capacidades de los niños, garantizando que cada ejercicio contribuyera significativamente al fortalecimiento de la destreza manual, la precisión en los movimientos y la coordinación ojo-mano. Además, su asesoría resultó fundamental para comprender la importancia de la estimulación sensorial y la adaptabilidad de los materiales, asegurando que cada tarea fuera accesible e inclusiva para todos los participantes.

A continuación, se presentan en detalle las dos actividades finalizadas junto con la tercera desarrollada pero sin pasar a etapa productiva, describiendo su proceso de desarrollo.

#### 7.3.1. Actividad Juego de Cubos

Para el desarrollo de esta actividad, se tomó como referencia la actividad número 32, denominada “Modelo de cubos ‘escalera’”, del apartado de motricidad fino-adaptativa de la Escala Abreviada de Desarrollo 3 (EAD3) [17]. En la actividad original, se sugiere que el adulto muestre al niño cómo construir una escalera utilizando los 10 cubos disponibles, para luego derribarla y pedirle que la reconstruya de manera autónoma.

En la versión adaptada para realidad mixta, se mantuvo el uso de cubos como elemento principal de la actividad, pero se modificó el objetivo original. Inicialmente, la actividad planteaba construir una escalera, sin embargo, durante el proceso de implementación surgieron problemas técnicos relacionados con el comportamiento físico de los objetos manipulables mediante MRTK. Específicamente, al intentar apilar los cubos, se observó un comportamiento indeseado donde los objetos “resbalaban” o “temblaban” al estar uno encima del otro, lo que dificultaba significativamente el éxito de la tarea para los niños.

Dado que este inconveniente comprometía la jugabilidad y frustraba el propósito de la actividad, se decidió rediseñar el objetivo. En lugar de construir una escalera, se optó por una estructura estable de una pirámide con ranuras rectangulares diseñadas para insertar los cubos de manera estable. Además, con el propósito de fomentar el aprendizaje de la naturaleza y el reconocimiento de animales, cada cubo presenta la imagen de un animal distinto, que también se encuentra representada en el fondo de una de las ranuras de la pirámide. [Figura 7.1] También, las imágenes al fondo de las ranuras están rotadas en una de las cuatro posibles direcciones del eje X, lo que añade un desafío adicional: el niño debe alinear correctamente tanto la imagen como la orientación del cubo al insertarlo.

Finalmente, este cambio en la actividad no solo presentó una solución al problema hallado sino que además implicó una mejora en la actividad al incluir rotaciones de los cubos en esta.

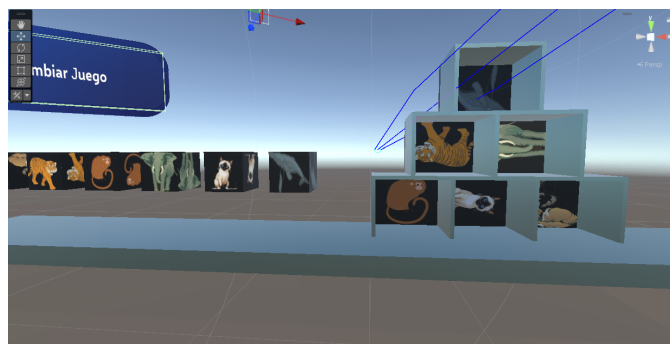


Figura 7.1: Actividad Realidad Mixta Juego de Cubos.

La creación del escenario virtual se realizó utilizando los recursos predefinidos ofrecidos por Unity, como los modelos tridimensionales de cubos y superficies. Estos elementos básicos fueron empleados para construir la pirámide y las ranuras rectangulares, manteniendo un diseño simple y accesible para los niños. La integración con el módulo Mixed Reality Toolkit (MRTK) permitió implementar la capacidad de manipular los cubos en un entorno tridimensional mediante gestos, de modo que los niños pudieran interactuar de manera natural con los objetos y situarlos correctamente en las ranuras correspondientes.

Para lograr esta interacción, se utilizaron scripts propios de MRTK que gestionan el reconocimiento de gestos y la manipulación de objetos. Adicionalmente, se

desarrollaron scripts personalizados para manejar la detección de coincidencia entre los cubos y las ranuras.

Finalmente, las imágenes de los animales utilizadas en los cubos y en el fondo de las ranuras fueron obtenidas de páginas web de uso libre, garantizando su disponibilidad y cumplimiento de las licencias correspondientes. Esto permitió enriquecer la actividad con contenido visual atractivo y educativo.

### 7.3.2. Actividad Vuelo del Condor

Para el desarrollo de esta actividad, se tomó como referencia la actividad número 26 del apartado de motricidad fino-adaptativa de la Escala Abreviada de Desarrollo 3 (EAD3) [17], titulada “Copia círculo”. En la actividad original, se indica al instructor que debe mostrar al niño cómo dibujar un círculo y luego solicitarle que copie la figura, utilizando la instrucción “Pinta uno como este”. Sin embargo, en la versión adaptada a realidad mixta, se amplió el concepto para permitir que los niños dibujen no solo círculos, sino cualquier forma indicada por el instructor, fomentando así la creatividad y el desarrollo de habilidades motoras finas.

El escenario virtual cuenta con un lápiz 3D flotante, que al ser manipulado traza una línea por donde pasa, permitiendo a los niños dibujar en el espacio de manera libre. [Figura 7.2] Tras un tiempo predeterminado de dibujo, aparece un cóndor que recorre el trazo de inicio a fin, brindando un estímulo visual adicional y fomentando el reconocimiento de los animales, en este caso, el cóndor de los Andes, una especie en peligro de extinción. Esta representación no solo aporta un valor lúdico a la actividad, sino que también promueve el aprendizaje sobre la fauna autóctona.

El modelo del lápiz fue tomado de los assets gratuitos disponibles en Unity, mientras que la funcionalidad de dibujar un trazo se implementó utilizando las características nativas de Line Renderer. Además, se integró MRTK para permitir que el lápiz pudiera ser manipulado libremente en un entorno tridimensional, haciendo uso de los scripts propios del toolkit para el control de gestos y la manipulación de objetos. Se desarrollaron scripts personalizados adicionales que gestionan la aparición del cóndor, su recorrido a lo largo del trazo y el control del tiempo de dibujo.

El modelo del cóndor y sus animaciones fueron proporcionados por otro proyecto realizado por el mismo director de esta tesis, quien nos otorgó los permisos necesarios para su uso en esta actividad. Esto permitió incluir un elemento visual realista y bien animado que complementa la experiencia de los niños, haciendo la actividad más atractiva e inmersiva. [Figura 7.3]

### 7.3.3. Actividad Amarrar el Lazo

Para el desarrollo de esta actividad, se tomó como referencia la actividad número 36 del apartado de motricidad fino-adaptativa de la Escala Abreviada de Desarrollo

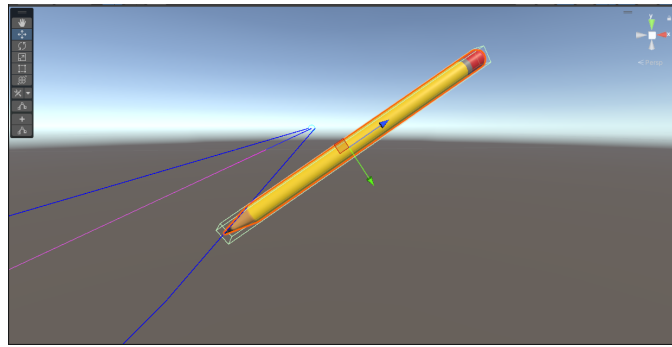


Figura 7.2: Actividad Realidad Mixta Vuelo del Condor, Modelo del Lapiz.

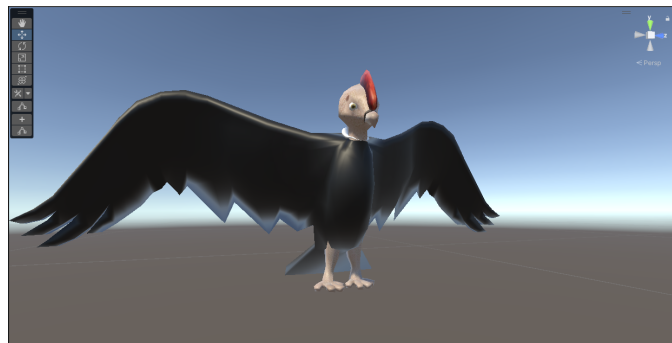


Figura 7.3: Actividad Realidad Mixta Vuelo del Condor, Modelo del Condor.

3 (EAD3) [17], titulada “Ensarta cordón cruzado (cómo amarrarse los zapatos)”. En la descripción de la actividad original, se indica lo siguiente: “Muéstrole al niño(a) cómo ponerle el cordón al modelo de los zapatos de enhebrado y hacer un nudo de ‘orejas’ o de ‘conejo’ y solicítele que haga lo mismo. No voltee el modelo para insertar el cordón”.

Inicialmente, se buscó emular de manera fiel la actividad original utilizando un modelo virtual de un zapato y un cordón, donde el niño debía ensartar el cordón entre los hoyuelos del zapato. Sin embargo, durante las pruebas realizadas con los estudiantes participantes del proyecto y seguidamente en las pruebas realizadas con el Instituto de Niños Ciegos y Sordos, surgieron dificultades significativas, principalmente al intentar insertar el cordón en los hoyuelos de manera precisa. Estas complicaciones se debieron en gran medida a la precisión requerida en la manipulación de los objetos virtuales, lo que resultó en una experiencia frustrante para los niños.

Como solución, se optó por simplificar la actividad, reemplazando el modelo del zapato y los hoyuelos por un solo lazo virtual que el niño debía amarrar. No obstante, esta nueva propuesta también presentó grandes dificultades, ya que el proceso de manipulación del lazo mediante el Mixed Reality Toolkit (MRTK) resultó complejo, debido a las limitaciones en la detección y seguimiento preciso de los gestos manuales, lo que impedía lograr un amarre exitoso de manera consistente.

# Capítulo 8

## Validación del Sistema y Resultados

### 8.1. Plan de Pruebas

La validación de un sistema basado en tecnologías de realidades mixtas requiere un enfoque que abarque tanto los aspectos técnicos como los pedagógicos y terapéuticos. Por ello, el plan de pruebas se diseñó con el objetivo de evaluar la funcionalidad, usabilidad y efectividad del prototipo en el contexto del desarrollo de la coordinación motora fina en niños. Este plan considera múltiples dimensiones para garantizar que el sistema cumple con los requerimientos definidos y que proporciona una experiencia enriquecedora y beneficiosa para los usuarios.

El plan de pruebas se dividió en etapas que permitieron un análisis progresivo, desde la verificación técnica hasta la evaluación con usuarios reales.

#### 8.1.1. Alcance de las Pruebas

El alcance de las pruebas incluye las siguientes áreas principales:

- Verificación de la funcionalidad principal del sistema, como la detección de movimientos manuales y la ejecución de actividades interactivas.
- Evaluación de la experiencia del usuario infantil en términos de accesibilidad, usabilidad e interacción.
- Pruebas de compatibilidad con dispositivos MR y hardware complementario, como guantes hápticos o cámaras.
- Evaluación de los indicadores de rendimiento del sistema, como tiempos de respuesta y estabilidad bajo diferentes cargas.

- Validación de la seguridad y protección de datos sensibles, incluyendo información almacenada sobre los niños.

Fuera del alcance:

- Pruebas relacionadas con dispositivos de hardware no soportados explícitamente en los requisitos iniciales.
- Evaluación de impacto clínico o terapéutico a largo plazo, ya que requiere estudios longitudinales.

### 8.1.2. Tipos de Pruebas

#### Pruebas Funcionales

Estas pruebas aseguran que las funcionalidades del sistema operen como se espera según los requisitos funcionales definidos. Ejemplos:

- Validación de actividades de motricidad fina, como ensamblar piezas virtuales o unir puntos.

#### Pruebas de Usabilidad

Estas pruebas evalúan la facilidad de uso del sistema para los usuarios principales (niños de 1 a 10 años) y secundarios (terapeutas y profesores). Ejemplos:

- Observación de la interacción de los niños con la interfaz.
- Identificación de elementos confusos o que puedan provocar frustración.
- Evaluación de la claridad de los mensajes de retroalimentación.

#### Pruebas de Rendimiento

Estas pruebas validan que el sistema cumpla con los requisitos no funcionales relacionados con tiempos de respuesta, estabilidad y eficiencia. Ejemplos:

- Medición del tiempo de respuesta para la detección de movimientos (menor a 100 ms).
- Evaluación del consumo de recursos en dispositivos portátiles.

#### Pruebas de Seguridad

Aseguran que la información del sistema esté protegida contra accesos no autorizados. Ejemplos:

- Evaluación de cumplimiento con normativas de privacidad.



### Pruebas de Recuperación

Verifican que el sistema pueda recuperarse ante fallos inesperados. Ejemplos:

- Simulación de cortes de energía para evaluar el guardado automático del progreso.
- Pruebas de recuperación ante desconexiones de dispositivos externos.

#### 8.1.3. Cronograma

Fase	Duración	Actividad
Revisión de requisitos	1 semana	Analizar los casos de uso y objetivos de pruebas.
Diseño de pruebas	1 semanas	Crear casos de prueba y definir escenarios.
Ejecución de pruebas	1 semanas	Ejecutar pruebas funcionales, de usabilidad y de compatibilidad.
Evaluación de resultados	2 semanas	Analizar resultados y documentar hallazgos.
Correcciones	3 semanas	Realizar ajustes en el sistema basado en los hallazgos.

Cuadro 8.1: Cronograma de pruebas

#### 8.1.4. Herramientas

- **Simuladores MR:** Unity XR Toolkit o similares para pruebas en entornos virtuales.
- **Observación de usuarios:** Análisis manual o con herramientas como Eye-Tracking.

#### 8.1.5. Fases de Investigación

En la fase de investigación, se llevaron a cabo todas las lecturas y análisis necesarios de manera satisfactoria, lo que permitió consolidar un marco teórico sólido y una comprensión profunda del problema abordado. Como resultado de este exhaustivo proceso de investigación, se logró desarrollar el modelo y prototipo presentados, los cuales incorporan los hallazgos clave de la revisión bibliográfica y responden de manera efectiva a los objetivos planteados, demostrando la viabilidad y pertinencia de la solución propuesta.

Este trabajo involucró sujetos humanos o animales en su investigación. La aprobación de todos los procedimientos y protocolos éticos y experimentales fue otorgada por el Comité de Ética de la Investigación del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (Research Ethics Committee INCS) bajo la Solicitud No. INV-

2020-007, el 30 de junio de 2020, y se realizó de acuerdo con las resoluciones 8430 (1994) y 2378 (2008) del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

### 8.1.6. Pruebas Funcionales y No Funcionales

Descripción de la Prueba	Entrada	Criterio de Éxito
<p><b>Prueba RF-01: Detección de movimientos manuales</b> Verificar que los movimientos sean detectados con precisión mediante sensores.</p>	Simulación de movimientos manuales frente a los sensores.	El sistema detecta correctamente más del 95% de los movimientos realizados.
<p><b>Prueba RF-02: Sistema de recompensas visuales y auditivas</b> Validar que se proporcionen recompensas adecuadas tras completar una tarea.</p>	Ejecución exitosa de una tarea de motricidad por parte del usuario.	Se muestra retroalimentación visual y/o auditiva en menos de 1 segundo tras completar la tarea.
<p><b>Prueba RF-03: Ejercicios de motricidad fina</b> Comprobar que las actividades de ensamblar piezas virtuales funcionan correctamente.</p>	Interacción del usuario con ejercicios de motricidad fina en el sistema.	El usuario puede completar las actividades correctamente sin errores en la detección de sus movimientos.
<p><b>Prueba RF-04: Juegos de coordinación ojo-mano</b> Evaluar que los juegos interactivos detecten correctamente los movimientos y encajen figuras.</p>	Realización de movimientos para encajar figuras geométricas.	El sistema responde con precisión y en tiempo real a los movimientos del usuario.
<p><b>Prueba RNF-01: Tiempo de respuesta</b> Medir el tiempo que tarda el sistema en responder a un gesto.</p>	Gesto manual realizado por el usuario.	El tiempo de respuesta es inferior a 100 ms.

Descripción de la Prueba	Entrada	Criterio de Éxito
<b>Prueba RNF-02: Optimización de recursos</b> Evaluar el rendimiento del sistema en dispositivos económicos.	Ejecución prolongada de ejercicios en un dispositivo de gama baja.	El sistema no supera el límite de temperatura permitido ni causa problemas de sobrecalentamiento.
<b>Prueba RNF-03: Cumplimiento de normativas éticas</b> Revisar que los datos sensibles del usuario sean manejados de forma segura.	Prueba de almacenamiento y consulta de datos personales.	Los datos sensibles no son recolectados.
<b>Prueba RNF-04: Diseño de interfaz intuitiva</b> Validar que la interfaz sea accesible y fácil de usar para niños.	Interacción de un niño de entre 1 y 10 años con el sistema.	El niño puede navegar y completar actividades sin requerir ayuda adicional.
<b>Prueba RNF-05: Resolución mínima</b> Comprobar que el sistema funcione correctamente en dispositivos con resolución de 1280x720.	Prueba del sistema en dispositivos con resolución mínima soportada.	Todos los elementos de la interfaz son visibles y funcionales sin deformaciones ni errores.

## 8.2. Cuestionario para Usuarios (Niños)

Durante la fase de pruebas con usuarios, se diseñó y aplicó un cuestionario estructurado para evaluar la experiencia de uso del sistema y recopilar retroalimentación directa. Este cuestionario incluyó preguntas enfocadas en la usabilidad, la facilidad de interacción, la efectividad de las actividades propuestas y la percepción general del sistema. Adicionalmente, se indagó sobre las mejoras percibidas en las habilidades de coordinación motora fina tras el uso del sistema. Los resultados obtenidos permitieron identificar puntos fuertes y áreas de mejora, garantizando que el desarrollo del sistema se alinea con las necesidades y expectativas de los usuarios y terapeutas involucrados.

**Instrucciones:** Responde las siguientes preguntas según tu experiencia con el

sistema. Si no entiendes alguna pregunta, pídele ayuda al terapeuta.

### **Sección 1: Interacción con el sistema**

1. ¿Te pareció fácil usar el sistema?

Sí

Más o menos

No

2. ¿Pudiste completar las actividades sin ayuda?

Sí

Algunas actividades

No

3. ¿El sistema entendió bien tus movimientos?

Siempre

A veces

Nunca

4. ¿Sentiste que las instrucciones fueron claras?

Muy claras

Claras a veces

Confusas

### **Sección 2: Experiencia emocional**

5. ¿Te divertiste al usar el sistema?

Mucho

Un poco

Nada

6. ¿Te sentiste frustrado durante alguna actividad?

Nunca

Algunas veces

Muchas veces

7. ¿Qué actividad te gustó más? (Escribe tu respuesta)

---

8. ¿Qué actividad no te gustó? (Escribe tu respuesta)

---

### 8.3. Cuestionario para Terapeutas

**Instrucciones:** Por favor, responde las siguientes preguntas según tu observación y experiencia al usar el sistema con los niños.

#### Sección 1: Funcionalidad del sistema

1. ¿El sistema detectó correctamente los movimientos de los niños?

Siempre

A veces

Nunca

2. ¿Las actividades son adecuadas para fomentar la motricidad fina?

Sí, son muy adecuadas

Son adecuadas, pero requieren ajustes

No son adecuadas

3. ¿Notaste algún problema técnico durante las sesiones? (Especifica)

---

#### Sección 2: Usabilidad y experiencia

4. ¿Fue fácil configurar y usar el sistema?

Muy fácil

Moderadamente fácil

Difícil

5. ¿Consideras que las actividades son motivadoras para los niños?

Sí, son muy motivadoras

Son algo motivadoras

No son motivadoras

6. ¿Qué mejoras sugerirías para el sistema?

### Sección 3: Resultados percibidos

7. ¿Notaste mejoras en la coordinación motora fina de los niños tras usar el sistema?

Sí, mejoras significativas

Algunas mejoras

No hubo mejoras

8. ¿Crees que el sistema es útil como herramienta complementaria en terapia?

Sí, es muy útil

Es útil, pero necesita ajustes

No es útil

### 8.4. Resultados de los Cuestionarios

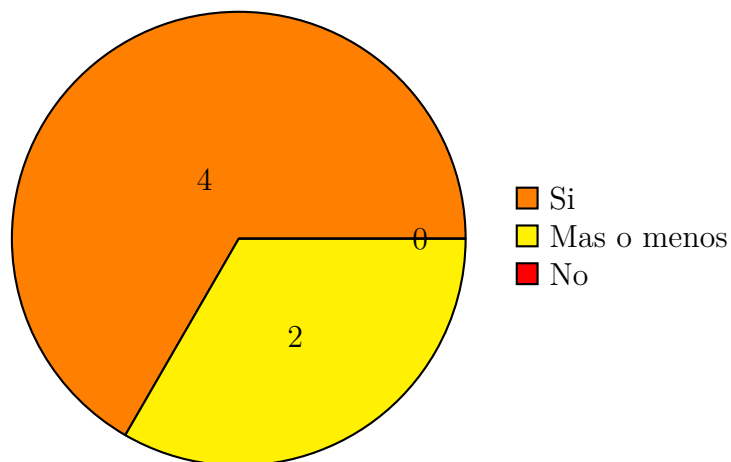


Figura 8.1: Resultados de la pregunta: ¿Te pareció fácil usar el sistema?

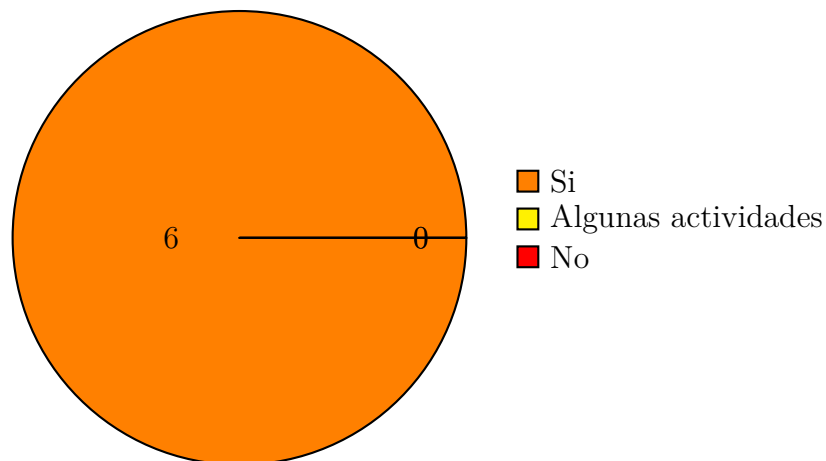


Figura 8.2: Resultados de la pregunta: ¿Pudiste completar las actividades sin ayuda?

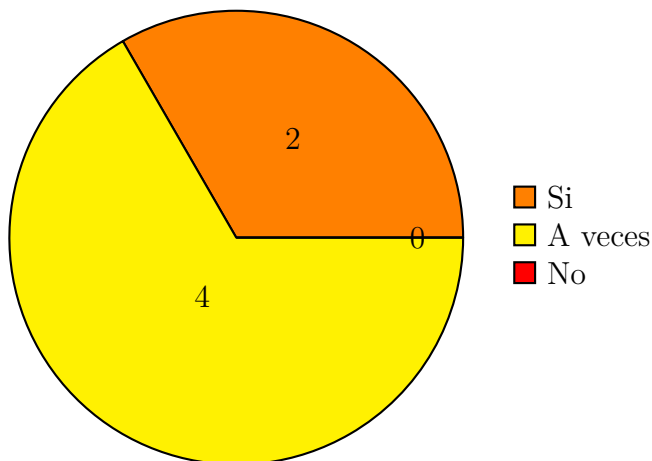


Figura 8.3: Resultados de la pregunta: ¿El sistema entendió bien tus movimientos?

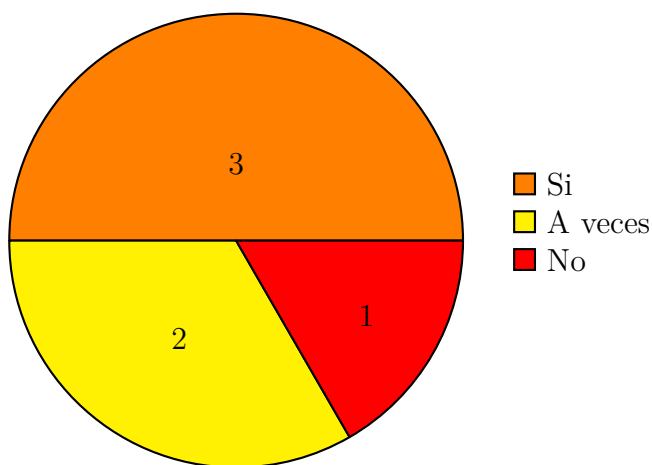


Figura 8.4: Resultados de la pregunta: ¿Sentiste que las instrucciones fueron claras?

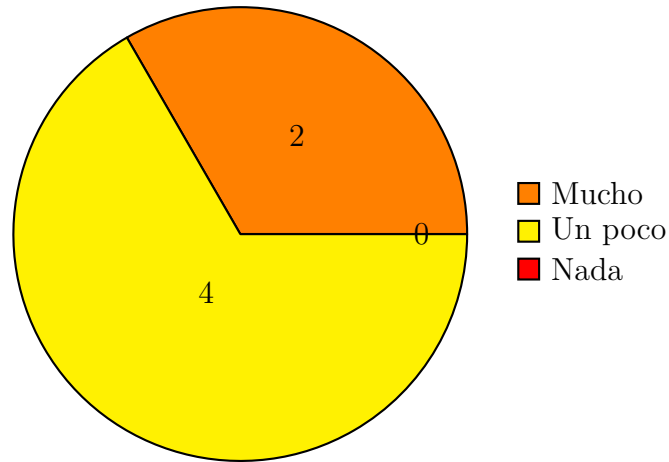


Figura 8.5: Resultados de la pregunta: ¿Te divertiste al usar el sistema?

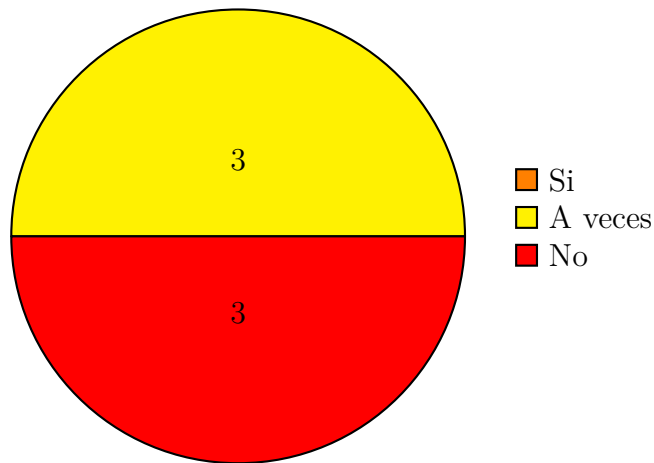


Figura 8.6: Resultados de la pregunta: ¿Te sentiste frustrado durante alguna actividad?

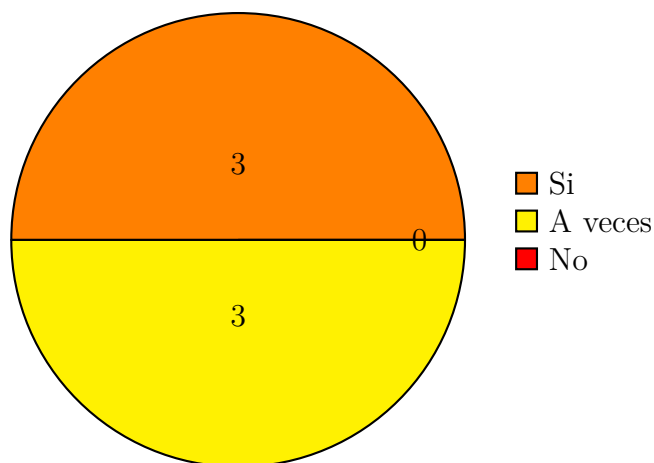


Figura 8.7: Resultados de la pregunta: ¿El sistema detectó correctamente los movimientos de los niños?



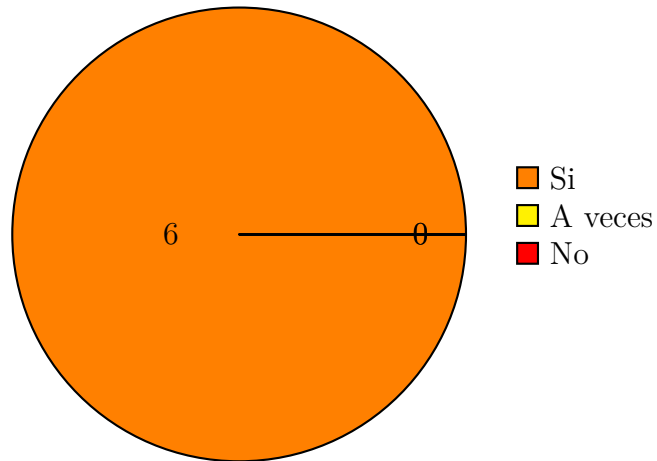


Figura 8.8: Resultados de la pregunta: ¿Las actividades son adecuadas para fomentar la motricidad fina?

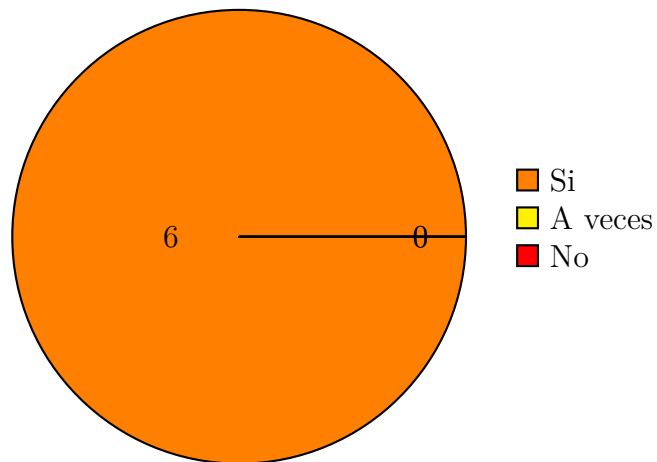


Figura 8.9: Resultados de la pregunta: ¿Fue fácil configurar y usar el sistema?

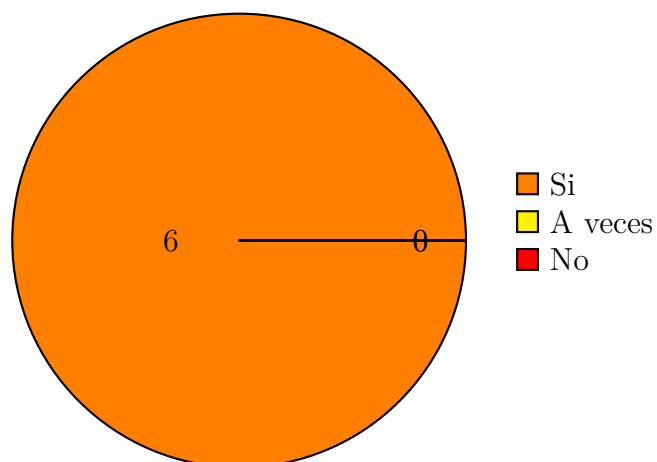


Figura 8.10: Resultados de la pregunta: ¿Consideras que las actividades son motivadoras para los niños?

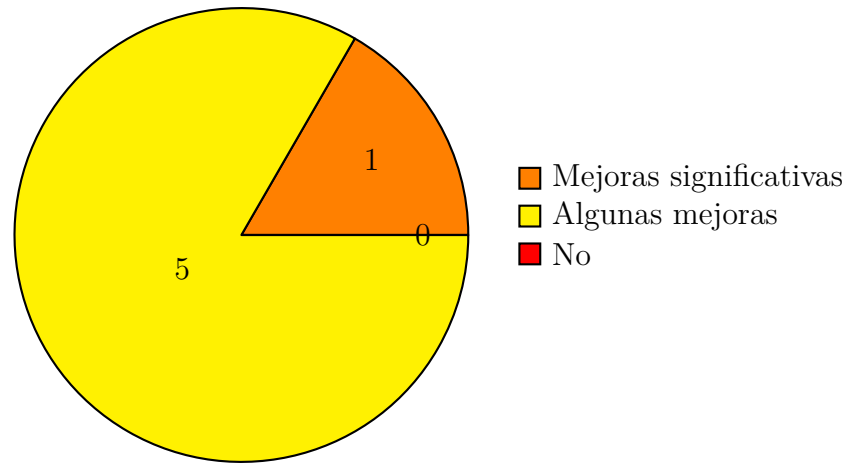


Figura 8.11: Resultados de la pregunta: ¿Notaste mejoras en la coordinación motora fina de los niños tras usar el sistema?

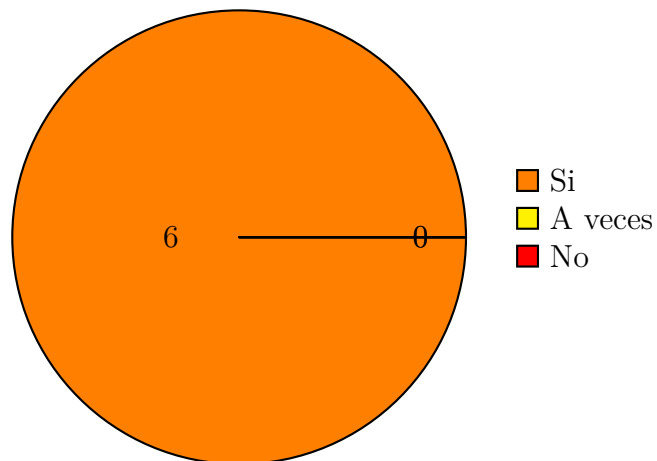


Figura 8.12: Resultados de la pregunta: ¿Crees que el sistema es útil como herramienta complementaria en terapia?

### 8.4.1. Resultados

Después de realizar el cuestionario, se llegó a la conclusión de que a los niños les gustó la aplicación, aunque se identificaron algunos detalles para mejorar, como la claridad en las indicaciones y la facilidad de uso. Sin embargo, los terapeutas consideraron que la aplicación es buena y que contribuye positivamente al desarrollo de la coordinación motora fina, destacando su potencial como herramienta complementaria en el proceso terapéutico. Las sugerencias de los niños y los profesionales permitirán realizar ajustes clave para optimizar la experiencia y efectividad de la aplicación.

# Capítulo 9

## Conclusiones

La implementación del prototipo de un sistema de realidades mixtas para fomentar el desarrollo de la coordinación motora fina en niños demuestra que la integración de tecnologías emergentes puede ser una herramienta poderosa en entornos educativos y terapéuticos. A partir de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, se identificaron varios hallazgos importantes como la atracción presentada por los niños a sistemas interactivos y juegos que pueden ser terapéuticos, siempre y cuando se presenten unas buenas y claras indicaciones; esto destacando la efectividad del sistema y abriendo nuevas posibilidades de investigación y aplicación.

La metodología de prototipo evolutivo resultó ser ideal para la tesis, ya que permitió un desarrollo iterativo que se ajustó progresivamente a las necesidades de los niños y terapeutas involucrados en el proyecto. Al generar prototipos funcionales desde etapas tempranas, se obtuvo retroalimentación constante que ayudó a mejorar la interfaz, las funcionalidades y la efectividad del sistema en el desarrollo de la coordinación motora fina. Este enfoque no solo garantizó una alineación precisa con los objetivos del proyecto, sino que también facilitó la identificación y resolución temprana de problemas, logrando un producto final que cumplió con las expectativas de los usuarios y aportó valor real al campo de las realidades expandidas en la terapia infantil.

Durante el desarrollo del sistema, la realización de pruebas en el Instituto de Niños Ciegos y Sordos fue fundamental para identificar y corregir defectos en los juegos diseñados. Estas sesiones permitieron observar cómo los niños interactuaban con las actividades en condiciones reales, destacando aspectos que requerían ajustes, como la claridad de las instrucciones, el diseño de los estímulos visuales y auditivos, y la respuesta del sistema a movimientos no convencionales. Además, las observaciones realizadas con este grupo ofrecieron una perspectiva valiosa sobre la accesibilidad del prototipo, llevando a la incorporación de mejoras significativas para hacerlo más inclusivo y adaptado a diversas necesidades sensoriales. Este proceso no solo perfeccionó la experiencia del usuario, sino que también demostró la importancia de

validar el sistema en contextos diversos para garantizar su efectividad y aplicabilidad universal.

Con esto, se evidenció que tiene el potencial de contribuir al desarrollo de las habilidades motoras finas de los niños que participaron. Las actividades diseñadas, basadas en movimientos específicos como la manipulación de objetos virtuales y el seguimiento de trayectorias, promovieron el desarrollo de precisión, control y coordinación. Esto confirma que las realidades mixtas, al combinar estímulos visuales y auditivos con interacción física, tienen el potencial de generar experiencias inmersivas y efectivas para el aprendizaje motriz.

Además, el sistema demostró ser atractivo y accesible para los usuarios. Los niños mostraron altos niveles de interés y compromiso durante las sesiones, lo que sugiere que el enfoque lúdico es una estrategia adecuada para mantener su motivación. Por otro lado, en las primeras pruebas, los participantes necesitaban ayuda para entender cómo interactuar con el sistema; sin embargo, el diseño de la interfaz y la retroalimentación ofrecida fueron suficientes para que, con los cambios pertinentes, los participantes entendieran las actividades sin requerir asistencia constante, validando la facilidad de uso del prototipo .

Desde el punto de vista técnico, los resultados revelaron que el uso de las HoloLens 2 como dispositivo principal ofreció un alto nivel de precisión y capacidad para capturar los movimientos finos de las manos gracias a su avanzado sistema de rastreo y su interfaz intuitiva. Estas gafas de realidad mixta no solo permitieron una interacción natural con los objetos virtuales, sino que también eliminaron muchas de las limitaciones observadas en otras tecnologías, como la oclusión de los dedos o la pérdida de seguimiento en entornos complejos. Sin embargo, se identificaron áreas de mejora relacionadas con la optimización del software para maximizar el rendimiento y reducir la latencia en escenarios de uso prolongado. Esto resalta la importancia de seguir explorando las capacidades de dispositivos como las HoloLens 2 para garantizar una experiencia más fluida y efectiva en futuras aplicaciones educativas y terapéuticas.

La revisión exhaustiva de las actividades orientadas al desarrollo de la motricidad fina resultó fundamental para garantizar que el sistema no solo cumpliera con los objetivos terapéuticos, sino que también se adaptara a las capacidades técnicas del hardware seleccionado. Durante este proceso, se identificaron las interacciones más efectivas para estimular habilidades motoras finas, como el ensamblaje de piezas virtuales y los juegos de coordinación ojo-mano. No obstante, también se evidenciaron limitaciones técnicas inherentes al uso de *HoloLens 2*, como el campo de visión reducido y las restricciones en el reconocimiento preciso de movimientos rápidos o sutiles. Estas observaciones resaltan la importancia de equilibrar las necesidades funcionales del sistema con las capacidades del hardware, lo que permitió ajustar el diseño de los juegos y optimizar la experiencia del usuario. Este enfoque integrador asegura que las soluciones desarrolladas sean tanto viables técnicamente como

efectivas para los propósitos terapéuticos planteados.

Finalmente, este proyecto destaca la relevancia de las tecnologías de realidades mixtas en el ámbito educativo y terapéutico. Más allá de los beneficios observados en la coordinación motora fina, se abre la posibilidad de explorar aplicaciones similares para otros aspectos del desarrollo infantil, como la coordinación visomotora, la memoria o el trabajo en equipo. No obstante, es importante considerar que el impacto del sistema puede variar según las características individuales de los usuarios, por lo que futuras investigaciones deberían enfocarse en personalizar las actividades y evaluar sus efectos a largo plazo.

# Capítulo 10

## Trabajo Futuro

El desarrollo de este prototipo abre múltiples líneas de trabajo futuro tanto en el ámbito técnico como en su aplicación educativa y terapéutica. Una de las principales direcciones consiste en ampliar las capacidades del sistema para incluir actividades más complejas y personalizadas. Esto implicaría desarrollar un algoritmo adaptativo que ajuste la dificultad de las tareas en tiempo real según el progreso y las necesidades específicas de cada usuario. Además, se podrían integrar métricas avanzadas para medir el desarrollo de la coordinación motora fina, como análisis detallados de trayectorias de movimiento o tiempos de reacción.

Otro aspecto importante es la exploración de nuevas tecnologías que complementen las capacidades del sistema. Por ejemplo, se podrían incorporar sensores hápticos para proporcionar retroalimentación táctil, enriqueciendo la experiencia inmersiva y reforzando la conexión entre los movimientos físicos y los estímulos virtuales. Asimismo, sería relevante evaluar la integración de sistemas de inteligencia artificial para optimizar la interacción y ofrecer recomendaciones personalizadas basadas en el comportamiento del usuario.

Desde el punto de vista de aplicación, se sugiere ampliar las pruebas a una población más diversa de usuarios. Esto incluye trabajar con niños de diferentes rangos de edad, habilidades y contextos, así como explorar el impacto del sistema en entornos educativos tradicionales y no tradicionales. Además, sería valioso realizar estudios longitudinales que evalúen los efectos del sistema a largo plazo, midiendo no solo el progreso en habilidades motoras finas, sino también su impacto en otros aspectos del desarrollo, como la coordinación visomotora, la atención o el aprendizaje colaborativo.

Por último, se propone investigar la posibilidad de extender el sistema hacia otros contextos terapéuticos y educativos. Por ejemplo, podría adaptarse para trabajar con niños con discapacidades específicas, como trastornos del espectro autista o parálisis cerebral, explorando su potencial para mejorar no solo habilidades mo-

toras, sino también aspectos como la interacción social o la regulación emocional. Estas adaptaciones requerirían una colaboración estrecha con profesionales de la salud y la educación para garantizar que el sistema cumpla con las necesidades y estándares de estas áreas.

En conclusión, el prototipo desarrollado es solo el inicio de un camino prometedor. La combinación de realidades mixtas con enfoques pedagógicos y terapéuticos tiene el potencial de revolucionar la manera en que se desarrollan habilidades motoras y cognitivas, abriendo nuevas oportunidades de innovación y aplicación en el futuro.



# Bibliografía

- [1] A. P. Association and D.-. T. Force, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5TM*, 5th ed. American Psychiatric Publishing, Inc., 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- [2] Understood, “¿qué son las habilidades motoras finas?” 2021, accedido: 2025-01-04. [Online]. Available: <https://www.understood.org/es-mx/articles/all-about-fine-motor-skills>
- [3] MedlinePlus, “Control de la motricidad fina: Medlineplus enciclopedia médica,” 2021, accedido: 2025-01-04. [Online]. Available: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002364.htm>
- [4] Neurohelp, “La motricidad fina, una habilidad indispensable para estimular desde la niñez,” 2021, accedido: 2025-01-04. [Online]. Available: <https://www.neurohelp.co/blog/la-motricidad-fina-una-habilidad-indispensable-para-estimular-desde-la-ninez/>
- [5] 1Library, “Coordinación motora fina - marco teórico - estrategia “mi pequeño chef”,” 2021, accedido: 2025-01-04. [Online]. Available: <https://1library.co/article/coordinaci%C3%B3n-motora-fina-marco-te%C3%B3rico-estrategia-peque%C3%B1o-desarrollar.yevdev1z>
- [6] M. Speicher, B. D. Hall, and M. Nebeling, “What is mixed reality?” in *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19)*. Association for Computing Machinery, 2019, pp. 1–15. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3290605.3300767>
- [7] M. Spitale, M. Gelsomini, E. Beccaluva, L. Viola, and F. Garzotto, “Meeting the needs of people with neuro-developmental disorder through a phygital approach,” in *Proceedings of the 13th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter: Designing the next interaction (CHIItaly '19)*. Association for Computing Machinery, 2019, pp. 1–10. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3351995.3352055>
- [8] A. A. Navarro-Newball, M. V. A. S. Galvis, J. C. Martínez, J. J. Betancourt,

- K. Ramirez, A. Velasquez, V. Quinto, G. Restrepo, A. D. Castillo, E. Asprilla, A. Portilla, and L. L., “Building augmented reality experiences for children with visual diversity,” in *Computer Graphics and Visual Computing (CGVC)*, P. Vangorp and M. J. Turner, Eds. The Eurographics Association, 2022.
- [9] C. Camden *et al.*, “Diversity of practices in telerehabilitation for children with disabilities and effective intervention characteristics: Results from a systematic review,” *Disability and Rehabilitation*, vol. 42, pp. 3424–3436, 2019, (accessed Jan. 13, 2025). [Online]. Available: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2889644>
- [10] A. Kakooza-Mwesige, C. Andrews, S. Peterson, F. Wabwire Mangen, A.-C. Eliasson, and H. Forssberg, “Prevalence of cerebral palsy in uganda: a population-based study,” *The Lancet Global Health*, vol. 5, no. 12, pp. e1275–e1282, Dec 2017, epub 2017 Nov 5.
- [11] A. Portilla, V. Almanza, A. D. Castillo, and G. Restrepo, “El desarrollo de las habilidades narrativas en niños: Una revisión sistemática de la literatura,” *Revista de Investigación en Logopedia*, vol. 11, no. 2, pp. 1–9, 2021, in press.
- [12] CDC, “CDC Newsroom,” [https://archive.cdc.gov/www\\_cdc\\_gov/media/releases/2014/p0327-autism-spectrum-disorder.html](https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/media/releases/2014/p0327-autism-spectrum-disorder.html), 2016, (accessed Jan. 13, 2025).
- [13] A. for Computing Machinery. (2025) Acm computing classification system. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/ccs>
- [14] M. a. M. Del Pilar, I. C. Kahn, M. H. Pamela, L. S. Janette, M. C. José, and V. S. S. María, “Neurodesarrollo infantil: características normales y signos de alarma en el niño menor de cinco años,” [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342015000300022](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342015000300022), n.d.
- [15] J. M. De Souza and M. De Lá Ó Ramallo Veríssimo, “Child development: analysis of a new concept,” *Revista Latino-americana De Enfermagem*, vol. 23, no. 6, pp. 1097–1104, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1590/0104-1169.0462.2654>
- [16] M. de Educación Nacional República de Colombia, “Desarrollo infantil,” [https://www.mineducacion.gov.co/primerainfancia/1739/articles-178053\\_archivo\\_PDF\\_libro\\_desarrolloinfantil.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/primerainfancia/1739/articles-178053_archivo_PDF_libro_desarrolloinfantil.pdf), n.d.
- [17] Ministerio de Salud de Colombia, “ESCALA ABREVIADA DE DESARROLLO - 3,” <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/Escala-abreviada-de-desarrollo-3.pdf>, n.d.
- [18] P. Raymond, Ricardo, and Johnson, “Teorías del desarrollo,” <https://espanol>.

- libretexts.org/@go/page/138481, October 30 2022.
- [19] E. M. Shunta Rubio and J. N. Chasi Espinosa, “La motricidad fina en la educación inicial,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 1, pp. 3568–3598, 2023. [Online]. Available: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4677](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4677)
- [20] L. Zapata and Y. Almachi, “La recreación infantil y su incidencia en la educación parvularia,” Tesis presentada previa a la obtención del Título de Licenciadas en Ciencias de la Educación, 2016.
- [21] R. Sousa-Ferreira, R. A. Campanari-Xavier, and A. S. R. Ancioto, “La realidad virtual como herramienta para la educación básica y profesional,” *Revista Científica General José María Córdoba*, vol. 19, no. 33, pp. 223–241, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21830/19006586.728>
- [22] A. A. Navarro-Newball, “Realidades expandidas inteligentes para la innovación en la cultura digital,” *Revista No. 24*, pp. 128–141, jan 2024.
- [23] Q. Sun, J. Huang, H. Zhang, P. Craig, L. Yu, and E. G. Lim, “Design and development of a mixed reality acupuncture training system,” in *2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Mar. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/vr55154.2023.00042>
- [24] C.-P. Hellmuth, M. Bachinski, and J. Müller, “Interaction techniques for 3d-positioning objects in mobile augmented reality,” *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Oct. 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3462244.3479945>
- [25] U. Khasanah, N. L. Chusna, and U. Fatonah, “Development of fine motor skills for early childhood based on augmented reality,” in *Advances in Computer Science Research*, 2023, pp. 67–77. [Online]. Available: [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-236-1\\_8](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-236-1_8)
- [26] W. Fu and C. Ji, “Application and effect of virtual reality technology in motor skill intervention for individuals with developmental disabilities: A systematic review,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 20, no. 5, p. 4619, Mar. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/ijerph20054619>
- [27] G. Restrepo *et al.*, “Extended realities for sensorially diverse children,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 44, no. 4, pp. 26–39, July-Aug. 2024.
- [28] I. Sommerville, *Software Engineering*, 10th ed. Pearson, 2015.
- [29] E. Collazos and I. Escobar, “Tesis motricidad fina,” GitHub repository, 2025, disponible en <https://github.com/ecollazosbravo/TesisMotricidadFina>.

- 
- [30] Microsoft, “Hololens 2 technical specifications,” <https://www.microsoft.com/es-es/d/hololens-2/91pnzzznzwp>, accessed: Jan. 13, 2025.