

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Sistemas y Computación
Proyecto de Grado

Integrando las realidades expandidas para fomentar el desarrollo de la coordinación motora gruesa en niños

Daniela Gómez Mendoza
Santiago Peña Nieto

Director
Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball

Enero, 2025



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Carta de Aprobación

Santiago de Cali, Diciembre 2024 Señores.

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

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

Cordial saludo,

Por medio de la presente me permito informarle que los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación, Daniela Gómez Mendoza (cod: 8959348) y Santiago Peña Nieto (cod: 8957985) trabajaron bajo mi dirección en el proyecto de grado titulado “Integrando las realidades expandidas para fomentar el desarrollo de la coordinación motora gruesa en niños” el cual se encuentra finalizado y listo para sustentación.

Atentamente,

Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball

Carta de Compromiso

Santiago de Cali, Diciembre 2024

Señores.

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

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

Cordial saludo,

Nos permitimos presentar a su consideración el trabajo de grado titulado “Integrando las realidades expandidas para fomentar el desarrollo de la coordinación motora gruesa 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 que entendemos y conocemos las directrices para la presentación de trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería aprobadas el 26 de Noviembre de 2009, donde se establecen los plazos y normas para el desarrollo del anteproyecto y del trabajo de grado.

Atentamente,

Daniela Gómez Mendoza
Código: 8959348

Santiago Peña Nieto
Código: 8957985

Abstract

A person grows and interacts not only with the support of an objective reality, but also with the use of numerous virtual constructions present in the cultural sphere, supported by a globalized society thanks to new technologies. Based on the above, it is crucial that human development is supported from childhood, allowing the early detection of any physical or psychological abnormality while taking advantage of technological progress in order to provide the necessary support to achieve a comprehensive development.

One of the most relevant challenges in this context is how to address neurodevelopmental disorders that have a significant impact on children's ability to adapt and participate socially in changing environments. In particular, motor neurodevelopmental disorders that affect motor coordination and autonomy in space. Currently, there are no modern motivational methodologies that allow the effective assessment of the state of motor development, relying purely on observational tests. In this sense, expanded realities emerge as a promising solution to improve the assessment and development of gross motor skills in children by generating didactic and critical assessment environments for the evaluation.

Consequently, the main objective of this degree research is to develop and evaluate a tool based on expanded realities that serves as support for the evaluation and development of gross motor skills in children. This tool proposes an alternative that complements the traditional evaluations currently available, providing a solution that integrates intrinsic motivation and interactive learning, thus supporting the comprehensive development of children.

Keywords: Expanded Realities, Gross Motor Skills, Neurodevelopmental Disorders, Motor Development, Interactive Learning, Intrinsic Motivation, Child Development, Evaluation Tools, Technological Progress, Virtual Constructions, Assessment Methodologies, Motor Coordination, Motivational Methodologies.

Resumen

Una persona crece e interactúa no solo con el apoyo de una realidad objetiva, también emplea numerosas construcciones virtuales presentes en el ámbito cultural, apoyadas por una sociedad globalizada gracias a las nuevas tecnologías. A partir de lo anterior, es crucial que el desarrollo humano sea apoyado desde la infancia, permitiendo la detección temprana de cualquier anomalía física o psicológica y aprovechando el avance tecnológico con el objetivo de brindar el apoyo necesario para lograr un desarrollo integral.

Uno de los desafíos más relevantes en este contexto es cómo abordar los trastornos del neurodesarrollo que tienen un impacto significativo en la capacidad de los niños para adaptarse y participar socialmente en entornos cambiantes. En particular, los trastornos del neurodesarrollo motor que afectan la coordinación motora y su autonomía en el espacio. Actualmente, no existen metodologías motivacionales y modernas que permitan evaluar de manera efectiva el estado del desarrollo motriz, recayendo netamente en pruebas de observación. En este sentido, las realidades expandidas emergen como una prometedora solución para mejorar la evaluación y el desarrollo de la motricidad gruesa en los niños al generar ambientes de evaluación didácticos y críticos para la evaluación.

Así, el objetivo principal de este trabajo de grado es desarrollar y evaluar una herramienta basada en realidades expandidas que sirva como apoyo para la evaluación y el desarrollo de la motricidad gruesa en niños. Esta herramienta propone una alternativa que complemente a las las evaluaciones tradicionales disponibles actualmente, proporcionando una solución que integre la motivación intrínseca y el aprendizaje interactivo, apoyando de esta manera al desarrollo integral de los niños.

Palabras Clave: Realidades Expandidas, Motricidad Gruesa, Trastornos del Neurodesarrollo, Desarrollo Motor, Aprendizaje Interactivo, Motivación Intrínseca, Desarrollo Infantil, Herramientas de Evaluación, Avance Tecnológico, Construcciones Virtuales, Metodologías de Evaluación, Coordinación Motora, Metodologías Motivacionales.

Índice general

1. Introducción	11
2. Descripción del Problema	12
2.1. Planteamiento del Problema	12
2.1.1. Formulación	14
2.1.2. Sistematización	14
2.2. Objetivos	14
2.2.1. Objetivo General	14
2.2.2. Objetivos Específicos	14
2.3. Justificación	15
2.4. Delimitaciones y Alcances	16
3. Marco Teórico y Trabajos Relacionados	17
3.1. Marco de Referencia	17
3.1.1. Áreas Temáticas	17
3.1.2. Marco Teórico	18
3.1.3. Trabajos Relacionados	19
3.1.4. Diferenciadores del Proyecto	21
4. Metodología, Análisis y Diseño	22
4.1. Metodología	22

ÍNDICE GENERAL

4.1.1.	Design Thinking	23
4.2.	Análisis	25
4.2.1.	Descripción del Instrumento Tradicional	25
4.2.2.	Definición de Tipo de Usuario	25
4.2.3.	Proceso de Identificación de Requerimientos	26
4.3.	Empatizar	26
4.3.1.	Observación directa	27
4.3.2.	Entrevistas con Terapeutas	27
4.3.3.	Investigación Auxiliar	27
4.3.4.	Identificación de los Problemas Clave	27
4.4.	Definir	28
4.4.1.	Requisitos Funcionales y No Funcionales	28
4.4.2.	Selección de Actividades Evaluativas en Juegos	29
4.4.3.	Selección de la Tecnología	30
4.4.4.	Análisis de Factibilidad Técnica	34
4.5.	Diseño	36
4.5.1.	Mecánicas de los juegos	36
4.5.2.	Narrativa	37
4.5.3.	Interfaz	37
4.5.4.	Arquitectura	38
4.5.5.	Diagrama de Flujo	39
4.6.	Idear	40
4.6.1.	Dibujos Conceptuales	40
4.6.2.	Modelado 3D y Preparación para Animación	43
4.6.3.	Rigging	44
4.6.4.	Animaciones Personalizadas	44

5. Implementación	47
5.1. Prototipar	47
5.1.1. Juego de Imitar al Mono	49
5.1.2. Juego de Caminar en Línea Recta	50
5.1.3. Juego de Atrapar Frutas	51
5.1.4. Enlace al Prototipo	52
6. Validación del Sistema y Resultados	53
6.1. Plan de Pruebas	53
6.1.1. Alcance de las Pruebas	53
6.1.2. Validación de Requisitos	54
6.1.3. Pruebas con Usuarios	55
6.1.4. Evaluación de las Pruebas	56
6.1.5. Resultados de las Pruebas	57
6.1.6. Análisis de los Resultados	60
7. Conclusiones	62
8. Trabajo Futuro	64
8.1. Trabajos Futuros Propuestos	64
8.1.1. Integración con la Nube y Análisis de Datos	64
8.1.2. Inclusión de Más Actividades	65
8.1.3. Consideración de Discapacidades	65
8.1.4. Modificador de Dificultad	65

Índice de cuadros

4.1. Parámetros considerados para la evaluación de las tecnologías.	30
4.2. Puntaje de Evaluación para Realidad Aumentada (RA)	31
4.3. Puntaje de Evaluación para Realidad Mixta (RM)	31
4.4. Puntaje de Evaluación para Realidad Virtual (RV)	32
5.1. Comparación entre Actividad 4.2 y juego de imitar al mono.	49
5.2. Comparación entre Actividad 4.3 y Juego de Caminar en Línea Recta.	51
5.3. Comparación entre Actividad 4.4 y Juego de Caminar en Línea Recta.	52
6.1. Validación de Requisitos Funcionales	54
6.2. Validación de Requisitos No Funcionales	55
6.3. Preguntas de la encuesta realizada a los usuarios.	56
6.4. Preguntas de la encuesta realizada a los terapeutas.	56

Índice de figuras

4.1. Design Thinking: a Non-Linear Process. Fuente: [10].	23
4.2. Actividad Número 26 en la Escala Abreviada de Desarrollo (EAD) correspondiente a la motricidad gruesa. Recuperado de: [20]	29
4.3. Actividad Número 28 en la Escala Abreviada de Desarrollo (EAD) correspondiente a la motricidad gruesa. Recuperado de: [20]	29
4.4. Actividad Número 36 en la Escala Abreviada de Desarrollo (EAD) correspondiente a la motricidad gruesa. Recuperado de: [20]	30
4.5. Propuesta de la Interfaz desde el Punto de Vista del Usuario.	37
4.6. Diagrama de Arquitectura.	38
4.7. Diagrama de Flujo.	39
4.8. Dibujo conceptual del tití del Caquetá.	40
4.9. Dibujo conceptual de la rana dardo dorada.	41
4.10. Dibujo conceptual del gallito de Roca Andino.	41
4.11. Dibujo conceptual del jaguar.	42
4.12. Dibujo conceptual del lagarto azul de Gorgona, explorando diferentes opciones de animales antes de la elección final.	42
4.13. Modelado 3D del tití del Caquetá en Blender.	43
4.14. Rigging del tití del Caquetá en Blender.	44
4.15. Puntos y Articulaciones de Referencia utilizados. Fuente: [16]	45
4.16. Captura de Animaciones.	45
4.17. Animación del tití del Caquetá en Blender.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

5.1. Botón con mensaje de texto.	48
5.2. Contador.	48
5.3. Juego de Imitación.	49
5.4. Juego de caminar en línea recta.	50
5.5. Juego de atrapar frutas.	51
6.1. Resultados de la pregunta 1 de la encuesta a usuarios.	57
6.2. Resultados de la pregunta 2 de la encuesta a usuarios.	57
6.3. Resultados de la pregunta 3 de la encuesta a usuarios.	58
6.4. Resultados de la pregunta 4 de la encuesta a usuarios.	58
6.5. Resultados de la pregunta 5 de la encuesta a usuarios.	58
6.6. Resultados de la pregunta 6 de la encuesta a usuarios.	58
6.7. Resultados de la pregunta 1 de la encuesta a terapeutas.	59
6.8. Resultados de la pregunta 2 de la encuesta a terapeutas.	59
6.9. Resultados de la pregunta 3 de la encuesta a terapeutas.	59
6.10. Resultados de la pregunta 4 de la encuesta a terapeutas.	60

Capítulo 1

Introducción

Uno de los aspectos más relevantes en el desarrollo humano es la interacción no solo con el entorno físico, sino también con construcciones virtuales que forman parte del ámbito cultural, facilitadas por una sociedad globalizada y las nuevas tecnologías. En este contexto, resulta crucial fomentar el desarrollo integral desde la infancia, permitiendo la detección temprana de anomalías físicas o psicológicas y aprovechando los avances tecnológicos para brindar el apoyo necesario.

Los trastornos del neurodesarrollo representan un desafío significativo, ya que afectan la capacidad de los niños para adaptarse y participar socialmente en entornos cambiantes. En particular, los trastornos motores del neurodesarrollo, que impactan la coordinación motriz, son determinantes para su autonomía espacial. Sin embargo, las metodologías actuales para evaluar de manera efectiva el desarrollo motor son limitadas y dependen principalmente de pruebas manuales de observación [20].

Este trabajo de grado propone el desarrollo de una herramienta basada en realidades expandidas para apoyar la evaluación de trastornos de motricidad gruesa en niños mediante juegos interactivos. Esta iniciativa se enmarca en el *Proyecto Colaborativo Colombia-Quebec: Narrativa, Realidad Virtual y Discapacidad Sensorial*, cuyo propósito es crear experiencias inmersivas y narrativas que promuevan el aprendizaje y el desarrollo infantil. El prototipo buscaría integrar elementos lúdicos e interactivos para enriquecer la experiencia inmersiva y facilitar la identificación de dificultades motrices, transformando la evaluación tradicional en una experiencia más dinámica.

El proceso de desarrollo de la herramienta se detalla en las fases de diseño, implementación y validación, describiendo los criterios utilizados para medir su aceptación tanto por los niños como por los terapeutas que apoyan como evaluadores. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos durante la fase de validación y se analizan sus implicaciones para futuras investigaciones y aplicaciones en este campo.

Capítulo 2

Descripción del Problema

2.1. Planteamiento del Problema

La educación de las generaciones actuales representan un activo significativo para la sociedad siendo, en términos prácticos, una inversión para el futuro de cada nación. Una de las problemáticas actuales que enfrenta la población son los trastornos del neurodesarrollo, los cuales surgen debido a un desarrollo cerebral no típico o a la presencia de lesiones o alteraciones en la maduración del cerebro, como señala Gerardo Restrepo, quien actualmente trabaja en el Departamento de Estudios de Educación Social y Especial de la Université de Sherbrooke y realiza investigaciones en Neuropsicología del Desarrollo [24]. Por lo general, estos trastornos se manifiestan en la primera infancia, siendo posible detectar los primeros síntomas en etapas tempranas. Las dificultades resultantes de estos trastornos varían en intensidad y afectan la capacidad de adaptación, participación social y ejecución de actividades básicas. Esto significa que la actividades diaria se ven limitadas o alteradas en comparación con individuos de la misma edad y condiciones típicas. El DSM-5 (Diagnostic and statistical manual of mental disorders) identifica diversos subtipos de trastornos del neurodesarrollo, entre ellos los trastornos que afectan la coordinación motora [1].

La coordinación motora, los movimientos generados por la contracción de los músculos, se pueden dividir en la categoría de coordinación motora fina (CMF) y coordinación motora gruesa (CMG), esta última refiriéndose a la capacidad de coordinar movimientos grandes y complejos que involucran grupos musculares completos, como caminar, correr, saltar y lanzar [21]. Debido al enfoque del proyecto, se entiende a la CMG como crucial para actividades que requieren de equilibrio: el mantenerse en pie, montar una bicicleta, etcétera, y desempeña un papel fundamental en el desarrollo motor, mejorando a lo largo de la infancia.

Es necesario que los niños aprendan a manejar su cuerpo en el entorno, otorgándoles la confianza de interactuar de forma asertiva en el espacio. Según Gauvain [11], la relevancia de desarrollar habilidades de ubicación espacial se evidencia en la resolu-

ción de problemas cotidianos. Estas habilidades incluyen el enfrentarse a situaciones donde aunque el conocimiento espacial no sea el objetivo principal, es necesario comprender y utilizar el espacio, así como planificar y ejecutar una serie de tareas según la capacidad motora del individuo. Las actividades mencionadas con anterioridad dependen de convenciones del arriba, abajo, izquierda y derecha en la coordinación motora gruesa. En este orden de ideas, resulta crucial adquirir la capacidad de manejar diferentes escenarios espaciales de forma independiente y anticipar cualquier dificultad temprana para la resolución de este problema.

En Colombia existen métricas para evaluar las habilidades motoras gruesas con el fin de prevenir atrasos en el desarrollo motriz en base a la edad del infante [21], pero estas métricas carecen de elementos motivadores para el niño evaluado, lo que puede afectar su rendimiento y, por ende, los resultados de la prueba. Esto es particularmente relevante en comparación con pruebas que incorporan la motivación intrínseca como parte de su evaluación [12] [18] enfocadas en un grupo infantil. Además, la mecánica de evaluación a manos de un terapeuta supervisor se limita a un proceso manual a través de un formulario. Por lo tanto, el desafío radica en desarrollar una herramienta de evaluación que apoye el proceso y sea tanto entretenida para el niño como conveniente para el evaluador.

Las realidades expandidas realizan una propuesta interesante para generar motivaciones intrínsecas al mezclar el entorno verdadero con elementos generados virtualmente en él. Las realidades expandidas se han integrado como una nueva herramienta para el aprendizaje y la creación de experiencias interactivas, otorgando la oportunidad de simular y controlar entornos. Este tipo de tecnologías traen grandes oportunidades en el mundo digital [18]. De esta manera, es posible apoyar el desarrollo o la rehabilitación de la coordinación, siendo Jamil et al. [14] un ejemplo al explorar la realidad virtual inmersiva para apoyar nuevas formas de intervención para niños con trastorno del desarrollo de la coordinación (DCD). El equipo presenta mundos 3D, utilizando el enfoque de los ojos y los movimientos de la cabeza / cuerpo para interactuar con elementos virtuales.

A su vez, una iniciativa interinstitucional, colaborativa e internacional que involucra a la Universidad de Sherbrooke, el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (INCS) y la Pontificia Universidad Javeriana de Cali: el *Proyecto de Colaboración Colombia-Quebec (PCCQ): Narrativa, Discapacidad y Realidad Virtual* [25] permitió que las historias interactivas sobre animales colombianos ayudarán a desarrollar las habilidades de los niños y crear conciencia sobre los animales en peligro de extinción. Empero, el enfoque original del PCCQ proponía varias aplicaciones para promover el desarrollo del lenguaje en niños.

Sin embargo, considerando las posibilidades de las realidades expandidas, el objetivo de esta propuesta de trabajo de grado es continuar el movimiento del aprendizaje logrado en PCCQ hacia una aplicación que promueva el desarrollo de la motricidad gruesa en niños teniendo en cuenta las carencias de evaluaciones motivadoras mencionadas anteriormente.

2.1.1. Formulación

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

2.1.2. Sistematización

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

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

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

2.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las herramientas actuales que promueven el desarrollo de la coordinación motora gruesa en niños.
- Diseñar un prototipo de un sistema de realidades expandidas para favorecer una de las características de la coordinación motora gruesa en niños.
- Implementar el prototipo de un sistema de realidades expandidas para favorecer una de las características de la coordinación motora gruesa en niños.
- Evaluar el sistema de realidades expandidas, el cual asiste a la coordinación motora gruesa en niños.

2.3. Justificación

Este trabajo de grado se encuentra dentro del marco del trabajo colaborativo *Proyecto Colombia-Québec* cuyo objetivo es el desarrollo de actividades a través de realidades expandidas que promuevan el desarrollo cognitivo de niños con discapacidades visuales y/o auditivas. Se anticipa que el trabajo de grado tendrá un impacto positivo en la coordinación motora gruesa en infantes, al proporcionar experiencias atractivas que mejorarán su coordinación gruesa.

Al enfocarse en la mejora de la motricidad y coordinación gruesa, se busca empoderar a la población infantil para que puedan moverse de manera independiente y participen en su entorno con seguridad. Así, se fomenta el desarrollo integral desde una temprana edad al impactar de forma positiva el autoestima, la autonomía, y la calidad de vida en términos generales, sustentando a la utilidad del proyecto como una herramienta aliada a la niñez.

El trabajo de grado no solo será de utilidad para los profesores e instituciones que trabajan con niños como una herramienta auxiliar para el aprendizaje, sino que también causará un impacto en el desarrollo cognitivo, sensorial y motriz de los mismos niños. Esto también beneficiará a las familias de los niños involucrados debido a que podrán realizar más actividades solos o con menor supervisión.

El avance tecnológico contemporáneo, como las realidades expandidas, hacen viable el crear nuevas experiencias educativas que sean tan accesibles como inmersivas para el usuario final. Al hacer uso de las realidades expandidas, su entorno de creación facilita el alcance internacional y la colaboración con otras instituciones que promuevan el uso de nuevas herramientas para la educación, haciendo del proyecto sostenible a largo plazo. Además, al abarcar una población general marcada por el periodo de la niñez, en un futuro se podría adaptar a grupos de infantes específicos que presenten discapacidades identificadas por medio de sus funciones motrices gruesas. Con esto en mente, el proyecto se considera viable y adecuado para desarrollarlo en los tiempos estipulados para este tipo de investigaciones.

En este orden de ideas propuestas, la realización de este trabajo de grado apoyará el desarrollo de la coordinación motora gruesa en niños de hasta 12 años, lo que mejorará su calidad de vida actual y futura y resultará beneficioso para los profesores e instituciones que trabajan con ellos. La tecnología actual es capaz de brindar las herramientas necesarias para realizar el proyecto adecuadamente y cumplir con los objetivos propuestos.

2.4. Delimitaciones y Alcances

El proyecto consiste en el desarrollo de una herramienta que por medio de realidades expandidas apoyará el desarrollo de una de las características principales de la coordinación motora gruesa en niños de hasta 12 años, la cual será identificada e investigada en la fase inicial del proyecto y los marcos de evaluación previos a nivel nacional (Colombia) [12]. La evaluación preliminar de la aplicación se hará con la participación de estudiantes de la carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Pontificia Universidad Javeriana Cali. Luego, se hará con un grupo de al menos tres niños dentro de un rango de edad declarado por profesionales de la salud. Cabe recalcar que la participación de los involucrados estará respaldada por su consentimiento informado, teniendo en cuenta los aspectos éticos involucrados, donde el INCS apoyará el proceso en relación con los niños menores de edad.

Se elegirá únicamente un dispositivo de realidad expandida que esté disponible en el laboratorio multisensorial del INCS y se entregará un prototipo de aplicación que funcione en dicho dispositivo. Será responsabilidad del INCS extender su uso.

Capítulo 3

Marco Teórico y Trabajos Relacionados

3.1. Marco de Referencia

Dada la naturaleza del proyecto, este explora diversas áreas interdisciplinarias que convergen en la intersección de la tecnología y el desarrollo humano para un producto final integral. En este contexto, aborda el concepto de realidades expandidas, que representan una fusión entre el mundo físico y virtual, destacando su capacidad para ofrecer experiencias inmersivas. Hecho esto, también es importante evaluar sus derivados tecnológicos para una selección más concreta. Además, considera la noción de tecnologías educativas como los medios para destacar el desarrollo infantil y la coordinación motora gruesa dentro del marco propuesto a continuación.

3.1.1. Áreas Temáticas

De acuerdo con el sistema de clasificación computacional ACM [2], las áreas temáticas que abarca el proyecto son:

- Social and Professional topics - User characteristics - People with disabilities.
- Applied computing - Education - Interactive learning environments.
- Computing methodologies - Computer graphics - Graphics systems and interfaces - Mixed / augmented reality

3.1.2. Marco Teórico

Conceptos Computacionales

Con una comprensión clara de las realidades expandidas, el equipo de trabajo puede planear su diseño y desarrollo de manera más eficiente. Esto implica la selección de hardware y software adecuados según el medio de trabajo, sus características y capacidades distintivas.

- Realidades expandidas: El universo potencial que abarca las posibilidades de intercambio de información e interacciones producidas entre el mundo físico y la información producida por medio digitales. Engloba otras realidades, por ejemplo, la aumentada, la mixta y la virtual [26].
- Realidad mixta: Una combinación del entorno del mundo real y contenido generado por computadora visto en una pantalla u otro dispositivo, en la que el contenido virtual y el entorno físico coexisten y reaccionan entre sí [7].
- Realidad virtual: Una simulación informática tridimensional realista e inmersiva de un entorno, creada utilizando software y hardware interactivos, y experimentada o controlada mediante el movimiento del cuerpo [8].
- Realidad aumentada: Una imagen o entorno mejorado vista en una pantalla u otro dispositivo, producido mediante la superposición de imágenes generadas por computadora, sonidos u otros datos en un entorno del mundo real [6].
- Motor de videojuegos: Un entorno de desarrollo diseñado para la creación de videojuegos, que incluye bibliotecas relevantes y programas de soporte [31].
- Interfaz gráfica: Un tipo de interfaz de usuario, la cual permite que los usuarios interactúen con dispositivos electrónicos mediante elementos gráficos, como íconos, botones y ventanas [28].
- Animación de Esqueleto o Rigging: Una estructura articulada que actúa sobre la malla de polígonos de un personaje tridimensional, doblando y deformando dicha malla para simular un esqueleto con sus articulaciones y huesos [29].

Conceptos No-Computacionales

De igual forma, es necesario reforzar los conocimientos alrededor de la realidad humana ya que permite contextualizar el problema que se busca abordar.

- Coordinación motora gruesa: Una habilidad que implica la acción de muchos grupos musculares y requiere movimiento de todo el cuerpo [15].

- Desarrollo infantil: Los cambios biológicos y psicológicos que suceden en los seres humanos desde el nacimiento hasta el final de la adolescencia, a medida que los individuos avanzan de la dependencia hacia la autonomía [30].
- Tecnología educativa: La creación de planes de acción fundamentados en disciplinas científicas relacionadas con las técnicas de enseñanza, que aprovechan todos los recursos disponibles para cumplir con los objetivos educativos dentro de los contextos sociohistóricos que les otorgan sentido [17].

3.1.3. Trabajos Relacionados

En esta sección se presentan diferentes trabajos de investigación, los cuales se basan en temáticas similares a las tratadas en este proyecto, o usan tecnologías relacionadas a este.

XR Academia: Research and Experiences in Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality, and Artificial Intelligence in Latin America and Europe

Este libro explora la tecnología inmersiva y los múltiples desafíos que enfrenta. A lo largo de sus capítulos, se presentan investigaciones y experiencias en diversas aplicaciones de XR, tales como entretenimiento, salud, narración, educación, psicoterapia, orientación, lenguaje, cultura y artes [22]. La relevancia de este trabajo para nuestro proyecto radica en su enfoque en la enseñanza y el desarrollo de habilidades mediante el uso de realidades expandidas, algo que también buscamos implementar en el desarrollo de la coordinación motora gruesa en niños.

Motor learning in a mixed reality environment

Este estudio propone una nueva teoría del aprendizaje motriz, basada en la premisa de que es más efectivo centrarse en ciertos marcadores externos del cuerpo para adquirir habilidades de manera más rápida y eficiente. Para evaluar esta hipótesis, se utiliza un entorno de realidades expandidas con un entrenador virtual y marcadores virtuales, con el objetivo de validar la efectividad del enfoque [5]. La conexión recae en el desarrollo de habilidades motrices a través de realidades expandidas, y este trabajo ofrece un enfoque innovador para hacerlo de manera más eficiente en comparación con los métodos tradicionales.

Detecting delays in motor skill development of children through data analysis of a smart play device

Esta investigación describe experimentos realizados con un dispositivo de juego diseñado para detectar retrasos en el desarrollo de habilidades motoras en niños de primaria. Durante la interacción con el dispositivo, se recopilan datos de aceleración y del estado del juego, que luego se analizan para identificar diferencias entre niños con un desarrollo normal y aquellos que presentan posibles retrasos [27]. Este estudio es relevante para nuestro proyecto, ya que ambos abordan la identificación y desarrollo de habilidades motoras en niños.

Influence of Virtual Reality and Gamification Combined with Practice Teaching Style in Physical Education on Motor Skills and Students' Perceived Effort: A Mixed-Method Intervention Study

Este análisis se enfoca en cómo la combinación de la realidad virtual y la gamificación influye en el desarrollo de las habilidades motoras y en el esfuerzo percibido por los estudiantes en la educación física. Las habilidades y el esfuerzo fueron evaluados a través de pruebas cuantitativas y cualitativas, que incluyeron el SportComp Motor, pruebas de equilibrio en una pierna, golpeteo de plato, fuerza de agarre manual y la Tabla de Evaluación de Esfuerzo Infantil Pictórica [9]. Este estudio aporta evidencia de que el uso de realidades expandidas puede mejorar las habilidades motoras, lo que coincide con los objetivos de nuestro proyecto.

Extended Realities for Sensorially Diverse Children

El artículo explora el uso de tecnologías de realidades extendidas (XR), que incluyen realidad aumentada (AR), realidad virtual (VR) y realidad mixta (MR), para diseñar experiencias multisensoriales dirigidas a niños con diversidad sensorial. Estas aplicaciones buscan mejorar el aprendizaje y el desarrollo de niños mediante el uso de estímulos visuales, auditivos, hápticos, olfativos y kinestésicos. El estudio detalla el diseño, implementación y evaluación de prototipos, resaltando su potencial para habilitar métodos interactivos y accesibles en la educación y la rehabilitación [25]. El artículo respalda el trabajo de grado al demostrar cómo las tecnologías XR pueden emplearse para diseñar experiencias multisensoriales que evalúan y mejoran habilidades cognitivas en niños, integrando elementos lúdicos e interactivos.

3.1.4. Diferenciadores del Proyecto

Principales Aportes de la Herramienta

- **Integración narrativa:** La herramienta propuesta busca introducir una narrativa inmersiva que guíe las actividades de los niños, lo que no es explorado en los estudios reseñados [27] y [9]. Esto enriquece la experiencia al fomentar el compromiso emocional y cognitivo durante las evaluaciones.
- **Diseño adaptado a la infancia:** Mientras que algunos trabajos como [5] priorizan la tecnología, la herramienta propuesta incorpora elementos que atraen específicamente a los niños, como sonidos, animaciones y dinámicas lúdicas que capturan su atención y motivación.

En oposición con la exposición de diferencias, las similitudes conceptuales contienen una mayor similitud con [22] y [25]. Empero, la herramienta propuesta busca incursionar a través de la necesidad puntual en atender las habilidades motoras gruesas como se expuso a lo largo de la sección 2.3.

Limitaciones y Áreas de Mejora

Teniendo en cuenta los artículos [22], [25], [27], [9] y [5] expuestos anteriormente, es posible detectar limitaciones adicionales en la naturaleza académica del proyecto de grado propuesto:

- **Focalización en motricidad gruesa:** Aunque este enfoque permite una mayor profundidad en una sola deficiencia del desarrollo, se dejan de lado áreas complementarias como la motricidad fina o habilidades cognitivas relacionadas, que podrían ser relevantes en evaluaciones más completas.
- **Validación inicial limitada:** Aunque se proponga un diseño para el proceso de validación, su alcance se limita a una muestra reducida, por lo que se necesita de investigaciones futuras para obtener conclusiones generalizables.

Capítulo 4

Metodología, Análisis y Diseño

4.1. Metodología

El crecimiento de las metodologías ágiles ha comenzado a reemplazar gradualmente a los enfoques tradicionales del ciclo de vida del desarrollo de sistemas (SDLC). Las metodologías ágiles buscan proporcionar mayor valor a los clientes. Empero, no todos los proyectos son igualmente receptivos a pequeños pasos evolutivos. En lugar de seleccionar una metodología denominada como ágil y atar la toma de decisiones y acciones a esta, se opta por dirigir el ciclo de desarrollo en base a los principios del Manifiesto Ágil [3]:

- **1. Individuos e interacciones sobre procesos y herramientas:** La comunicación directa y efectiva entre los miembros del equipo son los principales impulsores del éxito del proyecto.
- **2. Software funcionando sobre documentación extensiva:** En lugar de producir una gran cantidad de documentación detallada y formal, se entrega valor a la entrega temprana y continua de software funcional. La documentación será un apoyo para el desarrollo pero no un fin en sí misma.
- **3. Colaboración con el cliente sobre negociación contractual:** El software a entregar debe centrarse en las necesidades cambiantes y asegurarse de que se está entregando el mayor valor posible al ser una herramienta de apoyo para el diagnóstico de posibles atrasos en la motricidad gruesa de niños.
- **4. Respuesta ante el cambio sobre seguir un plan:** Los cambios son inevitables y necesarios; con tal de verdaderamente responder ante las necesidades se debe de flexibilizar los horarios propuestos.

A su vez, se parte del categorizar la metodología como una de carácter participativo [23], basada en las partes interesadas y su papel activo e influyente en las decisiones que afectan el desarrollo del producto final.

4.1.1. Design Thinking

Existen enfoques creativos que se están integrando en el proceso de innovación, incluso en el desarrollo de software. Un ejemplo es el Design Thinking, una metodología centrada en el usuario que fomenta la resolución de problemas a través de la creatividad y la colaboración.

El Design Thinking, que se originó en las décadas de 1960 y 1970 en las principales universidades estadounidenses, como el MIT, Stanford y Carnegie Mellon, es principalmente un enfoque de innovación centrado en el ser humano. Hace hincapié en la comprensión de las necesidades obvias y ocultas de las personas como base para resolver desafíos y desarrollar nuevas ideas. Este proceso conduce a la creación de soluciones que se alinean mejor con los requisitos de los usuarios.

Un aspecto central del Design Thinking es el desarrollo de prototipos que puedan ser probados por futuros usuarios, siguiendo el principio de "fallar rápido, fallar temprano" [4]. Estos prototipos ayudan a validar si se está desarrollando la solución correcta y garantizan la alineación con las necesidades de los usuarios.

En los últimos años, el Design Thinking ha adquirido cada vez más relevancia en entornos digitales y de uso intensivo de software. Si bien el método en sí es independiente de la tecnología, a menudo surge del proceso un enfoque en el desarrollo de soluciones basadas en software. Para optimizar los resultados en una era digital, existe una creciente necesidad de integrar el Design Thinking más estrechamente con los desafíos de la digitalización, asegurando que las ideas innovadoras se puedan implementar de manera efectiva, especialmente cuando estas soluciones involucran el desarrollo de software.

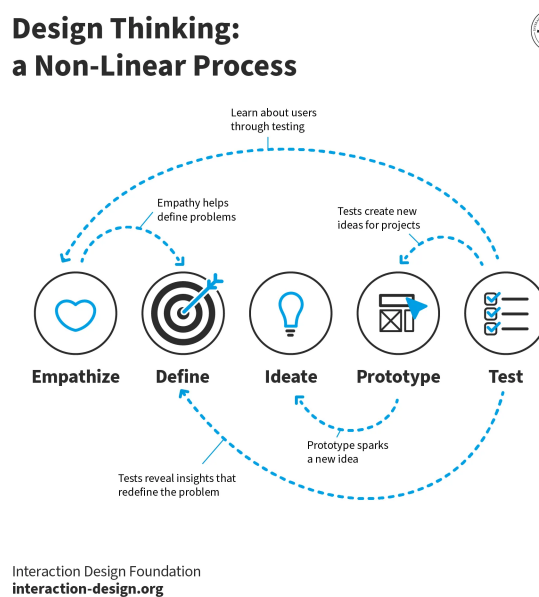


Figura 4.1: Design Thinking: a Non-Linear Process. Fuente: [10].

El Design Thinking es un proceso no lineal orientado a la resolución de problemas. El proyecto busca diseñar una experiencia interactiva en la que los niños puedan interactuar con animales virtuales, permitiendo evaluar sus habilidades motoras de forma lúdica. En este orden de ideas, la distinción dada de cada una de sus fases [13] se convierte en una guía para la metodología a abordar durante el desarrollo del trabajo de grado.

- **1. Empatizar:** En esta fase, es fundamental comprender las necesidades de los niños y los objetivos terapéuticos o educativos de los expertos que evaluarán las habilidades motoras gruesas en ellos. Observaciones directas y entrevistas con terapeutas nos permiten identificar qué tipo de interacción resulta atractiva y efectiva para los niños.
- **2. Definir:** A partir de la información recopilada, se enmarcan los problemas clave. Por ejemplo, podríamos ver que ciertos tipos de gestos no son intuitivos para los niños o que algunas actividades necesitan mayor grado de accesibilidad. Esta fase asegura que el proyecto no se enfoque solo en lo tecnológico, sino en resolver los problemas reales que enfrentan los usuarios.
- **3. Idear:** En esta etapa, se generan múltiples ideas para diseñar la interacción con los animales virtuales. Pueden surgir conceptos como minijuegos que requieran que los niños imiten los movimientos de los animales o desafíos donde deban tocar objetos en el espacio virtual. El enfoque es generar tantas ideas como sea posible, sin limitarse, para luego seleccionar las más viables y atractivas dado un marco de utilidad según las necesidades vistas.
- **4. Prototipar:** Se desarrollan prototipos rápidos que permitan validar las ideas. En este proyecto, esto podría implicar la creación de una versión preliminar de la experiencia, enfocándose en uno o dos animales virtuales. Estos prototipos permiten experimentar con los controles gestuales y ajustar las dinámicas antes de comprometer recursos en el desarrollo completo.
- **5. Testear:** Los niños y terapeutas prueban el prototipo para identificar qué funciona y qué necesita mejorarse. Por ejemplo, podríamos descubrir que un gesto planeado no se detecta bien, o que los niños necesitan más retroalimentación visual o sonora para mantener su interés. Las pruebas no solo validan el diseño, sino que también revelan oportunidades de mejora.

4.2. Análisis

La siguiente sección busca estudiar las herramientas disponibles para la creación de entornos de realidades expandidas y en cómo se integran en niños, fomentando una participación activa y natural por parte de estos.

4.2.1. Descripción del Instrumento Tradicional

En Colombia, la detección de trastornos en el desarrollo motriz grueso se lleva a cabo principalmente mediante herramientas de tamización diseñadas para evaluar de manera estructurada y sistemática los hitos del desarrollo infantil. Una de las herramientas más utilizadas es la Escala Abreviada de Desarrollo 3 (EAD-3) [20], que constituye un instrumento normado y estandarizado orientado a identificar riesgos de retraso en el desarrollo en niños hispanohablantes hasta los 12 años. Esta escala organiza la evaluación en cuatro áreas principales: motricidad gruesa, motricidad fina/adaptativa, lenguaje y desarrollo socioemocional. Particularmente, la motricidad gruesa incluye ítems que evalúan habilidades como el control postural, el equilibrio y los movimientos corporales amplios. La EAD-3 opera mediante la observación directa de conductas del niño o la consulta a los cuidadores a través de preguntas dirigidas. Cada ítem se califica como “cumple” o “no cumple” de acuerdo con criterios específicos previamente establecidos. Esta metodología permite clasificar el desarrollo del niño en uno de tres niveles: desarrollo esperado para la edad, riesgo de problemas de desarrollo o sospecha de alteraciones.

Un aspecto fundamental de la EAD-3 es su rol como herramienta de tamización, no de diagnóstico definitivo. Su propósito es identificar tempranamente señales de alerta que ameriten una evaluación más profunda por parte de especialistas, activando así las rutas de atención necesarias dentro del sistema de salud. La correcta aplicación de esta herramienta requiere de profesionales capacitados que comprendan tanto los aspectos técnicos de la escala como el manejo ético de los resultados. Esto incluye la comunicación clara y no estigmatizante hacia los cuidadores, reconociendo la variabilidad inherente en el desarrollo infantil y evitando interpretaciones que puedan etiquetar de manera innecesaria al niño.

4.2.2. Definición de Tipo de Usuario

El tipo de usuario en este proyecto se centra en niños de hasta 12 años. Estos no necesariamente deben de contar con dificultades en el desarrollo motor grueso, lo que incluiría problemas de equilibrio, coordinación y fuerza muscular. Más bien, el se busca detectar estas debilidades en el desarrollo o medir su mejora una vez esta problemática haya sido detectada con anterioridad.

Dicho esto, se llega a identificar en el arquetipo la posibilidad de otros factores biológicos que puedan afectar con el rendimiento motriz grueso como lo pueden ser discapacidades visuales que pueden afectar su interacción con entornos digitales. Entre estas se destaca la baja visión, daltonismo o hipersensibilidad visual. Empero, el enfoque es para niños los cuales no presenten dichas condiciones visuales.

El tipo de usuario debe ser motivado mediante actividades interactivas y atractivas, por lo que los animales virtuales desempeñan un papel fundamental como elementos lúdicos y motivacionales. El perfil demográfico incluye niños con habilidades tecnológicas básicas, ya que su familiaridad con dispositivos interactivos es común a esta edad. El objetivo es generar un entorno en el que los niños se sientan cómodos interactuando, mientras se evalúan sus capacidades motoras mediante las tareas que los animales virtuales proponen.

Este tipo de usuario también contempla la colaboración de profesionales de la salud (terapeutas y médicos) o tutores, quienes interpretan los resultados y colaboran al ajuste del dispositivo según las necesidades particulares de cada niño.

4.2.3. Proceso de Identificación de Requerimientos

El proceso de identificación de requerimientos futuros se llevó a cabo siguiendo una metodología de investigación centrada en el usuario, que incluyó las etapas condensadas dentro del espacio de Empatizar del *Design Thinking* expuesto en 4.1.1:

- **Charlas con expertos en salud:** Se realizaron reuniones con terapeutas ocupacionales y médicos especialistas en desarrollo infantil para entender las necesidades específicas relacionadas con las evaluaciones motrices de los niños junto con lecturas de documentación oficial de ministerios de salud nacionales.
- **Observación de sesiones terapéuticas:** Se llevaron a cabo observaciones en tiempo real de sesiones de terapia motriz con niños para identificar patrones comunes en los movimientos, comportamientos y necesidades de asistencia.

4.3. Empatizar

La fase de empatizar se centró en comprender profundamente las necesidades de los niños y los objetivos terapéuticos que orientarían el diseño de la experiencia interactiva. Este proceso incluyó la recopilación de información relevante mediante técnicas cualitativas como la observación directa o charlas con terapeutas relacionados para garantizar que el proyecto respondiera eficazmente a las expectativas de los usuarios finales y de los especialistas en rehabilitación motriz infantil.

Esta fase permite establecer una base sólida para el diseño del juego como herramienta a través de las realidades expandidas, alineando las decisiones con los objetivos terapéuticos y educativos del proyecto.

4.3.1. Observación directa

Se llevaron a cabo sesiones de observación directa en los espacios de enseñanza del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (INCS) en los cuales se evaluaron las interacciones de los niños tanto en entornos lúdicos y educativos. Esto permitió determinar cómo los niños respondían a estímulos visuales animados y qué aspectos de la presentación de los animales virtuales podían potenciar su participación activa. También se identificaron los elementos que favorecían el aprendizaje, como sonidos distintivos o movimientos exagerados.

4.3.2. Entrevistas con Terapeutas

Se realizaron charlas con terapeutas en neurodesarrollo y rehabilitación motriz infantil del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (INCS), quienes proporcionaron perspectivas clave sobre las dinámicas más efectivas para trabajar con niños. Estos especialistas confirmaron que el uso de animales animados podía estimular el interés y la interacción, sirviendo como medio terapéutico y educativo.

4.3.3. Investigación Auxiliar

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva en complemento con la información recopilada para identificar las características y comportamientos que elementos como animales virtuales debían adoptar en el contexto del juego. Los animales fueron concebidos como herramientas clave para incentivar la participación de los niños, diseñándolos en un estilo animado y no como representaciones fieles a la realidad. Esta decisión no solo buscó captar la atención infantil, sino también promover el conocimiento sobre la fauna colombiana de una manera accesible y divertida, adaptada a sus intereses y niveles de comprensión.

4.3.4. Identificación de los Problemas Clave

Uno de los principales problemas identificados fue la dificultad de los niños para ejecutar ciertos movimientos de forma intuitiva, lo cual podría limitar la efectividad de los juegos interactivos. A partir de las observaciones, se determinó que los gestos y movimientos necesarios para interactuar con los animales virtuales debían ser lo suficientemente simples y naturales para que los niños los pudieran realizar.

Además, se identificó la necesidad de aumentar la accesibilidad de las actividades, considerando la posible diversidad de habilidades cognitivas y motoras de los niños dentro del rango de 7 a 12 años ya que presentan más adaptabilidad al uso de tecnología en su proceso terapéutico.

4.4. Definir

En la fase de definir se consolidó la información obtenida durante la fase de empatía para enmarcar los problemas clave que debía resolver el proyecto. A partir de las observaciones directas y las entrevistas con los terapeutas, se identificaron las necesidades y desafíos más importantes que enfrentan los niños al interactuar con entornos lúdicos y educativos, redirigiendo el alcance en relación con el desarrollo de habilidades motoras gruesas. Esta fase permitió transformar las percepciones y datos recopilados en un conjunto claro de objetivos y problemas a abordar.

4.4.1. Requisitos Funcionales y No Funcionales

Con base en los problemas identificados, se establecieron los requisitos funcionales y no funcionales. Ambas categorías están guiadas por la necesidad de crear una experiencia interactiva que no solo incentivara la participación activa, sino que también permitiera evaluar de manera efectiva las habilidades motoras de los niños dentro del rango de edad establecido.

Requisitos Funcionales:

- RF1: La aplicación debe proporcionar una interfaz intuitiva y accesible para el tipo de usuario definido en 4.2.2.
- RF2: La aplicación debe contar con botones y otros elementos interactivos, fáciles de usar para el tipo de usuario definido en 4.2.2.
- RF3: La aplicación debe permitir la interacción en tiempo real entre el contenido virtual y el usuario.
- RF4: La aplicación debe incluir juegos diseñados para fomentar el desarrollo de la coordinación motora gruesa, incluyendo actividades que involucren movimientos de brazos, piernas y desplazamientos.
- RF5: La aplicación debe proporcionar retroalimentación durante las actividades, incluyendo instrucciones tanto visuales como auditivas, para guiar al usuario durante la experiencia.

Requisitos No Funcionales:

- RNF1: La aplicación debe ser compatible en los dispositivos seleccionados.
- RNF2: La aplicación debe garantizar tiempos de respuesta rápidos, con un rendimiento fluido y sin retrasos, para mantener la inmersión en la experiencia de juego.
- RNF3: La aplicación debe incorporar elementos de diseño accesibles, tales como texto grande y legible, y colores de alto contraste, asegurando que todos los usuarios puedan interactuar con ella sin dificultades.
- RNF4: El código de la aplicación debe ser modular y estar documentado, para facilitar futuras actualizaciones, mantenimiento y posibles mejoras.

4.4.2. Selección de Actividades Evaluativas en Juegos

Durante la selección de las actividades evaluativas tomadas de la Escala Abreviada de Desarrollo (EAD) [20], se tuvieron en cuenta aquellas que se relacionan con el rango de edad establecido previamente en 4.3.4, que comprende de 7 a 12 años. Estas actividades fueron elegidas debido a su pertinencia en abordar el rezago en el desarrollo—entendido como la situación en la que un niño o niña no alcanza los hitos de desarrollo esperados para su edad—y permitir una evaluación efectiva de las bases necesarias para el desarrollo de habilidades motoras gruesas. Con este enfoque, se seleccionaron tres actividades específicas, diseñadas para adaptarse al rango de edad de 5 a 12 años:

26. Se para en un solo pie.		
Condición de observación	Criterio de respuesta	Materiales
Muéstrele al niño(a) cómo pararse en un solo pie, solicítele que haga lo mismo. Repita hasta dos veces, si no lo logra en la primera ocasión. NOTA: Es necesario que el niño(a) esté descalzo(a) y sin medias.	Puntúe si el niño(a) puede pararse en un solo pie al menos durante dos segundos, sin bajar en ningún momento el talón levantado al piso.	Cronómetro

Figura 4.2: Actividad Número 26 en la Escala Abreviada de Desarrollo (EAD) correspondiente a la motricidad gruesa. Recuperado de: [20]

28. Camina sobre una línea recta sin apoyo visual.		
Condición de observación	Criterio de respuesta	Materiales
Muéstrele al niño(a) cómo caminar sobre la cinta, alternando los pies y mirando al frente, solicite que haga lo mismo. Repita hasta dos veces, si no lo logra en la primera ocasión. NOTA: Es necesario que el niño(a) esté descalzo(a) y sin medias.	Puntúe si el niño(a) logra caminar sobre la línea recta, alternando los pies, sin perder el equilibrio, sin pisar fuera de la línea, sin devolverse, sin poner el pie en el mismo sitio dos veces y sin mirar al piso, por lo menos dos metros.	Cinta

Figura 4.3: Actividad Número 28 en la Escala Abreviada de Desarrollo (EAD) correspondiente a la motricidad gruesa. Recuperado de: [20]

36. Realiza alguna actividad de integración motora.		
Condición de observación	Criterio de respuesta	Materiales
Pregúntele al niño(a) o al cuidador(a) si el niño(a) realiza alguna actividad física. Si la respuesta es afirmativa, indague con el niño(a) o el cuidador(a) la calidad de la ejecución y el tiempo que el niño(a) lleva practicándola.	Puntúe si el niño(a) o cuidador(a) reporta que realiza alguna actividad física como: montar bicicleta, saltar lazo, nadar, ballet, artes marciales, entre otros, con una calidad aceptable. Por ejemplo, si anda al menos una cuadra en bicicleta sin caerse, si nada alternando brazos y piernas, si es capaz de seguir las secuencias de la danza, etc. Y si lleva al menos un mes practicando la actividad.	Recurso humano

Figura 4.4: Actividad Número 36 en la Escala Abreviada de Desarrollo (EAD) correspondiente a la motricidad gruesa. Recuperado de: [20]

4.4.3. Selección de la Tecnología

La selección de la tecnología para el desarrollo de la herramienta interactiva se basa en una evaluación detallada de diversos parámetros que afectan tanto la experiencia del usuario como el rendimiento general. A continuación, se presentan los parámetros clave evaluados para tres tecnologías principales: Realidad Aumentada (RA), Realidad Mixta (RM) y Realidad Virtual (RV). Para cada parámetro, se asignó un puntaje basado en el cumplimiento de las características esperadas, con una escala que va desde “No cumple” (0) hasta “Cumple totalmente” (5).

Parámetros de Evaluación

#	Parámetro de Evaluación
1	Información sensorial recibida.
2	Habilidad del observador de modificar su punto de vista.
3	Habilidad de modificar las relaciones espaciales de los objetos en el ambiente.
4	Respuesta a los movimientos.
5	Movimiento de los objetos dinámicos.
6	Facilidad de uso.
7	Fatiga y comodidad.
8	Precisión y rendimiento.

Cuadro 4.1: Parámetros considerados para la evaluación de las tecnologías.

Puntaje de Evaluación

Las tablas presentan el puntaje asignado a las tecnologías según su desempeño, el cual fue evaluado tras pruebas exploratorias de los dispositivos. Estas pruebas se realizaron de manera libre, sin seguir un protocolo estricto, con el propósito de observar el comportamiento general de las tecnologías en un entorno práctico. Los resultados se complementaron con discusiones detalladas con el director, enfocadas en analizar los criterios relevantes para la realización del proyecto.

Parámetros	Realidad Aumentada (RA)
La información sensorial recibida	3
La habilidad del observador de modificar su punto de vista	5
Habilidad de modificar las relaciones espaciales	4
La respuesta a los movimientos	3
Movimiento de los objetos dinámicos	4
Facilidad de uso	5
Fatiga y comodidad	5
Precisión y rendimiento	4
Total	33

Cuadro 4.2: Puntaje de Evaluación para Realidad Aumentada (RA)

Parámetros	Realidad Mixta (RM)
La información sensorial recibida	5
La habilidad del observador de modificar su punto de vista	5
Habilidad de modificar las relaciones espaciales	5
La respuesta a los movimientos	5
Movimiento de los objetos dinámicos	5
Facilidad de uso	4
Fatiga y comodidad	4
Precisión y rendimiento	5
Total	38

Cuadro 4.3: Puntaje de Evaluación para Realidad Mixta (RM)

Parámetros	Realidad Virtual (RV)
La información sensorial recibida	4
La habilidad del observador de modificar su punto de vista	4
Habilidad de modificar las relaciones espaciales	4
La respuesta a los movimientos	5
Movimiento de los objetos dinámicos	5
Facilidad de uso	3
Fatiga y comodidad	2
Precisión y rendimiento	4
Total	31

Cuadro 4.4: Puntaje de Evaluación para Realidad Virtual (RV)

Justificación de la Selección de la Tecnología

La información sensorial recibida:

- **RA:** La Realidad Aumentada presenta una integración de lo virtual y lo real, ofreciendo una experiencia sensorial variada que combina el entorno físico con elementos virtuales con interacción limitada, minimizando su inmersión.
- **RM:** La Realidad Mixta proporciona una integración fluida entre lo real y lo virtual, ofreciendo una experiencia sensorial avanzada con una interacción más precisa con los elementos virtuales en un entorno real.
- **RV:** Ofrece una inmersión completa con información sensorial controlada, pero sin la interacción con el mundo físico, lo que reduce la variabilidad sensorial.

La habilidad del observador de modificar su punto de vista:

- **RA:** Permite una modificación amplia del punto de vista, combinando el control sobre los objetos virtuales con la interacción directa con el entorno real.
- **RM:** Ofrece una flexibilidad completa para modificar el punto de vista tanto dentro del mundo real como interactuando con el entorno virtual.
- **RV:** Ofrece total libertad para modificar el punto de vista dentro del entorno virtual, pero carece de interacción con el entorno físico real.

Habilidad de modificar las relaciones espaciales de los objetos en el ambiente:

- **RA:** Permite una modificación efectiva de las relaciones espaciales de los objetos, dada la flexibilidad de integrar lo real con lo virtual.
- **RM:** Permite modificar con precisión las relaciones espaciales de los objetos, permitiendo una interacción en tiempo real tanto con el mundo físico como con los objetos virtuales.
- **RV:** Ofrece una gran capacidad para modificar las relaciones espaciales dentro del entorno virtual, pero sin interacción con el mundo real.

La respuesta a los movimientos:

- **RA:** Responde bien a los movimientos, con ligera latencia, pero con un buen nivel de interacción entre el mundo real y el virtual.
- **RM:** Responde con alta precisión y de manera eficiente a los movimientos, logrando una integración efectiva entre los objetos reales y virtuales.
- **RV:** Respuesta rápida y precisa a los movimientos dentro del entorno virtual, pero sin la integración de objetos reales.

Movimiento de los objetos dinámicos:

- **RA:** Los objetos dinámicos se mueven de manera con una integración equilibrada entre lo físico y lo virtual.
- **RM:** El movimiento de los objetos dinámicos está perfectamente gestionado con interacciones entre lo real y lo virtual.
- **RV:** El movimiento de los objetos dinámicos es fluido y preciso, pero carece de interacción con el mundo físico.

Facilidad de uso:

- **RA:** Es moderadamente fácil de usar, aunque puede requerir un pequeño aprendizaje para adaptarse a la integración que ofrece de lo real y lo virtual.
- **RM:** Es intuitiva al integrar gestos y acciones sencillas en su interacción principal solicitada.
- **RV:** Aunque es fácil de usar, los usuarios pueden enfrentar una curva de aprendizaje más pronunciada debido a la inmersión total en el entorno virtual.

Fatiga y comodidad:

- **RA:** Es la opción más cómoda para el uso prolongado, ya que no requiere una inmersión total y no causa la fatiga asociada con la realidad virtual.
- **RM:** Ofrece la mejor experiencia en términos de comodidad, sin causar fatiga, ya que no requiere una inmersión total y permite interacciones naturales.
- **RV:** Puede causar fatiga visual y mareos con el uso prolongado debido a la inmersión total y la falta de interacción con el mundo físico.

Precisión y rendimiento:

- **RA:** Ofrece un buen rendimiento con una precisión adecuada, pero puede haber pequeñas imprecisiones en algunos contextos y espacios.
- **RM:** Proporciona precisión y un rendimiento consistente, al recibir información del entorno real para su adaptabilidad.
- **RV:** Alta precisión y rendimiento consistente dentro del entorno virtual, pero sin la flexibilidad de los entornos mixtos o aumentados.

De acuerdo con la evaluación realizada, la Realidad Mixta (RM) obtuvo el puntaje más alto, destacándose en parámetros clave como la integración de lo real y lo virtual, la precisión en la modificación de las relaciones espaciales, la respuesta a los movimientos, y la facilidad de uso, además de su baja fatiga. Esto la convierte en la opción más adecuada para la realización del trabajo de grado, ya que proporciona una experiencia más rica y completa para los usuarios. Aunque la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) ofrecen ventajas dentro del marco de realidades expandidas explorado, la Realidad Mixta proporciona la experiencia más completa y eficiente para las necesidades del proyecto.

4.4.4. Análisis de Factibilidad Técnica

El análisis de factibilidad técnica se centró en evaluar los recursos necesarios para implementar el sistema de realidades expandidas, considerando tanto los aspectos de hardware como de software. Los elementos clave incluyen:

- **Costos y tiempos de desarrollo:** Se realizó un análisis de costos para determinar la inversión en tecnología y tiempo necesario para implementar un prototipo funcional y realizar pruebas.
- **Hardware:** El sistema debe ser compatible con dispositivos de realidad expandida, como visores de realidad mixta, accesible a entidades que trabajen en el sector salud de niños.

- **Software:** Se requiere una plataforma que permita el desarrollo de entornos interactivos de realidad expandida, junto con APIs especializadas en realidad aumentada y seguimiento de movimientos.

Tras realizar el análisis de factibilidad técnica, se escogieron las herramientas de Unity y HoloLens 2 para el desarrollo dentro de los costos y tiempos previstos debido a los siguientes análisis de sus características:

Unity

- **Compatibilidad con Realidades Expandidas:** Unity es ampliamente utilizado en el desarrollo de aplicaciones para Realidad Mixta (RM), lo que lo convierte en una opción ideal para el desarrollo de entornos interactivos. La plataforma soporta una variedad de dispositivos de realidad expandida, desde dispositivos móviles hasta visores avanzados, lo que asegura la escalabilidad del proyecto.
- **Facilidad de Desarrollo:** Unity es conocido por su interfaz amigable y su capacidad para desarrollar aplicaciones tanto 2D como 3D de manera eficiente. Es posible aprovechar las herramientas integradas para la creación de entornos virtuales interactivos sin tener que desarrollar todo desde cero, lo que acelera el proceso de creación de la herramienta.
- **Integración con APIs Especializadas:** Unity es compatible con una variedad de APIs que son cruciales para el desarrollo de aplicaciones de RA y RM, como ARKit, ARCore, lo que facilita la integración de funciones de seguimiento de movimientos y reconocimiento de objetos.

HoloLens 2

HoloLens 2 es un dispositivo pionero en el campo de la realidad mixta, que permite una inmersión profunda en entornos virtuales y la interacción natural con objetos virtuales mediante gestos, voz y visión espacial. Esto es especialmente útil en entornos educativos y terapéuticos para niños, donde la interacción con el entorno debe ser intuitiva y atractiva además de estar disponible en el el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (INCS).

- **Seguimiento de Movimiento y Reconocimiento de Gestos:** El HoloLens 2 tiene capacidades avanzadas de seguimiento de manos y ojos, lo que permite un control preciso sobre las interacciones dentro del entorno virtual. Esto es crucial en aplicaciones de salud infantil, donde la precisión y la facilidad de uso son esenciales para que los niños puedan interactuar con el sistema.

- **Comodidad y Portabilidad:** A pesar de ser un dispositivo de alta gama, el HoloLens 2 es relativamente liviano y cómodo de usar, lo que permite a los usuarios (en este caso, los niños) llevarlo durante períodos prolongados sin incomodidad.
- **Integración con Plataformas de Desarrollo:** El HoloLens 2 se integra con Unity, lo que permite a los desarrolladores crear aplicaciones de realidad mixta de manera más eficiente. Esta integración fluida facilita la creación de experiencias interactivas que pueden ser fácilmente desplegadas en dispositivos HoloLens 2, asegurando una transición sin problemas desde el desarrollo hasta la implementación.

4.5. Diseño

En el presente apartado se presenta el diseño de la experiencia en realidad expandida, la arquitectura del sistema y un bosquejo preliminar de la interfaz. Para esto, se presentan diagramas para describir la estructura y el flujo de la experiencia.

4.5.1. Mecánicas de los juegos

Siguiendo el orden de las actividades escogidas en 4.4.2, se diseñó una experiencia lineal. Esta consiste en una serie de 3 juegos, los cuales van a permitir que el usuario realice una adaptación de las actividades seleccionadas de forma didáctica. Estos juegos van a estar conectados por una narrativa que permita aumentar la inmersión y participación de los usuarios en la experiencia.

- **Imitar al mono:** El primer juego consiste en que el usuario imite los movimientos de un mono que va a estar en frente de él. El mono va a realizar varios movimientos que involucren a la coordinación motora gruesa, como mover los brazos a los lados, hacia adelante y hacia arriba, y levantar una pierna.
- **Caminar en línea recta:** En el segundo juego, el usuario va a tener que caminar en línea recta hacia 4 animales, uno por uno, los cuales van a estar a cierta distancia al frente de él.
- **Atrapar las frutas:** En tercer juego se le pide al usuario atrapar con sus manos unas frutas que van a estar cayendo del cielo al frente de él.

Los detalles de la implementación de estos juegos, así como del sistema completo se van a presentar en la sección 5.1 correspondiente al apartado de Implementación.

4.5.2. Narrativa

La narrativa consiste en un cuento corto creado por nosotros mismos, que cuenta la historia de un mono, el cual a lo largo de la experiencia le va a pedir al usuario participar en los juegos diseñados para continuar con la historia.

Al iniciar, el mono quiere ser amigo del usuario, por lo que le va a pedir a este que imite sus movimientos para ganar su confianza, lo cual corresponde al primer juego. Luego, al ser ya amigos, lo va a invitar a conocer a sus otros amigos animales, lo cual corresponde al segundo juego. Una vez los haya conocido a todos, el mono va a tener hambre, por lo que le va a pedir al usuario que le ayude a conseguir comida, lo cual corresponde al tercer juego. Finalmente, el mono le agradece al usuario por su ayuda y la experiencia termina.

4.5.3. Interfaz

La conceptualización de la interfaz de usuario se establece a través del RF1, definido en los requisitos funcionales de 4.4.1, garantizando claridad a través del minimalismo y evitando cualquier disociación con la interacción real.

“Mensaje Conciso de la Propuesta de la Actividad”



Figura 4.5: Propuesta de la Interfaz desde el Punto de Vista del Usuario.

4.5.4. Arquitectura

En el siguiente apartado, se describe la arquitectura del sistema diseñado.

Capa de Usuario

Esta capa incluye la interacción del usuario con el sistema a través de las HoloLens. Se encarga de la visualización de los elementos de realidad expandida y la captura de los movimientos del usuario.

- **Dispositivo HoloLens 2:** Las HoloLens se encargan de renderizar los animales virtuales en el espacio real y captar los gestos y movimientos. El dispositivo incluye:
 - **Reconocimiento de gestos y seguimiento de movimiento:** Usado para captar movimientos del usuario en tiempo real, que son luego procesados y aplicados a la interfaz.
 - **UI adaptada a HoloLens:** La interfaz de usuario está optimizada para el visor de las HoloLens 2, presentando información de manera no intrusiva en el entorno físico.

Capa de Lógica

Esta capa contiene la lógica que gestiona cómo se comportan los animales virtuales y las tareas motrices. Aquí es donde ocurre la mayor parte del procesamiento y control del flujo del juego.

- **Mecánicas de juego y tareas motrices:** La lógica que define cómo el sistema y sus componentes interactúan con el usuario. Por ejemplo, dar instrucciones para que el usuario realice una tarea y registrar sus movimientos.
- **Visualización del rendimiento:** Recopila y muestra datos sobre el rendimiento del usuario por medio de un sistema de puntos.

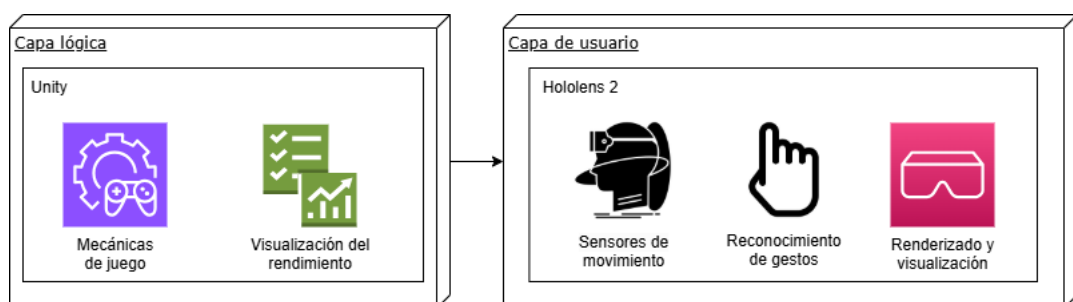


Figura 4.6: Diagrama de Arquitectura.

4.5.5. Diagrama de Flujo

A continuación, se presenta del diagrama de flujo de la experiencia, el cual representa visualmente la lógica del sistema. La experiencia incluye 3 juegos, los cuales están conectados por una pequeña narrativa.



Figura 4.7: Diagrama de Flujo.

4.6. Idear

La fase de Idear se centró en la creación de un concepto claro y detallado para los animales virtuales y las mecánicas de interacción dentro de los juegos. Este paso fue fundamental para dar forma a la experiencia interactiva, asegurando que los elementos visuales y las dinámicas del juego estuvieran alineados. A lo largo de esta fase, se trabajó intensamente en la conceptualización visual de los animales y en la creación de las dinámicas de interacción que motivarían a los niños a participar activamente en las actividades del juego.

4.6.1. Dibujos Conceptuales

La primera parte de la fase se centró en la generación de ideas para los animales virtuales. Esto comenzó con la creación de dibujos conceptuales, que sirvieron como una representación inicial para determinar cómo serían los animales dentro de la herramienta. En esta etapa, se priorizó la simplicidad y la amigabilidad en sus diseños, asegurándose de que los animales tuvieran características visuales que los hicieran reconocibles y diferenciables entre ellos. En este orden de ideas, se seleccionaron cuatro animales de la fauna colombiana: el tití del Caquetá (*callicebus caquetensis*), la rana dardo dorada (*phyllobates terribilis*), el jaguar (*panthera onca*) y el gallito de Roca Andino (*rupicola peruvianus*).

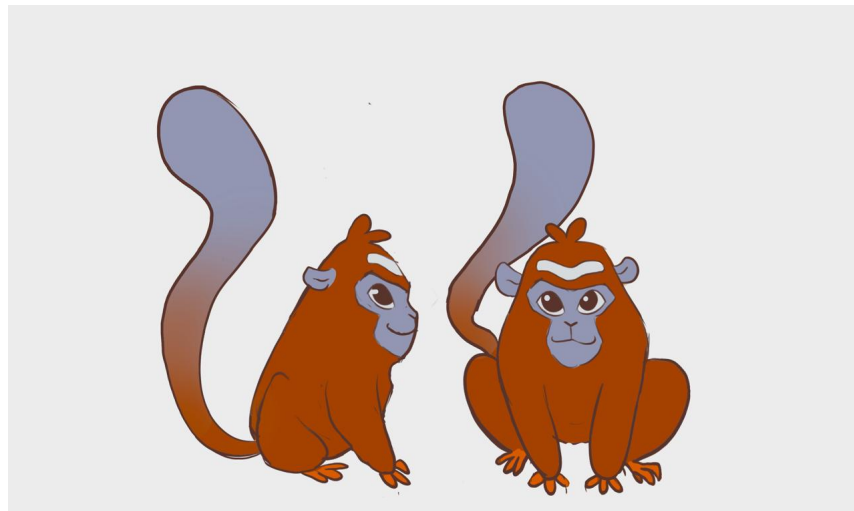


Figura 4.8: Dibujo conceptual del tití del Caquetá.

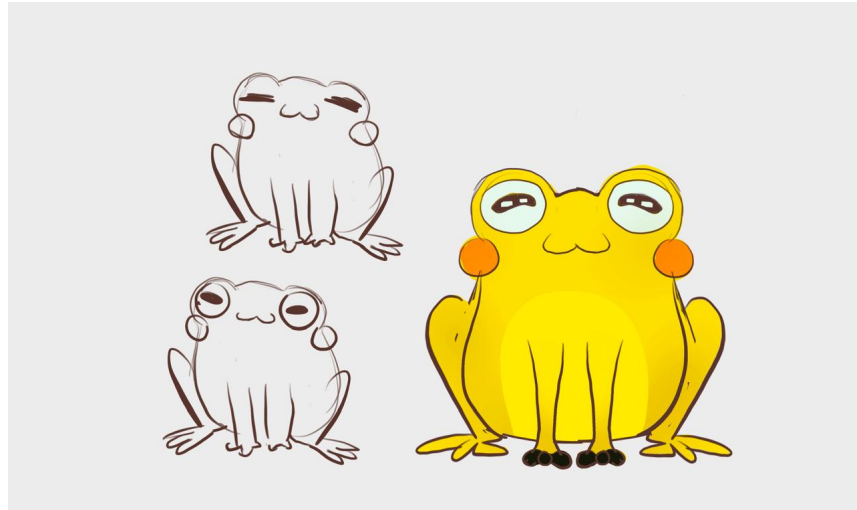


Figura 4.9: Dibujo conceptual de la rana dardo dorada.

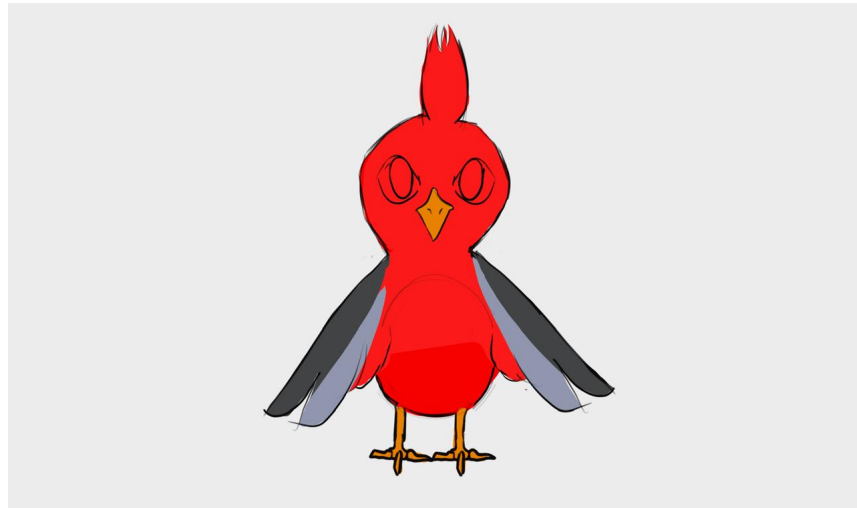


Figura 4.10: Dibujo conceptual del gallito de Roca Andino.

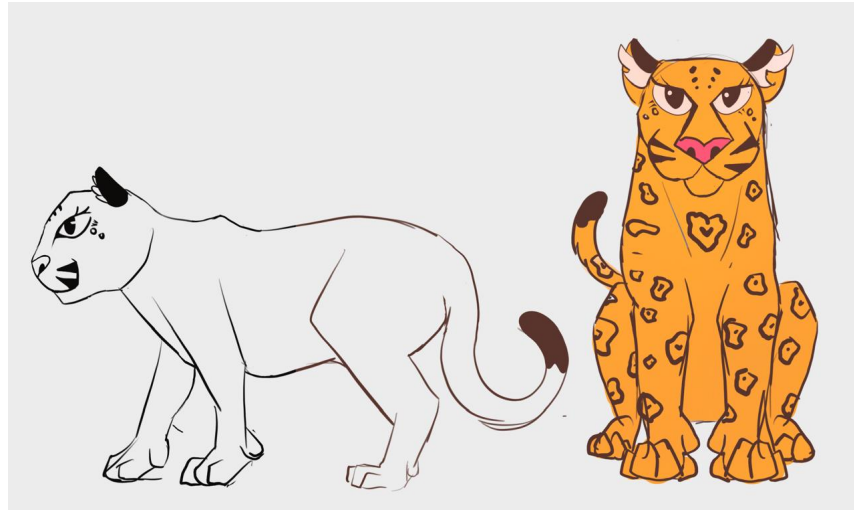


Figura 4.11: Dibujo conceptual del jaguar.



Figura 4.12: Dibujo conceptual del lagarto azul de Gorgona, explorando diferentes opciones de animales antes de la elección final.

Los dibujos fueron realizados de manera que reflejaran su respectivo animal y rol dentro del juego. Por ejemplo, algunos animales fueron diseñados para ser más dinámicos al buscar actividades de imitación, mientras que otros fueron creados con una estética más calmada, sirviendo de referentes en un espacio interactivo. Estos aspectos fueron considerados cuidadosamente para asegurarse de que las mecánicas de interacción fueran intuitivas y fáciles de seguir, lo que es esencial en el contexto de un entorno educativo y terapéutico.

4.6.2. Modelado 3D y Preparación para Animación

Una vez definidos los diseños de los animales a través de los dibujos conceptuales, el siguiente paso fue la creación de los modelos 3D para dar vida a los personajes y permitir su interacción dentro del entorno virtual del juego con el usuario objetivo.

La herramienta principal utilizada para este proceso fue Blender, un software de modelado, animación y renderizado en 3D que ofrece gran versatilidad y precisión. Blender permitió crear los modelos de los animales seleccionados, optimizando la integración de estos personajes en el entorno virtual a desarrollar en Unity. Además, Blender ayudaría a facilitar la manipulación animaciones durante el proceso.

Los modelos 3D fueron diseñados con el objetivo de ser lo más fieles posible a los dibujos originales, pero con la flexibilidad necesaria para futuras etapas. Durante el proceso de modelado, se prestó especial atención a varios factores esenciales, como las proporciones del cuerpo de los animales, los detalles visuales y su capacidad de movimiento. La estética final de los modelos 3D fue diseñada para equilibrar la simplicidad visual, facilitando su rápida identificación por parte de los niños.



Figura 4.13: Modelado 3D del tití del Caquetá en Blender.

Se consideraron, además, las limitaciones tecnológicas de los dispositivos de realidad aumentada y virtual que se utilizarían en el proyecto. Por esta razón, los modelos fueron optimizados con una complejidad baja para garantizar un buen rendimiento y evitar caídas en la tasa de fotogramas sin sacrificar la calidad visual. Este proceso de optimización fue esencial para asegurar que la experiencia fuera fluida y eficiente, incluso en dispositivos con limitaciones en el procesamiento gráfico.

4.6.3. Rigging

Una vez que los modelos 3D estuvieron listos, se pasó al proceso de rigging, que consistió en la creación de un esqueleto virtual para cada animal usando como referencia las propuestas de animación animal de Silva et al. [29]. Este esqueleto permite que los modelos 3D sean animados, dado que el rigging asigna huesos y articulaciones al modelo, permitiendo su manipulación y movimiento en el espacio tridimensional. El rigging fue especialmente importante en el caso del mono, ya que su anatomía compleja requería un esqueleto detallado para poder capturar y reproducir movimientos dinámicos como balance de equilibrio que un usuario pudiera imitar. Se crearon múltiples controladores para cada parte del cuerpo, garantizando que los movimientos fueran lo naturales.

Durante este proceso, se prestó especial atención a aplicar las restricciones necesarias para minimizar las deformaciones indeseadas en las animaciones, con el objetivo de mantener la integridad del modelo. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, algunas deformaciones menores fueron inevitables, aunque no afectaron significativamente la fluidez de los movimientos.

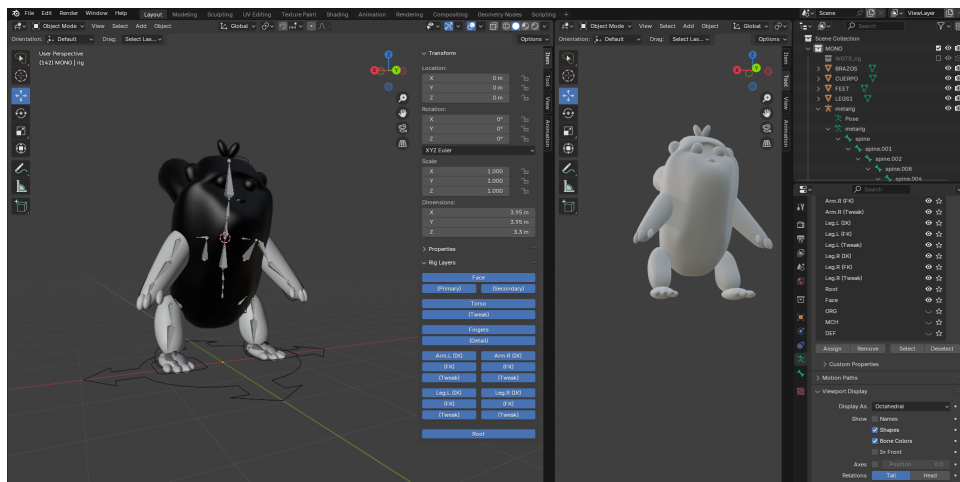


Figura 4.14: Rigging del titi del Caquetá en Blender.

4.6.4. Animaciones Personalizadas

La parte más importante de la fase de ideación fue la animación personalizada, que se centró especialmente en el mono debido a su capacidad para realizar movimientos más complejos debido a su anatomía. Para capturar los movimientos del mono, se utilizó la técnica de body tracking, que permite seguir los movimientos del cuerpo humano y transferirlos a un esqueleto virtual. Este enfoque fue crucial para generar animaciones realistas y naturales según las necesidades.

El proceso de captura de animaciones comenzó con la grabación de los movimientos del cuerpo de una persona que actuaba como modelo para el mono. Gracias a la tecnología de body tracking, los movimientos de la persona se tradujeron directamente en el esqueleto virtual del mono, lo que permitió una animación precisa para acciones como el balanceo.

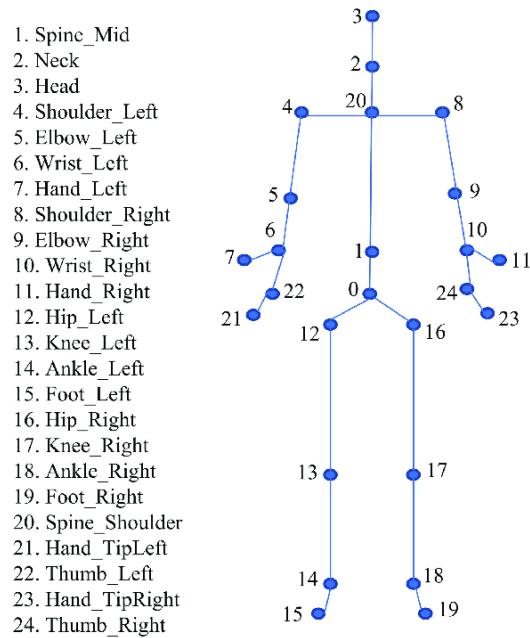


Figura 4.15: Puntos y Articulaciones de Referencia utilizados. Fuente: [16] .

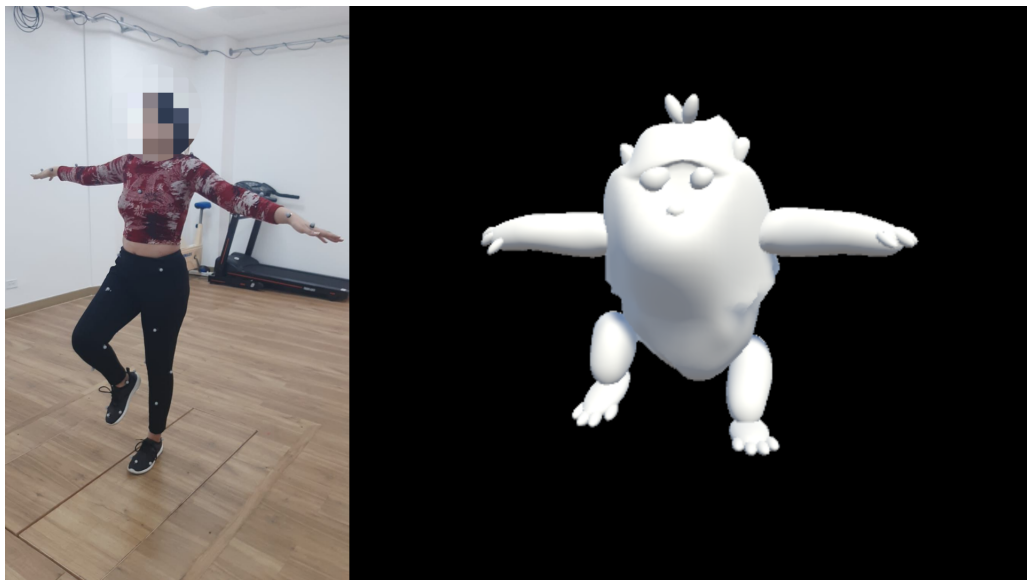


Figura 4.16: Captura de Animaciones.

Una vez que las animaciones fueron capturadas, se aplicaron al modelo 3D del mono, ajustando los movimientos para que se alinearan con las interacciones del juego. El proceso de rigging fue fundamental para que las animaciones personalizadas, capturadas mediante body tracking, pudieran ser transferidas de manera precisa y eficiente al modelo 3D. Sin embargo, uno de los principales retos de esta etapa fue la discrepancia entre la anatomía humana y la del mono. Aunque ambas son biológicamente similares, la extensión de las extremidades del mono varía, lo que generó algunos conflictos al aplicar los movimientos de una persona al modelo 3D. A pesar de estos desafíos, se realizaron ajustes para que los movimientos del mono fueran lo más naturales y realistas posibles dentro del entorno del juego.

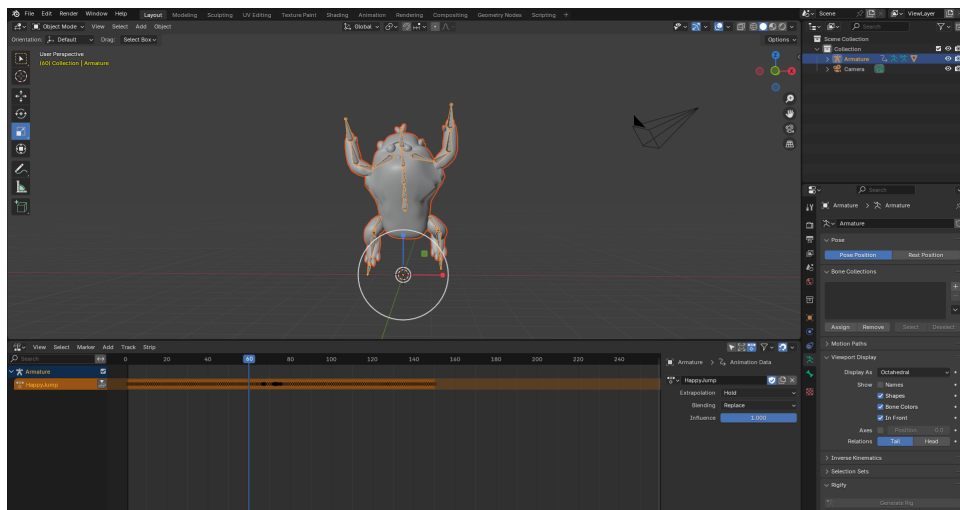


Figura 4.17: Animación del tití del Caquetá en Blender.

Capítulo 5

Implementación

5.1. Prototipar

El prototipo fue implementado en la herramienta Unity, usando el lenguaje de programación C# para los scripts de comportamiento de los objetos. Se utilizó el framework Mixed Reality Toolkit (MRTK) para facilitar la implementación de los objetos 3D y su respectiva funcionalidad. Además, su estructura y funcionalidad prevista tuvo en base el diagrama de arquitectura presentado en 4.6, mientras que la experiencia de usuario se centralizó en lo planeado durante el diagrama 4.7.

Se utilizaron diferentes fórmulas matemáticas para calcular la posición y la orientación de los objetos 3D respecto a la posición del usuario y la orientación de su campo de visión, siendo esta una de las ventajas más favorables en la selección de tecnología de Realidad Mixta (RM) vista en 4.4.3.

La siguiente fórmula se utilizó para calcular la orientación en el eje y de los animales durante el juegos 5.3 y 5.4 para que siempre estén mirando al usuario:

$$Q_y = 180^\circ + \arctan\left(\frac{x}{z}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad (5.1)$$

Donde

- Q_y : Es el ángulo de rotación alrededor del eje y .
- x, z : Son los componentes x y z del vector que va del animal a la posición del usuario.
- $\frac{180}{\pi}$: Es el factor de conversión de radianes a grados.
- 180° : Es el desplazamiento adicional para invertir la orientación.

Cada objeto en el prototipo tiene su propio script, el cual define su comportamiento con el usuario y con los demás elementos del prototipo. Se crearon 3 escenas diferentes, una para cada juego. La estructura general de cada escena es la siguiente:

- Una luz ambiental.
- Un prefab llamado MRTK XR Rig, el cual configura la cámara y la interacción con el entorno.
- Un objeto que contiene el script del juego de la escena.
- Una interfaz para los mensajes emergentes y los botones de la escena.
- Los objetos asociados al juego de la escena.

Cuando se ejecuta el prototipo, se carga la primera escena, la cual inicia con un botón y un mensaje de texto en el centro del campo de visión, el cual hay que presionar para que aparezca un nuevo mensaje de texto que da paso al primer juego propuesto. Una vez el juego termina, aparece de nuevo el botón junto con un mensaje de texto, que al presionarse carga la siguiente escena.

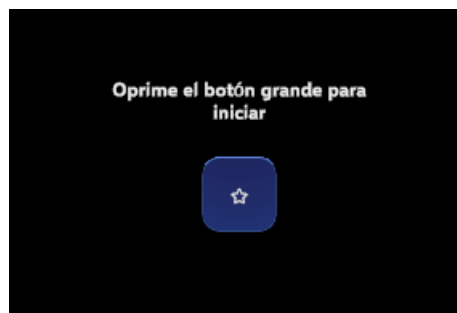


Figura 5.1: Botón con mensaje de texto.

Los mensajes de texto tienen dos objetivos: Dar indicaciones sobre el funcionamiento de los juegos y los botones, y contar la narrativa que conecta los juegos. Dos de los juegos incluyen un contador, el cual registra la cantidad de aciertos del usuario en el respectivo juego, facilitando el análisis de su desempeño por parte del profesional encargado.



Figura 5.2: Contador.

Las otras dos escenas tienen el mismo comportamiento que la primera, a diferencia del juego que contienen, los cuales se detallan a continuación.

5.1.1. Juego de Imitar al Mono

Basado en los objetivos propuestos de la actividad 4.2, en el primer juego aparece un mono al frente del usuario. Este va a empezar a realizar unos movimientos con sus brazos y piernas, siendo sus movimientos las animaciones personalizadas mencionadas anteriormente. El objetivo es que el usuario los imite en tiempo real, lo que involucra movimientos donde influye la coordinación motora gruesa. Dadas las limitaciones del Hololens 2 para captar los movimientos del cuerpo, el desempeño del usuario deberá ser analizado por el profesional encargado sin tener un indicador explícito por parte de la herramienta.



Figura 5.3: Juego de Imitación.

	Evaluación del EAD-3	Herramienta Propuesta
Descripción	La actividad 4.2 propone “Muéstrole al niño(a) cómo pararse en un solo pie, solicítrole que haga lo mismo. Repita hasta dos veces, si no lo logra en la primera ocasión.”	Un mono animado que realiza movimientos personalizados con brazos y piernas que culminan en hacer equilibrio en un solo pie. El objetivo es que el usuario imite las acciones en tiempo real.

Cuadro 5.1: Comparación entre Actividad 4.2 y juego de imitar al mono.

Tanto 4.2 como 5.3 buscan estimular y evaluar el equilibrio, pero difieren significativamente en el enfoque. La actividad sugerida por la EAD-3 es más directa y dependiente de un evaluador, mientras que la herramienta propuesta introduce un enfoque más interactivo y gamificado.

5.1.2. Juego de Caminar en Línea Recta

Basado en los objetivos propuestos de la actividad 4.3, en el segundo juego aparecen 4 animales diferentes en un semicírculo al frente del usuario (aproximadamente a una distancia de 2 metros), los cuales son un mono, un pájaro, una rana y un jaguar. Uno de ellos va a emitir un sonido representativo de su especie, y el objetivo es que el usuario camine en línea recta hacia ese animal. Si logra caminar en línea recta hasta estar a una corta distancia del animal, suena un sonido y sale un mensaje felicitando al usuario, de lo contrario suena otro sonido y un mensaje diferente indicando que se puede mejorar. Cada vez que el usuario logre caminar en línea recta hacia un animal, se va a aumentar un contador ubicado en la parte inferior del campo de visión del usuario.

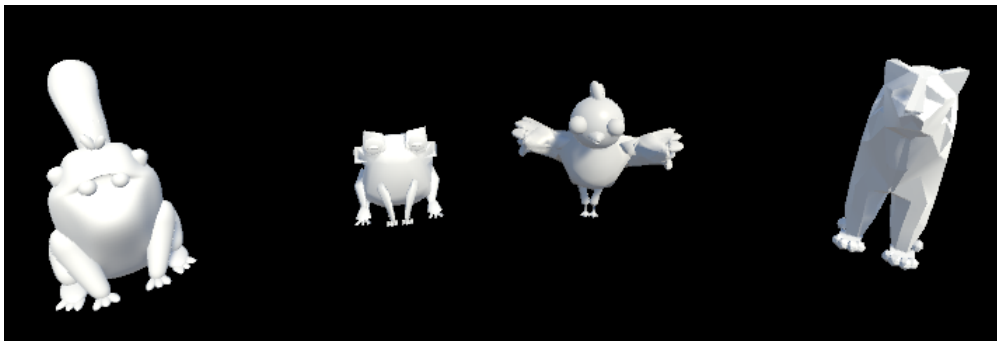


Figura 5.4: Juego de caminar en línea recta.

Luego, se le pide al usuario que gire su cuerpo hasta que quede mirando hacia su posición inicial para que vuelvan a aparecer los animales, esto se hace para que el juego pueda realizarse en un espacio similar al de un salón de clase, dado que si los animales aparecieran siempre al frente, seguramente se sobrepondrían con las paredes del salón. Este proceso se repite 3 veces más, haciendo que cada animal suene solo una vez en un orden específico.

Para validar si el usuario camina en línea recta, cuando aparecen los animales se guarda la dirección del vector que va de la posición del usuario a la del animal al que tiene que caminar, y a medida que avanza se evalúa la diferencia entre la dirección del nuevo vector que va de la posición del usuario al animal. La dirección del vector corresponde solo a los componentes x y z (anchura y profundidad) del vector de 3 dimensiones, dado que el componente y (altura) varía considerablemente a medida que el usuario se acerca al animal.

En caso de que dicha diferencia supere cierto valor, se considera que ya no está caminando en línea recta. Este valor se definió tras un análisis experimental realizado por nosotros mismos, basado en la evaluación de distintos valores y de su desempeño.

	Evaluación del EAD-3	Herramienta Propuesta
Descripción	La actividad 4.3 propone “Muéstrelle al niño(a) cómo caminar sobre la cinta, alternando los pies y mirando al frente, solicite que haga lo mismo. Repita hasta dos veces, si no lo logra en la primera ocasión.”	El usuario debe caminar hacia uno de cuatro animales (mono, pájaro, rana y jaguar) que emite su sonido. Si el usuario camina en línea recta, recibe un sonido de felicitación y un mensaje positivo en pantalla; si no, se reproduce un sonido diferente con un mensaje de mejora. Un contador registra los éxitos.

Cuadro 5.2: Comparación entre Actividad 4.3 y Juego de Caminar en Línea Recta.

La actividad 4.3 y el juego 5.4 implican caminar, pero la del EAD-3 se enfoca en alternar los pies y mirar al frente al caminar sobre una cinta, repitiendo si es necesario. Por otro lado, el juego propuesto por la herramienta consiste en caminar hacia un animal que emite un sonido, brindando retroalimentación positiva o de mejora junto a un contador de éxitos. Mientras el juego premia el seguir instrucciones y se dinamiza al cambiar posiciones en el espacio, la actividad del EAD-3 es más técnica y sin un motivador explícito al cumplir la tarea con éxito.

5.1.3. Juego de Atrapar Frutas

Basado en los objetivos propuestos de la actividad 4.4, en el tercer juego caen frutas del cielo a intervalos regulares de tiempo. Su posición inicial es aleatoria dentro de un espacio de dos dimensiones a cierta distancia del usuario, el cual se mueve en función su posición y de su orientación, para que las frutas siempre caigan al frente del usuario en caso de que se mueva o mire para otro lado. El tipo de fruta que desciende también es aleatorio dentro de 3 posibilidades: limón, manzana y sandía.

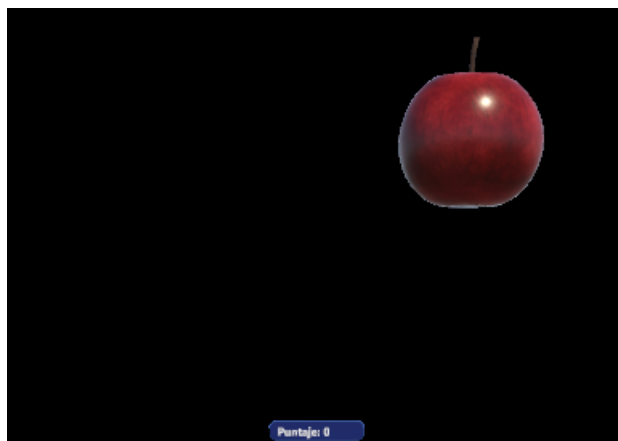


Figura 5.5: Juego de atrapar frutas.

El objetivo es que el usuario atrape las frutas mientras caen con sus manos, el tipo de agarre puede ser cualquiera mientras se cierran los dedos sobre la mano. Cada vez que atrape una, esta desaparece, suena un sonido afirmativo y se aumenta un contador ubicado en la parte inferior del campo de visión del usuario. Si una fruta toca el suelo, desaparece para evitar que se acumule en el piso. Para ajustar el juego al tipo de usuario definido, la fuerza gravitatoria que afecta la velocidad de las frutas es una fracción de la fuerza gravitatoria de la Tierra.

	Evaluación del EAD-3	Herramienta Propuesta
Descripción	La actividad 4.4 propone “Pregúntele al niño(a) o al cuidador(a) si el niño(a) realiza alguna actividad física. Si la respuesta es afirmativa, indague con el niño(a) o el cuidador(a) la calidad de la ejecución y el tiempo que el niño(a) lleva practicándola.”	Cuatro tipos de frutas caen aleatoriamente y el usuario debe extender sus manos para atraparlas. Cada vez que lo logra, se suma un punto y suena un sonido afirmativo. Si una fruta toca el suelo, desaparece.

Cuadro 5.3: Comparación entre Actividad 4.4 y Juego de Caminar en Línea Recta.

Ambas propuestas de evaluación están orientadas a verificar la coordinación motora gruesa por medio de la actividad física. Empero, 4.4 se basa en una entrevista para indagar sobre la práctica y calidad de la actividad física del niño. En directo contraste, 5.5 utiliza un enfoque más directo al proponer una actividad observable por el terapeuta encargado de gestionar la herramienta.

5.1.4. Enlace al Prototipo

Para más detalles de la implementación del prototipo, este se puede encontrar en el siguiente enlace.

- Repositorio del Proyecto de Grado: Integrando las realidades expandidas para fomentar el desarrollo de la coordinación motora gruesa en niños [19].

Capítulo 6

Validación del Sistema y Resultados

6.1. Plan de Pruebas

Como parte de la sección de *Testear* en *Design Thinking* 4.1.1, el propósito del plan de pruebas es asegurar que el prototipo funcione según los requisitos estipulados, cumpliendo su rol como herramienta de apoyo en el desarrollo de la motricidad gruesa. Al involucrar sujetos humanos, 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 (Comité de Ética de la Investigación INCS) bajo la Solicitud No. INV-2020-007, del 30 de junio de 2020, y realizada de acuerdo con las resoluciones 8430 (1994) y 2378 (2008) del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia.

En el futuro, estas pruebas y ajustes permitirán perfeccionar el sistema, ampliando su aplicabilidad a escenarios más diversos.

6.1.1. Alcance de las Pruebas

El alcance de las pruebas incluirá la evaluación integral del prototipo en condiciones controladas, abarcando tanto su funcionalidad técnica como su capacidad para cumplir con los objetivos de apoyo al desarrollo de la motricidad gruesa. Se analizarán aspectos como la capacidad de respuesta a las interacciones del usuario y la facilidad de uso de la interfaz. Además, se validará la adecuación del prototipo a diferentes perfiles de usuarios, considerando variaciones en edad y diversidad funcional, incluyendo posibles dificultades de audición y/o visión. Las pruebas no solo se limitarán a la detección de errores técnicos, sino que también abordarán la experiencia y satisfacción del usuario, buscando garantizar que el sistema sea intuitivo, amigable y efectivo en su propósito educativo y terapéutico.

6.1.2. Validación de Requisitos

Se realiza la validación de los requisitos funcionales y no funcionales definidos en 4.4.1, con el propósito de asegurar que se han cumplido de manera adecuada.

Requisitos Funcionales

Requisito	Nombre	Criterio de Éxito	Validación
RF1	Interfaz intuitiva	Hay una comprensión inmediata y tiempo de aprendizaje corto al utilizar la interfaz.	La interfaz utiliza un lenguaje simple, manteniendo una estructura de presentación consistente en todos los juegos.
RF2	Elementos interactivos	Se puede interactuar con los elementos del sistema de forma sencilla.	El sistema cuenta con botones grandes, ubicados en el centro del campo de visión del usuario y fáciles de presionar, así como con frutas que reaccionan ante varios tipos de agarre.
RF3	Interacción en tiempo real	No hay un retraso notable entre la acción del usuario y la respuesta visual.	El sistema reacciona inmediatamente a las acciones del usuario.
RF4	Juegos	Los juegos invitan a realizar movimientos que involucren la coordinación motora gruesa.	Se implementaron 3 juegos, los cuales para ser completados requieren del uso de la coordinación motora gruesa.
RF5	Retroalimentación	Hay respuestas visuales y auditivas claras y comprensibles para el usuario en función de sus acciones.	El segundo y tercer juego emiten una retroalimentación auditiva y visual en función de las acciones del usuario.

Cuadro 6.1: Validación de Requisitos Funcionales

Requisitos No Funcionales

Requisito	Nombre	Criterio de Éxito	Validación
RNF1	Compatibilidad	La aplicación se ejecuta sin errores en los dispositivos seleccionados.	La aplicación se ejecuta sin problemas en la herramienta Hololens 2.
RNF2	Rendimiento	La aplicación responde sin retrasos notables durante su uso.	Las escenas se cargan de manera inmediata y la retroalimentación se hace en tiempo real.
RNF3	Diseño Accesible	Los elementos visuales son fácilmente legibles para el usuario.	El color de las letras en los textos es blanco y tiene un delineado negro para resaltar sobre cualquier escenario, además de un tamaño de fuente alto.
RNF4	Código Modular y Documentado	El código está organizado en módulos y cuenta con documentación clara para su mantenimiento.	Los elementos del sistema están organizados por carpetas en función de su tipo de archivo y el código está documentado adecuadamente.

Cuadro 6.2: Validación de Requisitos No Funcionales

6.1.3. Pruebas con Usuarios

Se visitó el Laboratorio Multisensorial del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (INCS), el cual fue adecuado para desarrollar las pruebas con los usuarios. El prototipo de la experiencia fue descargado en el dispositivo Hololens 2 del laboratorio, que también fue conectado a un televisor para poder visualizar lo que el usuario ve a través del dispositivo y así poder hacer un mejor seguimiento de su experiencia. Dos profesionales del instituto estuvieron presentes para acompañar a los usuarios y facilitar las pruebas. (Aval ético aquí)

La prueba consistió en dejar experimentar al usuario el prototipo de manera libre. Esta prueba se realizó 3 veces, cada vez con un usuario diferente. El primer usuario fue una niña de 11 años con una condición auditiva (hipoacusia bilateral),

el segundo fue un niño de 8 años con una condición visual (baja visión), y el tercero fue una niña de 7 años sin ninguna condición. No se contó con disponibilidad de más niños dada la dificultad de la realización de las pruebas.

6.1.4. Evaluación de las Pruebas

Encuesta a Usuarios

Las siguientes preguntas fueron diseñadas para obtener retroalimentación directa de los usuarios del videojuego. Estas buscan evaluar aspectos relacionados con su disfrute, accesibilidad y la posibilidad de repetir la experiencia:

#	Pregunta
1	¿Te gustó el juego?
2	¿Crees que fue fácil de jugar?
3	¿Qué fue lo que más te gustó del juego?
4	¿Qué fue lo que menos te gustó del juego?
5	¿Te sentiste cansado mientras jugabas?
6	¿Volverías a jugar este juego?

Cuadro 6.3: Preguntas de la encuesta realizada a los usuarios.

Encuesta a Terapeutas

Las preguntas dirigidas a los terapeutas buscan explorar la utilidad del videojuego como herramienta educativa y terapéutica, así como su adecuación para niños en el contexto de evaluación de habilidades motoras gruesas:

#	Pregunta
1	¿Considera útil el uso del videojuego como medio de educación ambiental?
2	¿Considera que el nivel de la actividad física propuesto es adecuado para niños de esta edad?
3	¿Lo usaría como una herramienta auxiliar para evaluar el desarrollo de la motricidad gruesa en niños?
4	¿Qué aspectos del juego considera que podrían mejorarse para cumplir con fines terapéuticos?

Cuadro 6.4: Preguntas de la encuesta realizada a los terapeutas.

6.1.5. Resultados de las Pruebas

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas realizadas. Estos resultados fueron recopilados mediante dos formularios correspondientes a las tablas presentadas en 6.3 y 6.4.

Enlaces a los cuestionarios:

- Cuestionario de los usuarios
- Cuestionario de los profesionales

Resultados de Encuesta a Usuarios

1. ¿Te gustó el juego? (0 punto)

● Sí	3
● No	0



Figura 6.1: Resultados de la pregunta 1 de la encuesta a usuarios.

2. ¿Crees que fue fácil de jugar? (0 punto)

● Sí	1
● Un poco difícil	2
● Muy difícil	0

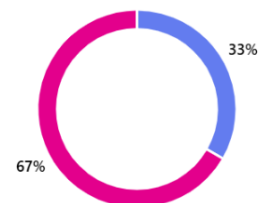


Figura 6.2: Resultados de la pregunta 2 de la encuesta a usuarios.

3. ¿Qué fue lo que más te gustó del juego? (0 punto)

3
Respuestas

Respuestas más recientes
"Caminar hacia los animales"
"El juego de las frutas"
"Los animales que suenan y el mono que se mueve"

Figura 6.3: Resultados de la pregunta 3 de la encuesta a usuarios.

4. ¿Qué fue lo que menos te gustó del juego? (0 punto)

3
Respuestas

Respuestas más recientes
"No sabe, todo le gustó"
"El de caminar"
"El juego de las frutas"

Figura 6.4: Resultados de la pregunta 4 de la encuesta a usuarios.

5. ¿Te sentiste cansado mientras jugabas? (0 punto)

● Sí 1
● No 2

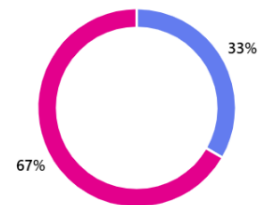


Figura 6.5: Resultados de la pregunta 5 de la encuesta a usuarios.

6. ¿Volverías a jugar este juego? (0 punto)

● Sí 3
● No 0

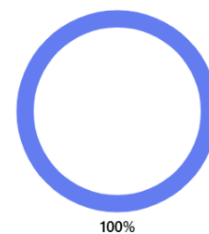


Figura 6.6: Resultados de la pregunta 6 de la encuesta a usuarios.

Resultados de Encuesta a Terapeutas

1. ¿Considera útil el uso del videojuego como medio de educación ambiental? (0 punto)

● Muy útil	2
● Útil	0
● Poco útil	0
● Nada útil	0

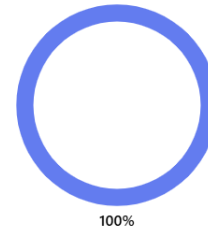


Figura 6.7: Resultados de la pregunta 1 de la encuesta a terapeutas.

2. ¿Considera que el nivel de actividad física propuesto es adecuado para niños de esta edad? (0 punto)

● Sí	2
● No	0

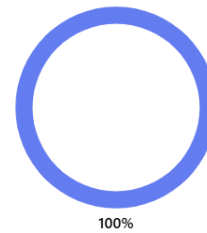


Figura 6.8: Resultados de la pregunta 2 de la encuesta a terapeutas.

3. ¿Lo usaría como una herramienta auxiliar para evaluar el desarrollo de la motricidad gruesa en niños? (0 punto)

● Sí	2
● No	0

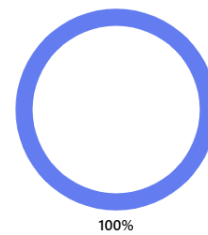


Figura 6.9: Resultados de la pregunta 3 de la encuesta a terapeutas.

4. ¿Qué aspectos del juego considera que podrían mejorarse para cumplir con fines terapéuticos?

2 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Poner delinado negro a las letras, por el contraste. Incluir instrucciones habladas. Agregar más retroalimentación auditiva y visual.
2	anonymous	Más movimientos en el primer juego, piernas y brazos, articulación de hombro y cadera. Un poco más lejos aparecer los animales. Indicar que hay que caminar en línea recta. Que no vaya tan rápido las frutas.

Figura 6.10: Resultados de la pregunta 4 de la encuesta a terapeutas.

6.1.6. Análisis de los Resultados

Análisis de los Resultados de Encuesta a Usuarios

Según las respuestas obtenidas por parte de los usuarios mencionados en 6.1.3, se puede recalcar que los participantes han valorado positivamente el videojuego de realidad mixta en general por medio de lo manifestado en 6.1, especificando gusto concreto por los juegos y su interacción con los animales como presentan los testimonios de la pregunta 6.3.

No obstante, hay opiniones divergentes sobre lo fácil que resulta jugar según lo recopilado en 6.2, habiendo una manifestación de considerar al juego “un poco difícil” en términos generales. Este balance indica la posible necesidad de modificar la herramienta para adaptarse a los distintos niveles de habilidad. Las críticas desfavorables en 6.4 se centraron en determinados juegos como 5.4 y 5.5, enfatizando la necesidad de este ajuste. Estos podrían incluir señales visuales mejoradas, elementos interactivos más lentos o principios más sencillos. Adicionalmente, una minoría de usuarios declaró el sentirse fatigado como se muestra en la interrogación del número 6.5, lo que subraya el pensar una mejora que considere el esfuerzo físico necesario según el usuario. Cabe recalcar que el manifiesto de agotamiento y dificultad provino del mismo usuario, el cual era el menor de toda la muestra (7 años).

Por último, el entusiasmo de la mayoría de los usuarios por volver a jugar al videojuego manifestado en 6.6 indica tanto su nivel de interés como el atractivo general de la herramienta en un ambiente de evaluación de las capacidades motoras.

Análisis de los Resultados de Encuesta a Terapeutas

De acuerdo con las respuestas recopiladas para terapeutas, se observa una respuesta positiva hacia el videojuego de realidad mixta como una herramienta para la enseñanza de educación ambiental (6.1). Este veredicto afirma como existe una alineación con las propuestas del *Proyecto Colaborativo Colombia-Quebec: Narrativa, Realidad Virtual y Discapacidad Sensorial*, el cual se presentó como un punto de partida importante en el enfoque global de la herramienta durante el capítulo 1.

En cuanto a la cantidad de actividad física sugerida (6.2), su relación con la posible fatiga al utilizar tecnología como medio de terapia fue un punto clave durante las consideraciones de la selección de tecnología (4.4.3). Las respuestas indican que el nivel de exigencia física es adecuado para niños dentro del rango de edad propuesto, contrastando con el análisis refrejado en 6.1.6. No obstante, también se presentan sugerencias importantes para futuras mejoras (6.4). Entre estos se encuentra incluir más movimientos de piernas, brazos y articulaciones específicas como hombros y caderas en 5.3, ajustar la distancia de los objetos según el espacio haciendo que los animales aparezcan más lejos en 5.4, y proporcionar instrucciones más claras y reducir la velocidad de los elementos interactivos en juegos como 5.5). Las recomendaciones subrayan la importancia de ofrecer una experiencia con mayor accesibilidad, maximizando el potencial del videojuego como herramienta terapéutica y educativa. Además, abren la posibilidad de ampliar su uso no solo en la evaluación de la motricidad gruesa, sino también en aplicaciones futuras con propósitos educativos, terapéuticos, o ambos.

Capítulo 7

Conclusiones

Tras evaluar el trabajo realizado, se puede concluir que la metodología Design Thinking demostró ser efectiva debido a su enfoque continuo en la interacción humana. A través de las fases de ideación, definición, diseño, prototipado y evaluación, fue posible centrarse en las necesidades y expectativas de los usuarios objetivo, lo que permitió la creación de una herramienta personalizada para la etapa infantil que fuera útil como apoyo para la evaluación de la motricidad gruesa. Este enfoque facilitó la evolución del proyecto, asegurando que las decisiones tomadas siempre priorizaran la experiencia final de los usuarios. De haberse utilizado un enfoque Scrum o incluso una metodología Cascada, se habría priorizado la realización de entregas múltiples. Sin embargo, debido a la disponibilidad de tiempo de los usuarios, este enfoque no habría sido viable. Por lo tanto, resultó ser más efectivo recopilar una gran cantidad de información al principio, en lugar de intentar adaptarse constantemente a las preferencias de los involucrados durante el proceso.

En este sentido, el proceso de selección de herramientas también se convirtió en uno de los factores clave del trabajo de grado. En el caso de Unity, su capacidad para integrar librerías orientadas al desarrollo de sistemas de realidad mixta resultó fundamental al seleccionarse como la plataforma de desarrollo. Esto permitió implementar fórmulas, como la presentada en la ecuación 5.1, para interpretar elementos virtuales en un contexto real sin alterar la coherencia dentro del espacio al mantener su lógica en conceptos como la distancia y gravedad, cada una respectivamente esencial en los juegos propuestos 5.4 y 5.5.

Por otro lado, el HoloLens 2 como medio de la herramienta no solo se destacó como una herramienta accesible en el entorno donde se realizarían las pruebas en el futuro, sino que también proporcionó un equilibrio óptimo entre realidad y virtualidad. Este balance fue clave para garantizar una experiencia cómoda para los usuarios, evitando la incomodidad y permitiendo al proyecto avanzar hacia un diseño centrado en la comodidad e interés de los usuarios junto con la solides de apoyo para terapeutas.

Adicionalmente, los animales 3D jugaron un papel crucial en el proyecto al convertirse en elementos centrales para fomentar la interacción del usuario. Su proceso de creación presentado en 4.6, no solo representó un reto técnico al conectar prácticas de modelado 3D, animación de esqueleto y captura de movimiento, sino que también destacó la importancia de contar con modelos diferenciables y para garantizar la narrativa. Gracias a su implementación en Unity y su proyección mediante el HoloLens 2, fue posible aprovechar sus características para integrar al usuario final en un entorno virtual interactivo que conectara las tareas motrices con objetivos.

Por medio de la metodología, la selección de herramientas y el diseño general de la experiencia, se logró comprender cómo evaluar la coordinación motora gruesa de forma suficiente para poder diseñar, implementar y evaluar el prototipo de un sistema que hace uso de las realidades expandidas para favorecer el desarrollo de este tipo de coordinación, presentando el proceso durante el capítulo 5. Dado el alcance del prototipo, aún quedan aspectos que se le pueden agregar para poder construir un sistema más completo y efectivo, los cuales serán detallados en la siguiente sección. Sin embargo, los resultados de las pruebas realizadas y su análisis posterior apoyan la idea de que las realidades expandidas pueden favorecer como una herramienta aliada en el desarrollo de la coordinación motora gruesa. Como se evidencia en el capítulo 6, tanto los terapeutas como los usuarios demuestran una opinión favorable respecto al uso del prototipo, el cual, si bien tiene algunos aspectos que se pueden mejorar, resulta tanto atractivo como útil para usuarios y terapeutas respectivamente.

Desde una perspectiva personal, este proyecto de grado no solo permitió explorar y aprender sobre nuevas tecnologías, sino que también representó una oportunidad valiosa para mejorar habilidades como ingenieros de sistemas y computación. Entre los aspectos más destacados se encuentra el fortalecimiento en el desarrollo de software y la capacidad de integrar conocimientos interdisciplinarios. Esto último resultó esencial para diseñar un sistema que no solo cumpla con los requisitos técnicos, sino que también contribuya significativamente al bienestar social, evidenciando el impacto positivo que la tecnología puede tener en áreas de salud y educación.

Capítulo 8

Trabajo Futuro

8.1. Trabajos Futuros Propuestos

La entrega de una herramienta funcional representaba el objetivo a gran escala del trabajo de grado. Al plantear una meta de esta magnitud, también se busca generar una posición ventajosa para su avance futuro, el cual puede consistir en modificar o reemplazar el sistema existente o incluso en crear un sistema vecino. Ahora, se presentan algunas de las posibles extensiones para el proyecto:

8.1.1. Integración con la Nube y Análisis de Datos

La posible implementación de mecanismos para almacenar y gestionar los datos generados actualmente en puntajes para los juegos 5.1.2 y 5.1.3, determinados por los aciertos conseguidos en sus respectivas dinámicas dentro de la herramienta permitiría centralizar el progreso de los usuarios.

La integración con la nube no solo ofrecería acceso remoto para los terapeutas, también abriría la posibilidad de realizar análisis avanzados utilizando técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático. En este orden de ideas, otra propuesta consiste en crear alternativas de análisis más sofisticadas para manejar los datos recopilados durante las sesiones. Esto permitiría comprender en mejor manera el desarrollo de las capacidades motrices gruesas de los niños a lo largo de múltiples evaluaciones, facilitando la detección de patrones y la recomendación de actividades externas que refuercen las necesidades individuales de cada usuario.

8.1.2. Inclusión de Más Actividades

Adaptar más actividades evaluativas sería una forma viable de ampliar las oportunidades terapéuticas y educativas que ofrece la herramienta. Nuevas actividades podrían incluir ejercicios más complejos, como:

- Actividades de coordinación ojo-mano en la motricidad gruesa.
- Desafíos que requieran mayor control postural y equilibrio.
- Dinámicas colaborativas que integren múltiples usuarios.

Para mantener la atención de los niños y fomentar un aprendizaje continuo, los nuevos niveles podrían incorporar otros escenarios temáticos y explorar animales adicionales de la fauna colombiana, entrelazados dentro de una narrativa atractiva.

8.1.3. Consideración de Discapacidades

Aunque el enfoque principal de la investigación actual es el desarrollo de habilidades motoras gruesas, sería relevante ampliar su alcance en el futuro para incluir actividades diseñadas para niños con discapacidades visuales, cognitivas o sensoriales específicas. Para garantizar la inclusión y accesibilidad del proyecto a una gama más amplia de usuarios, sería necesario adaptar tanto la mecánica como el contenido del juego según la dificultad presentada.

8.1.4. Modificador de Dificultad

Las actividades propuestas podrían personalizarse dentro las capacidades evaluadas del usuario antes de utilizar la herramienta, incorporando distintos grados de dificultad. Esto garantizaría la participación adecuada tanto de aquellos que requieren desafíos adicionales como de quienes necesitan enfoques más simples. En este orden de ideas, una curva de dificultad dinámica que se ajuste de acuerdo a el desempeño del jugador también puede mejorar el resultado final. Esta mejora podría aumentar los efectos terapéuticos buscados, fomentando el progreso y la motivación.

Bibliografía

- [1] American Psychiatric Association, D.-. T. F. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-5™*. American Psychiatric Publishing, Inc., 5th edition.
- [2] Association for Computing Machinery (2024). Acm computing classification system. Consultado el 10 de septiembre de 2024.
- [3] Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick, B., Martin, R., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland, J., and Thomas, D. (2001). Manifesto for agile software development.
- [4] Brenner, W. and Broy, M. (2022). *Interview with Manfred Broy and Walter Brenner About Design Thinking and Requirements Engineering*, pages 1–9. Springer International Publishing, Cham.
- [5] Dancu, A. (2012). Motor learning in a mixed reality environment. In *NordiCHI 2012: Making Sense Through Design - Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*.
- [6] Dictionary.com (n.d.a). Augmented reality. Consultado el 6 de abril de 2024.
- [7] Dictionary.com (n.d.b). Mixed reality. Consultado el 6 de abril de 2024.
- [8] Dictionary.com (n.d.c). Virtual reality. Consultado el 6 de abril de 2024.
- [9] Fernández-Vázquez, D. (2024). Influence of virtual reality and gamification combined with practice teaching style in physical education on motor skills and students perceived effort: A mixed-method intervention study. *Sustainability*, 16(4):1584.
- [10] Foundation, I. D. (n.d.). Design thinking: A non-linear process.
- [11] Gauvain, M. (1993). The development of spatial thinking in everyday activity. *Developmental Review*, 13(1):92–121.
- [12] Habgood, J. and Ainsworth, S. (2011). Motivating children to learn effectively: Exploring the value of intrinsic integration in educational games. *The Journal of the Learning Sciences*, 20:169–206.

- [13] Hehn, J., Mendez, D., Brenner, W., and Broy, M. (2022). *Design Thinking for Software Engineering: Creating Human-oriented Software-intensive Products and Services*. Progress in IS. Springer International Publishing.
- [14] Joundi, J. L., Penders, A., Renny Octavia, J., and Saldien, J. (2019). The design of an interactive surface for supporting rehabilitation of children with developmental coordination disorder. In *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, TEI '19*, pages 335–344, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [15] Kent, M. (2006). *The Oxford Dictionary of Sports Science Medicine*. Oxford University Press.
- [16] Keskes, O. and Noumeir, R. (2021). Vision-based fall detection using st-gcn. *IEEE Access*, 9:28224–28236.
- [17] Litwin, E. (1994). La tecnología educativa y la didáctica: un debate vigente. *Educación*, 3(6):135–151.
- [18] Mahazir, I. (2019). Impact of games on motivation, attention and skills in pre-school children. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8:157–159.
- [19] Peña, S. and Gómez, D. (2024). Gross motor coordination support AR app. Disponible en: https://github.com/Lordrap2002/Gross_motor_coordination_support_AR_app.
- [20] Peñuela, A., de Salud y Protección Social, M., and Javeriana, P. U. (2017). *Escala abreviada del desarrollo-3*. Ministerio de Salud y Protección Social, Bogotá, Colombia.
- [21] Rathelot, J. A. and Strick, P. L. (2009). Subdivisions of primary motor cortex based on cortico-motoneuronal cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(3):918–923.
- [22] Rativa, A. S., Bernal, S. C., Escobar, J. M., Lopez, A. A. B., Navarro-Newball, A. A., Postma, M., and Zaanen, M. V., editors (2022). *XR Academia: Research and Experiences in Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality, and Artificial Intelligence in Latin America and Europe*. Open Press Tilburg University, Tilburg, The Netherlands.
- [23] Rechtin, E. and Maier, M. (2000). *The Art of Systems Architecting, Second Edition*. Systems Engineering. Taylor & Francis.
- [24] Restrepo, G. (2015). La neuropsicología transaccional, hacia una concepción integral de las dificultades del desarrollo infantil. *Ciencias de la Salud*, 13:431–445.
- [25] Restrepo, G., Prakash, E. C., Dashti, S. E., Castillo S., A. D., Gómez, J., Oviedo, L., Floyd, J., Aycardi, J., Trejos, J., González, J., Sierra, M. V., and Navarro-Newball, A. A. (2024). Extended realities for sensorially diverse children. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 44(4).

- [26] Rubio, J. L. and Gértrudix, M. (2020). Aplicaciones de la realidad extendida para la divulgación científica y el desarrollo de contenidos educativos. In *Processos formativos, tecnologías inmersivas e novos letramentos: convergencias e desdobramentos*, pages 109–123. EDITORA COLLABORATIVA.
- [27] Sander, J. e. a. (2017). Detecting delays in motor skill development of children through data analysis of a smart play device. In *PervasiveHealth: Pervasive Computing Technologies for Healthcare*.
- [28] Shneiderman, B. and Plaisant, C. (2010). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley, 5th edition.
- [29] Silva, A., Farias, L., Tannure, M., and Gomide, J. (2024). Cleo e leo: Rigging de personagens quadrúpedes para série de animação 3dcleo and leo: Rigging of quadruped characters for a 3d animation series. *AVANCA — CINEMA*, pages 591–597.
- [30] Stamm (2018). *Neurociencia infantil: El desarrollo de la mente y el poder del cerebro de 0 a 6 años*. Narcea, Madrid, España.
- [31] Valencia-García, R., Lagos-Ortiz, K., Alcaraz-Mármol, G., del Cioppo, J., and Vera-Lucio, N. (2016). Technologies and innovation: Second international conference. In *Communications in Computer and Information Science*, volume 658 of *Communications in Computer and Information Science*, pages 23–25, Guayaquil, Ecuador. Springer International Publishing.