



Educación

Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®
Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“Desarrollo de un videojuego para mejorar las habilidades del lenguaje en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) usando técnicas de procesamiento del lenguaje natural”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN SISTEMAS
COMPUTACIONALES

PRESENTA:

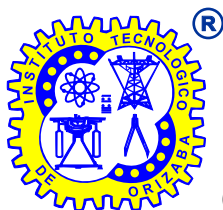
IEVND María de Lourdes Malagón Casales

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Laura Nely Sánchez Morales

CODIRECTOR DE TESIS:

M.R.T. Ignacio López Martínez



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

MARZO 2026



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Orizaba
Departamento de División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **24/febrero/2026**
Dependencia: **División de Estudios de**
Posgrado e Investigación
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. MA. DE LOURDES MALAGÓN CASALES
CANDIDATO A GRADO DE MAESTRO EN:
SISTEMAS COMPUTACIONALES
P R E S E N T E.-

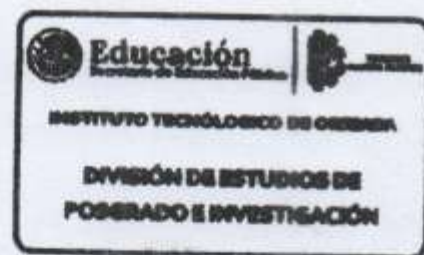
De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

" Desarrollo de un videojuego para mejorar las habilidades del lenguaje en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) usando técnicas de procesamiento del lenguaje natural"

comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

DR. OSCAR BAEZ SENTIES
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OG-13-F06



2026
año de
Margarita
Maza





Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **1/diciembre/2025**
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

MA. DE LOURDES MALAGÓN CASALES

La cual lleva el título de:

Desarrollo de un videojuego para mejorar las habilidades del lenguaje en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) usando técnicas de procesamiento del lenguaje natural

Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DRA. LAURA NELY SÁNCHEZ MORALES

FIRMA

SECRETARIO: M.R.T. IGNACIO LÓPEZ MARTÍNEZ

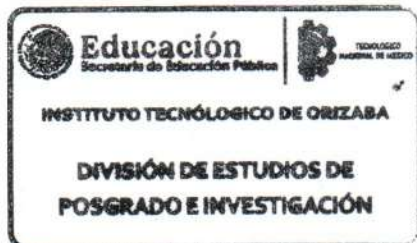
FIRMA

VOCAL: M.C.E. BEATRIZ ALEJANDRA OLIVARES ZEPAHUA

FIRMA

VOCAL SUP.: DRA. NIDIA RODRÍGUEZ MAZAHUA

FIRMA



TA-09-18



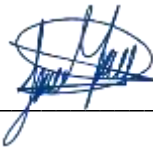
2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Oriente 9 #852 Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320
Orizaba, Veracruz. Tel. 01 (272) 1105360
e-mail: info@orizaba.tecnm.mx www.orizaba.tecnm.mx



CARTA DE ORIGINALIDAD

En la ciudad de Orizaba, Veracruz, el día 24 del septiembre de abril del año 2025, el (la) que suscribe **María de Lourdes Malagón Casales**, alumno(a) del programa de **Maestría en Sistemas Computacionales** con número de control **M23011389**, manifiesta que es autor (a) del trabajo de tesis titulado "**Desarrollo de un videojuego para mejorar las habilidades del lenguaje en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) usando técnicas de procesamiento del lenguaje natural**" y declara que el trabajo es original, ya que su contenido es producto de su directa contribución intelectual. Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, se tienen las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, se hace responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba.



María de Lourdes Malagón Casales

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Orizaba, Veracruz, el día 07 del mes de noviembre de 2025, el (la) que suscribe **María de Lourdes Malagón Casales** alumno(a) del programa de **Maestría en Sistemas Computacionales** con número de control M23011389, manifiesta que es autor(a) intelectual del trabajo de tesis bajo la dirección del Dra. Laura Nely Sánchez Morales y ceden los derechos del trabajo intitulado " **Desarrollo de un videojuego para mejorar las habilidades del lenguaje en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) usando técnicas de procesamiento del lenguaje natural**" al TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: msc@orizaba.tecnm.mx . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



María de Lourdes Malagón Casales

Índice general

Índice general	i
Índice de Figuras	viii
Índice de Tablas	x
Índice de Listados	xi
Resumen	xii
Abstract	xiii
Introducción	1
Capítulo 1. Antecedentes	2
1.1 Marco teórico	2
1.1.1 Trastorno Mental	2
1.1.2 Trastornos del neurodesarrollo	2
1.1.3 Trastorno del espectro autista	3
1.1.4 Tratamientos del TEA	4
1.1.5 Desarrollo psicomotor	6
1.1.6 Lenguaje	7
1.1.6.1 Trastornos del lenguaje	8
1.1.7 Técnicas de adquisición del lenguaje	9
1.1.8 Procesamiento del Lenguaje Natural	10
1.1.9 Aplicación móvil	10
1.1.10 Videojuego	10
1.1.10.1 Videojuego serio	10
1.1.11 Entorno virtual	11
1.2 Planteamiento del problema	11

1.3 Objetivo general y específicos	12
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
1.4 Justificación	13
Capítulo 2. Estado de la práctica.....	14
2.1 Trabajos relacionados	14
2.1.1 Herramientas para la mejora de habilidades en personas con TEA	14
2.1.2 Técnicas de intervención para el tratamiento del TEA.....	20
2.2 Análisis comparativo	25
2.3 Solución propuesta	29
2.3.1 Lenguaje de programación	29
2.3.1.1 C#.....	30
2.3.2 Motor de desarrollo de videojuego.....	30
2.3.2.1 Unity 2020.3.50f1	30
2.3.3 IDE.....	30
2.3.3.1 Rider	31
2.3.4 Técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural.....	31
2.3.4.1 Dynamic Time Warping (DTW)	31
2.3.4.2 Procesamiento de señales de audio.....	31
2.3.4.3 Análisis espectral	32
2.3.4.4 Reconocimiento Automático de Voz (ASR).....	32
2.3.5 Herramientas para el Procesamiento del Lenguaje Natural.....	32
2.3.5.1 Librosa.....	32
2.3.5.2 Matplotlib y Seaborn	33
2.3.5.3 Wit.ai.....	33

2.3.6 Gestor de base de datos.....	33
2.3.6.1 SQLite.....	33
2.3.7 Metodología de desarrollo de software	33
2.3.7.1 Design Thinking	34
Capítulo 3. Aplicación de la metodología	35
3.1 Fase de empatizar	36
3.1.1 Análisis de las actividades	36
3.1.1.1 Técnicas de mejoramiento del lenguaje recabadas.....	37
3.1.1.2 Ejercicios propuestos.....	39
3.1.1.3 Escenarios propuestos	42
3.2 Fase de definir	44
3.2.1 Definición de actividades	44
3.2.1.1 Técnicas de mejoramiento del lenguaje seleccionadas.....	44
3.2.1.1 Ejercicios seleccionados.....	46
3.2.1.2 Escenarios seleccionados	48
3.2.1.3 Palabras seleccionadas.....	50
3.2.1.3.1 Nivel 1: Básico.....	51
3.2.1.3.2 Nivel 2: Intermedio	51
3.2.1.3.3 Nivel 3: Avanzado.....	52
3.2.1.4 Diseño de escenarios	53
3.2.2 Definición de los casos de uso	53
3.2.2.1 Caso de uso del videojuego	54
3.2.2.2 Caso de uso del especialista	54
3.2.2.3 Caso de uso del servicio web	55
3.2.3 Definición de los diagramas de actividades	56

3.2.3.1 Diagrama de actividades del videojuego	56
3.2.3.2 Diagrama de actividades del especialista	59
3.2.3.3 Diagrama de actividades del servicio web	60
3.2.4 Definición del diagrama de relacional	60
3.3 Fase de idear	62
3.3.1 Diseño de la arquitectura del videojuego	62
3.3.2 Diseño de las interfaces del videojuego.....	66
3.3.2.1 Prototipos de interfaz de los menús	67
3.3.2.1.1 Menú principal	67
3.3.2.1.2 Inicio de sesión o registro.....	68
3.3.2.1.4 Menú de subniveles	69
3.3.2.1.5 Perfil del jugador	69
3.3.2.2 Prototipos de interfaz de niveles.....	70
3.3.2.2.1 Pantalla de instrucciones	71
3.3.2.2.2 Pantalla de inicio del subnivel	71
3.3.2.2.3 Pantalla de fin del subnivel.....	72
3.3.2.2.4 Pantalla de pausa.....	73
3.4 Fase de prototipado	74
3.4.1 Desarrollo del videojuego	75
3.4.1.1 Desarrollo de los menús	75
3.4.1.2 Desarrollo de la jugabilidad del videojuego	79
3.4.1.2.1 Desarrollo de la pantalla de instrucciones.....	80
3.4.1.2.2 Desarrollo de inicio del subnivel	81
3.4.1.2.3 Desarrollo del fin del subnivel.....	84
3.4.1.2.4 Desarrollo de la pantalla de pausa	85

3.4.1.2 Desarrollo del sistema de almacenamiento de datos.	86
3.4.2 Desarrollo del servicio web de PLN	88
3.4.2.1 Entrenamiento del modelo en Wit.ai	88
3.4.2.1.1 Preparación de datos	88
3.4.2.1.2 Proceso iterativo de entrenamiento	89
3.4.2.1.3 Resultados de las pruebas de entrenamiento	90
3.4.2.2 Implementación del sistema de reconocimiento de voz y procesamiento de datos	95
Capítulo 4. Resultados	98
4.1 Caso de estudio	98
4.2 Diseño de evaluación.....	98
4.2.1 Variables de evaluación	100
4.2.2 Métricas calculadas	101
4.2.2.1 Precisión individual.....	101
4.2.2.1.1 Precisión promedio.....	101
4.2.2.1.2 Palabra repetida correctamente	102
4.2.2.2 Precisión por sesión	102
4.2.2.2.1 Precisión promedio de sesión	103
4.2.2.2.2 Palabras repetidas en total.....	103
4.3 Resultados de la evaluación	104
4.3.2 Caso de estudio 1: Sujeto 1	104
4.3.3 Caso de estudio 1: Sujeto 2.....	110
4.4 Resultados	115
Capítulo 5. Conclusiones	117
5.1 Recomendaciones	118

Productos académicos	120
Referencias	121

Índice de Figuras

Figura 3.1	Fases de la metodología Design Thinking.....	35
Figura 3.2	Diseño de escenario de escuela.....	53
Figura 3.3	Caso de uso del videojuego	54
Figura 3.4	Caso de uso del especialista	55
Figura 3.5	Caso de uso del servicio web	56
Figura 3.6	Diagrama de actividades del videojuego	58
Figura 3.7	Diagrama de actividades del especialista.....	59
Figura 3.8	Diagrama de actividades del servicio web.....	60
Figura 3.9	Diagrama entidad relación del videojuego.....	61
Figura 3.10	Arquitectura del videojuego	63
Figura 3.11	Prototipo de interfaz del menú principal.....	67
Figura 3.12	Prototipo de interfaz del menú de opciones	68
Figura 3.13	Prototipo de interfaz del inicio de sesión	68
Figura 3.14	Prototipo de interfaz del registro.....	69
Figura 3.15	Prototipo de interfaz del menú de subniveles	69
Figura 3.16	Prototipo de interfaz del perfil del jugador	70
Figura 3.17	Prototipo de interfaz del formulario de editar perfil	70
Figura 3.18	Prototipo de interfaz de instrucciones del primer nivel	71
Figura 3.19	Prototipo de interfaz del inicio del primer nivel	72
Figura 3.20	Prototipo de interfaz de fin del primer nivel	73
Figura 3.21	Prototipo de interfaz de pausa.....	74
Figura 3.22	Pantalla del menú de inicio.....	75
Figura 3.23	Menú de opciones del juego.....	76
Figura 3.24	Menú de subniveles.....	76
Figura 3.25	Manejo de los cambios de escena	77
Figura 3.26	Interfaces de instrucciones.....	80
Figura 3.27	Cuadro de dialogo para el micrófono.....	81
Figura 3.28	Panel de selección de abecedario.....	82
Figura 3.29	Pantalla de la interacción del videojuego	83
Figura 3.30	Activación del micrófono en el videojuego.....	83

Figura 3.31	Panel siguiente entre cada elemento	84
Figura 3.32	Pantalla del fin de un subnivel.....	85
Figura 3.33	Menú de pausa durante un subnivel.....	85
Figura 3.34	Formulario de registro dentro del videojuego	86
Figura 3.35	Formulario de inicio de sesión en el videojuego	87
Figura 3.36	Pantalla de datos del jugador	87
Figura 3.37	Grafica de la confianza global del modelo de vocales.....	92
Figura 3.38	Grafica de la confianza global del modelo de abecedario	93
Figura 3.39	Gráfica de la confianza global del modelo de sílabas.....	94
Figura 3.40	Flujo del API y servicio web Flask	95
Figura 3.41	Servicio web	97
Figura 4.1	Diagrama de evaluación.....	99
Figura 4.2	Prueba con el sujeto 1	104
Figura 4.3	Gráfica del progreso general del sujeto 1	107
Figura 4.4	Gráfica del progreso del sujeto 1 en vocales.....	108
Figura 4.5	Gráfica del progreso del sujeto 1 en abecedario	109
Figura 4.6	Gráfica del progreso del sujeto 1 en sílabas	109
Figura 4.7	Prueba con el sujeto 2.....	110
Figura 4.8	Gráfica del progreso del sujeto 2.....	113
Figura 4.9	Gráfica del progreso del sujeto 2 en vocales.....	114
Figura 4.10	Gráfica del progreso del sujeto 2 en abecedario	114
Figura 4.11	Gráfica del progreso del sujeto 2 en sílabas.....	115

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados	25
Tabla 3.1 Técnicas recabadas en la literatura.....	37
Tabla 3.2 Ejercicios propuestos con los escenarios propuestos	43
Tabla 3.3 Niveles seleccionados.....	47
Tabla 3.4 Niveles, ejercicios y escenarios seleccionados	50
Tabla 3.5 Palabras seleccionadas del nivel 1	51
Tabla 3.6 Palabras seleccionadas del nivel 2	51
Tabla 3.7 Palabras seleccionadas del nivel 3	52
Tabla 3.8 Numero de refinamientos del modelo de vocales.....	91
Tabla 3.9 Numero de refinamientos del modelo de abecedario	93
Tabla 3.10 Numero de refinamientos del modelo de sílabas	94
Tabla 4.1 Variables de evaluación por palabra	100
Tabla 4.2 Progreso del sujeto 1	106
Tabla 4.3 Progreso individual del sujeto 1.....	106
Tabla 4.4 Progreso del sujeto 2	112
Tabla 4.5 Progreso individual del sujeto 2.....	112

Índice de Listados

Listado 3.1 Método cargarEscena en EscenaController	77
Listado 3.2 Método cargarNivel en EscenasController	78
Listado 3.3 Métodos para verificar la sesión en EscenasController	78
Listado 4.1 Extracto del JSON de vocales del sujeto 1	105
Listado 4.2 Extracto del JSON de abecedario del sujeto 2	111

Resumen

Los trastornos del neurodesarrollo son una serie de condiciones que afectan al sistema nervioso desde edad temprana, causando dificultades en el desarrollo cognitivo, emocional, social y/o físico que afectan seriamente al desarrollo psicomotor de un individuo. Uno de los trastornos más conocidos dentro de esta categoría es el Trastorno del Espectro Autista (TEA), el cual se caracteriza por desafíos en la comunicación verbal o no verbal, la interacción social y comportamientos repetitivos o restrictivos. Las dificultades mencionadas anteriormente tienen un impacto significativo en la vida de las personas quienes lo presentan, especialmente en aquellas con una comunicación verbal nula o limitada, dado que no logran expresarse adecuadamente, tienden a ser excluidos de círculos sociales y la dificultad para establecer relaciones interpersonales. Lo que no solo afecta el entorno social, sino también los ámbitos educativos y laborales durante la infancia y el desarrollo de la persona.

Por lo anterior, el presente documento de tesis presenta el desarrollo de un videojuego con el fin de mejorar las habilidades del lenguaje para niños con TEA usando técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN). Asimismo, la aplicación se dirige a especialistas para ayudar a automatizar las terapias.

En resumen, el beneficio de un videojuego propone una solución innovadora para abordar las dificultades de lenguaje a niños con TEA, con el objetivo de mejorar la calidad de vida y el desarrollo de habilidades de la población dentro del espectro autista durante la terapia con expertos.

Abstract

Neurodevelopmental disorders are a series of conditions that affect the nervous system from an early age, causing difficulties in cognitive, emotional, social, and/or physical development that seriously affect an individual's psychomotor development. One of the most well-known disorders in this category is Autism Spectrum Disorder (ASD), which is characterized by challenges in verbal or nonverbal communication, social interaction, and repetitive or restrictive behaviors. The difficulties mentioned above have a significant impact on the lives of people who have them, especially those with no or limited verbal communication, as they are unable to express themselves adequately, tend to be excluded from social circles, and have difficulty establishing interpersonal relationships. This not only impacts their social environment, but also their educational and work environments during childhood and personal development.

Therefore, this thesis presents the development of a video game to improve language skills in children with ASD using natural language processing (NLP) techniques. The application is also designed for specialists to help automate therapies.

In summary, the benefit of a video game offers an innovative solution to address language difficulties in children with ASD, with the aim of improving the quality of life and skill development of the population within the autism spectrum during therapy with experts.

Introducción

El trastorno del espectro autista es una condición del neurodesarrollo que afecta a nivel mundial a 1 de cada 100 personas [1]. La sintomatología del TEA es variada y afecta de diversas maneras e intensidades a quienes lo padecen, presentando diferentes dificultades en la comunicación verbal, tanto como la no verbal, así como en la interacción social y la presencia de comportamientos repetitivos o restringidos. De acuerdo con *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), en 2020 se determinó la prevalencia del autismo en niños, donde 1 de cada 36 son detectados con TEA, y el 17% presentan algún déficit en una habilidad específica, de edades comprendidas entre los 3 y los 17 años [2].

El uso de la tecnología como método de intervención y terapia para niños con TEA mostró resultados positivos. En particular, los videojuegos ofrecen un entorno interactivo y atractivo altamente beneficioso para el aprendizaje y el desarrollo de habilidades.

La tesis se centra en el desarrollo de un videojuego diseñado específicamente para mejorar las habilidades del lenguaje en niños con TEA mediante técnicas de procesamiento del lenguaje natural (PLN), con el fin de crear un entorno de aprendizaje con los estímulos necesarios para obtener los resultados esperados.

Este documento se organiza en cinco capítulos. En el primer capítulo se presentan los antecedentes teóricos y prácticos, incluyendo el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación y su justificación. El segundo capítulo aborda el estado de la práctica, donde se realiza una revisión de los trabajos previos relacionados con la solución propuesta, así como un análisis comparativo. El tercer capítulo se dedica a la aplicación de la metodología, donde se describe el enfoque seleccionado para el desarrollo de la tesis. En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos, con un análisis detallado de los datos y pruebas realizadas. Finalmente, el quinto capítulo incluye las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio, junto con las referencias bibliográficas utilizadas a lo largo de la tesis.

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Marco teórico

A continuación, se describen los conceptos relevantes para la comprensión del desarrollo de la tesis.

1.1.1 Trastorno Mental

De acuerdo con la Undécima revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11) un trastorno mental consiste en la alteración clínica de la cognición, regulación de las emociones o comportamiento de una persona, en su mayoría asociado con la angustia o la dificultad funcional en diferentes áreas de desarrollo personal del afectado [1].

1.1.2 Trastornos del neurodesarrollo

Son trastornos caracterizados por un grupo de afectaciones del sistema nervioso durante la infancia y el crecimiento de un individuo, es decir, no son adquiridos en una etapa más tardía como trastornos de ansiedad u otros, ocasionando afectaciones en el desarrollo de habilidades motoras, sociales, cognitivas y del lenguaje en ámbitos educativos, o sociales, donde requieren adaptarse a la situación. La clasificación se divide de la siguiente manera:

1. Alteraciones genéticas como síndrome de Rett, síndrome de Down, entre otras alteraciones.
2. Alteraciones por factores ambientales como síndrome alcohólico fetal.
3. Alteraciones múltiples causas subyacentes, como el trastorno de déficit de atención e hiperactividad, la discapacidad intelectual y trastorno del espectro autista.

Cabe destacar que un individuo con un diagnóstico de algún trastorno relacionado tiende a manifestar más de uno [3].

1.1.3 Trastorno del espectro autista

De acuerdo con la Asociación Americana de Psiquiatría, el trastorno del espectro autista es caracterizado por una serie de comportamientos presentados en la etapa temprana de la infancia en la vida de una persona. Entre los síntomas existe la deficiencia en la interacción social y comunicación en diferentes situaciones o contextos, la poca integración socioemocional en las relaciones, falta de desarrollo de la comunicación verbal o no verbal, ejecución de patrones repetitivos o restrictivos en su comportamiento como intereses muy objetivos o persistencia en rutinas. Los individuos con el diagnóstico del TEA tienen un grave efecto en entornos sociales, educativos, laborales u otras áreas [4].

De acuerdo con la gravedad del autismo, el individuo requiere mayor o menor atención y apoyo durante su vida. Para identificar el nivel del autismo, el DSM-5 identificó tres niveles clínicos que varían de acuerdo con la capacidad de comunicarse y los patrones de comportamiento restringidos y repetitivos [4].

1. **TEA de grado 1:** El primer grado descrito como “Necesita ayuda” es un nivel donde el individuo mantiene comunicación social, verbal o no verbal sin apoyo, aunque existen algunas alteraciones que afectan a las habilidades sociales. Por otro lado, los comportamientos restringidos y repetitivos tienen una interferencia significativa en unos o más contextos [4].
2. **TEA de grado 2:** El segundo nivel de gravedad, conocido como “Necesita ayuda notable” es caracterizado por un mayor déficit para iniciar o mantener comunicación social, verbal o no verbal. Mientras que, en comparación con el grado anterior, los comportamientos repetitivos y restringidos son más frecuentes, por ello presenta mayor inflexibilidad y dificultades y/o ansiedad para cambiar el foco de atención [4].
3. **TEA de grado 3:** El tercer grado denominado como “Necesita ayuda muy notable” destaca que la comunicación social, verbal y no verbal es mínima o nula, causando limitaciones graves en la interacción social y una respuesta mínima, así como extrema dificultad para realizar cambios de

comportamiento y presentan ansiedad intensa ante el cambio de foco de atención [4].

1.1.4 Tratamientos del TEA

Actualmente, no se reconoce un tratamiento específico o medicamento aprobado para tratar el trastorno del espectro autista, lo más recomendable es focalizar la terapia en las áreas de oportunidad de mejora del individuo como lo es el desarrollo social, siempre y cuando los métodos integren el enfoque necesario para el individuo. Aunque no hay un medicamento específico para tratar por completo el TEA, sí existe el uso de fármacos que reducen algunos de los síntomas principales. Si bien el tratamiento del TEA no constituye de un método lineal, requiere que los especialistas estén en constante actualización para adaptar los diferentes enfoques las personas afectadas [5].

La intervención psicoterapéutica es la más común para el tratamiento del TEA, ya que una gran parte de ensayos o artículos son enfocados al área dado que resulta en una mejora significativa del individuo. En los análisis realizados por investigadores, encontraron que la mejora se enfoca mayormente en las intervenciones dirigidas al comportamiento aplicado y en la educación del lenguaje [5].

Entre las diferentes intervenciones psicoterapéuticas se destacan las siguientes:

1. **Terapias de comunicación social basada en el desarrollo:** Conocida también como Terapia de Interacción Hanen, se centra en la sincronización de los adultos con los niños pequeños para que los padres respondan ante la manera de comunicarse de sus hijos para fomentar la comunicación fluida entre ellos. Las implicaciones de la terapia generan momentos de atención compartida, facilitar la atención del niño y estimular el juego libre. Los principios fundamentales de las terapias de comunicación social basada en el desarrollo incluyen la participación de los padres, beneficiarse de las situaciones cotidianas para enseñar a los niños cómo responder ante cualquiera. Entre los programas más usados por su efectividad son Atención

Compartida, la Terapia de Comunicación para el Autismo (PACT), y el Juego Simbólico y Regulación de Interacción (JASPER), también existen otros programas de intervención temprana, pero su efectividad es baja en comparación a los anteriores como el Desarrollo Individual de la Relación (DIC) o la terapia de suelo (*Floortime*) [6].

2. **Intervenciones basadas en el análisis conductual aplicado:** El uso de los programas del Análisis Conductual Aplicado (ABA) es generalmente para ampliar los contextos sociales como el educativo. Los programas ABA cuentan con estrategias básicas para el refuerzo, incitación y acercamiento parcial para la mejora de habilidades; con el fin de utilizarse de manera individual o grupal, lo que favorece a un cambio conductual positivo. Dentro de los programas ABA existen algunos que son altamente rigurosos y meticulosos, como es el caso de la Intervención Conductual Intensiva Temprana (EIBI), que consta de entre 30 a 40 horas de terapia por semana por un tiempo de dos años, aunque el beneficio del programa en algunos casos es positivo este tipo de terapias son calificadas de mala calidad. A razón de lo anterior, las terapias de conducta aplicada en los últimos avances se enfocan en la naturalidad, participación iniciada por los niños y adecuada para su desarrollo [6].
3. **Programas de habilidades sociales:** Son intervenciones utilizadas en escuelas o clínicas con el fin de aumentar las habilidades sociales de los niños con autismo. Las estrategias de estos programas incluyen el uso de grupos para la socialización, aplicaciones informáticas o estrategias cognitivo-conductual. Los estudios con el uso de programas dirigidos al incremento de las habilidades sociales muestran una respuesta positiva en mejorar la conciencia y comprensión del entorno del individuo [6].

Mientras que la intervención mediante fármacos para el tratamiento del TEA se enfoca solamente en el control de afecciones específicas del síndrome, generalmente asociadas a condiciones médicas coexistentes conductuales, afectivos o el desarrollo de ansiedad, depresión, comportamientos agresivos o repentinos, entre otros [5].

A continuación, se describen los diferentes fármacos usados para el tratamiento del TEA:

1. **Antipsicóticos:** Entre los medicamentos aprobados por la Agencia de Regulación de Bebidas y Medicamentos de Estados Unidos (FDA), están la risperidona y el aripiprazol para tratar la irritabilidad y comportamiento impulsivo de los pacientes. En el uso de ambos medicamentos existen efectos secundarios como el incremento de peso, el aumento del apetito, hipertrigliceridemia, somnolencia, síntomas extrapiramidales, alteraciones del electrocardiograma. Para el uso del medicamento es recomendable la monitorización constante de un experto para evitar afectaciones mayores [5].
2. **Estimulantes:** Los individuos con TEA en la mayoría de los casos presentan una comorbilidad con el trastorno de déficit de atención e hiperactividad, por lo que el uso de medicamentos como el metilfenidato es eficaz, aunque con muchos más efectos contraproducentes para los niños con autismo, presentan irritabilidad, emociones intensas o disminución del apetito e insomnio [5], [6].
3. **Inhibidoras selectivos de recaptura de serotonina (ISRS):** Los inhibidores como la fluoxetina es un medicamento dirigido al tratamiento de la ansiedad, depresión o compulsiones en personas con autismo [5], [6], pero en una reciente investigación mostró que existía poca evidencia para mantener su uso frecuente en individuos con TEA y que en la mayoría de los casos requería una intervención multimodal; psicoterapia junto con el uso de la medicación [6].

1.1.5 Desarrollo psicomotor

El desarrollo psicomotor es un proceso gradual y continuo mediante el cual las personas adquieren habilidades de comunicación, motricidad y comportamiento que les permiten desenvolverse en su entorno. El proceso se extiende a lo largo de diferentes etapas, comenzando desde la temprana infancia y culminando en la madurez de un individuo. Es crucial destacar que un desarrollo inadecuado en las

áreas anteriores genera factores de riesgo que afectan negativamente el desarrollo y la calidad de vida de la persona [7].

1.1.6 Lenguaje

Es un sistema complejo compuesto por diversos elementos funcionales como el contenido, la estructura y la utilización, que permite a las personas el comunicarse, informar, interactuar, entre otros dentro de diferentes contextos. Estos componentes del lenguaje colaboran en conjunto para establecer y facilitar la comprensión y expresión del lenguaje [8], [9]. A partir del desarrollo del lenguaje y las habilidades lingüísticas, los niños aumentan el manejo de los diferentes componentes que integran el correcto proceso de comunicarse.

Entre los diferentes componentes existe un proceso progresivo, se compone de diversas unidades, desde el habla hasta los fonemas, los elementos más pequeños de las palabras [10].

1. **Componente fonológico o fónico:** Es la encargada de estudiar los sonidos de la expresión lingüística en la comunicación humana. Analiza y comprende el habla desde la estructura, la distribución y la secuencia de acuerdo con el idioma. El proceso de desarrollo fonológico comienza desde el nacimiento y comienza a madurar durante la vocalización de los primeros sonidos, por lo que es importante para una adecuada comunicación [8].
2. **Componente fonético:** Tiene el objetivo de estudiar los sonidos del habla desde una perspectiva más concreta y detallada, describe las características y determina la organización de los enunciados. Asimismo, estudia cómo son producidos los sonidos, su transmisión y su percepción. Por ello, el desarrollar una buena pronunciación de las palabras en la infancia proporciona un correcto desenvolvimiento en entornos sociales [11].
3. **Componente léxico-semántico:** Estudia la construcción de las palabras y su significado, así como que el uso sea el apropiado y coherente. Específicamente el contenido léxico se enfoca en la capacidad de las personas de formar palabras en su idioma nativo, es decir, con qué recursos cuentan para ello, por otra parte, el elemento semántico se sustenta en el

significado de la oración, si los recursos son usados correctamente de acuerdo con el contexto [8].

4. **Componente morfosintáctico:** Es el componente que estudia la correlación entre las palabras que componen una oración las cuales son las unidades morfológicas (morfema y palabra) y las unidades sintácticas (oración y sintagma). El contenido de la morfosintaxis se conforma por la morfología y sintaxis, el primero se encarga de la estructura interna y las reglas para la formación de las palabras, mientras que el segundo analiza la capacidad de formar oraciones y cómo relaciona las palabras entre sí [8].
5. **Componente pragmático:** Es el conjunto de reglas para el uso del lenguaje de acuerdo con el contexto, también se relaciona en cómo las personas usan el lenguaje para comunicarse, dado que el propósito de la comunicación es transmitir y recibir un mensaje [8].

1.1.6.1 Trastornos del lenguaje

El incorrecto desarrollo del lenguaje representa uno o más trastornos del lenguaje, los cuales aparecen cuando el infante manifiesta un problema de audición o del habla. En general afecta a niños con alteraciones específicas como retraso mental, sordera, disfasia o trastorno específico del lenguaje (TEL) y autismo [12].

1. **Agnosia auditiva verbal:** Es la incapacidad para comprender el mensaje de manera auditiva. En el caso de los niños con TEA no es una afección común solamente si el déficit del lenguaje es grave [13].
2. **Síndrome fonológico:** Es el déficit expresivo caracterizado por la falta semántica y gramática junto con la poca vocalización de las palabras, a causa de esto el lenguaje es confuso para aquellos que no son cercanos al individuo. En niños con autismo es uno de los más comunes, de acuerdo con la gravedad del TEA el retraso del lenguaje aumenta [13].
3. **Síndrome léxico-sintáctico:** Considerado como la incapacidad de encontrar la palabra que exprese un concepto o idea específica. Dado que también presentan dificultades en el uso práctico del lenguaje, resulta desafiante

establecer los límites del trastorno, tanto en relación con el síndrome semántico-pragmático como al fonológico-sintáctico [13].

4. **Mutismo selectivo:** Es considerado como un trastorno emocional o fobia social, donde el infante no tiene deseo de entablar una conversación en una situación determinada o con una persona en específico, pero existen algunas excepciones como amigos o familiares con los cuales no presentan dificultad para comunicarse o expresar sus emociones [12].

1.1.7 Técnicas de adquisición del lenguaje

Son técnicas dirigidas principalmente a niños, tienen como objetivo el desarrollo de la comunicación y las competencias sociales. Los métodos utilizados se fundamentan en la comunicación, en estrategias de desarrollo educativo y en la aplicación de principios conductuales para optimizar el lenguaje y el comportamiento [14].

1. **Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA):** Es el conjunto de diversos sistemas y estrategias que utilizan elementos gráficos, tales como fotografías, dibujos, pictogramas y palabras, entre otros. Asimismo, incluye elementos gestuales como la mímica, los gestos y los signos manuales. El propósito del CAA consiste en buscar proporcionar alternativas y apoyos adicionales para permitir que las personas se comuniquen de manera efectiva, adaptándose a sus necesidades específicas [15].
2. **Programa de Intercambio de Imágenes (PECS):** Es un sistema de comunicación alternativo diseñado para mejorar gradualmente, a lo largo de seis fases, las habilidades de comunicación interpersonal, especialmente en niños con severos déficits de comunicación. El programa implica que el individuo intercambia un objeto o una imagen deseada con el terapeuta, quien reconoce el intercambio como una petición. Este método contribuye a la identificación de imágenes y a la organización de frases para expresar solicitudes de manera efectiva [16].
3. **Tratamiento de Respuesta Pivotal (PRT):** Es una intervención comúnmente utilizada para los niños con autismo, consiste en enseñar

habilidades de manera natural y motivadora, utilizando los intereses y motivaciones del individuo en una variedad de situaciones y contexto [17].

1.1.8 Procesamiento del Lenguaje Natural

Es una técnica de análisis por medio de computadora para comprender y extraer un conjunto de datos textual del lenguaje humano. Recientemente, los avances de la inteligencia artificial (IA) mediante el uso de teorías y métodos permitió la comunicación entre máquina y humanos para asimilar información del lenguaje natural traducción automática, detección de patrones, reconocimiento de voz, entre otras características [18].

1.1.9 Aplicación móvil

Son programas informáticos diseñados específicamente para funcionar en dispositivos móviles, como teléfonos móviles, tabletas, entre otros. La característica para nombrar a una aplicación como móvil consiste en la capacidad para acceder a los datos desde cualquier lugar y cuenta con diferentes enfoques de uso como el entretenimiento, educación u otros [19].

1.1.10 Videojuego

Es un programa informático que en un inicio se creó para entretener basado entre la interacción máquina-persona, aunque recientemente el enfoque de los videojuegos cambió como herramienta para aprendizaje dado que obtiene la atención, concentración y entretenimiento de los usuarios. Su función principal es recrear entornos en donde el jugador controla un personaje o interactúa con una situación para conseguir un objetivo específico [20].

1.1.10.1 Videojuego serio

Son programas destinados a la enseñanza o logro de metas específicas, diseñados con propósitos no lúdicos para fines educativos, investigación, diagnóstico, tratamiento, entre otros. La base para la creación de videojuegos serios es la utilización de mecánicas, elementos o actividades para mejorar el aprendizaje, la

participación, la productividad o el compromiso a través de experiencias más atractivas y divertidas [21].

1.1.11 Entorno virtual

Es un espacio diseñado para contextualizar situaciones específicas que facilitan el aprendizaje. Sus funciones principales incluyen proporcionar espacios de simulación proactivos, ofrecer herramientas interactivas y brindar recursos destinados a la enseñanza interactiva [22].

1.2 Planteamiento del problema

El trastorno del espectro autista o generalmente conocido como autismo, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1], es un grupo de afecciones que afectan el desarrollo del cerebro en una fase temprana de la vida de una persona, aunque el tratamiento no siempre es realizado en la infancia. Las características del diagnóstico del TEA tienen un impacto en la presencia de diversos déficits y necesidades en la interacción social y comunicación, así como patrones restrictivos y repetitivos de comportamiento, interés y actividades, que varían en función de la gravedad del padecimiento.

A nivel global, la estimación es que uno de cada cien infantes presenta autismo y al menos una cuarta parte, presentan una comunicación limitada y no verbal [23], lo que ejerce un impacto significativo en su calidad de vida. En cambio, en México no se dispone de datos estadísticos actuales donde exista una cifra determinada y precisa de la incidencia del autismo, no obstante, en el año 2019 la fundación *Spectrum Therapy Center México* [24] constató que alrededor de 1 de cada 115-120 personas presentan algún tipo de autismo.

Los diversos tratamientos para el autismo en niños en su mayoría constan de terapias enfocadas en la mejora de habilidades socioemocionales. Sin embargo, las terapias específicas para el desarrollo del lenguaje en niños con TEA son limitadas. En este aspecto, las propuestas recientes para la intervención del habla y lenguaje destacan la necesidad de métodos innovadores que aborden el área de manera efectiva. Asimismo, que no proveen métodos y entornos de práctica que se asemeje

a la realidad, en consecuencia, los niños enfrentan problemas de estrés y ansiedad al relacionarse con otros. Ante ello, los métodos de intervención mediante las tecnologías de información demuestran ser herramientas que complementan la adquisición del lenguaje, pero los sistemas recientes solo contienen lecciones o técnicas para el aprendizaje, y no cuentan con la retroalimentación en tiempo real. Por lo anterior, se propone el desarrollo de un videojuego con técnicas del lenguaje natural para la adquisición del lenguaje en niños con TEA con el fin de brindar un nuevo método de intervención para especialistas de la salud mental.

1.3 Objetivo general y específicos

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos del tema de tesis.

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar de un videojuego para mejorar las habilidades del lenguaje en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) usando técnicas de procesamiento del lenguaje natural.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las técnicas de desarrollo lingüístico aplicadas en niños con TEA reportadas en la literatura para el desarrollo de un videojuego.
- Analizar las técnicas de procesamiento del lenguaje natural existentes para el reconocimiento de las habilidades del lenguaje en niños con TEA.
- Diseñar un conjunto de actividades para el desarrollo de las habilidades del lenguaje en niños con TEA mediante un videojuego.
- Diseñar las interfaces del videojuego de acuerdo con las actividades identificadas para la mejora de las habilidades del lenguaje en niños con TEA.
- Desarrollar el videojuego basado en técnicas de procesamiento de lenguaje natural y desarrollo del lenguaje para niños con TEA.
- Evaluar el videojuego mediante un caso de estudio como prueba de concepto.

1.4 Justificación

La intervención temprana en niños con Trastorno del Espectro Autista es fundamental, especialmente para aquellos que padecen déficits lingüísticos derivados de problemas de correcto desarrollo psicomotor. El déficit del desarrollo psicomotor no solo afecta su capacidad para interactuar y participar en situaciones sociales, sino que también inciden en su vida cotidiana, lo que dificulta el establecimiento de relaciones significativas. Mejorar la habilidad del lenguaje es crucial para su desarrollo social y educativo.

Dado que el surgimiento del uso de la tecnología como método para el tratamiento y el análisis de enfermedades o condiciones crónicas, nuevas investigaciones presentan novedosos experimentos y desarrollos de software para el tratamiento del autismo. El enfoque seleccionado se dirige en su mayoría en el desarrollo de videojuegos, obteniendo resultados prometedores al tratar una habilidad particular.

El desarrollo de un videojuego enfocado en mejorar las habilidades del habla en estos niños ofrece ventajas significativas al incorporar técnicas de procesamiento del lenguaje natural. Esto no solo proporcionaría experiencias personalizadas, sino que también permitiría a los especialistas la capacidad de automatizar las terapias al analizar el habla del niño durante la interacción con el juego. Esta automatización no solo mejora la eficiencia y el alcance de los tratamientos, sino que también considera la importancia del desarrollo psicomotor en la intervención temprana de niños con TEA. Mejorar tanto las habilidades del habla como el desarrollo psicomotor conlleva a mejoras tangibles en la calidad de vida de estos niños, especialmente en su comunicación social y su capacidad para integrarse en entornos sociales y educativos.

En consecuencia, el desarrollo de un videojuego que integre dichas técnicas representa una oportunidad innovadora y prometedora para respaldar el desarrollo lingüístico de los niños con TEA, con el respaldo de especialistas en el campo, mejorando así sus habilidades comunicativas en diferentes ámbitos sociales.

Capítulo 2. Estado de la práctica

El trastorno del espectro autista, conocido por las siglas TEA, es un trastorno del neurodesarrollo, caracterizado por una amplia variedad de manifestaciones que incluyen desafíos en la comunicación verbal y no verbal. Además, implica dificultades en la interacción social, así como patrones de comportamiento restrictivos o repetitivos. Las personas con TEA experimentan sensibilidad a estímulos sensoriales, como sonidos, luces, texturas o temperaturas. Estos síntomas varían en función de su intensidad y presentación en cada individuo, lo que contribuye a la singularidad de cada experiencia dentro del espectro autista.

2.1 Trabajos relacionados

Para comprender los trabajos relacionados se subdividieron en dos categorías: Herramientas para la mejora de habilidades en personas con TEA y Técnicas de intervención para el tratamiento del TEA.

2.1.1 Herramientas para la mejora de habilidades en personas con TEA

En [23] destacó uno de los tratamientos más comunes para mejorar el habla en niños con TEA: el uso de un tutor humano basado en el aprendizaje por imitación. Sin embargo, en algunos casos los niños tienden a no centrarse ante la constante interacción social con otras personas, lo que anuló el propósito del tratamiento. Para abordar dicha dificultad, se propuso el desarrollo de un tutor virtual en 3D como apoyo para la pronunciación. El tutor proporcionó un entorno tridimensional que representaba los movimientos de las articulaciones faciales y reproducía el sonido correspondiente a la palabra o consonante. Además, proporcionó vistas frontales y de perfil del tutor para facilitar la comprensión de los gestos. Los resultados obtenidos de un caso de estudio centrado en la herramienta demostraron una mejoría en la pronunciación y el habla en comparación con aquellos que mantuvieron su aprendizaje con el tutor humano. Como conclusión, se declaró que los entornos multimodales funcionan para la mejora del habla u otras habilidades lingüísticas en niños con TEA.

La incidencia de que las personas con TEA sufren frustración al presentar dificultades del lenguaje en vista de que comprenden más de lo que logran expresar. Frente a tal problema, en [24] plantearon el entrenamiento de habilidades motoras mediante juegos computarizados, los cuales proporcionaron un medio de comunicación simbólica a través de gestos manuales y motores en edad temprana. Para comprobar la hipótesis planteada, se desarrolló una aplicación llamada *Point OutWords* dirigida a *iPad*. La evaluación de la aplicación consistió en un estudio piloto de siete participantes donde solo cinco completaron las pruebas. La evaluación de los datos constó de cuatro medidas cuantificables, pero solamente las Escalas Mullen de Aprendizaje Temprano (MSEL) revelaron resultados potencialmente útiles para medir las funciones comunicativas. Se obtuvo que, tras la intervención, seis niños mostraron mayor dominio de la motricidad fina. Se concluyó que el estudio piloto proporcionó la información necesaria para proseguir con el uso de tecnologías en pantalla táctil para abordar de manera efectiva aspectos fundamentales como el control motor y la referencia simbólica, a fin de complementar intervenciones enfocadas en la comunicación social.

En [25] se destacó que en los Emiratos Árabes la prevalencia del autismo aumenta conforme a los años, lo que implicó desarrollar una herramienta que ayude a una de las principales características que enfrentan los niños con TEA: la insuficiente capacidad para hablar y comunicarse. La propuesta consistió en el desarrollo y evaluación de una aplicación móvil para ayudar en la interacción con los demás y comunicar sus sentimientos o necesidades por el método de comunicación aumentativa y alternativa, que consistió en la integración del lenguaje no verbal (imágenes) con el verbal (audio). La propuesta de solución para los infantes emiratíes llamada MyVoice resultó en una propuesta terapéutica para la enseñanza de la lengua, los sentimientos y las necesidades, destinada a dos usuarios, cuidador y niño autista. Ante las evaluaciones, los resultados indicaron que la facilidad de utilización contribuyó a incrementar la eficiencia en el tiempo de uso del usuario, dado que los infantes

expresaron sus emociones con mayor facilidad tras una semana de experimentación. Finalmente, se destacó el agrado al público a causa de la accesibilidad económica.

En [26] se observó la similitud en los tratamientos e intervenciones dirigidos a niños con TEA para abordar las dificultades sociales, especialmente en ambientes escolares. A pesar de que estos enfoques tienen el potencial de mejorar las habilidades sociales, su aplicación práctica en entornos reales a menudo es limitada. Por ello, muchas veces las habilidades no se ponen en práctica de manera efectiva en el contexto escolar. Para abordarlo, se propuso el desarrollo de una herramienta con el objetivo de fomentar la interacción entre infantes con TEA de alto rendimiento y sus compañeros de escuela. Para ello, desarrollaron la herramienta *It's me* basada en conceptos como apoyo entre pares, psicoeducación e interacción horizontal. Tras las pruebas, se observó que la herramienta era sencilla de usar e incitó al inicio de conversaciones entre los niños, lo que, de acuerdo con la teoría de los autores, se llevaría a cabo el entendimiento mutuo y mejoramiento en las relaciones, por último, destacaron la aceptación del método de intervención por parte de profesionales, docentes y niños.

La prevalencia de los diagnósticos de niños de entre 5 a 12 años con TEA en Qatar cuenta con una tasa del 1.1%, y la mayoría presenta dificultades para leer un texto e interpretar su significado. Por ello en [27] destacaron el uso de nuevas tecnologías para la intervención, como la realidad aumentada (RA), que tiene uso en juegos serios, los cuales son herramienta para la educación balanceando el entretenimiento que proporciona. El objetivo de la investigación consistió en desarrollar un prototipo para apoyar el aprendizaje del vocabulario a los niños con TEA, con el propósito de que utilizarlo en cualquier dispositivo móvil y sin importar el lugar, asimismo los padres monitorearían el progreso. El prototipo nombrado *MARVoc* se desarrolló con base en entrevistas semiestructuradas al personal docente que trabaja en dos centros con sede en Doha, Qatar, con el fin de garantizar las estrategias de juego adecuadas, entre ellas incluía un modo mixto para aprender el abecedario y otro para aprender a construir palabras de cuatro letras. Para evaluar la efectividad del prototipo se realizaron pruebas en el centro con el personal. En general, se destacó que los aspectos de

usabilidad requerían mejorar antes de que los niños con autismo comiencen a usarlo para el aprendizaje.

En [28] se abordó que el déficit social, en su mayoría, consta de intervenciones terapéuticas en entornos clínicos. Sin embargo, la falta de integración adecuada de dichas habilidades en entornos educativos dio lugar a situaciones de aislamiento social o acoso para los niños con TEA. A fin de prevenirlo, se planteó el diseño iterativo para el desarrollo de un juego serio llamado *AScapeD* basado en un cuarto de escape para disminuir la brecha social entre niños con TEA de alto funcionamiento y sus compañeros mediante actividades por pares, con el fin de facilitar la comunicación y fortalecer los vínculos. Los resultados obtenidos del prototipo del sistema *AScapeD* se fundamentaron por la participación de un grupo de 37 niños, algunos diagnosticados con TEA y otros sin diagnóstico. Durante las pruebas, se evidenció que la temática y los contenidos seleccionados resultaron adecuados y atractivos para los participantes. Además, destacaron la eficacia del modo de juego multijugador, dado que fomentó la cooperación y facilitó una comunicación equitativa entre los niños, independientemente de su diagnóstico.

El costo actual de las intervenciones asociadas al TEA tiene una prevalencia económica elevada. Dado a que las sesiones son de carácter urgente para el desarrollo adecuado de un infante a largo plazo, surgió la necesidad de métodos accesibles y eficaces para quienes no logran costearlo. Ante esto, en [29] propusieron el diseño de un agente inteligente para juegos de rompecabezas colaborativos en niños con TEA. Con el fin de establecer una comunicación activa y simultánea mientras juegan, destacando que los niños con autismo poseen una afinidad hacia los sistemas controlados por la computadora y exhiben un elevado nivel de participación. Con el propósito de evaluar la afectividad, se realizaron dos casos de estudio: el primero con el fin de comprobar si la herramienta llamada *ICON2*, permitió jugar y que los niños con TEA se comunicaran en el dominio de los juegos de rompecabezas colaborativos. Mientras que, en el segundo caso de estudio, se comprobó si el agente inteligente poseía el potencial de generar características significativas para medir las habilidades

de comunicación y colaboración de los niños con TEA. De acuerdo con los resultados, el inicio de conversaciones apropiadas fue del 82.93% y del 89.33% en respuestas apropiadas. Ante estos resultados, se concluyó que el sistema recibió respuesta positiva ante los participantes, además destacaron el potencial de este tipo de herramientas para medir las interacciones sociales.

En [30] se destacó la dificultad actual en relación con el desarrollo de las habilidades del habla en los niños con autismo, especialmente en lo que respecta a la comunicación y la interacción social. Se observó que con frecuencia que los niños con TEA tienen dificultades para utilizar los pronombres de manera correcta. Por consiguiente, plantearon diseñar un videojuego serio que integre un avatar como método de intervención para el aprendizaje de los pronombres personales, con el fin de activar el uso de las neuronas espejo, las cuales son un tipo de neuronas que se activan al observar e imitar una actividad específica, lo que logra la comprensión de dicha tarea. De acuerdo con las investigaciones e información recabada para el diseño, se constató que la utilización de técnicas como la grabación de videos del usuario para que sean procesados para la modificación audiovisual permitiría que al visualizarse como partícipes en el entorno virtual imitasen lo que escuchan y, por lo tanto, aprendan el uso correcto de los pronombres.

La complejidad de los tratamientos del TEA sumado con el elevado costo obstaculiza el tratamiento en niños y la intervención en etapa temprana para mejorar el desarrollo de habilidades cognitivas y de comportamiento. Ante la problemática anterior, en [31] propusieron el desarrollo e implementación de un programa de entrenamiento de mejora de las habilidades sociales basado en el metaverso para infantes de 7 a 12 años, con el fin de evaluar la influencia de la tecnología en la interacción social y validar la efectividad del Programa para la Educación y el Enriquecimiento de Habilidades Relacionales (PEERS). El estudio sobre la eficacia del programa PEERS basado en el metaverso demostró resultados alentadores, por lo que una implementación exitosa del programa mejoraría significativamente las habilidades sociales de los niños con TEA. En consecuencia, ofrecería una opción para intervenir y potenciar su desarrollo

social y emocional, así como evaluar los resultados mediante la obtención de datos biométricos para anticipar y abordar desafíos en el comportamiento.

A pesar de que los recientes estudios sugieren diversos métodos para el tratamiento del autismo en niños, no existe uno con alguna conclusión definitiva, aunque el aumento de estudios que abordan intervenciones tecnológicas y el uso de entornos virtuales contribuyó a que en [32] se desarrolló un sistema de aprendizaje colaborativo para la mejora de las habilidades sociales basado en la realidad virtual (RV). Con el fin de evaluar la eficacia, realizaron un caso de estudio con siete niños diagnosticados con TEA. Entre los hallazgos encontraron que el desempeño de los participantes fue positivo y significativo en el uso de la realidad virtual para el desarrollo de habilidades específicas, tales como el inicio de interacciones sociales, la expresión positiva propia o la flexibilidad cognitiva. Se concluyó que el aprendizaje a través de estos sistemas requiere de la selección e identificación de manera dinámica del contenido, secuencia y actividades del juego, y que, a medida que incrementa el tiempo de exposición ante una lección, la adquisición de habilidades será mayor.

La intervención temprana para la adquisición de habilidades lingüísticas en niños con el espectro autista requiere realizarse en edad temprana para lograr efectos positivos. No obstante, el acceso a terapias en ocasiones es limitado, lo que irrumpe con la constancia, la cual es crucial para la eficacia de los tratamientos. Ante esto, en [33] plantearon que la tecnología de realidad aumentada ofrece una alternativa económica y asequible, con el objetivo de lograr el desarrollo de una interfaz con RA que cumpla con la asistencia de las habilidades lingüísticas pragmáticas. El prototipo del sistema nombrado *AEDLE* se evaluó mediante un estudio preliminar que determinó la aceptación y la capacidad de la aplicación para funcionar como método de intervención. Para obtener los resultados, se utilizó el método de análisis de diagrama de afinidad para la evaluación del prototipo. En general, los niños que interactuaron con *AEDLE* reaccionaron positivamente ya que los elementos de diseño que se utilizaron despertaron el interés, en consecuencia, la mejora del lenguaje pragmático mejoraría con el uso constante. Se concluyó que el estudio sirvió como punto de

partida para futuras investigaciones enfocadas en la intervención tecnológica para el tratamiento del TEA.

2.1.2 Técnicas de intervención para el tratamiento del TEA

El TEA dispone de múltiples técnicas de abordaje, en las cuales la mayoría de las terapias convencionales carecen de experiencia sensorial, lo que implica que los terapeutas requieran emplear estrategias de concentración para captar la atención de la persona y efectuar el cometido. Ante dichas limitaciones, en [34] se planteó que un abordaje de terapia mediante realidad virtual brindaría los estímulos suficientes para atraer el interés de los niños, así como interactuaron y responderían en el entorno virtual, al igual que lo harían en el mundo real, sin la presión social del último. Para evaluar el uso de RV utilizaron un sistema modelo para en este caso medir en dos niveles la atención y el aumentar las interacciones sociales basados en soluciones clínicas avanzadas para WAIS-IV y WMS-IV. Los resultados de las pruebas llevadas a cabo por cinco participantes evidenciaron una mejora en ambos niveles del sistema, en los cuales, independientemente de su edad y gravedad del diagnóstico, hubo mejoras. Se concluyó que la aceptación de la realidad virtual como terapia para el tratamiento del autismo es positiva dado que la repetición constante con el propósito mejorar y potenciar las habilidades.

El estudio [35] evaluó si el uso de RA como herramienta para el tratamiento de TEA en niños menores de seis años mejora las habilidades sociales y de comunicación, puesto que proveería comprensión de su entorno por medio de la integración de elementos virtuales con el entorno real y no se limitaría a situaciones específicas. Para la verificación de la efectividad del uso del RA, realizaron pruebas en 11 niños durante 20 semanas con dos métodos: con y sin el uso de RA. La evaluación empleó el método de medición U de Mann-Whitney con el fin de comparar ambos grupos antes y después de las pruebas. Los resultados, de acuerdo con lo que se observó, no se obtuvo una mejora significativa, no obstante, encontraron áreas específicas en las que el uso de tecnologías como RA logró mejores resultados, tales como el lenguaje expresivo.

Ante la dificultad que presentan las personas diagnosticadas con TEA para relacionarse en ámbitos educativos, en Schmid et al [36] se planteó la hipótesis de que, dadas las respuestas neurocientíficas al escuchar música, tanto en personas con TEA como en individuos neurotípicos, se activan áreas del cerebro relacionadas con el procesamiento del habla. Por ello, propusieron que la utilización de la música como herramienta para el mejoramiento de las habilidades socioemocionales, de comunicación y del habla a través del método de musicoterapia grupal VOICSS (*Vocal Interactive Communication and Social Strategies*), el cual es un método basado en el uso de canciones interactivas reconocidas por su eficacia en la enseñanza de las habilidades que requieren los niños con TEA. Los resultados del experimento, que se llevó a cabo durante 16 semanas con la participación de 64 estudiantes distribuidos en tres grupos con diferentes características y evaluados con *DuACS* antes, durante y al final del tratamiento, revelaron que, aunque se observó algunas diferencias insignificantes entre los grupos, la musicoterapia grupal si obtuvo un impacto leve y positivo en el desarrollo de habilidades.

En [37] se realizó un análisis que destacó cómo el lento desarrollo de la comunicación de los niños con TEA afecta la interacción social, lo que los lleva en algunos casos al aislamiento. Con el fin de solucionar dicho problema, plantearon un procedimiento alternativo para el desarrollo del habla, que consistió en la combinación del uso del lenguaje hablado y el lenguaje no verbal, tales como grafos, signos o lenguaje de señas. Con el propósito de verificar si el procedimiento tenía efectividad, se llevó a cabo un estudio con dos niños de 10 y 12 años de edad. Los resultados obtenidos a través de observaciones y entrevistas evidenciaron que, aunque el nivel de autismo de ambos era diferente, la verbalización y el entendimiento de las palabras aumentó. Por ende, concluyeron que la técnica de combinación de los lenguajes proporcionó resultados positivos para fomentar el desarrollo de las habilidades socioemocionales de los niños que padecen TEA.

En [38] se describió que en los últimos años no existe un tratamiento definitivo para el TEA y un aumento en la incidencia de la condición en niños. El aumento continuo tiene

un impacto significativo en la calidad de vida a largo plazo de los afectados. Por ello, se centraron la investigación en el análisis de tecnologías como la realidad virtual con el objetivo de evaluar su eficacia en el tratamiento neurocognitivo de los individuos con TEA. Para cumplir con el objetivo de la investigación, recolectaron información de diversas fuentes, donde, tras una evaluación sistemática, obtuvieron 33 estudios para medir la afectividad de las intervenciones a través de la realidad virtual. De acuerdo con la mayoría de los casos, concluyeron que el uso de RV potencia y mejora las habilidades de personas con TEA de cualquier edad. Como resultado, sugirieron que la viabilidad de utilizar este tipo de tecnologías muestra un progreso significativo en comparación con las técnicas tradicionales utilizadas en clínicas.

El estudio de [39] destacó la observación de mejoras en habilidades orales y escritas en niños y adolescentes con trastornos del desarrollo neurológico mediante la musicoterapia, lo que planteó la expectativa de resultados similares para aquellos con TEA y otros síndromes. Con lo anterior, el objetivo consistió en determinar si el uso de la musicoterapia es efectivo como tratamiento o, por el contrario, tiene efectos negativos. Para dar respuesta a la inquietud, llevaron a cabo una revisión sistemática de 39 artículos que investigaban el uso de la musicoterapia como tratamiento para diversas afecciones. Los dos enfoques que predominaron: la musicoterapia educativa y la de improvisación. Los resultados revelaron un impacto positivo de la musicoterapia educativa en el habla de persona con TEA en la mayoría de los estudios controlados. Asimismo, la musicoterapia de improvisación demostró efectos positivos en mejoras relacionadas con el funcionamiento social, especialmente en un subgrupo de personas con TEA y discapacidad intelectual.

En [40] se planteó el uso de realidad virtual dado que en diversas áreas de la salud muestra resultados eficaces, por ello el empleo de RV como una herramienta de evaluación y tratamiento para el TEA, particularmente para aquellos que tienden a aislarse socialmente y tienen habilidades socioemocionales limitadas. Se sugirió que la simulación de escenarios ficticios ofrece experiencias controladas en las que los usuarios no experimentan ansiedad o estrés ante situaciones reales. Además, la

repetición permite una práctica constante de la experiencia concreta en determinados escenarios, lo que facilita la observación reflexiva, la comprensión de las situaciones y la experimentación de las mismas. Las investigaciones demostraron que el uso de las tecnologías como la realidad virtual se respaldan teóricamente por la pedagogía y los métodos de rehabilitación. Estos enfoques demostraron mejoras en áreas como el reconocimiento de emociones, el funcionamiento social, así como en el entrenamiento del habla y lenguaje.

La investigación de [41] consistió en una búsqueda sobre las intervenciones basadas en tecnologías para mejorar las habilidades sociales en las personas con TEA con el objetivo de determinar si el uso de tecnologías como la realidad aumentada, la realidad mixta (RM), la realidad virtual y la realidad extendida (RE) potencian el aprendizaje de habilidades en personas con TEA. Para ello, se analizaron 41 estudios que implementaron cualquiera de las tecnologías. Las conclusiones, tras revisar varios estudios, abarcaron la respuesta a tres preguntas de investigación. La primera indagó si la edad de los individuos influía en el éxito y sus agentes de intervención, concluyendo que la edad no era un factor que alterase el resultado, mientras que el coeficiente intelectual sí lo era. La segunda pregunta, que buscaba determinar la habilidad más adecuada para enseñar mediante la intervención tecnológica, resultó inconclusa dado que el 75% de los estudios se enfocaron en mejorar una sola habilidad. Finalmente, la tercera pregunta se centró en estudiar si las habilidades eran generalizadas y si los participantes mantenían lo aprendido, el resultado mostró que el 49% de los casos produjo una generalización, y el 85% informó que sí conservaban las habilidades aprendidas. En general, en el 94% de los estudios prevalece la efectividad del uso de distintas tecnologías.

Nekar et al [42] investigaron sobre si el uso de juegos multijugador con realidad aumentada funcionaba como método de intervención para mejorar las capacidades sociales y cognitivas, dado que estudios recientes mostraron un impacto positivo al utilizar sistemas basados en RA o RV con tareas de grupo en comparación con enfoque individual. Para evaluar la eficacia de los juegos, efectuaron un caso de

estudio durante múltiples sesiones con catorce niños, los resultados obtenidos evidenciaron una mejora en diferentes subescalas de las habilidades sociales y funciones cognitivas tras la interacción con los sistemas multijugador de roles basado en un enfoque cognitivo-motor interactivo (ICMT). A causa de la interacción entre los jugadores se observó que lograron mejoras en diversas habilidades, tales como la cognición social, la conciencia social, la motivación social, el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la orientación, la memoria, la atención y la percepción visual. Los investigadores concluyeron que la utilización de videojuegos RA o RV como herramientas funcionales, válidas y adaptables para el tratamiento de diferentes déficits de los niños con autismo.

Las personas diagnosticadas con autismo a menudo experimentan dificultades para participar en interacciones sociales. Por este motivo, el uso de mundos virtuales 3D en varios videojuegos para apoyar la mejora de habilidades en personas con TEA generó el interés de los autores [43]. Su investigación se centró en explorar el impacto diferencial entre el diseño de juegos inmersivos y el diseño instructivo convencional, con el fin de determinar su influencia en el desarrollo de habilidades sociales en jóvenes con TEA. Para llevar a cabo el objetivo de la investigación utilizaron minería de datos y minería de reglas de asociación para evaluar los datos relacionados con los comportamientos sociales, tanto verbales como no verbales, de adolescentes con TEA de la aplicación *iSocial*. La comparación evidenció que, en comparación con las actividades de aprendizaje convencional sin elementos de juego, los videojuegos ejercieron un mayor impacto con la utilización de avatares, a causa del factor de la autenticidad y práctica para la simulación de interacciones reales.

En [44] se analizó que las personas con autismo de edad temprana que toman terapia para el desarrollo de habilidades socioemocionales tienden a guiarse en su mayoría por estímulos no relacionados a sus entornos sociales, lo que les conduce a dificultades en ámbitos educativos propensos a una menor calidad y cantidad de relaciones. Por consiguiente, se propuso la utilización de las tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada con el objetivo de desarrollar herramientas de

intervención en habilidades sociales mediante la simulación de escenarios o sobreposición de elementos en entornos reales o virtuales. Con el fin de determinar el éxito de ambas tecnologías, realizaron un análisis que constó de 49 estudios en donde usaron las tecnologías de RV y RA como propuesta de solución en niños con déficits de habilidades sociales. Los resultados de los estudios recolectados mostraron algunas limitaciones como que su uso aún es reciente y poco explorado, por esa razón, la mayoría de los estudios tienen un número de participantes limitado, asimismo, se destacó que algunos casos presentaron diferencias entre los géneros de los participantes. Se concluyó que la viabilidad y aceptación del uso del RV y RA contribuye beneficiosamente a la mejora no solo de las habilidades sociales, sino también de otras habilidades.

2.2 Análisis comparativo

En la tabla 2.1, se presenta una comparación analítica de los trabajos expuestos anteriormente donde se distingue el artículo referenciado, su problemática principal, que contribuyo, mediante cual tecnología, así como observar los resultados obtenidos y el estado de este. Con el fin de identificar las semejanzas y diferencias más relevantes entre los artículos.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
[23]	El uso de tutores humanos para la mejora de habilidades sociales no era apto para todos los niños con TEA	Desarrollo y análisis de un tutor 3D para mejorar la lingüística	Realidad virtual.	El tutor 3D obtuvo mejores resultados ante el tutor humano	Finalizado
[24]	El déficit de comunicación causa frustración	Desarrollo y análisis de una herramienta para el	Aplicación de iOS	La aplicación Point OutWords mostró resultados	Finalizado

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
	en individuos con TEA	desarrollo de habilidades motoras		favorecedores en el desarrollo de habilidades de motricidad fina	
[28]	Las terapias en entornos clínicos en su mayoría no plantean situaciones realistas donde sucede el aislamiento o acoso	Diseño iterativo para el desarrollo de un juego serio de escape con el propósito de disminuir la brecha social entre niños con autismo de alto funcionamiento y sus compañeros mediante actividades por pares	Aplicación móvil	Las pruebas del prototipo mostraron que la eficacia del modo de juego multijugador, dado que fomentaba la cooperación y facilitaba una comunicación equitativa entre los niños, independientemente de su diagnóstico	No finalizado
[30]	Dificultad en el desarrollo de las habilidades del habla, específicamente en el mal uso de los pronombres personales.	Desarrollo de un videojuego serio para fomentar el aprendizaje de los pronombres personales con el fin de activar el uso de las neuronas espejo	Aplicación móvil	El uso de técnicas como la grabación de videos del usuario procesados permitiría que imitasen lo que escuchan y por lo tanto aprendan el uso correcto de los pronombres	No finalizado
[32]	No existe un método definitivo para el tratamiento del TEA	Desarrollo de un sistema de aprendizaje colaborativo para la mejora de las habilidades	Aplicación móvil con realidad virtual	El aumento en el desempeño de habilidades específicas como el inicio de interacciones	No finalizado

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
		sociales basado en realidad virtual		sociales, la expresión positiva propia o la flexibilidad cognitiva	
[34]	La falta de experiencia sensorial en las técnicas de abordaje del TEA impide captar la atención del individuo	Evaluar el uso de RV como método de intervención	Realidad virtual	La aceptación de la RV como terapia para el tratamiento del autismo es positiva dado que la repetición constante con el propósito mejorar y potenciar las habilidades.	Finalizado
[37]	El lento progreso de la comunicación de los niños con TEA afecta la interacción social, lo que los lleva en ocasiones al aislamiento	Plantearon un procedimiento alternativo para el desarrollo del habla, que consistió en la combinación del uso del lenguaje hablado y el lenguaje no verbal, tales como grafos, signos o lenguaje de señas	Ninguna	La combinación de los lenguajes proporciona resultados positivos para fomentar el desarrollo de las habilidades socioemocionales de los niños que padecen TEA	Finalizado
[38]	En los últimos años no existe un tratamiento definitivo para el TEA, por ende, la investigación se centró en el	Evaluar la eficacia de la realidad virtual en el tratamiento neurocognitivo de las personas con TEA	Realidad virtual	De acuerdo con la mayoría de los casos, concluyeron que el uso de RV potencia y mejora las habilidades de	Finalizado

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
	análisis de tecnologías como método alternativo			personas con TEA de cualquier edad	
[40]	A raíz del aislamiento social y el déficit de las habilidades socioemocionales, los niños con TEA presentan estrés en entornos reales cuando son puestos a prueba	Evaluar la utilidad de la realidad virtual como medio para la evaluación y el tratamiento del TEA	Realidad virtual	Se comprobó que el uso de la realidad virtual evidenció mejoras en áreas como las habilidades sociales, el reconocimiento de emociones y el entrenamiento del habla y el lenguaje	Finalizado
[41]	Los recientes métodos de intervención tecnológica plantean evaluar su eficacia	Evaluar si la incorporación de tecnologías de RA, RM, RV y RE promueve el aprendizaje de habilidades en personas con TEA	Realidad aumentada, realidad mixta, realidad virtual y realidad extendida	En general, en el 94% de los estudios prevalece la efectividad del uso de distintas tecnologías	Finalizado
[44]	El desarrollo de habilidades socioemocionales en personas con autismo se influencia con base en estímulos no relacionados a	Evaluar la eficacia de la RV y la RA en el desarrollo de herramientas para el entrenamiento de habilidades sociales, mediante la simulación de situaciones o la	Realidad virtual y realidad aumentada	Se concluyó que la viabilidad y aceptación del uso del RV y RA contribuye positivamente a la mejora de las habilidades	Finalizado

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
	sus entornos sociales	adición de elementos en ambientes reales o virtuales		sociales, así como otras habilidades	

De acuerdo con la información recabada de diversos estudios e investigaciones, el uso de tecnologías emergentes se posiciona como una propuesta innovadora y prometedora para el tratamiento del TEA. El uso de tecnologías diferentes con métodos de abordaje ofrece una amplia gama de herramientas y recursos para el desarrollo de habilidades o déficits en personas con autismo, lo que resulta en propuestas innovadoras, factibles y significativas. Además, el impacto positivo de estas intervenciones tecnológicas se respalda con los resultados de cada uno de los trabajos analizados, entre varias de ellas se destaca el uso favorable de los videojuegos las habilidades comunicativas, sociales y cognitivas en niños con autismo.

Por ello, desarrollar videojuegos como métodos de intervención para el tratamiento específico de ciertos déficits presentes en el TEA resulta en una contribución prometedora para mejorar la calidad de vida de niños con autismo.

2.3 Solución propuesta

La solución propuesta para el desarrollo del videojuego integra varios componentes tecnológicos clave que garantizan su funcionalidad, eficiencia y escalabilidad. Estos incluyen el lenguaje de programación, el motor de desarrollo de videojuegos, el entorno de desarrollo integrado (IDE), las técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural, el gestor de base de datos y la metodología de desarrollo seleccionada. A continuación, se detalla la justificación de cada uno de estos elementos.

2.3.1 Lenguaje de programación

El lenguaje de programación seleccionado requiere ser compatible con el motor del videojuego, eficiente para implementar la lógica necesaria, y adecuado para manejar

las interacciones del usuario y la integración de técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural.

2.3.1.1 C#

La selección de C# consto de que es el lenguaje principal de Unity, lo que garantiza una integración perfecta con el motor del videojuego. Este lenguaje permite implementar toda la lógica del juego, desde la gestión de personajes y sus interacciones hasta la conexión entre los diferentes módulos. Su capacidad para manejar eventos y delegados facilita el procesamiento de entradas del jugador, como el reconocimiento de voz, y su flexibilidad permite controlar el flujo de datos entre los módulos de niveles y el procesamiento de lenguaje natural.

2.3.2 Motor de desarrollo de videojuego

El motor de videojuegos se centra en gestionar los elementos del juego, proporcionando herramientas de diseño, programación y simulación en tiempo real para asegurar la coherencia y calidad del videojuego.

2.3.2.1 Unity 2020.3.50f1

En el caso de Unity, se seleccionó dado a que es uno de los motores más versátiles y populares del mercado, ideal para desarrollar videojuegos educativos e interactivos. La versión 2020.3.50f1 se seleccionó por su soporte extendido, estabilidad y compatibilidad con dispositivos de realidad virtual (VR). Unity permite la integración de gráficos 3D, animaciones, físicas realistas y audio, lo que crea un entorno inmersivo y atractivo. Además, su compatibilidad con bibliotecas externas y su capacidad para renderizar en tiempo real garantizan una experiencia fluida para los usuarios.

2.3.3 IDE

Un IDE eficiente se seleccionó con base a la compatibilidad con el motor de desarrollo y ofrecer herramientas que faciliten la programación y depuración de código.

2.3.3.1 Rider

La opción de Rider de JetBrains ofrece un IDE avanzado, el cual se diseñó para desarrolladores que trabajan con C# y Unity. Este entorno proporciona herramientas específicas como inspección de código, refactorización automática y depuración en tiempo real, lo que agiliza la escritura y prueba del código. Su integración directa con Unity elimina la necesidad de cambiar constantemente entre aplicaciones, mejorando la productividad y reduciendo errores.

2.3.4 Técnicas de Procesamiento del Lenguaje Natural

Para el desarrollo del videojuego, se integraron diversas técnicas de procesamiento de señales de audio y herramientas de análisis que permiten evaluar la pronunciación y brindar retroalimentación en tiempo real a los usuarios. Estas técnicas son fundamentales para lograr los objetivos de mejorar las habilidades lingüísticas de niños con TEA mediante el videojuego. A continuación, se describen las principales técnicas implementadas.

2.3.4.1 Dynamic Time Warping (DTW)

El uso de DTW se enfocó por ser una técnica eficiente y ampliamente utilizada para medir similitudes entre secuencias temporales. Su capacidad para alinear dinámicamente señales de audio permite evaluar la pronunciación de los usuarios, detectando discrepancias en ritmo, entonación y duración de las palabras o frases. Es particularmente útil en el contexto del análisis del habla, ya que los niños con TEA presentan variaciones en su ritmo al hablar.

2.3.4.2 Procesamiento de señales de audio

El análisis de señales de audio es fundamental para comprender las características acústicas del habla, es por ello por lo que se seleccionó. Rasgos como la extracción de características como los MFCCs (coeficientes cepstrales en las frecuencias Mel) es clave, ya que estos encapsulan información esencial de la voz humana, como tono,

timbre y articulación. Estas métricas son estándar en investigaciones de análisis de voz y demuestran ser útiles en sistemas de evaluación automática del habla.

2.3.4.3 Análisis espectral

Esta técnica se seleccionó dado su capacidad de transformar el audio en espectrogramas proporciona una representación visual de cómo cambian las frecuencias a lo largo del tiempo. Esto permite identificar patrones específicos de pronunciación y errores comunes en los niños. Además, es una herramienta intuitiva para monitorear el progreso del usuario y ajustar el enfoque de retroalimentación.

2.3.4.4 Reconocimiento Automático de Voz (ASR)

El uso de ASR permite transcribir automáticamente el habla del usuario, comparándolo con el objetivo esperado. Wit.ai fue elegido por su facilidad de integración, su capacidad para manejar múltiples idiomas y su habilidad para procesar el habla en tiempo real, una característica crucial para ofrecer retroalimentación inmediata.

2.3.5 Herramientas para el Procesamiento del Lenguaje Natural

El uso de bibliotecas y herramientas especializadas en el procesamiento del lenguaje natural (PLN) es esencial para implementar funcionalidades avanzadas de análisis del habla en el videojuego. Estas bibliotecas permiten extraer características acústicas, comparar patrones de audio y visualizar datos relacionados con el lenguaje hablado. En esta tesis, las bibliotecas seleccionadas no solo ofrecen precisión en los cálculos y análisis, sino también flexibilidad para integrarse con el motor de desarrollo y otros módulos del videojuego. A continuación, se detallan las herramientas utilizadas y su contribución específica al desarrollo de la solución.

2.3.5.1 Librosa

La función de Librosa una biblioteca de Python utilizada para generar espectrogramas y visualizar las características del audio tiene el objetivo de representar visualmente la evaluación de patrones acústicos y ayudan en la detección de errores de pronunciación.

2.3.5.2 Matplotlib y Seaborn

Ambas bibliotecas se seleccionaron por su capacidad para generar visualizaciones claras y personalizables facilita no solo el análisis técnico, sino también la creación de herramientas visuales dentro del videojuego para mostrar retroalimentación gráfica al usuario.

2.3.5.3 Wit.ai

El uso de la plataforma Wit.ai se adecua al desarrollo del videojuego dado sus funciones para reconocimiento de voz basada en inteligencia artificial, así como su capacidad de adaptarse a diferentes contextos lingüísticos y su enfoque en la precisión del procesamiento del lenguaje natural. Además, su compatibilidad con lenguajes de programación como C# y Python lo hace ideal para integrarse con Unity y las bibliotecas seleccionadas.

2.3.6 Gestor de base de datos

El gestor de base de datos seleccionado es una herramienta fundamental para almacenar y gestionar la información generada en el videojuego. Esta base de datos permite acceder y actualizar los datos de manera eficiente.

2.3.6.1 SQLite

Se seleccionó SQLite debido a su capacidad para trabajar sin necesidad de un servidor externo y su compatibilidad con dispositivos móviles, que son esenciales para el funcionamiento del videojuego. SQLite es un sistema de gestión de bases de datos relacional (RDBMS) basado en el archivo, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieren un almacenamiento local y rápido.

2.3.7 Metodología de desarrollo de software

La metodología seleccionada se destaca por su enfoque centrado en el usuario y su flexibilidad para adaptarse a proyectos de diversa índole, donde se incluyen aquellos orientados al desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras.

2.3.7.1 Design Thinking

La selección de *Design Thinking* se debió a su enfoque iterativo y centrado en el usuario. Este método permite diseñar soluciones innovadoras al comprender profundamente las necesidades de los usuarios y refinar continuamente el proyecto. Las cinco fases del proceso (empatizar, definir, idear, prototipar y testear) aseguran que el videojuego esté diseñado no solo para cumplir sus objetivos educativos, sino también para ofrecer una experiencia atractiva y efectiva para los niños con TEA.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

La metodología *Design Thinking*, descrita en la Figura 3.1, es un enfoque centrado en el usuario que se utiliza para desarrollar soluciones creativas e innovadoras, con especial énfasis en cómo las personas interactúan con lo que se desarrolla. Aunque inicialmente se diseñó para proyectos de diseño y desarrollo empresarial, su flexibilidad lo hace aplicable en una amplia variedad de contextos, incluyendo la gestión de proyectos de ingeniería de software.

Este proceso consta de cinco etapas principales: empatía, definición, ideación, prototipado y testeo, que forman un ciclo iterativo no lineal. Esto significa que en cualquier momento es posible volver a fases anteriores para corregir, ajustar o mejorar la solución con el objetivo de alcanzar los mejores resultados.

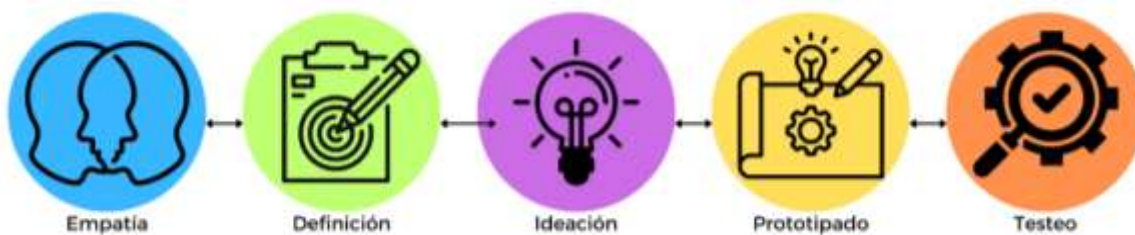


Figura 3.1 Fases de la metodología Design Thinking

1. **Fase de empatizar:** Comprender profundamente a los usuarios y sus necesidades a través de la observación, la interacción y la investigación. Se busca identificar los problemas reales desde la perspectiva de los usuarios.
2. **Fase de definir:** En esta fase, se sintetizan los hallazgos de la fase anterior y se formula un problema claro y específico. Aquí se define el reto que se quiere solucionar basándose en las necesidades detectadas.
3. **Fase de idear:** Se generan tantas ideas como sea posible para resolver el problema definido. La creatividad y la diversidad de ideas son clave en esta etapa, donde no se descartan propuestas, sin importar cuán innovadoras o inusuales parezcan.

4. **Fase de prototipar:** Se desarrollan versiones simplificadas de algunas de las ideas generadas. Estos prototipos permiten visualizar y experimentar cómo funcionan las soluciones.
5. **Fase de evaluar o testear:** Los prototipos se prueban con los usuarios para obtener retroalimentación y entender qué tan efectivas son las soluciones propuestas. La idea es aprender y ajustar con base en las reacciones de los usuarios.

3.1 Fase de empatizar

La fase de *Empatizar* en el proceso para desarrollar un videojuego dirigido a mejorar las habilidades del lenguaje en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) se centra en comprender profundamente las necesidades, desafíos y características específicas de los individuos con el diagnóstico de TEA. Esta fase es fundamental, ya que establece las bases sobre las cuales se diseñan las experiencias de aprendizaje dentro del videojuego, asegurando que las actividades y entornos virtuales sean realmente significativos y accesibles para los niños con TEA. A través de una investigación exhaustiva y una observación empática, se busca captar las percepciones y experiencias de los niños y sus familias, lo que guía en la toma de decisiones durante el desarrollo, particularmente en la integración de técnicas de procesamiento del lenguaje natural que se adapten a sus necesidades únicas.

3.1.1 Análisis de las actividades

En esta fase, se plantearon diversas actividades con el objetivo de apoyar el desarrollo del lenguaje en niños con TEA. Estas actividades se propusieron en función del proceso natural de la adquisición del lenguaje y las necesidades específicas de intervención lingüística que se identificaron en la fase de "Empatizar".

El enfoque estuvo en proponer actividades que facilitaran la práctica del lenguaje en un entorno controlado, utilizando métodos que promuevan la repetición, la interacción

y la retroalimentación. Las actividades se centraron en reforzar habilidades como el reconocimiento de sonidos, la pronunciación correcta y la comprensión auditiva.

3.1.1.1 Técnicas de mejoramiento del lenguaje recabadas

La inclusión de técnicas para la mejora del lenguaje en niños con TEA permite abordar las dificultades que presentan en el desarrollo del lenguaje, asimismo ofrece oportunidades para que los niños adquieran y refuercen sus habilidades lingüísticas esenciales.

En la revisión de la literatura se encontraron diversas técnicas de mejora del lenguaje, las cuales se evaluaron en el desarrollo de los sistemas descritos en el estado del arte.

Estas técnicas, provenientes de diferentes enfoques terapéuticos y educativos, demostraron su efectividad en promover tanto la comunicación verbal como no verbal.

A lo largo de esta sección, se detallan las principales técnicas identificadas en la literatura en la Tabla 3.1, junto con las actividades implementadas en diversas intervenciones, así como una descripción de la actividad realizada. Este análisis proporciona una base sólida para entender las metodologías que se probaron y validaron en la intervención con niños con TEA.

Tabla 3.1 Técnicas recabadas en la literatura

Técnica	Actividades	Descripción
Musico terapia	Escuchar música de terapia activa [39]	Se utilizaron dos técnicas 1) musico terapia activa para fines educativos y 2) musico terapia de improvisación para promover la comunicación no verbal espontánea
	Canciones interactivas [36]	En las sesiones, los estudiantes seleccionan un orador para dirigir el grupo y comenzar las canciones, lo que fomenta la comunicación social tanto individual como grupal.
Cooperación o colaborativos	Juego de roles y cooperativos [42]	Se implementaron juegos multijugador, enfocados en actividades deportivas que inclúan la realización de movimientos de las

Técnica	Actividades	Descripción
		extremidades superiores, tronco y extremidades inferiores con la realización simultánea de tareas cognitivas.
	Rompecabezas colaborativos por turnos [29]	Juegos con dos usuarios para comunicarse entre sí y trabajar juntos para lograr un objetivo común con un agente para medir la efectividad
	Creador de comics colaborativo [26]	Se baso en conceptos de apoyo entre pares, psicoeducación e interacción horizontal para iniciar conversaciones personales entre niños
	Cuarto de escape basado en un proceso incremental iterativo [28]	Los jugadores trabajaron como detectives en el caso de una niña mediante acertijos y rompecabezas
Drama terapia	Terapia dramática grupal para aprender historias [33]	Antes de la terapia, un grupo de niños con autismo aprende una serie de historias que se utilizan en la sesión. Tras el aprendizaje sobre las historias, tanto niños y adulto se colocan gafas de realidad aumentada y continúan la actividad siguiendo las instrucciones proporcionadas por el sistema
Neuronas espejo o sistema espejo	Utilización de un avatar como "instructor" [30]	El sistema graba videos de niños con TEA, reemplaza su audio mediante un algoritmo que clona su voz y crea un video final que se utiliza para la intervención terapéutica
	Tutor 3D para pronunciar palabras o sílabas [23]	Muestra los movimientos durante el habla. Su principal función es ayudar a discriminar entre sonidos aspirados y no aspirados del mandarín, ofreciendo una representación visual detallada de los procesos de articulación.
Auditivo-verbal	No menciona alguna actividad específica [42]	Videojuegos de RA o RV que utilizaron esta técnica para el tratamiento de diferentes déficits de los niños con autismo.

Técnica	Actividades	Descripción
Comunicación Aumentativa y Alternativa	Uso de lenguaje verbal y no verbal mediante imágenes, signos u otros elementos [25]	La aplicación permite a los niños construir oraciones tocando imágenes que representan acciones, objetos o deseos. Las imágenes seleccionadas generan automáticamente frases completas, facilitando la comunicación

En conclusión, las técnicas recabadas de la literatura ofrecen una amplia gama de enfoques que abordan los retos lingüísticos que enfrentan los niños con TEA. Desde métodos basados en la música y el juego colaborativo hasta el uso sistemas de neuronas espejo, cada técnica aporta una herramienta única para facilitar el aprendizaje y desarrollo del lenguaje. El análisis de estas técnicas subraya la importancia de una intervención multidisciplinaria y personalizada, adaptada a las necesidades específicas de cada niño, lo que permite mejorar su capacidad comunicativa y su integración en diversos entornos sociales.

3.1.1.2 Ejercicios propuestos

En el proceso de intervención lingüística para niños con Trastorno del Espectro Autista, es fundamental proponer ejercicios que sigan una estructura progresiva, abordando desde los conceptos más básicos hasta los más complejos. Los ejercicios propuestos se enfocaron en facilitar el aprendizaje del lenguaje, tanto en sus aspectos fonológicos como en su uso práctico y cotidiano. Cada uno de ellos corresponde a necesidades específicas en el desarrollo lingüístico de los niños con TEA, permitiéndoles mejorar su capacidad de comunicación de manera gradual y efectiva. A continuación, se enlista los considerados desde un nivel básico, intermedio y avanzado.

En el nivel básico, los ejercicios propuestos incluyen elementos fundamentales para el desarrollo inicial del lenguaje, permite a los niños con TEA identificar letras y sonidos esenciales para la lectura y la escritura. El enfoque en estos conceptos básicos busca que los niños desarrollen una base sólida que facilite la construcción de palabras y el reconocimiento de patrones lingüísticos sencillos.

- **Abecedario:** El aprendizaje del abecedario es fundamental para el desarrollo del lenguaje, ya que es el primer paso en la comprensión de la estructura de las palabras. Facilita la identificación de letras, lo cual es esencial para la lectura y escritura.
- **Vocales:** Las vocales son los sonidos básicos y más comunes en cualquier idioma. Comprender y pronunciar correctamente las vocales es crucial para la formación de palabras y la comunicación efectiva.
- **Sílabas:** Aprender a identificar y formar sílabas es un paso clave en la lectura y el lenguaje hablado. La segmentación silábica ayuda a los niños a descomponer palabras y a reconocer patrones dentro de ellas, facilitando la adquisición del lenguaje.

El nivel intermedio se incluyen conceptos más amplios, los ejercicios propuestos se diseñaron para ampliar el vocabulario de los niños, mejorar su capacidad descriptiva y reforzar la categorización de objetos y relaciones comunes en su entorno. El uso de estos conceptos favorece la comunicación diaria y el fortalecimiento de habilidades cognitivas y lingüísticas, al tiempo que facilita la interacción en contextos familiares y escolares.

- **Números:** Los números son elementos básicos del lenguaje matemático, que también influyen en el desarrollo cognitivo y la comprensión estructural del mundo. Además, entender la secuencia numérica apoya la memoria y la organización del lenguaje.
- **Familia:** Aprender el vocabulario relacionado con la familia es esencial para la comunicación diaria y para desarrollar un sentido de identidad y pertenencia. Este concepto también refuerza las relaciones interpersonales a través del lenguaje.
- **Formas:** Las formas son conceptos visuales básicos que no solo mejoran la percepción espacial, sino que también se relacionan con el lenguaje descriptivo. Ayudan a los niños a desarrollar vocabulario y a describir objetos de manera más detallada.

- **Colores:** Los colores son de los primeros adjetivos que los niños aprenden a identificar y utilizar en su comunicación. Comprender y nombrar los colores es importante para describir el entorno y para la categorización, lo que es útil en la organización mental del lenguaje.
- **Frutas y Verduras:** Estos conceptos se eligieron porque forman parte del vocabulario cotidiano y porque su aprendizaje facilita la interacción en contextos comunes, como la alimentación. Además, ayudan a asociar palabras con objetos concretos y tangibles.

El nivel avanzado se enfoca en conceptos más complejos, los cuales se orientan en mejorar la comprensión en el lenguaje, fomentar la autoexpresión y promover la agilidad verbal. Desarrollar estas habilidades permite a los niños con TEA mejorar sus capacidades de discriminación auditiva, ampliar su vocabulario descriptivo y facilitar la interacción social y emocional con su entorno.

- **Cuerpo Humano:** El conocimiento de las partes del cuerpo es esencial tanto para la comunicación básica como para la autoexpresión. Este vocabulario permite a los niños describir necesidades y sensaciones, aspectos clave para su bienestar y autonomía.
- **Animales terrestres y acuáticos:** Los animales son un tema recurrente en el desarrollo del lenguaje porque son conceptos que suelen atraer la atención de los niños. Además, proporcionan una amplia gama de vocabulario descriptivo que se usan en diferentes contextos.
- **Emociones:** Aprender a identificar y expresar emociones es crucial para los niños con TEA, ya que suelen tener dificultades en la comprensión emocional. Desarrollar este vocabulario les permite comunicar cómo se sienten y mejorar sus interacciones sociales.
- **Paranomasia:** La paranomasia (palabras que suenan similares, pero tienen significados diferentes) es útil para mejorar la discriminación auditiva y la comprensión de matices en el lenguaje, ayudando a los niños con TEA a diferenciar entre palabras similares.

- **Trabalenguas:** Los trabalenguas promueven la agilidad verbal y la conciencia fonológica, obligando a los niños a concentrarse en la precisión y en la secuencia de sonidos, lo que fortalece su habilidad para pronunciar y distinguir fonemas.

3.1.1.3 Escenarios propuestos

Los escenarios diseñados para el videojuego no solo buscan captar la atención de los niños, sino también ofrecer contextos familiares o estimulantes donde se relacionen con los conceptos lingüísticos con su entorno. Cada uno de estos escenarios fue seleccionado considerando tanto su relación con el aprendizaje de los conceptos propuestos como la comodidad y motivación que brinda a los niños con TEA:

- **Salón de clases:** Este entorno se asocia directamente con el aprendizaje estructurado y formal. Es un espacio seguro y familiar para el niño en el contexto educativo, ideal para enseñar el abecedario, las vocales, la paranomasia, los trabalenguas, las sílabas y las partes del cuerpo humano. El uso de un ambiente conocido facilita la concentración en las tareas lingüísticas.
- **Parque de diversiones:** El aprendizaje lúdico es clave para mantener la motivación de los niños. Este escenario se asocia con el juego y la exploración, lo que lo convierte en un entorno atractivo para introducir conceptos como números, formas y colores. La variedad visual y la interacción con elementos del parque fomentan la conexión entre los conceptos abstractos y su representación en el mundo real.
- **Sala de estar:** La familia es un núcleo esencial para los niños, y un entorno hogareño, como una sala de estar, proporciona un contexto seguro y emocionalmente positivo. Este escenario es el más adecuado para explorar el vocabulario relacionado con la familia, permite al niño conectar palabras con figuras cercanas en su vida cotidiana.
- **Cocina:** La cocina es un entorno multisensorial que permite aprender vocabulario a través de la interacción con objetos cotidianos. Al trabajar con

conceptos de frutas y verduras, la cocina ofrece una rica variedad de colores, formas y texturas, ayudando a reforzar la asociación entre palabras y objetos.

- **Zoológico:** Los animales terrestres suelen ser temas de interés para los niños, especialmente en un entorno que los exhiba de manera accesible y visualmente atractiva. El zoológico es un escenario ideal para presentar el vocabulario de animales terrestres, ya que permite conectar el nombre de los animales con su imagen y características, lo que facilita la comprensión.
- **Acuario:** Continuando con el enfoque de aprendizaje inmersivo, el acuario es un ambiente visualmente estimulante y relajante para explorar el vocabulario relacionado con animales acuáticos. El entorno acuático brinda una experiencia multisensorial que ayuda a los niños a interiorizar los nombres y características de los animales en un ambiente atractivo.
- **Recámara:** Para trabajar el reconocimiento y la expresión de emociones, se eligió una recámara, un espacio íntimo y seguro donde los niños suelen sentir tranquilidad y confort. Este entorno facilita la exploración emocional y la autoexpresión, proporcionando un ambiente en el que los niños aprendan a identificar y comunicar sus sentimientos de manera natural.

En la Tabla 3.2 se describen los ejercicios propuestos con el escenario correspondiente para cada uno.

Tabla 3.2 Ejercicios propuestos con los escenarios propuestos

Ejercicios propuestos	Escenarios propuestos
Abecedario	Salón de clases
Vocales	
Paranomasia	
Trabalenguas	
Sílabas	
Cuerpo humano	
Números	Parque de diversiones

Ejercicios propuestos	Escenarios propuestos
Formas	
Colores	
Familia	Sala de estar
Frutas	Cocina
Verduras	
Animales terrestres	Zoológico
Animales acuáticos	Acuario
Emociones	Recamara

3.2 Fase de definir

La fase de *Definir* en el proceso de *Design Thinking* implica tomar las observaciones realizadas durante la fase de Empatizar y convertirlas en necesidades y problemas clave que guían el diseño de la solución. En esta sección, se presenta una definición clara de las actividades, técnicas, ejercicios y escenarios que se seleccionaron para el desarrollo del videojuego, con el fin de ofrecer una herramienta eficaz para mejorar el lenguaje en niños con TEA.

3.2.1 Definición de actividades

La definición de actividades se basa en las técnicas y conceptos recabados durante la fase de empatía, identificando las que son más relevantes para el desarrollo lingüístico de los niños con TEA. Aquí se describen los criterios que guiaron la selección de técnicas y ejercicios, y cómo estos influyen en el aprendizaje y la mejora del lenguaje en los usuarios.

3.2.1.1 Técnicas de mejoramiento del lenguaje seleccionadas

En esta sección, se detallan las técnicas de mejoramiento del lenguaje que se consideraron más efectivas según la revisión de la literatura y la identificación de necesidades específicas en niños con TEA. La selección de estas técnicas se realizó con el objetivo de fomentar el aprendizaje y la mejora de las habilidades lingüísticas

en los infantes, asegurando que logren progresos significativos en la comprensión y producción del lenguaje. Este avance no solo tiene un impacto directo en su capacidad de comunicación, sino que también influye en su calidad de vida, lo que favorece una mayor inclusión social y una mejor interacción con su entorno.

Entre las técnicas seleccionadas se encuentran las neuronas espejo, que se basa en la idea de que la observación e imitación de patrones facilita el aprendizaje de letras y palabras. Esta técnica es especialmente efectiva para los niños con TEA, ya que muchos de ellos se benefician de la modelación y la práctica visual, convirtiéndola en una opción ideal para mejorar sus habilidades lingüísticas.

Otra técnica clave es la técnica auditivo-verbal, que se centra en la estimulación del habla a través de la escucha activa. Este enfoque permite a los niños procesar y reproducir sonidos, mejorando así su percepción auditiva y su capacidad verbal. La técnica auditivo-verbal es fundamental en el aprendizaje de letras y palabras, ya que promueve la identificación de fonemas y la articulación adecuada, aspectos cruciales en el desarrollo del lenguaje.

Además, se incluye la técnica de repetición, que es esencial para reforzar el aprendizaje de nuevas palabras y estructuras lingüísticas. La repetición permite a los niños practicar de manera constante, ayudándoles a consolidar lo aprendido y a mejorar su fluidez verbal. Esta técnica fomenta la memoria y la retención de información, lo que es especialmente beneficioso para los niños con TEA, quienes a menudo requieren más tiempo y práctica para asimilar nuevos conceptos lingüísticos.

Sin embargo, algunas técnicas fueron descartadas durante el proceso de selección. Por ejemplo, los métodos colaborativos, a pesar de haber demostrado resultados positivos en otros contextos, no se incluyeron en este videojuego dado a que no contempla un enfoque multijugador. Esta decisión se fundamenta en la naturaleza individual del aprendizaje que se busca fomentar a través del videojuego.

Asimismo, la musicoterapia fue excluida, dado que el enfoque del videojuego no involucra actividades musicales, lo que limita su aplicabilidad en este contexto

específico. Aunque la musicoterapia es beneficiosa en otros ámbitos terapéuticos, no se alinea con el objetivo del tema de tesis, que se centra en el desarrollo de habilidades lingüísticas más que en la expresión musical.

La dramaterapia, que se enfoca en el desarrollo de habilidades socioemocionales, y la Comunicación Aumentativa y Alternativa (CAA), que son técnicas diseñadas principalmente para niños no verbales que requieren herramientas de comunicación, también fueron descartadas. Ambas técnicas, aunque valiosas en su propio contexto, no se alinean con los objetivos del videojuego, que busca específicamente mejorar las habilidades verbales y comunicativas de los niños con TEA.

Estas técnicas se seleccionaron, la cuales como se menciona son las de neuronas espejo, auditivo-verbal y repetición, son elegidas por su capacidad para fomentar la adquisición y mejora de habilidades lingüísticas. Cada técnica se alinea con los objetivos del videojuego, buscando mejorar tanto la comprensión como la producción del lenguaje, permite que los niños no solo aprendan, sino que también disfruten del proceso de aprendizaje de manera significativa y motivadora. Este enfoque integral asegura que los niños aprovechen al máximo las oportunidades de mejora lingüística, lo que contribuye a su desarrollo comunicativo y a su bienestar general.

3.2.1.1 Ejercicios seleccionados

Tras el análisis de las técnicas de mejoramiento del lenguaje y una revisión de las necesidades específicas de aprendizaje de los niños con TEA, se propuso una definición clara de los niveles y subniveles del videojuego. Esta propuesta se basa en una clasificación de los grados de dificultad, que se establece de acuerdo con la complejidad de los elementos lingüísticos que se pretende trabajar. A continuación, se describen los niveles identificados, así como las razones para descartar ciertas actividades.

- 1. Nivel básico:** En este nivel, se proponen ejercicios que incluyen elementos fundamentales para el desarrollo inicial del lenguaje, permite a los niños con TEA identificar letras y sonidos esenciales para la lectura y la escritura. El

enfoque en conceptos básicos como vocales, abecedario y sílabas busca que los niños desarrollen una base sólida que facilite la construcción de palabras y el reconocimiento de patrones lingüísticos sencillos.

2. **Nivel intermedio:** El nivel intermedio se enfoca en el aprendizaje de números, formas y colores. Esta etapa es crucial para que los niños integren y apliquen su conocimiento en situaciones cotidianas. En este nivel, se descartaron otros conceptos, como frutas y verduras, a pesar de ser relevantes en la vida diaria, ya que se consideraron menos fundamentales en comparación con los números, colores y formas, que son más básicos en el desarrollo inicial del lenguaje. Se buscó un enfoque que se centrara en las habilidades lingüísticas y numéricas más esenciales para facilitar la integración de estos conceptos en el día a día de los niños.
3. **Nivel avanzado:** El nivel avanzado aborda conceptos más complejos y relevantes para la vida diaria de los infantes, incluyendo familia, comida, cuerpo humano, animales y emociones. Se descartaron otras actividades, como paranomasia y trabalenguas, ya que, aunque son herramientas útiles para mejorar la discriminación auditiva y la conciencia fonológica, se consideraron menos apropiadas para el contexto del videojuego, que se centra en la adquisición de vocabulario relevante y significativo. Además, se optó por enfocarse en palabras que los niños reconozcan y usen su vida diaria, garantizando así una comunicación efectiva y significativa.

A continuación, en la Tabla 3.3 se organizan los niveles y los correspondientes subniveles.

Tabla 3.3 *Niveles seleccionados*

Nivel	Ejercicio
Nivel 1	Vocales
	Abecedario
	Sílabas
Nivel 2	Números
	Colores

Nivel	Ejercicio
	Formas
Nivel 3	Familia
	Comida
	Cuerpo humano
	Animales
	Emociones

La propuesta de ejercicios seleccionados para el videojuego se diseñó para abordar las necesidades específicas de aprendizaje de los niños con TEA, facilitando su desarrollo lingüístico de manera progresiva. Las actividades descartadas, aunque útiles, se consideraron menos relevantes para el enfoque del videojuego, que busca centrar el aprendizaje en vocabulario significativo y aplicable. Esta selección busca impactar positivamente en la calidad de vida de los infantes, fomentando una comunicación efectiva y enriquecedora.

3.2.1.2 Escenarios seleccionados

Los escenarios son un componente esencial para contextualizar los ejercicios y hacerlos más accesibles y atractivos para los niños. Se seleccionaron escenarios que reflejan entornos familiares y lúdicos, con el objetivo de facilitar la inmersión y el aprendizaje.

Los criterios para la elección de los escenarios incluyeron la identificación de lugares cotidianos que los niños reconozcan y relacionen con sus experiencias diarias, así como también contribuyen a una mejor comprensión de las palabras que se enseñan. A continuación, se describen los escenarios seleccionados para cada nivel:

1. Nivel Básico:

- **Salón de clases:** Este escenario se utiliza para los ejercicios de vocales, abecedario y sílabas. La elección de un salón de clases es esencial porque refleja un entorno familiar y educativo donde los niños se sienten cómodos. Este contexto les permite asociar el aprendizaje de elementos

lingüísticos básicos con su experiencia escolar, promoviendo un ambiente positivo para el aprendizaje.

2. Nivel Intermedio:

- **Salón de clases:** Utilizado nuevamente para los ejercicios de números. Al continuar en un entorno educativo, se refuerza la conexión de los conceptos numéricos con la experiencia de aprendizaje formal.
- **Parque de diversiones:** Este escenario se emplea para los ejercicios de formas y colores. Su naturaleza lúdica y estimulante atrae la atención de los niños, resultando en un aprendizaje divertido. El ambiente festivo y colorido del parque ayuda a los niños a relacionar conceptos geométricos y coloridos con experiencias positivas.

3. Nivel Avanzado:

- **Sala de estar:** Utilizada para los ejercicios relacionados con la familia, este espacio es significativo ya que es un entorno común donde los niños aprenden sobre los miembros de su familia en un contexto afectivo.
- **Cocina:** Este escenario se usa para los ejercicios de comida. La cocina es un lugar relevante en la vida cotidiana de los niños, donde aprenden sobre los alimentos.
- **Consultorio:** Este escenario se utiliza para los ejercicios relacionados con el cuerpo humano. Al familiarizarse con partes del cuerpo en un ambiente seguro y accesible, los niños conectan el vocabulario aprendido con su salud y bienestar.
- **Bosque en primavera, bosque invernal, sabana, desierto, selva:** Estos variados ecosistemas se utilizan para aprender sobre animales. La diversidad de hábitats permite que los niños exploren el mundo animal de manera rica y visual. Al aprender sobre animales en sus contextos naturales, los niños visualizan los animales de acuerdo con su habitat.

- **Parque de diversiones:** Este escenario se incorpora también para los ejercicios de emociones. El entorno festivo y dinámico permite que los niños reconozcan y expresen emociones en un contexto familiar y agradable, facilitando la identificación y verbalización de sus sentimientos.

La elección de estos escenarios se basa en su relevancia y familiaridad para los niños, lo que facilita la inmersión y la conexión de conceptos aprendidos con situaciones de la vida real. A continuación, en la Tabla 3.4 se describe la organización de los niveles, ejercicios por nivel y los escenarios seleccionados para cada uno.

Tabla 3.4 Niveles, ejercicios y escenarios seleccionados

Nivel	Ejercicio	Escenario
Nivel 1	Vocales	Salón de clases
	Abecedario	
	Sílabas	
Nivel 2	Números	Parque de diversiones
	Formas	
	Colores	
Nivel 3	Familia	Sala de estar
	Comida	Cocina
	Cuerpo humano	Consultorio
	Animales	Bosque en primavera, bosque invernal, sabana, desierto, selva
	Emociones	Parque de diversiones

3.2.1.3 Palabras seleccionadas

Las palabras seleccionadas para el desarrollo del videojuego se eligieron estratégicamente para alinearse con los objetivos educativos de cada nivel, tomando en cuenta la progresión en la dificultad y los escenarios temáticos. Estas palabras se organizan por niveles y subniveles, abarcando desde conceptos básicos como vocales

y números hasta categorías más complejas como emociones, animales y el cuerpo humano.

3.2.1.3.1 Nivel 1: Básico

En este nivel, se introducen las bases del lenguaje, como vocales, abecedario y sílabas, en la Tabla 3.5 se describen las palabras para el primer nivel. Cada subnivel se desarrolla en el escenario de una escuela para proporcionar un ambiente familiar al jugador.

Tabla 3.5 *Palabras seleccionadas del nivel 1*

Subnivel	Palabras
Vocales	a, e, i, o, u
Abecedario	c, d, f, g, h, j, k, l, n, ñ, q, r, t, v, w, x, y, z
Sílabas	Sílabas simples que comienzan con las letras b, m, n, p, s.

3.2.1.3.2 Nivel 2: Intermedio

El segundo nivel amplía el aprendizaje con números, formas y colores. Los escenarios incluyen tanto la escuela como un parque de diversiones para diversificar la experiencia. A continuación, en la Tabla 3.6 se describen las palabras elegidas para el segundo nivel.

Tabla 3.6 *Palabras seleccionadas del nivel 2*

Subnivel	Palabras
Números	Los números del 1 al 10 y los múltiplos de 10
Formas	Triángulo, círculo, cuadrado, rectángulo, pentágono, rombo, óvalo.
Colores	Rojo, verde, azul, amarillo, violeta/morado, naranja, rosa, negro, blanco

3.2.1.3.3 Nivel 3: Avanzado

En el tercer nivel, se abordan categorías más complejas y contextualmente significativas, como la familia, la comida, el cuerpo humano, los animales y las emociones. Las palabras seleccionadas para el tercer nivel se describen en la Tabla 3.7

Tabla 3.7 Palabras seleccionadas del nivel 3

Subnivel	Palabras
Familia	Papá, mamá, abuelo/a, hermano/a, tía, tío, primo/a
Comida	• Frutas: Manzana, pera, mango, fresa, melón, papaya, plátano, tomate. • Verduras: Espinaca, zanahoria, brócoli, papa, col, lechuga. • Otros: Leche, pollo, pescado, huevo, queso.
Cuerpo humano	• Cabeza: Frente, ojos, nariz, boca, orejas. • Tronco: Cuello, hombros, pecho, estómago. • Extremidades: Brazos, codos, muñecas, manos, dedos, piernas, rodillas, pies.
Animales	• Bosque: Ciervo, ardilla, lobo, jabalíes, búho, zorro. • Sabana: León, elefante, jirafa, cebra, rinoceronte, antílope. • Desierto: Camello, serpiente (víbora o cobra), escorpión, lagarto, zorro del desierto, águila. • Selva: Jaguar, mono, tucán, puma, serpiente (anaconda), guacamaya. • Bosque invernal (taiga): Lobo ártico, reno, lince, alce, zorro ártico.
Emociones	Felicidad, enojo, tristeza, asco, miedo, sorpresa, amor, envidia

3.2.1.4 Diseño de escenarios

El diseño de los escenarios se buscaron diseños accesibles y reconocibles para el aprendizaje. Aquí se describe cómo se desarrollaron los elementos visuales y espaciales de los entornos en los que se llevan a cabo los ejercicios del videojuego, así como los aspectos interactivos que facilitan la participación del usuario. El diseño tiene en cuenta las particularidades de los niños con TEA, lo que promueve un entorno de aprendizaje estructurado y estimulante.

En el primer nivel, el escenario elegido para los tres subniveles es un salón de clases, diseñado para que el entorno sea familiar y educativo para el niño. A continuación, se presenta el diseño del escenario en la Figura 3.2.



Figura 3.2 Diseño de escenario de escuela

3.2.2 Definición de los casos de uso

Los casos de uso describen las interacciones entre los usuarios y el sistema, estos diagramas describen, de manera estructurada, las acciones realizadas por los actores, como jugadores o especialistas. Representan los flujos de interacción, desde actividades iniciales como la creación de perfiles o la selección de niveles, hasta acciones específicas dentro del juego, como ajustar configuraciones, pausar el juego o finalizar sesiones. A continuación, se describen los casos de uso específicos del sistema, describiendo las funcionalidades clave y las interacciones necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del videojuego.

3.2.2.1 Caso de uso del videojuego

El diagrama de la Figura 3.3 describe las funcionalidades principales que el jugador, identificado como “niño” realiza. Se representa como el jugador gestiona su perfil mediante las opciones de *Crear perfil* y *Modificar perfil*, para acceder al juego se requiere primero iniciar sesión, de ahí las demás acciones consisten en seleccionar niveles y subniveles, y ajustar configuraciones específicas. Durante el juego, el jugador pausa la actividad, accediendo a un menú con opciones. Estas funcionalidades se organizan mediante puntos de extensión que permiten ampliar las acciones disponibles, como durante el juego o al acceder al menú.

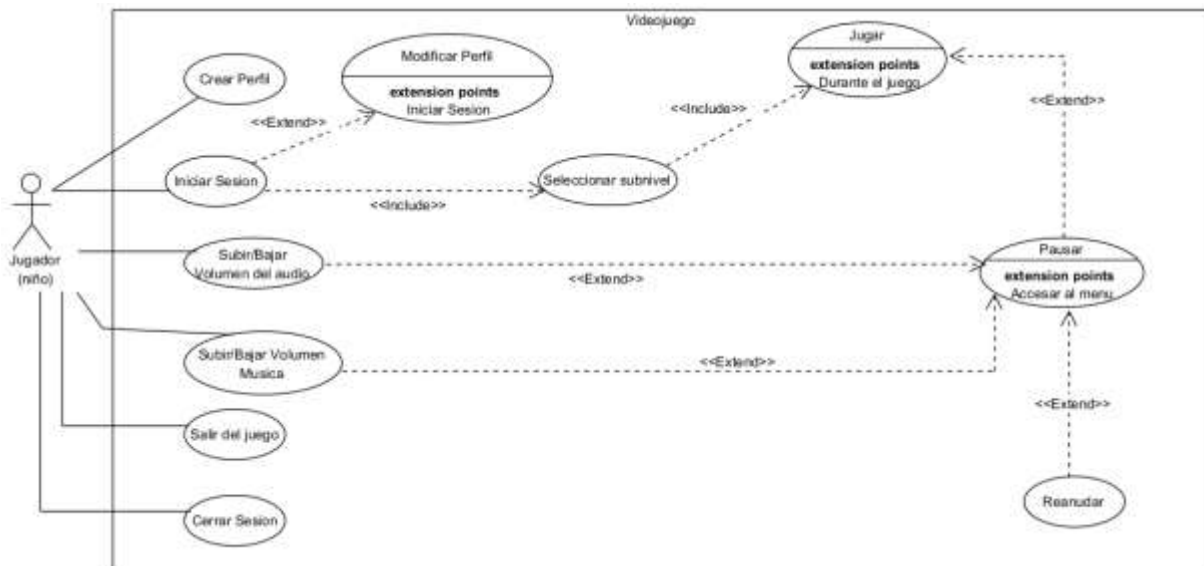


Figura 3.3 Caso de uso del videojuego

3.2.2.2 Caso de uso del especialista

La Figura 3.4 representa el diagrama de casos de uso del sistema de especialista, el cual muestra cómo un usuario identificado como “Especialista” interactúa con el sistema para gestionar los reportes.

El especialista gestiona los reportes de los jugadores a través de funcionalidades como el acceso a información detallada y la generación dinámica de reportes mediante el punto de extensión denominado "Acceder reporte". Adicionalmente, el sistema ofrece la posibilidad de imprimir reportes para documentar o analizar la información fuera de la plataforma. Para garantizar la seguridad de los datos, se incluye la opción de cerrar sesión, asegurando que la información esté protegida durante y después del uso.

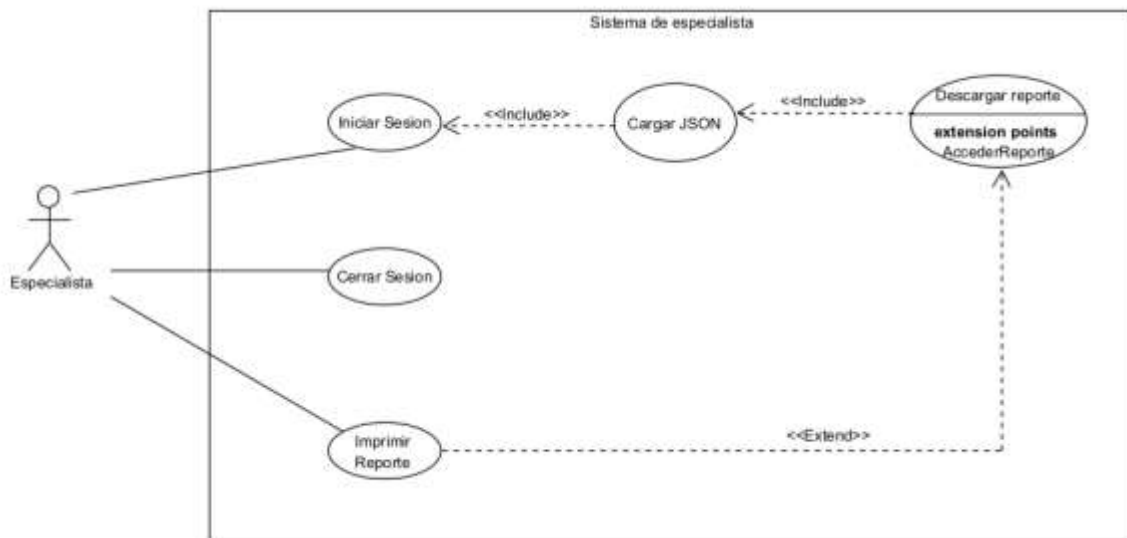


Figura 3.4 Caso de uso del especialista

3.2.2.3 Caso de uso del servicio web

El diagrama muestra las funcionalidades principales del servicio web, el cual actúa como un componente externo que complementa al videojuego. El usuario interactúa con el videojuego para enviar audios y, una vez recibidos, el servicio web ejecuta la operación de "Analizar Audio", que incluye de manera automática la tarea de "Evaluar precisión" de la pronunciación y, a continuación, la generación del archivo JSON con los resultados. Cuando el usuario decide descargar los resultados, el caso de uso "Descargar JSON" invoca también la operación de "Generar JSON" para asegurar que el informe esté actualizado antes de la descarga. De este modo, el servicio web no figura como actor del sistema, sino como un servidor externo que proporciona análisis

de audio, evaluación de precisión y generación de JSON. La Figura 3.5 describe el diagrama del servicio web.

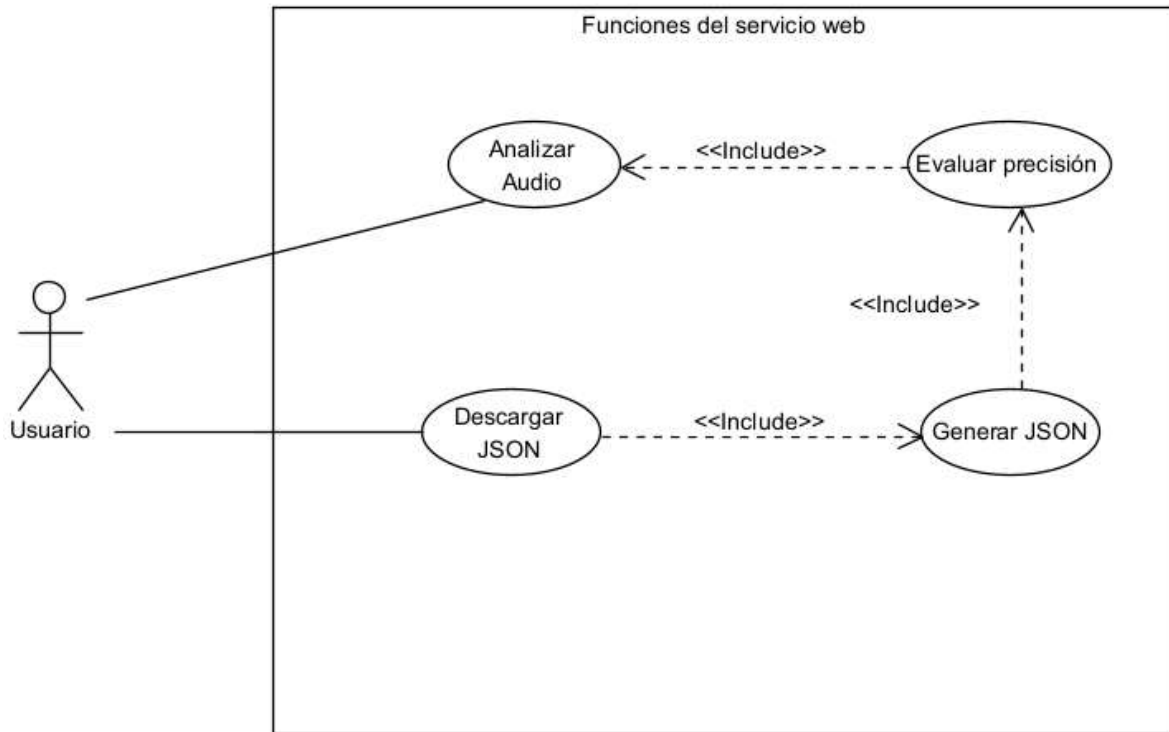


Figura 3.5 Caso de uso del servicio web

3.2.3 Definición de los diagramas de actividades

Los diagramas de actividades permiten visualizar y comprender el flujo de tareas o acciones dentro del videojuego y los servicios externos como es el caso del servicio web. En este contexto, se utilizan para representar de manera clara y precisa el comportamiento desde el inicio hasta la conclusión de una actividad.

3.2.3.1 Diagrama de actividades del videojuego

El diagrama de actividades del videojuego refleja el flujo de acciones que un usuario sigue desde que inicia sesión hasta que completa un subnivel o abandona el juego. El diagrama detalla cómo el usuario navega por las distintas pantallas, como el menú principal, la selección de subniveles y las opciones del juego. También muestra el comportamiento del sistema ante diferentes eventos. La Figura 3.6 del diagrama

facilita la identificación de los puntos clave de interacción y garantiza que la experiencia de usuario fluya de manera lógica y eficiente.

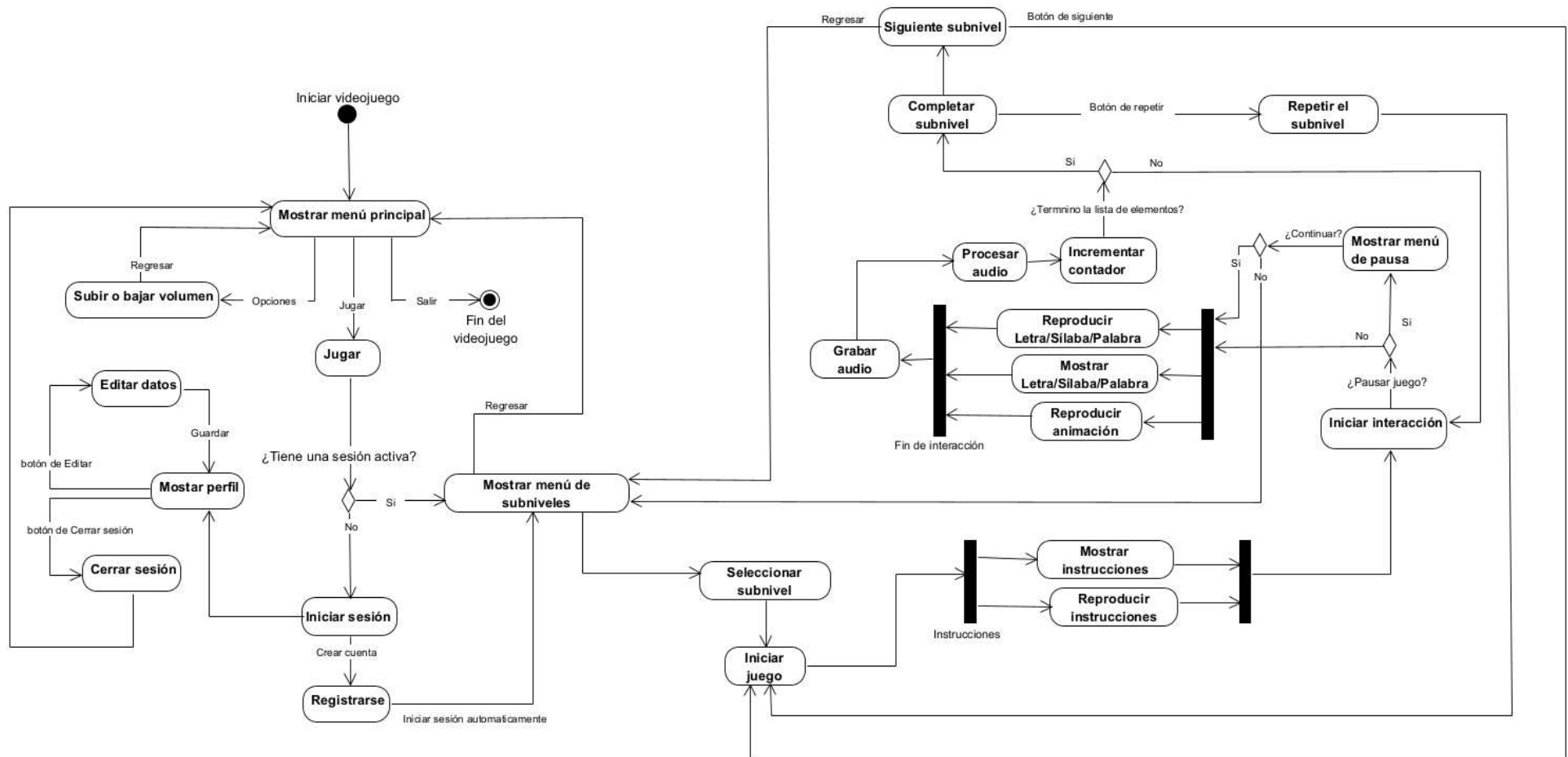


Figura 3.6 Diagrama de actividades del videojuego

3.2.3.2 Diagrama de actividades del especialista

El diagrama de actividades del especialista, ilustrado en la Figura 3.7, detalla el flujo de acciones que realiza el especialista dentro del sistema. Este diagrama representa de manera clara las actividades principales, como el inicio de sesión, la búsqueda de un jugador específico mediante su identificador, la visualización del reporte asociado y la opción de imprimir dicho reporte si es necesario. Además, incluye el cierre de sesión como parte del proceso, garantizando la seguridad de la información gestionada. Este diseño permite comprender de forma estructurada las interacciones del especialista con el sistema y asegura un flujo eficiente y seguro en la gestión de datos.

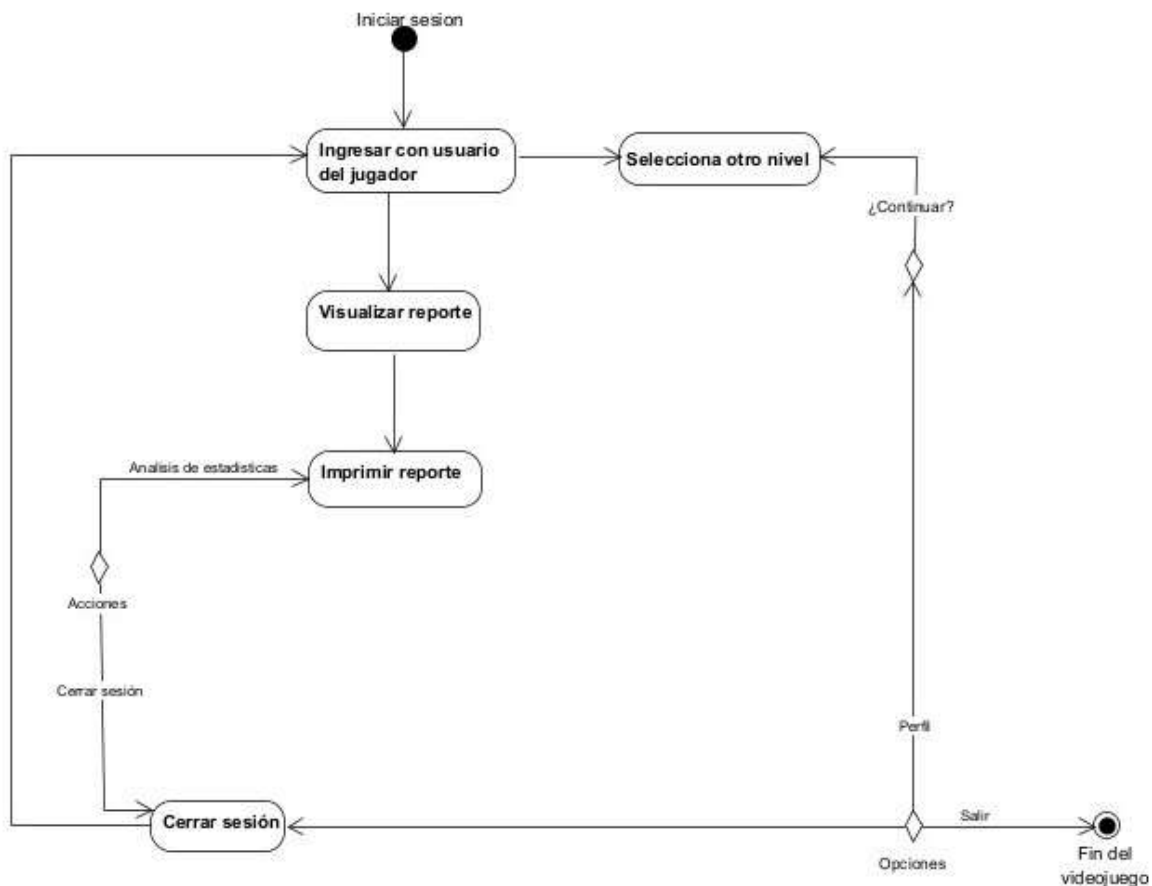


Figura 3.7 Diagrama de actividades del especialista

3.2.3.3 Diagrama de actividades del servicio web

El diagrama de actividades del servicio web, representado en la Figura 3.8, describe el flujo de comunicación entre el videojuego y el sistema externo encargado de procesar solicitudes relacionadas con la autenticación de usuarios, almacenamiento de datos y generación de reportes. Este diagrama detalla cómo el servicio web recibe peticiones, valida la información enviada, procesa los datos requeridos y responde al videojuego con los resultados. Además, asegura la integridad y la seguridad de los datos durante cada interacción, optimizando la sincronización entre las funcionalidades del videojuego y el sistema externo.

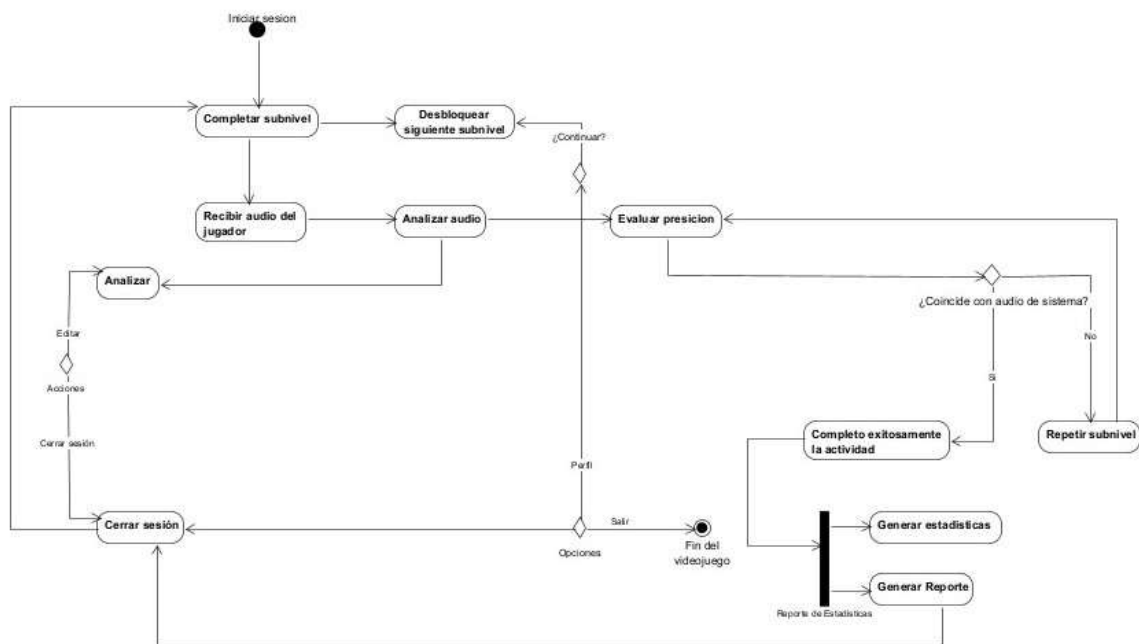


Figura 3.8 Diagrama de actividades del servicio web

3.2.4 Definición del diagrama de relacional

El modelo entidad-relación diseñado para el videojuego educativo está compuesto por cuatro entidades principales: *Jugador*, *Nivel*, *Subnivel* y *Estadísticas*. Cada una de estas entidades tiene un conjunto de atributos que almacenan información clave, y están relacionadas entre sí de manera que reflejan la estructura y funcionalidad del sistema. En la Figura 3.9 se describe visualmente el diagrama.

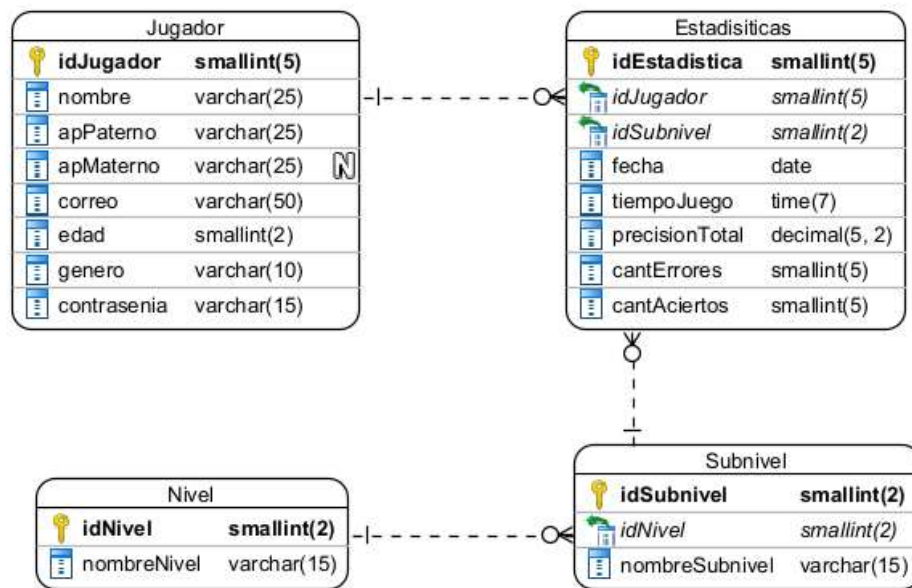


Figura 3.9 Diagrama entidad relación del videojuego

La entidad *Jugador* almacena los datos personales de los usuarios registrados en el videojuego, incluyendo el *idJugador* como clave primaria, junto con atributos como *nombre*, *apPaterno*, *apMaterno*, *correo*, *edad*, *género* y *contrasenia*. La entidad *Nivel* representa los niveles generales del videojuego, identificados por el atributo *idNivel* como clave primaria, y un atributo descriptivo llamado *nombreNivel*. Cada nivel contiene varios subniveles, que están definidos en la entidad *Subnivel*, la cual tiene como atributos principales el *idSubnivel*, la clave primaria de la entidad y el *idNivel*, la clave foránea que conecta con la tabla de *Nivel*.

La entidad *Estadísticas* almacena los datos de desempeño de los jugadores en cada subnivel, con el atributo *idEstadistica* como clave primaria. Incluye además los atributos *idJugador* (clave foránea que conecta con la tabla *Jugador*), *idSubnivel* (clave foránea que conecta con la tabla *Subnivel*), *fecha* (para registrar el momento de la actividad), *tiempoJuego* (duración de la actividad), *precisionTotal* (porcentaje de precisión en las tareas), *cantErrores* (número de errores cometidos) y *cantAciertos* (número de aciertos obtenidos).

En cuanto a las relaciones, existe una relación de uno a muchos entre *Jugador* y *Estadísticas*, ya que un jugador tiene múltiples registros de estadísticas

correspondientes a diferentes subniveles. Asimismo, hay una relación de uno a muchos entre Nivel y Subnivel, pues cada nivel contiene varios subniveles. Finalmente, la relación entre Subnivel y Estadísticas también es de uno a muchos, ya que un subnivel tiene múltiples registros de estadísticas, correspondientes a diferentes jugadores.

El diseño del modelo asegura la integridad de los datos mediante el uso de claves primarias y foráneas, y permite almacenar información detallada sobre el progreso y desempeño de los jugadores en el videojuego. Además, se utilizaron tipos de datos optimizados para el tamaño esperado de los datos. Este diseño es escalable y permite realizar consultas eficientes, como el seguimiento del progreso de un jugador o el análisis del desempeño en niveles y subniveles específicos.

3.3 Fase de idear

En esta fase del *Design Thinking* se definieron las bases del diseño del videojuego, tanto en su arquitectura como en sus interfaces. Se buscó transformar las necesidades identificadas en soluciones concretas, asegurando que la estructura del sistema y la experiencia del usuario fueran claras, funcionales y alineadas con los objetivos del videojuego. Este proceso incluyó la creación de prototipos iniciales que reflejan la interacción del usuario con el juego, desde los menús hasta las funcionalidades clave, sentando así las bases para el desarrollo del videojuego.

3.3.1 Diseño de la arquitectura del videojuego

La arquitectura para el videojuego, ilustrada en la Figura 3.10, destinado a mejorar las habilidades lingüísticas de niños con TEA se estructura en cuatro capas fundamentales: 1) Presentación, 2) Motor de videojuego, 3) Lógica del videojuego y 4) Gestión del almacenamiento. Esta organización modular facilita la escalabilidad y mantenimiento del videojuego, además de garantizar una separación clara de responsabilidades en cada capa.

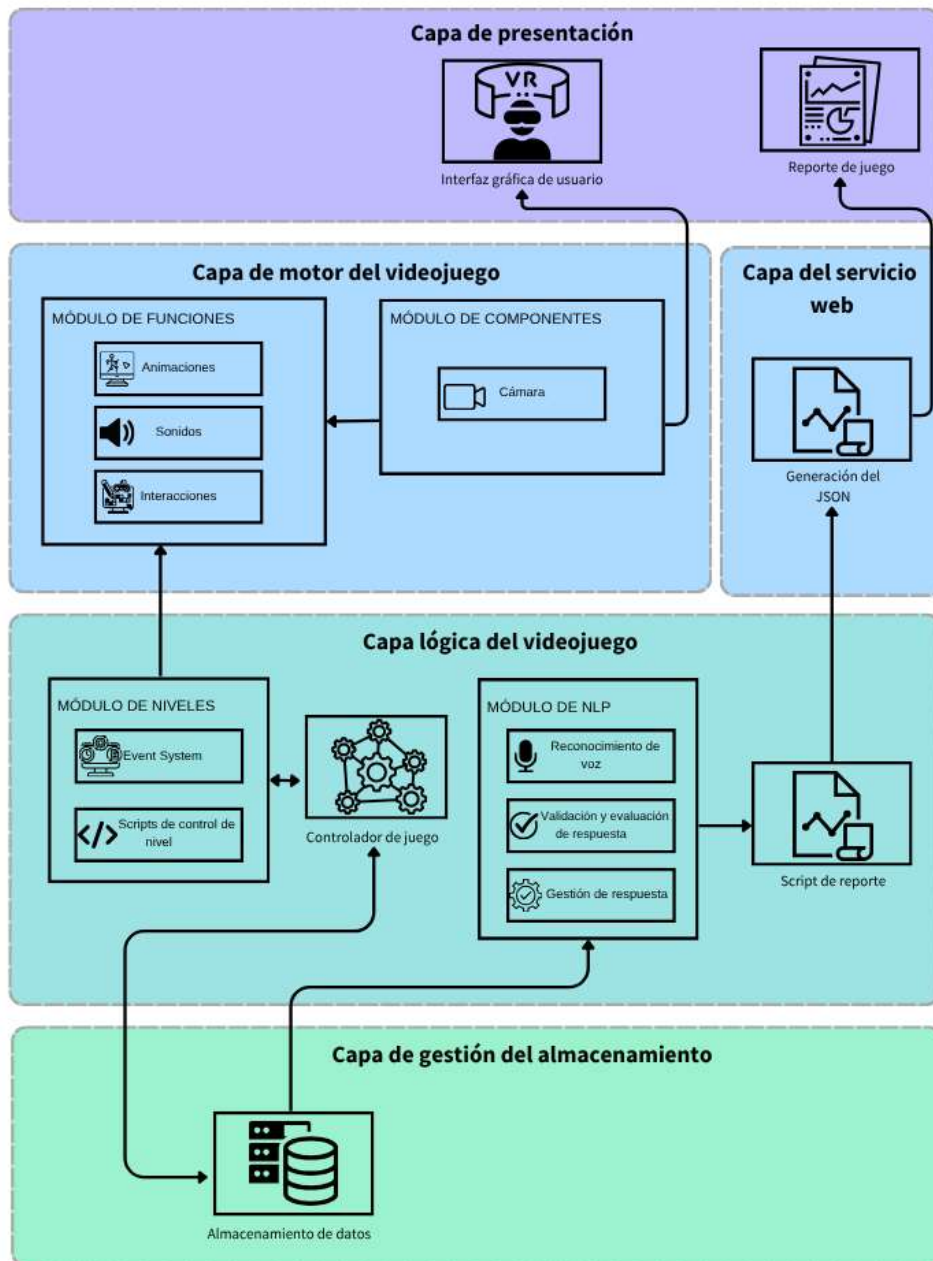


Figura 3.10 Arquitectura del videojuego

A continuación, se describen las capas de la arquitectura propuesta.

- **Capa de presentación:** Esta capa interactúa directamente con el usuario a través de una interfaz gráfica, que es donde ocurre la interacción principal. En ella, el usuario (niño) visualiza los gráficos, animaciones y el estado del juego en tiempo real. Además, al completar un nivel o una iteración dentro del juego,

se muestran los informes generados, proporcionando al usuario retroalimentación sobre su desempeño. Estos reportes se obtienen desde la capa del servicio, que procesa los audios almacenados mediante el módulo de PLN y genera un archivo JSON que se utiliza para dar formato a un reporte en Word, posibilitando al usuario (terapeuta) visualizar el progreso y resultados de manera clara y estructurada.

- **Capa del motor del videojuego:** Esta capa es responsable de gestionar los aspectos técnicos que garantizan que el videojuego funcione correctamente. Se compone de dos módulos.
 - El Módulo de funciones maneja la reproducción de animaciones, sonidos y elementos interactivos del juego.
 - El Módulo de componentes incluye los elementos esenciales para la cámara, los cuales permiten la navegación dentro del entorno 3D. Este módulo es crucial para que el usuario interactúe de manera fluida y efectiva con el entorno virtual.
- **Capa del servicio:** Esta capa representa un módulo independiente del videojuego que se encarga del procesamiento de datos para la generación de reportes. Extrae los audios almacenados en la capa de gestión del almacenamiento y los procesa mediante el módulo de PLN para analizar las respuestas del niño. Una vez procesados los audios, el módulo de PLN genera un archivo JSON con los resultados de la evaluación. Este JSON se utiliza posteriormente para dar formato y crear un reporte en Word que presenta de manera estructurada el progreso y desempeño del niño. La separación de este módulo del núcleo del videojuego permite un procesamiento más eficiente de los datos y facilita la implementación de análisis más complejos sin afectar el rendimiento del juego, permitiendo al terapeuta obtener reportes detallados y profesionales.
- **Capa lógica del videojuego:** Esta capa es el núcleo donde reside la lógica del videojuego. Se compone de dos módulos principales: el módulo de niveles y el

módulo de procesamiento de lenguaje natural, que operan de manera independiente.

- El módulo de niveles gestiona el Event System y los scripts de control de nivel. El primero maneja los eventos que ocurren durante el juego (como acciones del jugador o cambios en el estado del juego), mientras que los scripts de control de nivel definen la jugabilidad de cada nivel. Este módulo se coordina con el controlador del juego para actualizar el estado del videojuego.
- El módulo de PLN opera de forma independiente y no se conecta directamente con el controlador del juego. Este módulo incluye tres componentes principales: 1) Componente de reconocimiento de voz, 2) Componente de validación y evaluación de la respuesta, y 3) Componente de gestión de respuesta. El componente de reconocimiento de voz capta los comandos verbales del jugador, el componente de validación y evaluación determinan si las respuestas son correctas, y el componente de gestión de respuesta envía los audios a la capa de gestión del almacenamiento para su almacenamiento junto con la información del usuario. Estos audios almacenados quedan disponibles para su extracción y procesamiento por la capa del servicio, que utiliza el módulo de PLN para generar un archivo JSON con los resultados de la evaluación, el cual posteriormente se utiliza para crear reportes en Word mostrados al terapeuta.
- **Capa de gestión del almacenamiento:** Esta última capa se encarga de almacenar toda la información relevante del videojuego. Por el momento, almacena los usuarios registrados y sus audios asociados, generados durante las sesiones de juego cuando el niño interactúa verbalmente con el sistema. La capa de gestión del almacenamiento recibe datos directamente del módulo de PLN durante la ejecución del juego. Posteriormente, estos audios almacenados son extraídos por la capa del servicio, donde son procesados nuevamente por

el módulo de PLN para generar el archivo JSON con los resultados finales de la evaluación.

La separación de responsabilidades en cada capa asegura que los estímulos visuales y auditivos, fundamentales para el aprendizaje, se presenten de manera clara y adecuada, sin interferencias entre los diferentes procesos del juego. La incorporación de la capa del servicio como módulo independiente permite un procesamiento de datos más robusto y escalable, facilitando la generación de reportes sin afectar el rendimiento del videojuego y permitiendo análisis avanzados del progreso del niño. Además, la capa de lógica, que incluye el módulo de PLN, permite un análisis preciso de las respuestas verbales del niño, proporcionando una retroalimentación inmediata y personalizada. Esto facilita la corrección de errores en tiempo real, ayudando al niño a mejorar su pronunciación y comprensión del lenguaje de manera efectiva. La flexibilidad de esta estructura modular también permite la fácil incorporación de nuevos ejercicios y técnicas lingüísticas, adaptando el videojuego al progreso del niño y ofreciendo retos adecuados a su nivel de desarrollo. En conjunto, esta arquitectura asegura que el sistema sea eficiente, escalable y adaptable, maximizando su potencial para mejorar las habilidades lingüísticas de los niños con TEA mediante un enfoque personalizado y dinámico.

3.3.2 Diseño de las interfaces del videojuego

El diseño de las interfaces del videojuego es fundamental para garantizar una experiencia de usuario intuitiva, accesible y atractiva, especialmente para los niños con TEA, quienes son el público objetivo. Esta sección describe los elementos visuales y funcionales de las pantallas principales, incluyendo el menú inicial, las opciones de configuración, y las interfaces de los niveles y subniveles. Las interfaces se diseñaron considerando las necesidades y técnicas seleccionadas en el análisis, integrando estrategias como la repetición, el enfoque auditivo-verbal y el uso de neuronas espejo. Estas técnicas, combinadas con elementos visuales y auditivos adaptados, buscan optimizar el aprendizaje y garantizar una experiencia inclusiva, efectiva y accesible para los niños con TEA.

3.3.2.1 Prototipos de interfaz de los menús

Esta subsección detalla los prototipos diseñados para las distintas interfaces de los menús dentro del videojuego, los cuales se crearon con un enfoque en la simplicidad y accesibilidad para los jugadores. Estas interfaces no solo cumplen una función estética, sino que su diseño garantizó una experiencia de usuario fluida y lógica, facilitando el acceso a las diferentes funcionalidades del juego.

3.3.2.1.1 Menú principal

La primera pantalla al abrir el juego se muestra en la Figura 3.11. Esta interfaz contiene un botón destacado con la opción de "Jugar", que permite al usuario acceder a la experiencia principal del juego. Además, incluye botones para las opciones del juego o salir de la aplicación y uno para acceder al perfil de jugador, ubicado en la esquina superior derecha.



Figura 3.11 Prototipo de interfaz del menú principal

Si el usuario da clic en el botón de la izquierda donde se encuentra el botón de "Opciones" que permite al usuario el volumen de la música de fondo y los sonidos de los audios del juego, la cual se muestra en la Figura 3.12.



Figura 3.12 Prototipo de interfaz del menú de opciones

3.3.2.1.2 Inicio de sesión o registro

La pantalla de inicio de sesión, mostrada en la Figura 3.13, aparece únicamente cuando el jugador selecciona el botón "Jugar" y no tiene una sesión activa. En caso de no contar con una cuenta registrada, el jugador tiene la opción de crear una nueva para acceder a los diferentes niveles y guardar su progreso.



Figura 3.13 Prototipo de interfaz del inicio de sesión

Por otro lado, la interfaz de registro, ilustrada en la Figura 3.14, solicita información básica del jugador, como nombre, apellidos, correo electrónico, edad, género y contraseña.



Figura 3.14 Prototipo de interfaz del registro

3.3.2.1.4 Menú de subniveles

La Figura 3.15 representa el menú de subniveles, al cual se accede al seleccionar un nivel en el menú principal. Este menú detalla los subniveles correspondientes al nivel elegido. Por defecto, solo el primer subnivel del Nivel 1, centrado en el aprendizaje de las vocales, se encuentra desbloqueado al inicio del juego.



Figura 3.15 Prototipo de interfaz del menú de subniveles

3.3.2.1.5 Perfil del jugador

La sección de perfil del jugador se muestran los datos del jugador, así como un botón para cerrar su sesión o editar su perfil. En la Figura 3.16 se muestra el prototipo de la interfaz.



Figura 3.16 Prototipo de interfaz del perfil del jugador

Además, la pantalla de edición del perfil, mostrada en la Figura 3.17, permite al jugador modificar campos clave como nombre, apellidos, edad, correo electrónico y género, garantizando que mantenga actualizada su información de manera ágil y efectiva.



Figura 3.17 Prototipo de interfaz del formulario de editar perfil

3.3.2.2 Prototipos de interfaz de niveles

Esta sección describe las interfaces diseñadas específicamente para el primer nivel del videojuego, el cual tiene como objetivo enseñar a los jugadores las vocales. El diseño de las pantallas busca proporcionar una experiencia interactiva y visualmente atractiva, permitiendo a los niños familiarizarse con los conceptos básicos del lenguaje de manera intuitiva.

3.3.2.2.1 Pantalla de instrucciones

Cada nivel comienza con una pantalla de instrucciones que ofrece una guía clara sobre la actividad a realizar. Esta pantalla aparece al inicio de cada subnivel y tiene como objetivo proporcionar al jugador una guía clara sobre la actividad a realizar. Incluye un texto explicativo sencillo y directo. Además, en la parte inferior, se encuentra un botón para continuar al inicio del subnivel. En la Figura 3.18 se ilustran las instrucciones correspondientes al primer nivel.

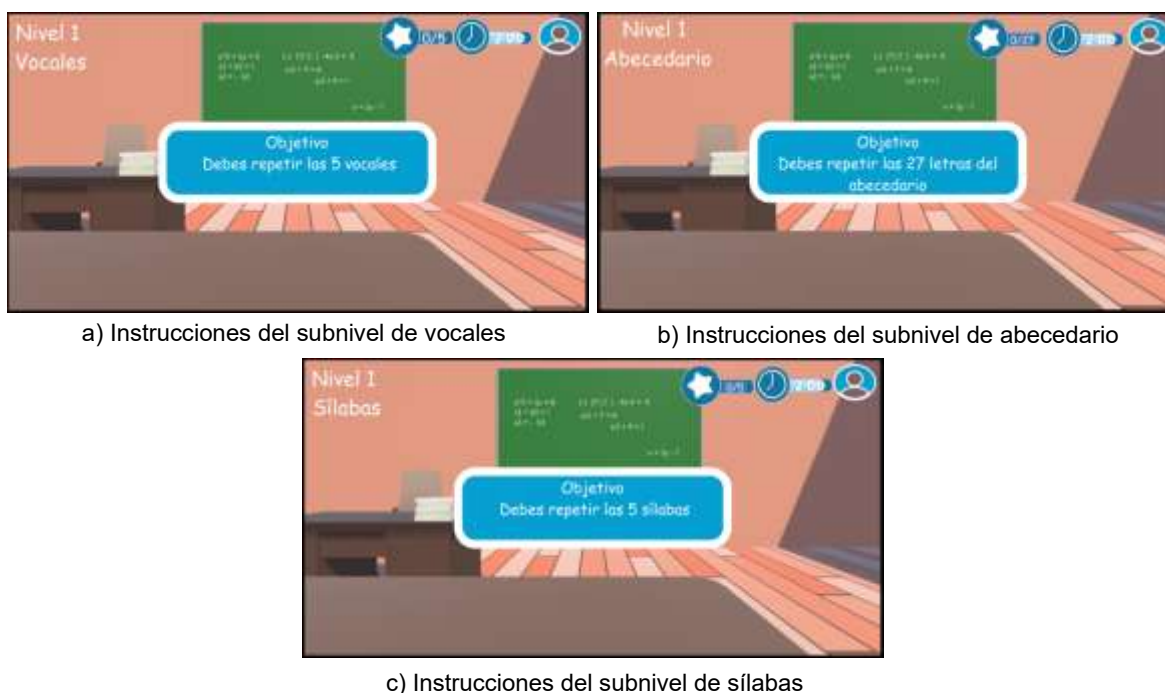


Figura 3.18 Prototipo de interfaz de instrucciones del primer nivel

3.3.2.2.2 Pantalla de inicio del subnivel

La pantalla de inicio del subnivel es la principal de interacción en cada subnivel. En esta pantalla, el jugador visualiza el contenido a aprender. El diseño se enfoca en captar la atención del jugador, combinando animaciones y elementos interactivos para mantener su interés. En cuanto a las técnicas de aprendizaje, se aplican las siguientes:

- **Técnica de neuronas espejo:** Se utiliza una animación de la boca del personaje, que sirve como espejo visual para que el jugador imite los movimientos y mejore su pronunciación.
- **Técnica auditivo-verbal:** El jugador escucha la pronunciación del contenido y lo repite, favoreciendo la asociación entre el sonido y el símbolo.
- **Técnica de repetición:** Se enfoca en la repetición de los sonidos para reforzar el aprendizaje y la memorización de los conceptos.

En la Figura 3.19 se ilustra la pantalla de inicio del subnivel correspondiente al nivel 1.

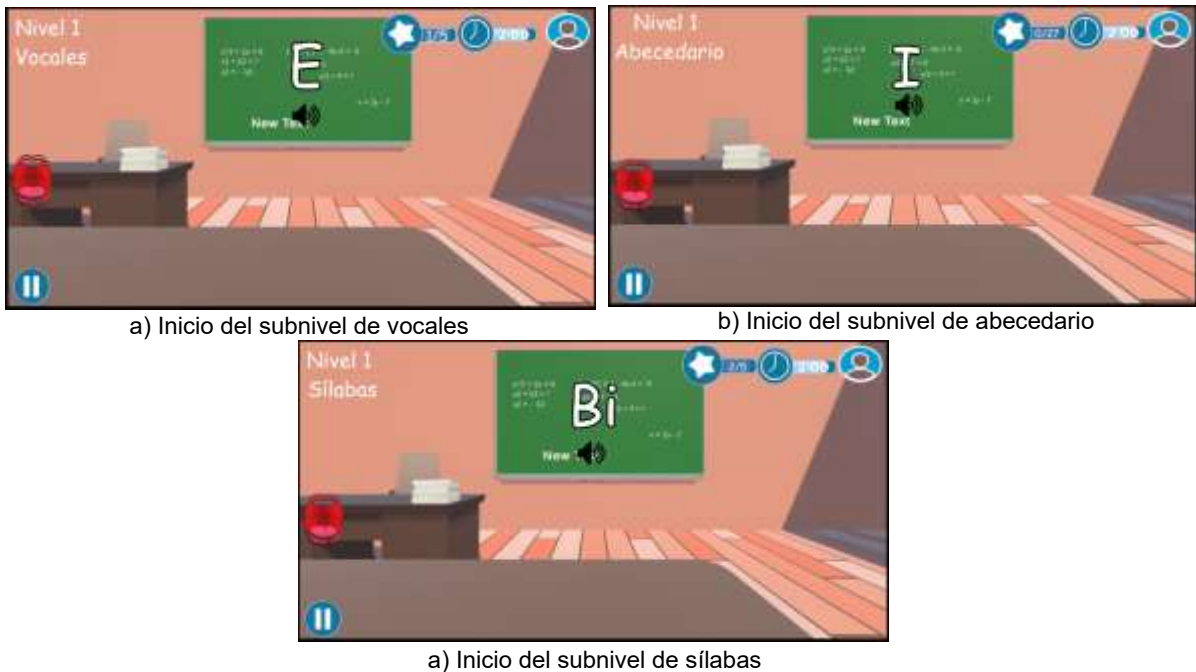


Figura 3.19 Prototipo de interfaz del inicio del primer nivel

3.3.2.2.3 Pantalla de fin del subnivel

La pantalla de fin del subnivel aparece automáticamente al completar la actividad correspondiente y tiene como objetivo informar al jugador sobre su progreso y ofrecer opciones claras para continuar. Esta pantalla incluye un mensaje de confirmación, que indica que el subnivel se completó exitosamente, junto con opciones para que el jugador decida su siguiente acción. Estas opciones son: avanzar al siguiente subnivel,

para continuar con el aprendizaje de manera secuencial o regresar al menú de subniveles, permitiendo elegir otra actividad dentro del nivel actual.

En la Figura 3.20 se ilustra la pantalla de fin del subnivel correspondiente al nivel 1.



Figura 3.20 Prototipo de interfaz de fin del primer nivel

3.3.2.2.4 Pantalla de pausa

La pantalla de pausa permite al jugador interrumpir temporalmente la actividad en cualquier momento. Es accesible mediante un botón ubicado en la esquina inferior izquierda de la pantalla principal. Al activarse, la pantalla atenúa el contenido del subnivel, mostrando un diseño minimalista y organizado para evitar distracciones. Incluye las siguientes opciones: subir o bajar el volumen de la música o el tono, permitiendo ajustes inmediatos al audio según las necesidades del jugador; reanudar, que permite continuar desde el punto donde se pausó; regresar al menú de subniveles, para elegir otra actividad dentro del mismo nivel; y salir al menú principal, para volver al inicio del videojuego. Este diseño prioriza la claridad y accesibilidad, con elementos visuales consistentes que aseguran una experiencia intuitiva.

En la Figura 3.21 se presenta la pantalla de pausa correspondiente al nivel 1.

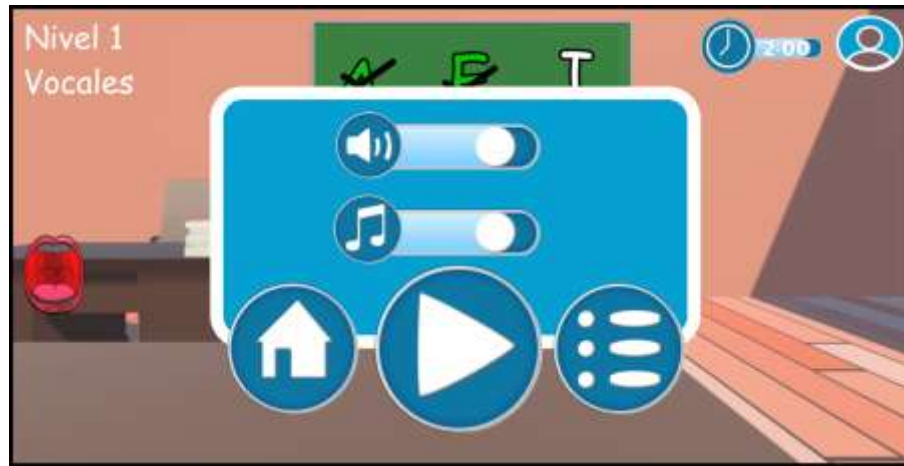


Figura 3.21 Prototipo de interfaz de pausa

3.4 Fase de prototipado

En esta sección se describe el proceso de implementación, abordando desde la construcción de la interfaz y las mecánicas de juego hasta la integración de técnicas PLN y almacenamiento de datos.

El videojuego fue diseñado en Unity 2020.3.50f1, utilizando C# como lenguaje de programación y el IDE Rider para la implementación del código. Además, se incorporaron herramientas especializadas como Librosa para el análisis espectral y DTW para la comparación de patrones de pronunciación. Se integró la API de Wit.ai para la interpretación de audios, tras un entrenamiento de modelos específicos para cada subnivel. Para la gestión de los datos se utilizó SQLite como sistema gestor de base de datos, donde se gestionan los perfiles de usuario e información del modelo de datos.

El flujo de desarrollo se centró en implementar progresivamente las funcionalidades del videojuego, priorizando la accesibilidad, la interacción efectiva con el usuario y la retroalimentación de la pronunciación de las palabras en el módulo de PLN. Cabe destacar que debido a la duración limitada del proyecto (aproximadamente un año), no fue posible desarrollar los niveles dos y tres como se había planeado inicialmente. En

su lugar, se optó por enfocarse en el desarrollo del primer nivel, que abarca ejercicios de vocales y un primer acercamiento a la retroalimentación de pronunciación, aspectos clave para el aprendizaje inicial de la pronunciación y la formación de palabras completas. A continuación, se detallan las principales etapas del desarrollo del videojuego.

3.4.1 Desarrollo del videojuego

El videojuego llamado ExpresaTEA consto del desarrollo del primer nivel integrando las técnicas seleccionadas para mejorar el lenguaje y las técnicas de PLN al videojuego. El desarrollo se llevó en varias etapas, comenzando por las interfaces gráficas, continuando con la mecánica del juego y por ultimo las conexiones a los servidores tanto de base de datos como el servicio de Procesamiento del Lenguaje Natural. A continuación, se describen las diferentes interfaces y secciones del videojuego.

3.4.1.1 Desarrollo de los menús

El menú principal es la primera pantalla que ve el usuario al iniciar el videojuego y presenta las funciones esenciales: a la izquierda, el botón de configuración; en el centro, el de jugar; a la derecha, el de salir, que cierra la aplicación; y en la esquina superior derecha, el acceso al perfil de usuario, con la información disponible si se encuentra una sesión iniciada. En la Figura 3.22 se muestra el menú del videojuego.

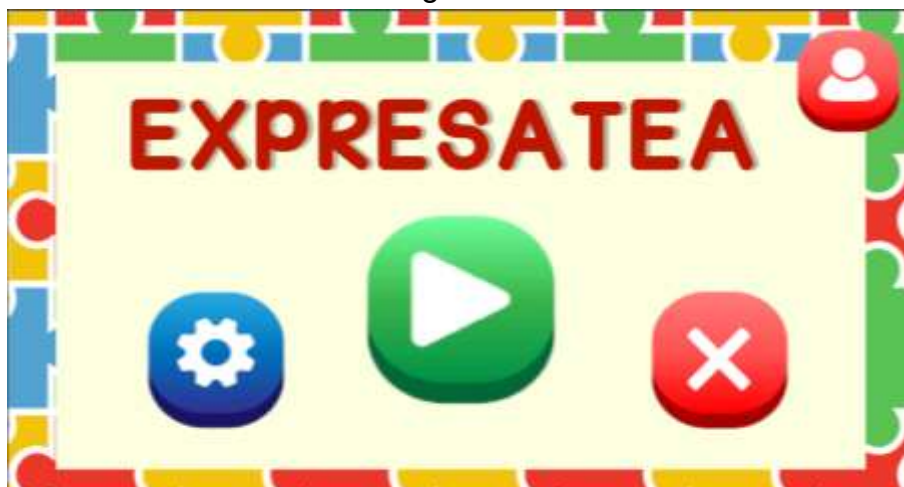


Figura 3.22 Pantalla del menú de inicio

En la pantalla de Opciones, mostrada en la Figura 3.23, el usuario tiene un deslizador para ajustar parámetros como el volumen de los audios (instrucciones y repeticiones) y el nivel de la música del juego.



Figura 3.23 Menú de opciones del juego

En la Figura 3.24 se muestra el menú de subniveles, que presenta tres botones grandes, cada uno rotulado con el nombre de su respectivo subnivel, de modo que el jugador identifique y seleccione de forma clara el subnivel que desea iniciar.



Figura 3.24 Menú de subniveles

La implementación del menú principal se lleva a cabo en Unity creando escenas independientes para cada pantalla; su interfaz gráfica, con botones grandes y elementos visuales atractivos, facilita la navegación. Toda la lógica de cambio de escena y verificación de

sesión está centralizada en el script *EscenasController* que se asocia a un *GameObject* vacío en la jerarquía de la escena principal. En el Inspector, basta con arrastrar ese objeto al campo *On Click()* de cada botón y, según el caso, seleccionar el método *cargarEscenas* (pasando el nombre de la escena) o *cargarNivel* (pasando el índice del subnivel).

La Figura 3.25 muestra cómo se configura esta vinculación en el Inspector, donde únicamente se especifica el parámetro necesario para la transición.

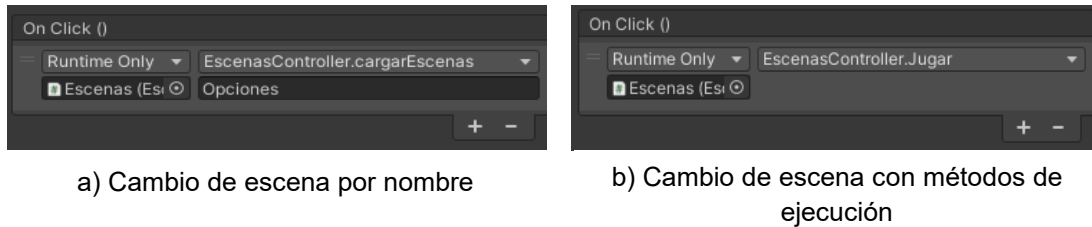


Figura 3.25 Manejo de los cambios de escena

Para el cambio de escena usando solamente el nombre de la escena se usa el método descrito en el Listado 3.1, donde en las líneas 1 y 2 se declara el método público *cargarEscenas(string nombre)* y se abre su cuerpo; en la línea 3 se escribe en la consola de Unity el mensaje “Cambiendo a la escena: ” junto al nombre recibido; en la línea 4 se apila en *escenasVisitadas* el nombre de la escena actualmente activa; en la línea 5 se invoca *SceneManager.LoadScene(nombre)* para efectuar el cambio; y en la línea 6 se cierra el método.

Listado 3.1 Método *cargarEscena* en *EscenaController*

```

1 public void cargarEscenas(string nombre)
2 {
3     Debug.Log("Cambiendo a la escena: " + nombre);
4     escenasVisitadas.Push(SceneManager.GetActiveScene().name);
5     SceneManager.LoadScene(nombre);
6 }

```

Mientras que el Listado 3.2 contiene la lógica del cambio de escena de acuerdo con el subnivel seleccionado. Las líneas 1 y 2 definen el método *cargarNivel(int subnivel)* y abren su bloque de ejecución; en la línea 3 se registra en la consola el nivel y subnivel que se van a iniciar; las líneas 4 a 6 almacenan en *PlayerPrefs* los valores “SubnivelSeleccionado” y “NivelSeleccionado” y guardan los cambios; en la línea 7 se

añade a la pila *escenasVisitadas* la escena actual, exactamente igual que en el método genérico; en la línea 8 se carga la escena fija "Escuela", reutilizando el mismo entorno gráfico para todos los subniveles; y en la línea 9 se cierra el método.

Listado 3.2 Método *cargarNivel* en *EscenasController*

```

1      public void cargarNivel(int subnivel)
2      {
3          Debug.Log($"Iniciando Nivel 1, Subnivel {subnivel}");
4          PlayerPrefs.SetInt("SubnivelSeleccionado", subnivel);
5          PlayerPrefs.SetInt("NivelSeleccionado", 1);
6          PlayerPrefs.Save();
7          escenasVisitadas.Push(SceneManager.GetActiveScene().name);
8          SceneManager.LoadScene("Escuela");
9      }

```

Asimismo, el script de *EscenasController* verifica si el usuario tiene una sesión activa y, de no ser así, lo redirige a la pantalla de inicio de sesión. En el Listado 3.3, las líneas 1–4 declaran el método público *Jugar()*, donde en la línea 3 se invoca *VerificarYRedirigir()*. A partir de la línea 6 se define *VerificarYRedirigir(string escenaDestino)*: en la línea 8 se recupera de *PlayerPrefs* la clave "correo" y en la 9 se comprueba si está vacía; de ser así, en las líneas 11–12 se emite una advertencia con *Debug.LogWarning* y se inicia la *corrutina MensajeYRed("Debes iniciar sesión primero.", "Login")*. En caso contrario, las líneas 16–17 registran el éxito de la autenticación y cargan la escena destino con *SceneManager.LoadScene(escenaDestino)*. Finalmente, las líneas 21–24 definen la *corrutina MensajeYRed*, que en la línea 22 muestra el mensaje recibido, en la 23 espera un segundo y en la 24 carga la escena indicada.

Listado 3.3 Métodos para verificar la sesión en *EscenasController*

```

1      public void Jugar()
2      {
3          VerificarYRedirigir("MenuSubniveles");
4      }
5
6      public void VerificarYRedirigir(string escenaDestino)
7      {
8          string correo = PlayerPrefs.GetString("correo", "");
9          if (string.IsNullOrEmpty(correo))
10         {

```

```

10         Debug.LogWarning("Acceso no autorizado. Redirigiendo a la
escena de inicio de sesión.");
11         StartCoroutine(MensajeYRed("Debes iniciar sesión primero.",
"Login"));
12     }
13     else
14     {
15         Debug.Log("Usuario autenticado (" + correo + "). Accediendo a
la escena: " + escenaDestino);
16         SceneManager.LoadScene(escenaDestino);
17     }
18 }
19 IEnumerator MensajeYRed(string mensaje, string escena)
20 {
21     Debug.Log(mensaje);
22     yield return new WaitForSeconds(1f);
23     SceneManager.LoadScene(escena);
24 }

```

3.4.1.2 Desarrollo de la jugabilidad del videojuego

Dando la continuidad a la arquitectura, se implementó un controlador general del nivel mediante el uso de un script en Unity llamado *Nivel1Controller*. Este script se encarga de gestionar todos los aspectos clave del nivel, desde las interacciones del usuario hasta la actualización de las pantallas. El controlador maneja los paneles de la interfaz, como las instrucciones, los mensajes de fin de nivel y la pausa, asegurando que el jugador tenga una experiencia fluida.

La estructura del código permite que el jugador interactúe con diferentes elementos del nivel, dependiendo del subnivel en el que se encuentre. Al inicio de cada subnivel, el controlador carga los elementos específicos, como las vocales, el abecedario, las sílabas o los números, y se actualizan las instrucciones visuales y de audio correspondientes. Además, el script gestiona la activación y desactivación del micrófono, permitiendo que el jugador repita las palabras, letras o sílabas que tiene que pronunciar. Para mejorar la interactividad, se incorporan vídeos, imágenes y sonidos que guían al jugador a través de cada ejercicio, fomentando el aprendizaje del lenguaje a través de la repetición, elementos auditivo-verbales y neuronas espejo. El proceso de grabación de voz está controlado por un temporizador visual que indica el tiempo disponible para la repetición.

3.4.1.2.1 Desarrollo de la pantalla de instrucciones

Para introducir al usuario en el primer nivel, se diseñó una nueva interfaz que explica tanto el objetivo como la mecánica del juego. En la Figura 3.26 se ilustran las capturas del nivel de vocales, distribuidas en cinco cuadros de diálogo consecutivos que el usuario recorre pulsando el botón de la esquina inferior derecha para avanzar. El flujo de la pantalla de instrucciones está gestionado por el script *Nivel1Controller*, que controla la transición entre los diferentes cuadros de texto y asegura que cada uno se muestre en el orden adecuado.



Figura 3.26 Interfaces de instrucciones

El primer cuadro despliega el mensaje de bienvenida, el cual varía dependiendo del subnivel actual, manejado dinámicamente en el script. Los siguientes cuatro cuadros mantienen el mismo contenido en todos los subniveles y detallan paso a paso la dinámica de repetición, animación y grabación del ejercicio. Esta parte se gestiona mediante un método que recorre una lista de mensajes e imágenes asociadas a cada paso. Además, la transición entre los cuadros de instrucciones se controla mediante el botón de "Siguiente", que, al ser presionado, cambia el mensaje mostrado y reproduce los clips de audio e instrucciones visuales correspondientes.

3.4.1.2.2 Desarrollo de inicio del subnivel

Para la dinámica de inicio de cada subnivel, una vez que el jugador acepta las instrucciones aparece un cuadro de diálogo que le informa que el micrófono se activará para grabar los audios durante la dinámica. Este proceso se maneja dentro de una corutina (un método específico para ejecutar tareas secuenciales con pausas entre cada paso), que controla la transición de los elementos y asegura que cada parte del ejercicio se ejecute en el orden adecuado, destacando que para cada subnivel se maneja una corutina de secuencia diferente dado a los cambios que entre el subnivel de vocales con los de abecedario y sílabas, donde el primero usa una lista fija y los segundos utilizan diccionarios para incrustar los elementos en la jugabilidad.



Figura 3.27 Cuadro de dialogo para el micrófono

En el caso de los subniveles de abecedario y sílabas, se implementó un panel interactivo que permite al jugador seleccionar las letras o sílabas que desea reforzar. Para ello, se utiliza nuevo script que gestiona la interfaz de selección, permitiendo al jugador elegir de manera visual las letras que desea trabajar. El panel muestra un conjunto de *toggles* para cada letra del abecedario o sílabas, y una vez que el jugador seleccionó las letras, el controlador confirma la selección y actualiza los elementos de juego, como los audios y videos relacionados con las letras seleccionadas. Además, la selección se gestiona mediante un diccionario que almacena los recursos correspondientes a cada letra, permitiendo una actualización dinámica de los elementos del nivel según la elección del jugador. En la Figura 3.28 se visualiza el panel de la selección de letras del abecedario.



Figura 3.28 Panel de selección de abecedario

Para todos los niveles, tras cargar los elementos correspondientes, durante cada ejercicio, el juego ofrece diversos recursos para reforzar la adquisición del lenguaje. En primer lugar, se reproduce un audio con la pronunciación correcta de la letra o sílaba, mientras se muestra una animación que ilustra la gesticulación vocal. Tras ello, aparece un botón emergente que permite al jugador repetir el elemento si tiene dudas. Esta acción se controla mediante un ciclo que espera la interacción del jugador para

proceder. La pantalla que muestra visualmente este comportamiento se muestra en la Figura 3.29

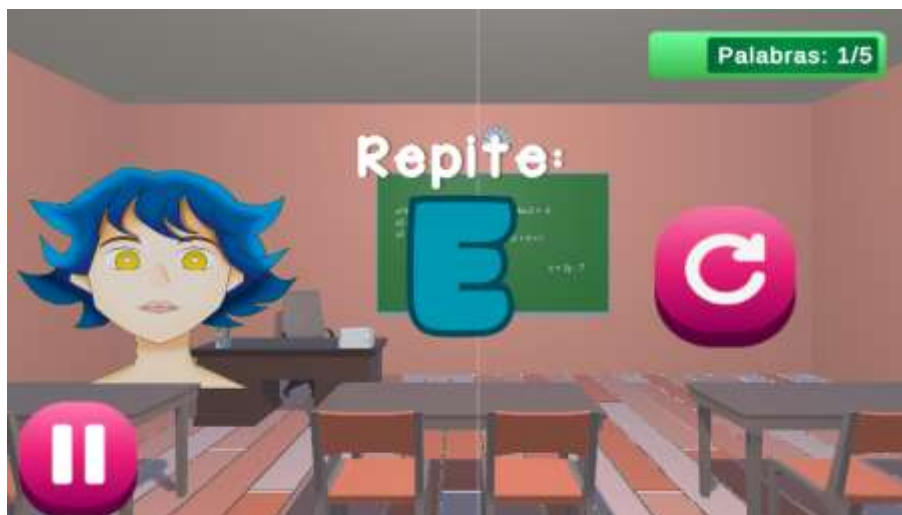


Figura 3.29 Pantalla de la interacción del videojuego

Después de la repetición, se activa el micrófono, acompañado de un contador visual que indica el tiempo disponible para la grabación. El contador del micrófono se ilustra en la Figura 3.30

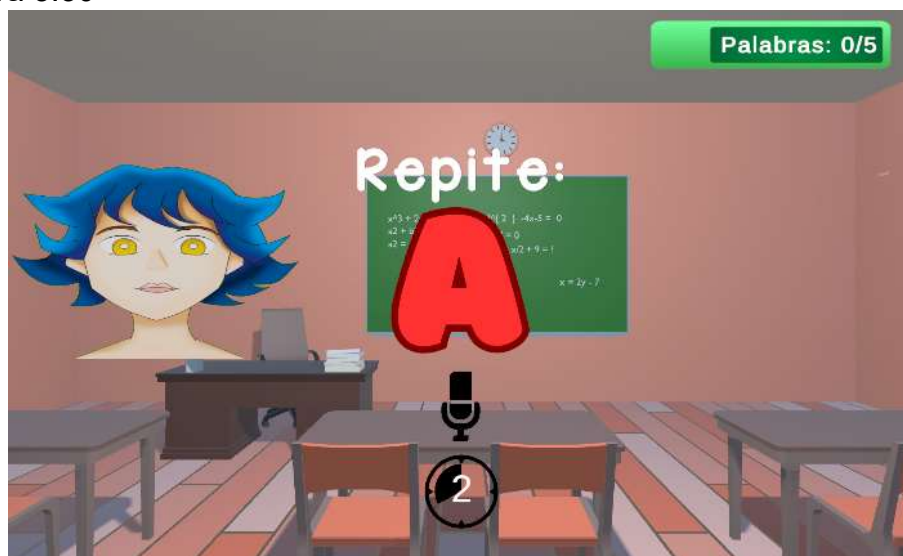


Figura 3.30 Activación del micrófono en el videojuego

Este temporizador, gestionado dentro de una nueva corutina, se ejecuta de manera secuencial y asegura que el jugador tenga el tiempo necesario para grabar su pronunciación antes de continuar con el siguiente elemento, donde se muestra una

nueva pantalla para indicar que el siguiente elemento comienza en unos segundos (tres entre cada uno), dicho panel se muestra en la Figura 3.31.



Figura 3.31 Panel siguiente entre cada elemento

Este flujo interactivo se organiza mediante estructuras como listas y ciclos, que permiten que el contenido y las instrucciones se ajusten dinámicamente según el subnivel y el progreso del jugador

3.4.1.2.3 Desarrollo del fin del subnivel

Al completar todas las palabras de un subnivel, se activa un panel de fin de nivel que muestra un mensaje audiovisual y presenta diferentes opciones al jugador. Este flujo se gestiona mediante una corutina de secuencia correspondiente a cada subnivel que, al finalizar todos los ejercicios correspondientes, muestra un mensaje de felicitaciones y reproduce un clip de audio, así como un efecto confeti, reforzando positivamente el logro. Además, el panel ofrece opciones para que el jugador regrese al menú de subniveles, reintentar el subnivel o continuar al siguiente nivel. El panel del fin del subnivel se muestra en la Figura 3.32



Figura 3.32 Pantalla del fin de un subnivel

3.4.1.2.4 Desarrollo de la pantalla de pausa

Durante el juego, el usuario tiene la opción de pausar la partida, lo que despliega con varias opciones. Este menú permite ajustar el volumen del sonido o la música, regresar al menú de subniveles, reanudar la partida o volver al menú principal. Este panel que se muestra en la Figura 3.33 maneja mediante la interacción del botón que se encuentra en la esquina inferior izquierda, el cual casi siempre se le permite dar clic a excepción de cuando se activa el micrófono, esto para asegurar la grabación completa de los audios del videojuego

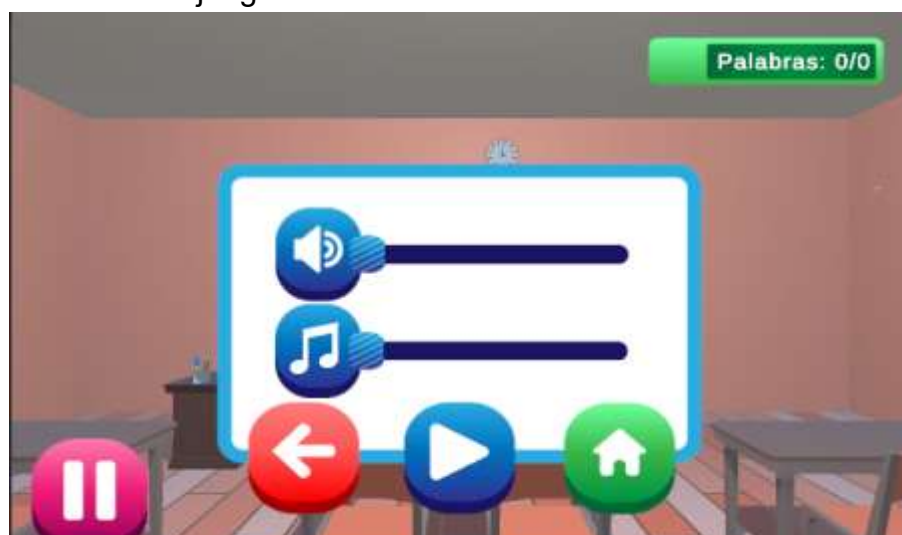


Figura 3.33 Menú de pausa durante un subnivel

3.4.1.2 Desarrollo del sistema de almacenamiento de datos.

Al iniciar el videojuego, si el usuario no tiene una cuenta, se le solicita registrarse. Esta pantalla se muestra en la Figura 3.34. Los datos registrados se envían al servicio, que a su vez los almacena en una base de datos SQLite local, validando que el correo no esté en uso y aplicando medidas de seguridad como el cifrado de contraseñas. La base de datos almacena los datos de los usuarios de manera eficiente, permitiendo el acceso y la gestión de los perfiles sin necesidad de un servidor externo, lo que optimiza su funcionamiento en el dispositivo final, una tableta.

The image shows a registration form titled 'Registrarse' in a large, blue, stylized font. Above the title is a blue circular button with a white left-pointing arrow. Below the title, the text 'New Text' is visible. The form contains several input fields: 'Nombre(s)', 'Apellido paterno', 'Apellido materno', 'Edad', 'Masculino' (with a dropdown arrow), a password field with '*****', and 'Correo'. At the bottom of the form is a large blue button labeled 'Registrarse'. The entire form is set against a light yellow background and is framed by a decorative border of colorful puzzle pieces in red, yellow, green, and blue.

Figura 3.34 Formulario de registro dentro del videojuego

En caso de que el usuario tenga una cuenta solo requiere acceder con su correo y contraseña, la pantalla del inicio de sesión mostrada en la Figura 3.35 contiene tanto el formulario que solicita los datos como un botón para el inicio de sesión y otro de en caso de no contar con una cuenta crear una nueva. En caso del inicio de sesión correcta, se devuelve una respuesta indicando un acceso exitoso y se cargan los datos del perfil en el videojuego, en la Figura 3.36 se observa como los datos correspondientes al perfil se muestran, así como también contiene dos botones en su interfaz, donde uno es para cerrar la sesión y otro para editar el perfil del usuario.



Figura 3.35 Formulario de inicio de sesión en el videojuego



Figura 3.36 Pantalla de datos del jugador

Para garantizar la eficiencia del proceso, la conexión con la base de datos se maneja de manera asíncrona, evitando bloqueos en la interfaz del usuario y garantizando una experiencia fluida. El sistema también maneja las operaciones básicas de registro, verificación de credenciales y actualización de perfiles mediante el uso de *LocalDataBase.cs*, un archivo que gestiona las conexiones y operaciones con la base de datos SQLite. El plugin necesario para esta funcionalidad incluye archivos como *Mono.Data.Sqlite.dll*, que permite la interacción con la base de datos SQLite en Unity, y *LocalDataBase.cs*, que contiene la lógica para gestionar los datos del usuario de manera eficiente.

El sistema de almacenamiento es crucial para el seguimiento del progreso del jugador dentro del videojuego, permitiendo que los datos se mantengan almacenados de manera persistente en el dispositivo, y ofreciendo al jugador la posibilidad de retomar su sesión en cualquier momento.

3.4.2 Desarrollo del servicio web de PLN

El desarrollo del servicio web se realizó con las tecnologías mencionadas en la sección 2.3.4 y 2.3.5, cuyo contenido corresponde a las técnicas y herramientas de procesamiento del lenguaje natural.

3.4.2.1 Entrenamiento del modelo en Wit.ai

Para la generar los modelos se utilizó la herramienta de Wit.ai, en donde se generaron tres diferentes modelos (vocales, abecedario, sílabas). En Wit.ai el entrenamiento es completamente automático: cada vez que se introduce o corrige un ejemplo, la plataforma se ajusta para mejorar la clasificación de los *intents* y el reconocimiento de las entidades. Para comprender este proceso, conviene primero definir los componentes básicos:

- Un *intent* es la etiqueta que agrupa ejemplos con un mismo propósito semántico (en este caso los sonidos de vocales, letras o sílabas).
- Una *entidad* (prefijada con @) extrae dentro de un *intent* el valor concreto pronunciado (por ejemplo, @vocal con los valores “a”, “e”, “i”, “o” y “u”).
- El *corpus semilla* es el conjunto de *utterances* inicial que “siembra” el modelo: cada *utterance* corresponde a una palabra aislada, una prolongación o una frase breve de contexto.

3.4.2.1.1 Preparación de datos

La configuración del modelo consistió en definir, para cada uno de los tres submodelos, su *intent*, la entidad asociada y un corpus semilla de *utterances* (transcripciones de las grabaciones) que “siembran” el modelo con suficiente diversidad fonética con pronunciaciones correctas e incorrectas para enseñarle al modelo a detectar errores.

Todos los audios utilizados para el entrenamiento se generaron en formato WAV (sin pérdida de datos), con una duración de 3 a 5 segundos por archivo y un tamaño promedio de 200–300 KB.

A continuación, se describe la configuración de los modelos para cada subnivel.

- **Modelo de vocales**
 - Intent: vocales
 - Entidad @vocal con valores canónicos de a, e, i, o, u.
 - Corpus semilla: entre 100 y 150 utterances por vocal.
- **Modelo de abecedario**
 - Intent: abecedario
 - Entidad @letra con valores canónicos de c, d, f, g, h, j, k, n, ñ, q, r, t, v, v, x, y, z.
 - Corpus semilla: entre 100 y 150 utterances por letra del abecedario.
- **Modelo de sílabas**
 - Intent: sílabas
 - Entidad @silabas con valores canónicos de las sílabas que comienzan con b, m, n, p, s.
 - Corpus semilla: entre 100 y 150 utterances por sílaba.

3.4.2.1.2 Proceso iterativo de entrenamiento

El proceso de entrenamiento se realizó de manera progresiva, comenzando con la carga de los audios en bloques de 10. Estas cargas iniciales no tenían como objetivo evaluar la precisión, sino verificar que los *utterances* estuviesen siendo correctamente clasificados dentro del modelo. Esto permitió detectar errores de categorización y refinar el corpus antes de realizar pruebas de validación más rigurosas.

Una vez completado el conjunto base de entrenamiento (entre 100 y 150 *utterances* por clase), se llevaron a cabo pruebas de validación formales con *utterances* nuevos, no utilizados en el entrenamiento. A partir de estas pruebas, se calculó la precisión y el nivel de *confidence* alcanzado por cada *intent*.

El ciclo iterativo de entrenamiento se realizó siguiendo los siguientes pasos:

1. **Carga del corpus.** Se subieron los ejemplos iniciales a Wit.ai y se esperó a que el sistema indicara la finalización del entrenamiento.
2. **Pruebas de validación.** A continuación, se envió un conjunto de validación de 10 *utterances* no usadas en el entrenamiento, donde la mitad correspondía a incorrectas y la otra a correctas y el *endpoint /message*, registrando cómo el modelo clasificaba cada audio en su *intent* correspondiente.
3. **Análisis de resultados.** A partir de las respuestas se calculó el *confidence* medio y la tasa de aciertos (precisión) por *intent*, detectando especialmente las confusiones entre vocales fonéticamente cercanas, como “a” ó “u”.
4. **Refinamiento.** Con base en esos resultados se enriqueció el corpus con *utterances* de contraste y nuevas variantes fonéticas que reforzaran la distinción.
5. **Retraining.** Cada lote de ajustes se reinyectó en Wit.ai para un *retraining* inmediato, repitiendo todo el ciclo hasta que cada *intent* superara los umbrales establecidos (*confidence* ≥ 85 % y precisión ≥ 90 %).

Cabe destacar que, dado que cada lote de validación se enviaba vía POST (Postman) a Wit.ai, el tiempo aproximado de respuesta y *retraining* fue de unos 5 minutos por cada 10 audios.

3.4.2.1.3 Resultados de las pruebas de entrenamiento

Para evaluar la efectividad de cada uno de los tres submodelos se siguió un ciclo iterativo de entrenamiento y validación. En cada caso se partió de un corpus inicial amplio y, sobre ese lote, se obtuvieron los valores de *confidence* (P95) que Wit.ai reporta en escala de 0 a 1; dichos valores se multiplican por 100 para expresarlos en porcentaje. Además, se midió la precisión real en cada prueba de validación mediante la fórmula:

$$precisión = \frac{\text{número de clasificaciones correctas}}{\text{número total de entidades}} \times 100$$

Siempre que un submodelo no alcanzaba el umbral deseado, se reforzó el corpus únicamente para las clases con mayor tasa de error.

A continuación, se describe, de forma resumida, el desempeño de los tres submodelos y, en particular, se detallan los refinamientos realizados en el caso de vocales, ya que fue ahí donde se detectaron falsos positivos más pronunciados.

En el caso de las vocales, el modelo mostró confusiones significativas especialmente en las vocales “a” y “u”, lo que generaba falsos positivos. Por esta razón se reforzó el corpus semilla con ejemplos adicionales de “a” y “u” antes de las pruebas finales. La Tabla 3.8 resume los cinco ciclos de validación y refinamiento aplicados al submodelo de vocales. En cada fila se indica el número de prueba, el tamaño del lote de *utterances* evaluadas, la vocal analizada, el número de grabaciones correctas e incorrectas, el valor de *confidence* y la precisión obtenida. Gracias a estos datos se visualiza cómo, desde el primer corpus amplio de 500 grabaciones en la Prueba 1 hasta los lotes específicos de 10 o 40 grabaciones centrados en “A” o “U”, el nivel de confianza y la precisión del submodelo de vocales mejoraron tras cada refuerzo del *corpus*.

Tabla 3.8 Numero de refinamientos del modelo de vocales

No. de prueba	Numero de datos	Vocal	Correctas	Incorrectas	Confidence	Precisión
1	500	Todas	150	350	75%	78%
2	30	Todas	15	15	82%	85%
3	10	A	5	5	88%	90%
4	10	U	5	5	87%	89%
5	40	A	20	20	89.5%	92%

La Figura 3.37 muestra la gráfica de *confidence* global que Wit.ai reporta para el submodelo de vocales a lo largo de las distintas iteraciones. En el eje vertical aparece el valor que Wit.ai proporciona en escala de 0 a 1, y en el eje horizontal las fechas o

identificadores de cada prueba. El pico máximo de esta curva (un valor crudo de 0.895 en Wit.ai) equivale al 89.5 % de confianza en la prueba 5, que corresponde al lote de 40 grabaciones de “A” adicionales. Este pico confirma que, tras los ajustes focalizados en la vocal “A”, el modelo alcanzó el umbral deseado de certeza.

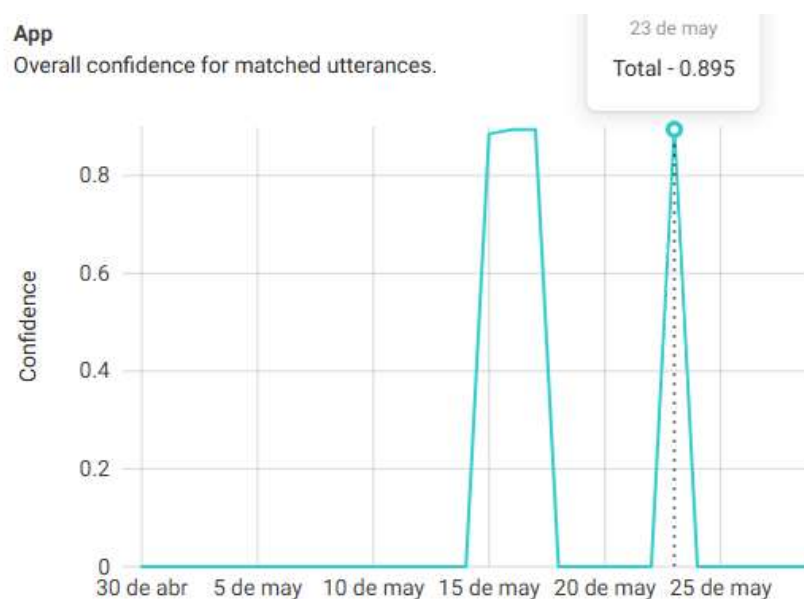


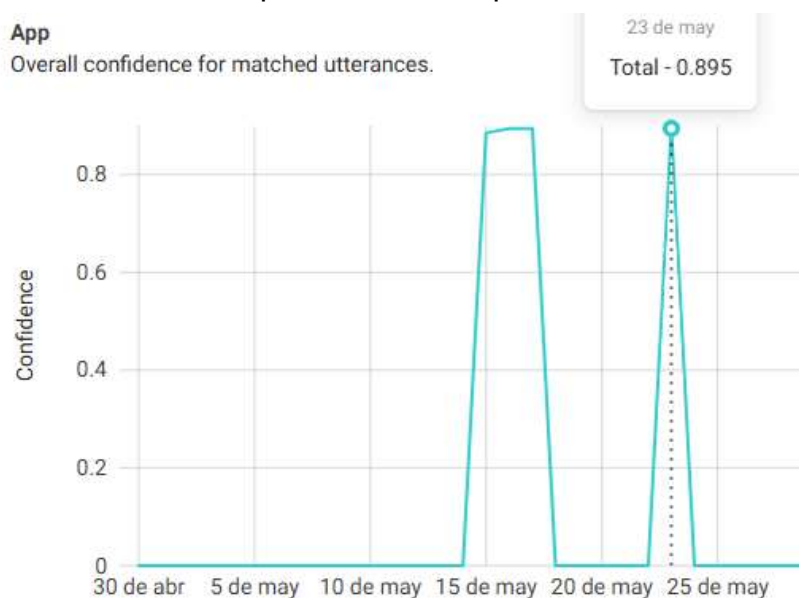
Figura 3.37 Grafica de la confianza global del modelo de vocales

El entrenamiento del submodelo de abecedario comenzó con un corpus de aproximadamente 1 700 grabaciones. En la Prueba 1, el modelo obtuvo un *confidence* del 78 % y una precisión del 80 %, pero se detectaron falsos positivos entre letras fonéticamente similares, en particular “n”, “ñ”, “t”, “r” y “f”. Para corregir estas confusiones se añadieron dos ciclos adicionales de validación centrados en esos grupos problemáticos. La Tabla 3.9 resume los tres ciclos de validación realizados. En cada fila aparecen el número de prueba, la cantidad de *utterances* evaluadas, el *confidence*, la precisión lograda, las letras evaluadas y la cantidad de grabaciones correctas e incorrectas.

Tabla 3.9 Numero de refinamientos del modelo de abecedario

No. de prueba	Numero de datos	Confidence	Precisión	Letra	Correctas	Incorrectas
1	1700	78%	80%	Todas	510	1190
2	50	82%	85%	n, ñ, t, r, f	25	25
3	34	89.5%	90%	Todas	17	17

La Figura 3.38 exhibe la evolución del *confidence* global en Wit.ai para el submodelo de abecedario: en el eje vertical se presenta el valor que Wit.ai reporta (0.895 en su punto más alto), y en el eje horizontal las diferentes fechas o iteraciones de prueba. El pico de 0.895, que equivale al 89.5 % en la tabla, corresponde al tercer lote de refinamiento, momento en el que el modelo superó finalmente el umbral deseado.

**Figura 3.38** Grafica de la confianza global del modelo de abecedario

Por último, la Tabla 3.10 recopila las dos rondas de validación del submodelo de sílabas. En cada fila se muestra el número de prueba, el número de *utterances* evaluadas, el *confidence* expresado en, la precisión obtenida, la indicación de si el lote incluyó todas las sílabas, la cantidad de grabaciones correctas e incorrectas. Estos datos reflejan que, luego de la primera ronda de 2 500 *utterances* con 92% de

confianza y 95% de precisión, bastó un solo refuerzo de 50 grabaciones para alcanzar un valor de confianza de 99.8 % y una precisión del 97 % en el submodelo de sílabas.

Tabla 3.10 Numero de refinamientos del modelo de sílabas

No. de prueba	Numero de datos	Confidence	Precisión	Sílabas	Correctas	Incorrectas
1	2500	92%	95%	Todas	750	1750
2	50	99.8%	97%	Todas	25	25

La Figura 3.39 muestra la gráfica de *confidence* global para el submodelo de sílabas, con el valor crudo 0.998 en el punto máximo, que equivale al 99.8 % de confianza. Este pico confirma que, tras el refuerzo puntual, el modelo de sílabas logró la certeza esperada.

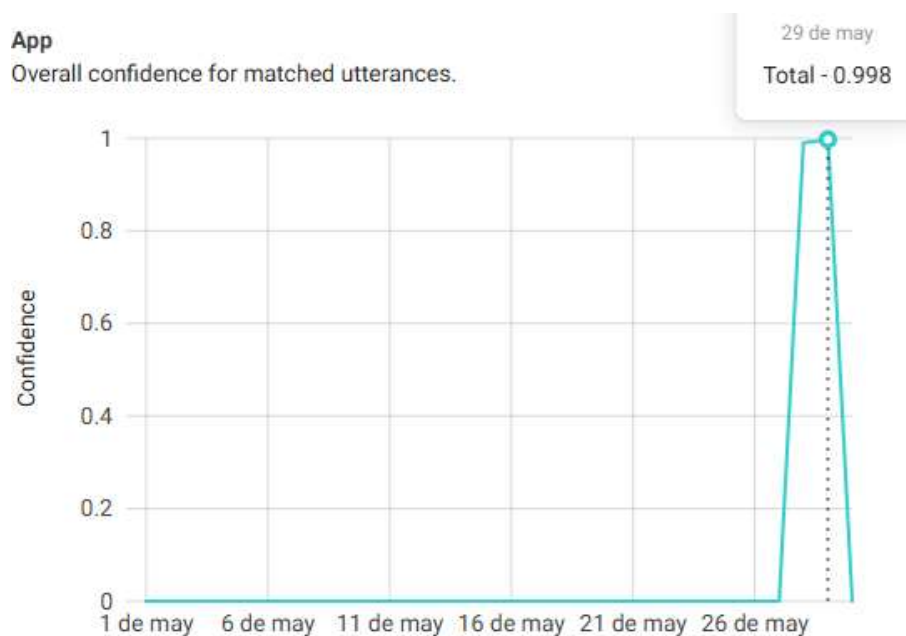


Figura 3.39 Gráfica de la confianza global del modelo de sílabas

3.4.2.2 Implementación del sistema de reconocimiento de voz y procesamiento de datos

Tras completar el entrenamiento de los tres modelos en Wit.ai, se implementó un servicio web desarrollado con Flask que expone la funcionalidad de reconocimiento de voz y validación de transcripciones para su consumo desde un servicio local. El esquema que describe el flujo del servicio se ilustra en la Figura 3.40

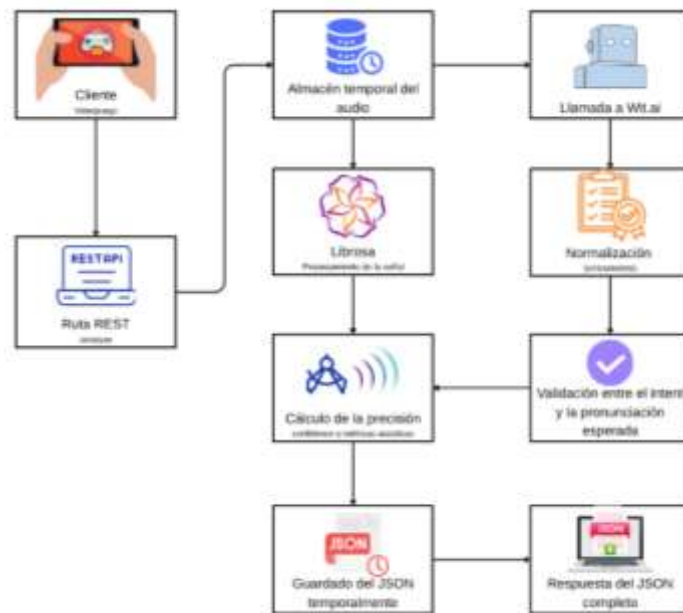


Figura 3.40 Flujo del API y servicio web Flask

El servidor define una ruta REST `/analyze` para la carga de audios: que recibe, vía POST, un archivo WAV junto con la opción (vocal, letra o sílaba) que el niño practica en la sesión. En el backend, primero se guarda temporalmente el audio en la carpeta `/uploads`, garantizando que cada petición trabaje en aislamiento, y luego se procede al análisis acústico con Librosa: se extrae la frecuencia fundamental (*meanF0*), el *jitter* (variación en la frecuencia) y el *shimmer* (variación en la amplitud). Si este paso falla, se devuelve un error 500; en caso contrario, el archivo se envía a la API de Wit.ai para obtener la transcripción y su nivel de confianza (*speechConfidence*), además de las entidades detectadas.

Tras la transcripción, el servidor valida que el texto reconocido coincida con la opción seleccionada, comprueba que el nombre de la entidad corresponda al token de mayor confianza. Si ambas validaciones son exitosas, se consulta el *endpoint /message* de Wit.ai para extraer la intención principal y su confianza (*intentConfidence*); de lo contrario, la confianza se penaliza o se marca la validación como “INCORRECTO”.

Una vez obtenidos *intentConfidence*, *speechConfidence*, *jitter* y *shimmer*, la métrica de precisión se obtiene de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Precisión} = \text{intent}_{confidence} \times \text{speech}_{confidence} \times (1 + \text{jitter} + \text{shimmer}) \times 100$$

Para visualizar la interfaz, en la Figura 3.41 se muestran los datos que recibe el cliente de ExpresaTEA tras cada análisis; el servicio web presenta estos resultados en una tabla que incluye todas las métricas obtenidas al procesar cada grabación. En la primera columna aparece el nombre del archivo de audio. A continuación, se listan dos métricas del sonido: Jitter, que refleja la variación cíclica de la frecuencia fundamental (es decir, la inestabilidad del tono), y Shimmer, que mide la variación cíclica de la amplitud (la inestabilidad del volumen); ambos valores se expresan en unidades del 0 al 1. La siguiente columna, Frecuencia Fundamental, indica en hercios el tono base detectado en la voz. Luego aparece la columna Tiempo, que muestra en segundos cuanto tardo en procesar la respuesta. En la columna Probabilidad se reparte el porcentaje de confianza que el modelo asigna a esa grabación tras la clasificación de Wit.ai. A continuación, la columna Validación deja constancia de si esa grabación se consideró “CORRECTA” o “INCORRECTA” según el umbral de confianza definido. Finalmente, las columnas Falsos Positivos y Falsos Negativos registran la cantidad de casos en los que el modelo clasificó erróneamente una grabación (por ejemplo, si se marcó como correcta cuando no lo era, o viceversa), y muestran “N/A” cuando ese tipo de error no aplica. Cada vez que se pulsa el botón “Analizar”, todos estos datos se vuelcan en pantalla y, al mismo tiempo, se genera un archivo JSON con la misma información dentro de la carpeta */results*, de modo que el cliente de ExpresaTEA pueda almacenarlos o procesarlos posteriormente.

ExpresaTEA

Análisis avanzado de audio para desarrollo del lenguaje

1

2

3

4

Datos del Paciente

Configuración

Análisis de Audio

Resultados

Información del Paciente y Centro Médico

Datos del Paciente

ID Paciente:

Ej. P001

Nombre Completo:

Nombre y apellidos

Edad:

Años

Genero:

Seleccionar...

Diagnóstico:

Diagnóstico médico

Centro Médico

ID Centro:

Ej. CM001

Nombre del Centro:

Hospital/Clinica

Ubicación:

Ciudad, Estado

Especialista:

Dr./Dra. Nombre

CONTINUAR AL ANÁLISIS

Figura 3.41 Servicio web

97

Capítulo 4. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados del videojuego ExpresaTEA a partir de un caso de estudio realizado en niños con TEA. A continuación, se presentan los casos de estudios que se realizaron con el objetivo de evaluar la efectividad del videojuego.

4.1 Caso de estudio

Con el propósito de evaluar la efectividad y aplicabilidad del videojuego ExpresaTEA como herramienta de apoyo para el desarrollo del lenguaje en niños con TEA, se diseñó un caso de estudio centrado en el análisis del uso progresivo del videojuego. El enfoque del estudio se basó en la observación de la interacción y mejora tras el uso del sistema.

Esta evaluación se realizó en colaboración con el Centro Psicológico Infanto Juvenil Cree-cimientos, ubicado en la ciudad de Córdoba, Veracruz. La institución brindó apoyo profesional mediante la participación de psicoterapeutas infantiles que acompañaron y supervisaron el proceso. Participaron dos infantes diagnosticados con TEA nivel 1, de edades comprendidas de entre 4 años y 6 años.

Las pruebas se llevaron a cabo utilizando una tableta con el videojuego previamente instalado, en un entorno controlado, cómodo y familiar para los participantes. Durante cuatro semanas consecutivas, se desarrollaron sesiones individuales semanales de 30 minutos de duración, que permitieron observar la evolución del desempeño en la pronunciación de vocales, letras y sílabas.

4.2 Diseño de evaluación

El diseño de la evaluación se estructuró en cuatro sesiones individuales semanales, distribuidas a lo largo de un mes, con una duración aproximada de 30 minutos cada una. El objetivo de este estudio consistió en medir el nivel de mejora en las habilidades lingüísticas de niños con TEA al usar ExpresaTEA.

La estructura general del diseño de evaluación se resume en la Figura 4.1, donde se presentan los componentes principales del estudio: los objetivos, las variables analizadas, las métricas utilizadas, el perfil de los expertos participantes y los datos generales de los sujetos de prueba.



Figura 4.1 Diagrama de evaluación

La primera sesión consistió en una introducción general al videojuego. Se explicó de forma accesible su propósito, se permitió al niño explorar la interfaz y navegar por el menú de opciones. Durante esta sesión, se jugó el videojuego completo con la finalidad de evaluar la familiarización inicial con el entorno, la comprensión de las instrucciones y el nivel de comodidad con la dinámica propuesta. Además, se registraron las primeras reacciones e interacciones, junto con las primeras muestras de pronunciación.

En la segunda sesión, el niño repitió la actividad completa, ahora con mayor autonomía. El enfoque estuvo dirigido a la mejora en la ejecución de tareas específicas, como la navegación por los subniveles y la pronunciación guiada de los estímulos. Este patrón se mantuvo en las sesiones tres y cuatro, con énfasis en el seguimiento de la evolución fonológica, el tiempo de respuesta, la interacción con las animaciones faciales y la precisión obtenida tras cada intento.

En todas las sesiones, el sistema registró los audios generados después de cada repetición del estímulo. Estos audios fueron analizados automáticamente por el módulo de Procesamiento de Lenguaje Natural y posteriormente validados por el equipo psicoterapeuta. Las observaciones clínicas se centraron en variables como la atención sostenida, la respuesta emocional, la comprensión de los elementos visuales, y la consistencia de la pronunciación.

4.2.1 Variables de evaluación

En cada subnivel del videojuego, se recogen diversos indicadores que permiten cuantificar y cualificar el desempeño del usuario al pronunciar las palabras propuestas. Estas variables de evaluación operan a distintos niveles: desde la detección de la señal de voz hasta la comparación final con el modelo fonético de referencia. La Tabla 4.1 resume las principales variables registradas por repetición y describe su tipo de dato, así como el método o instrumento utilizado para su obtención.

Tabla 4.1 Variables de evaluación por palabra

Variable	Definición	Tipo	Instrumento de medida
Subnivel	Categoría del subnivel	Nominal	Registro de la etapa del juego
pronunciationAccuracy	% de correspondencia entre la pronunciación detectada y el modelo fonético esperado	Continua	Librosa + DTW
containsPronunciationSound	Indica si la grabación contiene señal de voz válida	Dicotómica	Umbral de energía mínima en la grabación
pronunciationMatchesWord	Señala si la transcripción automática coincide con la palabra objetivo	Dicotómica	Comparador de cadena entre palabra esperada y salida TTS

Cada una de estas variables tiene un rol específico en la retroalimentación del jugador y en la generación de reportes automáticos. El campo *Subnivel* permite contextualizar

cada evaluación dentro de la estructura secuencial del juego. La métrica *pronunciationAccuracy* proporciona una medida continua de la calidad fonética de la pronunciación, calculada a partir de un análisis combinado de Librosa y DTW. Por su parte, *containsPronunciationSound* asegura que solo se consideren grabaciones con señal de voz válida, filtrando silencios o ruidos de baja energía. Finalmente, *pronunciationMatchesWord* valida la corrección léxica comparando la transcripción reconocida con la palabra objetivo. Estas variables, en conjunto, garantizan una evaluación precisa y confiable del desempeño de cada usuario en cada subnivel.

4.2.2 Métricas calculadas

Para la evaluación completa del progreso del usuario se realizaron métricas cuantitativas basadas en las variables para identificar su mejoría en la pronunciación individual de cada letra. A continuación, se describen las métricas generadas para ello.

4.2.2.1 Precisión individual

La precisión individual (*individualAverage*) de cada palabra o letra evaluada en el videojuego se calcula tomando en cuenta todas las repeticiones realizadas por el usuario para esa palabra específica. El cálculo se divide en dos métricas principales:

4.2.2.1.1 Precisión promedio

Conocida como *pronunciationAccuracy* representa el promedio porcentual obtenido al evaluar cada intento realizado por el usuario para un mismo elemento (vocal, letra o sílaba). Este valor se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$pronunciationAccuracy = \frac{\sum_{i=1}^n pronunciationAccuracy_1}{n}$$

Donde:

- *n* es el número total de intentos realizados por el usuario para el elemento específico.

- ***pronunciationAccuracy*** corresponde al porcentaje de coincidencia de cada pronunciación del usuario y la pronunciación objetivo, evaluada mediante las técnicas de PLN seleccionadas.

Esta métrica proporciona un promedio de precisión para todos los intentos realizados por el usuario, permitiendo medir qué tan cerca estuvo de pronunciar correctamente la palabra en cada intento.

4.2.2.1.2 Palabra repetida correctamente

La métrica de *wordRepeatedCorrectly* se calcula como la suma booleana de todos los valores de *pronunciationMatchesWord* en la lista de repeticiones de una letra. Cada repetición tiene un campo *pronunciationMatchesWord* que indica si la pronunciación del usuario coincide correctamente con la letra evaluada. Este valor es true o false dependiendo de si la pronunciación fue correcta o no. La fórmula constituye de la siguiente:

$$wordRepeatedCorrectly = \begin{cases} true, & \text{si } \frac{\text{Número de intentos correctos}}{\text{Número total de intentos}} > 0.5, \\ false, & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Donde:

- **Número de intentos correctos** es el conteo de repeticiones donde *pronunciationMatchesWord* = true.
- **Número total de intentos** es el total de repeticiones registradas.

Esta métrica proporciona un indicador claro de si el usuario logró pronunciar correctamente la letra en la mayoría de sus intentos, permitiendo medir qué tan cerca estuvo de pronunciarla correctamente en cada intento.

4.2.2.2 Precisión por sesión

La precisión por sesión (*sessionAverage*) agrupa los resultados individuales de todos los elementos (por ejemplo, cada vocal en la sesión de vocales) y ofrece una visión

global del desempeño del usuario durante esa sesión. Se define en el objeto `sessionAverage`, que incluye dos métricas:

4.2.2.2.1 Precisión promedio de sesión

Este valor refleja el promedio de las precisiones individuales (`pronunciationAccuracy`) obtenidas en cada elemento evaluado dentro de la sesión. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$pronunciationAccuracy_{sesison} = \frac{\sum_{j=1}^m pronunciationAccuracy_{individual,j}}{m}$$

Donde

- **m** es el número de elementos evaluados en la sesión.
- ***pronunciationAccuracy_{individual, j}*** es el valor de precisión promedio de pronunciación calculado para el elemento *j* (cada vocal o letra) en *individualAverage*.

Este promedio de sesión facilita comparar el rendimiento entre distintas sesiones o niveles del juego y medir el progreso global del usuario.

4.2.2.2.2 Palabras repetidas en total

La métrica `totalCorrectWords` cuenta cuántos elementos de la sesión fueron pronunciados correctamente en la mayoría de sus repeticiones. Se basa en los valores booleanos de `wordRepeatedCorrectly` obtenidos para cada elemento individual y se calcula como:

$$totalCorrectWords = \sum_{j=1}^m \begin{cases} 1, & \text{si } wordRepeatedCorrectly_j = true \\ 0, & \text{si } wordRepeatedCorrectly_j = false \end{cases}$$

Donde:

- **m** es el número de elementos evaluados en la sesión de acuerdo con el subnivel seleccionado.

- **wordRepeatedCorrectly_j** corresponde al valor booleano asociado al elemento j en individualAverage

4.3 Resultados de la evaluación

A continuación, se presentan los resultados del caso de estudio con los niños que utilizaron ExpresaTEA. Donde se analizó su mejora mediante el uso del videojuego.

4.3.2 Caso de estudio 1: Sujeto 1

El primer caso corresponde a una niña de cuatro años con problemas del habla y con un diagnóstico de TEA en grado 1. Durante las sesiones de evaluación, se observó una participación activa hacia el videojuego. En la Figura 4.2 se incluyen su interacción en una de las sesiones realizadas en el subnivel de sílabas.



Figura 4.2 Prueba con el sujeto 1

Los resultados obtenidos tras las cuatro sesiones de trabajo fueron procesados mediante el módulo de PLN, el cual generó archivos en formato JSON que contienen los datos de desempeño lingüístico por subnivel. En el Listado 4.1 se presenta un fragmento del archivo correspondiente al subnivel de vocales para el sujeto 1.

En las líneas 1 a 7 se incluyen los datos generales del paciente, tales como su identificador, nombre, edad, género y diagnóstico. A continuación, en las líneas 8 a 22, se omiten en este extracto los apartados de información médica y detalles del reporte para centrarse únicamente en los datos lingüísticos. A partir de la línea 23, se encuentra la sección del reporte que documenta las sesiones del subnivel 1: Vocales (identificado en la línea 30), donde se evalúa la pronunciación de cada vocal. En particular, entre las líneas 31 y 50, se describe la primera sesión del subnivel. Las líneas 32 a 49 contienen la información de la vocal “a” y sus tres repeticiones, que muestran una evolución en la precisión de pronunciación. El promedio individual de dicha vocal se encuentra en la línea 50, donde se indica una la precisión obtenida.

Listado 4.1 Extracto del JSON de vocales del sujeto 1

```

1  {
2    "patientDetails": {
3      "patientId": "04",
4      "patientFullName": "Perla",
5      "patientAge": "4",
6      "patientGender": "f",
7      "diagnostic": "Niña con TEA nivel 1 con dificultades del habla"
8    },
9    "medicalDetails": {...},
15   "reportDetails": {...},
23   "reports": {
24     "games": {
25       "expresatea": {
26         "levels": {
27           "Level 1": {
28             "sublevels": {
29               "Vocales": {
30                 "sublevelName": "Subnivel 1: Vocales",
31                 "sessions": [
32                   {
33                     "sessionNumber": 1,
34                     "words": [
35                       {
36                         "word": "a",
37                         "repetitions": [
38                           {
39                             "pronunciationAccuracy": 75.0,
40                             "containsPronunciationSound": true,
41                             "pronunciationMatchesWord": true
42                           },
43                           {
44                             "pronunciationAccuracy": 81.0,
```

```

45         "containsPronunciationSound": true,
46         "pronunciationMatchesWord": true
47     },
48     {
49         "pronunciationAccuracy": 84.0,
50         "containsPronunciationSound": true,
51         "pronunciationMatchesWord": true
52     },
53 ],
54 "individualAverage": {
55     "pronunciationAccuracy": 78.0,
56     "wordRepeatedCorrectly": true
57 }
58 },
59 {...}
156 "sessionAverage": {
157     "pronunciationAccuracy": 86.1,
158     "totalCorrectWords": 4
159 }

```

La Tabla 4.2 presenta el resumen general de los porcentajes de precisión fonética obtenidos por el sujeto 1 durante los tres subniveles evaluados a lo largo de las cuatro sesiones. Esta tabla permite observar la evolución progresiva del desempeño fonológico del sujeto en cada componente.

Tabla 4.2 Progreso del sujeto 1

Subnivel	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4
Vocales	86.1%	88.3%	90.1%	94.4%
Abecedario	82.3%	85.9%	89.2%	92.7%
Sílabas	82.1%	84.8%	87.4%	91.0%

Para capturar con mayor detalle el progreso en aquellos elementos en los que el especialista recomendó focalizarse en ciertas letras y sílabas con más dificultad para el sujeto, la Tabla 4.3 presenta los porcentajes de precisión individual de cada uno de esos elementos en las cuatro sesiones

Tabla 4.3 Progreso individual del sujeto 1

Subnivel	Elemento	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4
Vocales	A	85.0 %	87.0 %	89.0 %	93.0 %
	E	85.5 %	87.5 %	89.5 %	93.5 %

Subnivel	Elemento	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4
	I	86.0 %	88.0 %	90.0 %	94.0 %
	O	86.5 %	88.5 %	90.5 %	94.5 %
	U	87.3 %	89.2 %	90.5 %	95.1 %
Abecedario	C	80 %	84 %	88 %	91 %
	D	81 %	84 %	88 %	91 %
	F	81 %	85 %	89 %	92 %
	G	82 %	85 %	89 %	92 %
	H	82 %	85 %	89 %	92 %
	J	82 %	86 %	89 %	92 %
	K	82 %	86 %	90 %	92 %
	L	83 %	86 %	90 %	92 %
	N	83 %	87 %	90 %	93 %
	Ñ	85 %	92 %	90 %	94 %
Sílabas	SA	80 %	82 %	85 %	90 %
	SE	80 %	83 %	85 %	90 %
	SI	81 %	83 %	86 %	90 %
	SO	81 %	84 %	87 %	91 %
	SU	82 %	84 %	87 %	91 %
	LA	82 %	85 %	87 %	91 %
	LE	82 %	85 %	87 %	91 %
	LI	83 %	85 %	87 %	91 %
	LO	83 %	86 %	87 %	91 %
	LU	84 %	87 %	88 %	91 %

En la Figura 4.3 se presenta una gráfica de líneas que sintetiza el avance global del sujeto 1, combinando los valores promedio de cada subnivel en las cuatro sesiones.

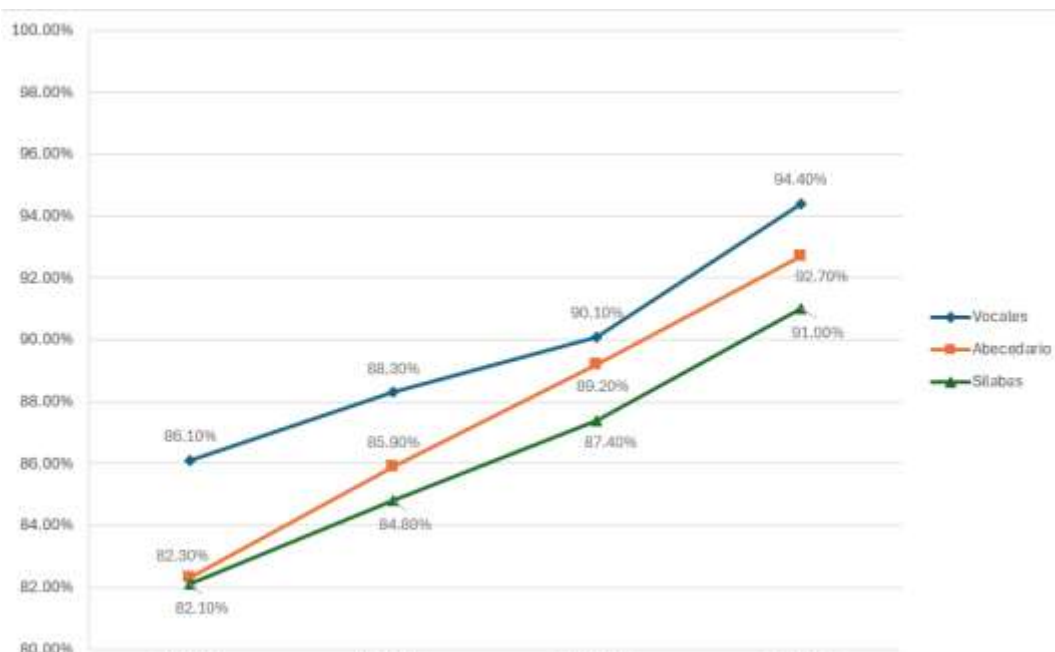


Figura 4.3 Gráfica del progreso general del sujeto 1

Allí se aprecia una mejora constante en la precisión fonética tras cada práctica.

A su vez, para cada subnivel se generaron gráficos de barras que muestran el progreso individual de cada elemento (vocal, letra o sílaba) a lo largo de las cuatro sesiones.

En la Figura 4.4 ilustra el avance en el subnivel de vocales, donde cada barra corresponde a la precisión de “A”, “E”, “I”, “O” y “U” en cada sesión.

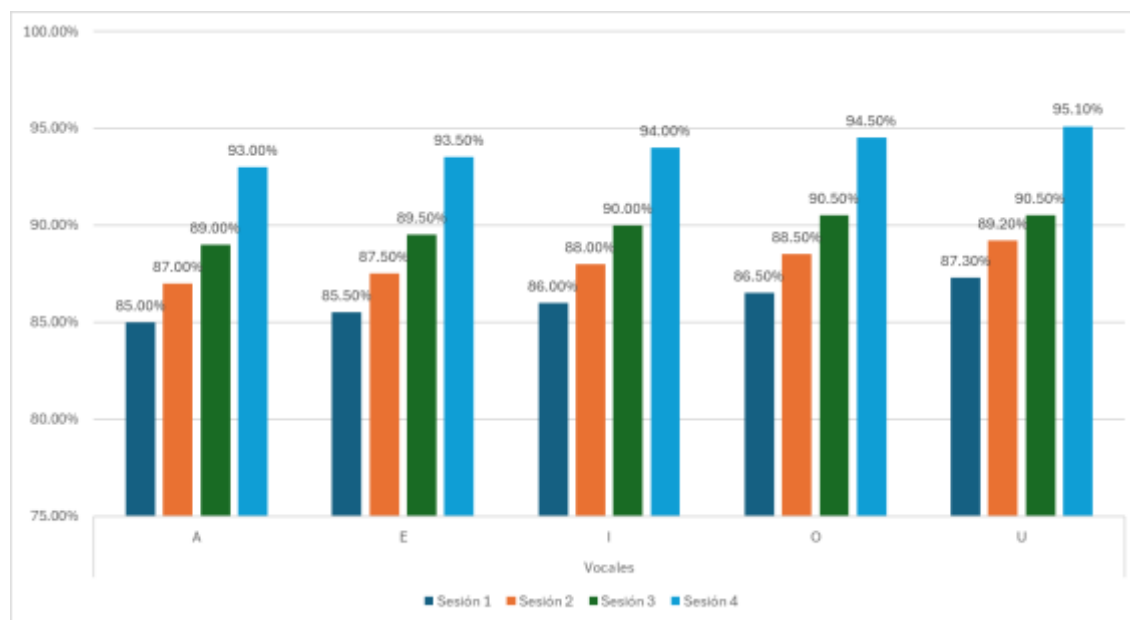


Figura 4.4 Gráfica del progreso del sujeto 1 en vocales

En la Figura 4.5 muestra el progreso de las letras seleccionadas del abecedario (D, F, G, L, N, Ñ) a lo largo de las cuatro sesiones

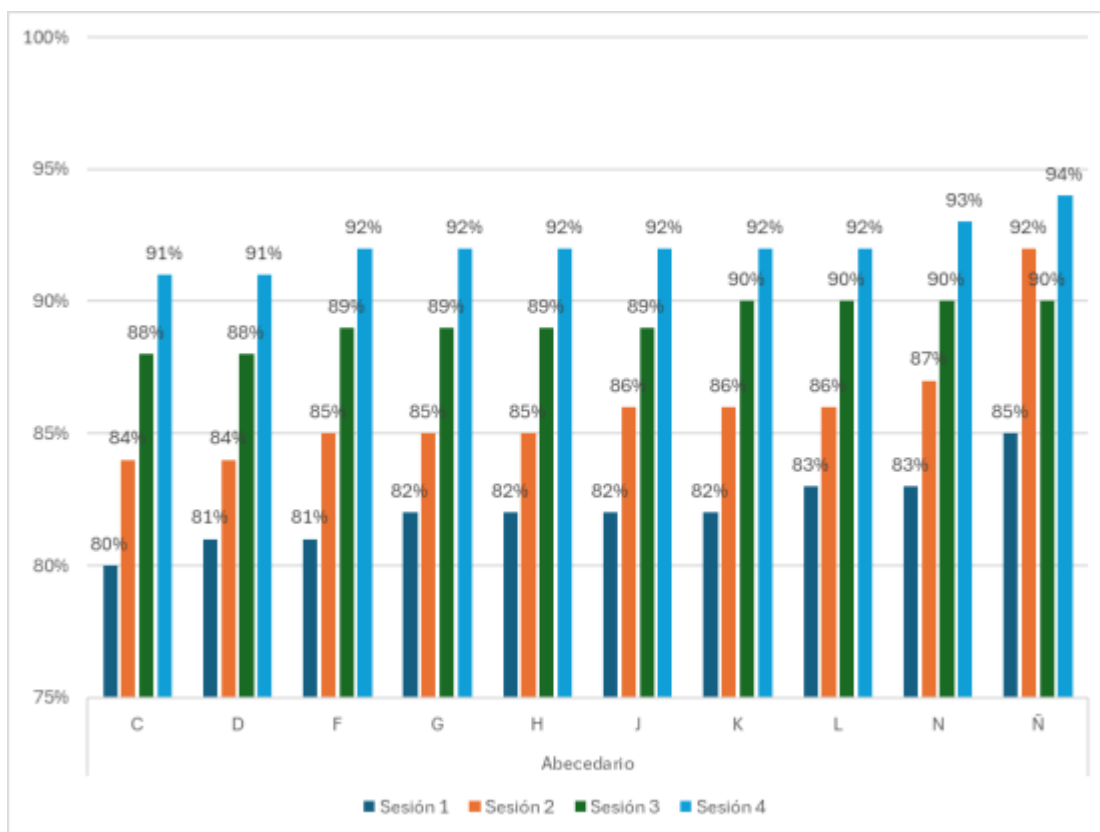


Figura 4.5 Gráfica del progreso del sujeto 1 en abecedario

En la Figura 4.6 presenta las barras de las sílabas con “S” y “M”, evidenciando cómo mejora la precisión de cada sílaba sesión tras sesión.

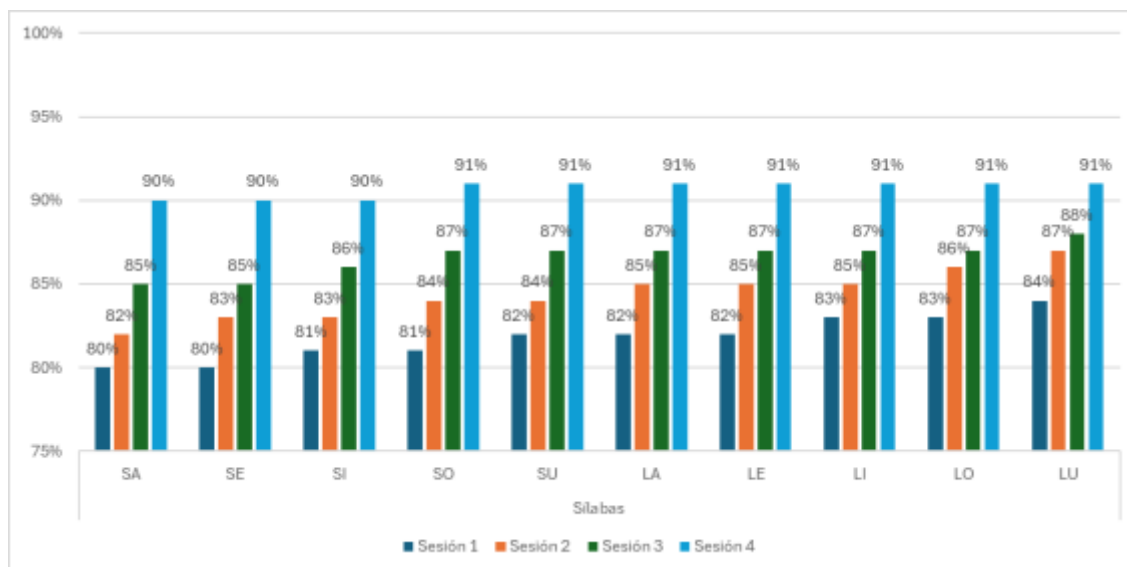


Figura 4.6 Gráfica del progreso del sujeto 1 en sílabas

4.3.3 Caso de estudio 1: Sujeto 2

El segundo caso corresponde a un niño de seis años diagnosticado con TEA en grado 1. En la Figura 4.7 se muestra una captura de su interacción durante una de las sesiones en el subnivel de abecedario.



Figura 4.7 Prueba con el sujeto 2

Los audios recolectados durante las cuatro sesiones fueron evaluados mediante el sistema de análisis desarrollado, obteniéndose reportes en formato JSON que permiten observar el desempeño del usuario en cada subnivel. En el Listado 4.2 se muestra un extracto del archivo JSON correspondiente al subnivel de Abecedario del sujeto 2.

En las líneas 1 a 7 se incluyen los datos generales del paciente, como su identificador, nombre, edad, género y diagnóstico. Posteriormente, de las líneas 8 a 22 se encuentran los apartados de información médica y detalles del reporte, los cuales han sido omitidos en este extracto para facilitar la lectura. A partir de la línea 23, se describen los resultados obtenidos en el subnivel, comenzando con el nombre del subnivel (línea 30) que permite identificar fácilmente el contexto del archivo. En las líneas siguientes se detallan los resultados de las sesiones. Por ejemplo, en la línea 31 se indica que se trata de la sesión 1, mientras que entre las líneas 444 a 449 se

presenta el promedio de precisión de pronunciación de esa sesión. Más adelante, en la sesión 3 (línea 865), se incluyen los datos específicos de la palabra “c” y sus tres repeticiones, que se localizan entre las líneas 868 y 880 para dicha letra.

Listado 4.2 Extracto del JSON de abecedario del sujeto 2

```

1  {
2    "patientDetails": {
3      "patientId": "03",
4      "patientFullName": "Mateo",
5      "patientAge": "6",
6      "patientGender": "m",
7      "diagnostic": "Niño con TEA nivel 1 con disfalia"
8    },
9    "medicalDetails": {...},
15   "reportDetails": {...},
23   "reports": {
24     "games": {
25       "expresatea": {
26         "levels": {
27           "Level 1": {
28             "sublevels": {
29               "Vocales": {
30                 "sublevelName": "Subnivel 2: Abecedario",
31                 "sessions": [
32                   {
33                     "sessionNumber": 1,
34                     "words": [...]
444                     "sessionAverage": {
445                       "pronunciationAccuracy": 79.0,
446                       "totalCorrectWords": 15
447                     }
448                   },
449                   {...}
865                   {
866                     "sessionNumber": 3,
867                     "words": [
868                       {
869                         "word": "c",
870                         "repetitions": [
871                           {
872                             "pronunciationAccuracy": 82.0,
873                             "containsPronunciationSound": true,
874                             "pronunciationMatchesWord": true
875                           },
876                           {
877                             "pronunciationAccuracy": 83.0,
878                             "containsPronunciationSound": true,
879                             "pronunciationMatchesWord": true
880                           },
881                           {

```

882	"pronunciationAccuracy": 84.0,
883	"containsPronunciationSound": true,
884	"pronunciationMatchesWord": true
885	}
886	],
887	"individualAverage": {
888	"pronunciationAccuracy": 83.0,
889	"wordRepeatedCorrectly": true
890	}
891	},
892	{...}
1277	"sessionAverage": {
1278	"pronunciationAccuracy": 83.0,
1279	"totalCorrectWords": 17
1280	}
1281	}

La Tabla 4.4 presenta los porcentajes de precisión fonética alcanzados por el sujeto 2 en cada sesión, organizados por subnivel. Estos valores muestran cómo, a lo largo de las cuatro semanas, el desempeño del sujeto mejoró de manera constante en cada categoría.

Tabla 4.4 Progreso del sujeto 2

Subnivel	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4
Vocales	89.1%	92.4%	94.1%	96.7%
Abecedario	79.0%	81.9%	83.0%	86.1%
Sílabas	77.9%	79.3%	82.3%	86.0%

Para mejorar los elementos específicos que resultaron más complicados para el sujeto 2, los expertos recomendaron enfocar la prueba en ciertas letras y sílabas. La Tabla 4.5 recaba los porcentajes de precisión individual para cada uno de esos elementos a lo largo de las cuatro sesiones.

Tabla 4.5 Progreso individual del sujeto 2

Subnivel	Elemento	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4
Vocales	A	88.5 %	92.0 %	93.5 %	97.0 %
	E	89.0 %	92.5 %	94.0 %	96.5 %
	I	89.3 %	92.2 %	94.2 %	96.8 %
	O	89.8 %	92.6 %	94.4 %	97.2 %
	U	89.8 %	92.7 %	94.3 %	96.9 %
Abecedario	D	77.0 %	80.0 %	82.5 %	85.0 %

Subnivel	Elemento	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4
	F	78.5 %	81.0 %	82.0 %	86.5 %
	G	79.5 %	82.5 %	83.5 %	86.5 %
	L	80.0 %	82.0 %	83.0 %	85.0 %
	N	80.0 %	83.0 %	83.0 %	87.5 %
Sílabas	MA	76.0 %	78.5 %	81.0 %	84.0 %
	ME	77.0 %	78.0 %	81.0 %	86.0 %
	MI	77.5 %	79.0 %	82.0 %	86.5 %
	MO	78.0 %	80.0 %	82.5 %	86.0 %
	MU	78.5 %	80.0 %	82.5 %	85.5 %
	SA	77.0 %	79.0 %	82.0 %	85.0 %
	SE	77.5 %	79.5 %	82.5 %	86.5 %
	SI	78.0 %	79.0 %	82.0 %	87.0 %
	SO	78.5 %	79.0 %	82.5 %	86.0 %
	SU	79.0 %	79.5 %	82.5 %	86.0 %

En la Figura 4.8 se presenta una gráfica de líneas que refleja el avance global del sujeto 2 a lo largo de las cuatro sesiones, donde se observa claramente la mejora progresiva en la precisión fonética de cada subnivel.

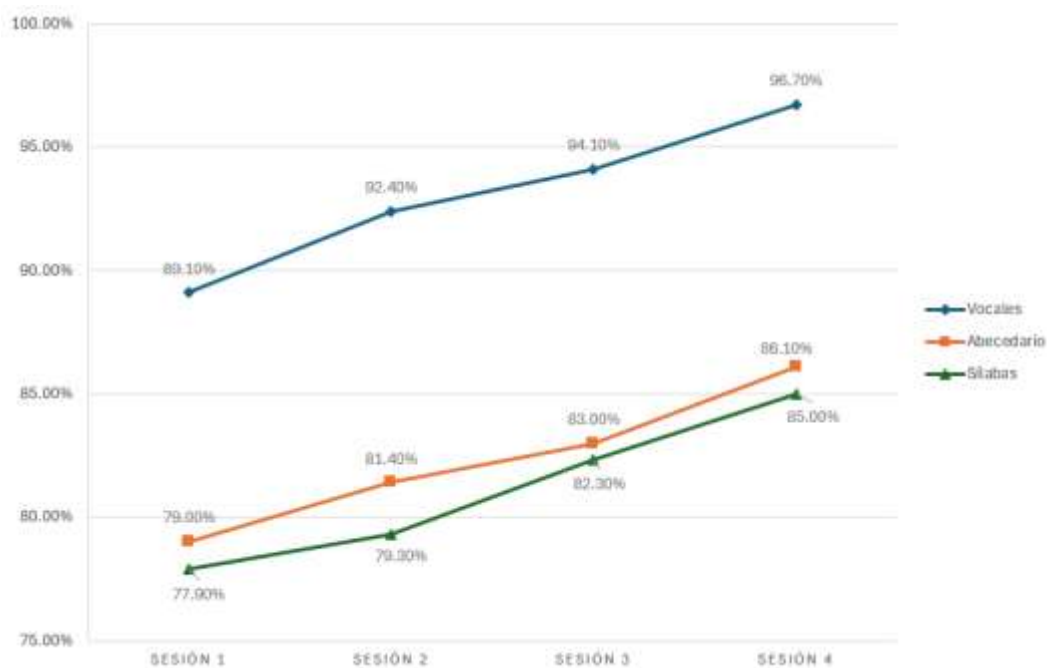


Figura 4.8 Gráfica del progreso del sujeto 2

En las siguientes gráficas de barras se observa visualmente el progreso por elemento individual. La figura 4.9 contiene el progreso de manera gráfica de las vocales.

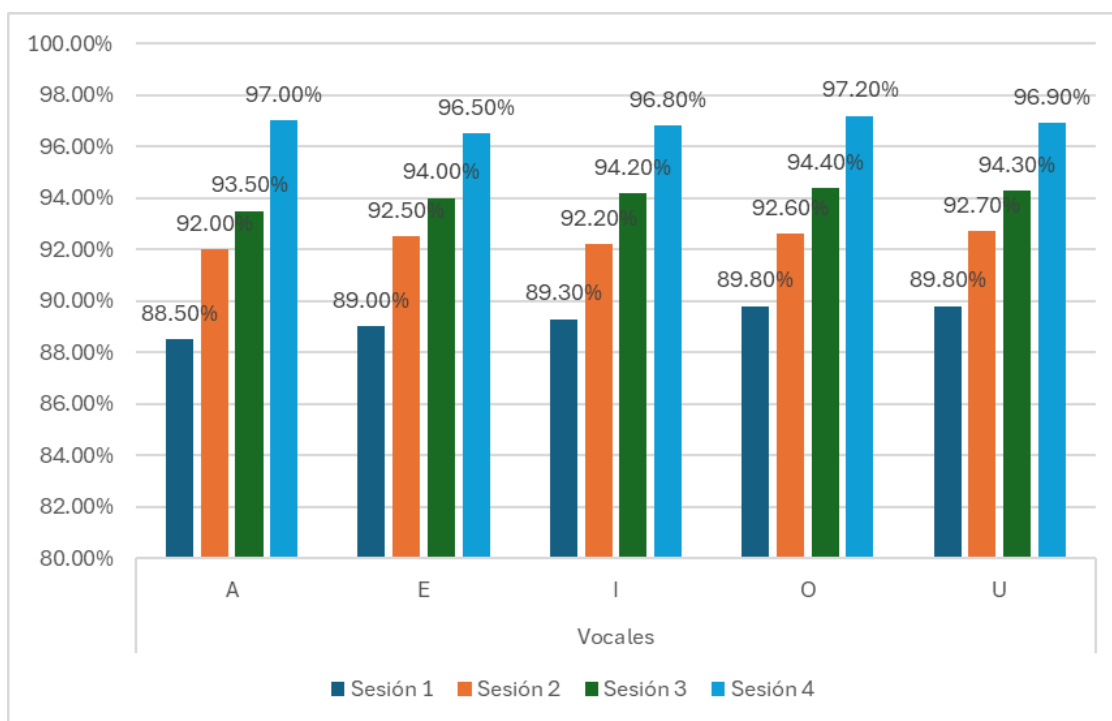


Figura 4.9 Gráfica del progreso del sujeto 2 en vocales

En la Figura 4.10 se ilustra la gráfica de los valores de abecedario.

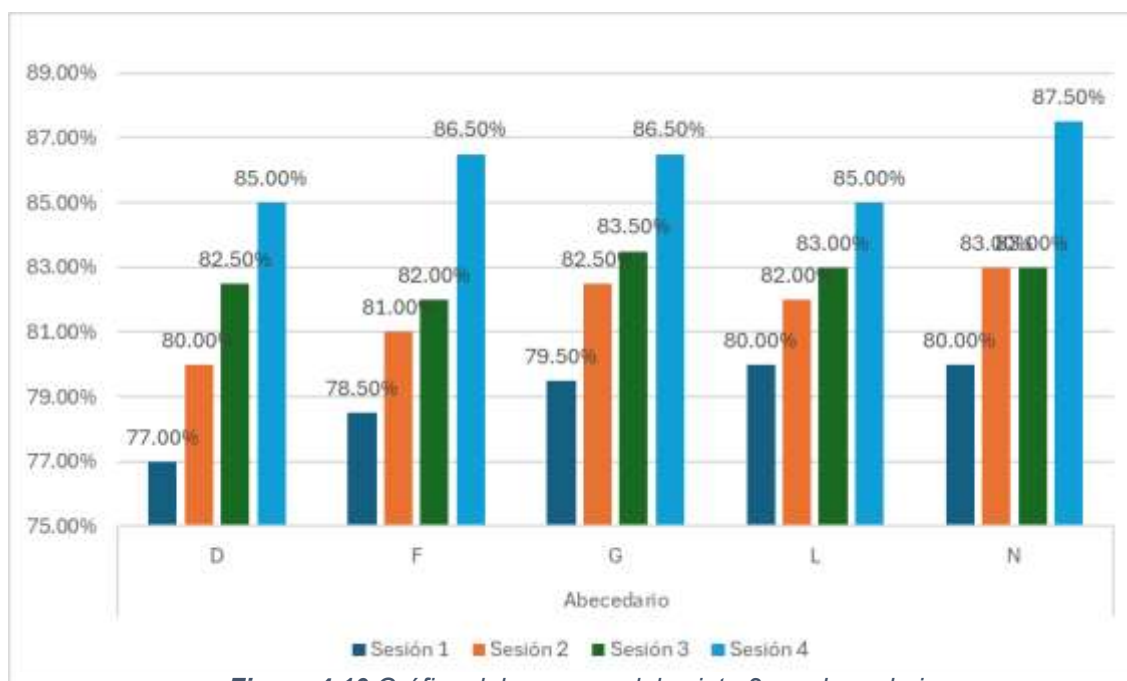


Figura 4.10 Gráfica del progreso del sujeto 2 en abecedario

En la Figura 4.11 se muestran los resultados de las sílabas seleccionadas.

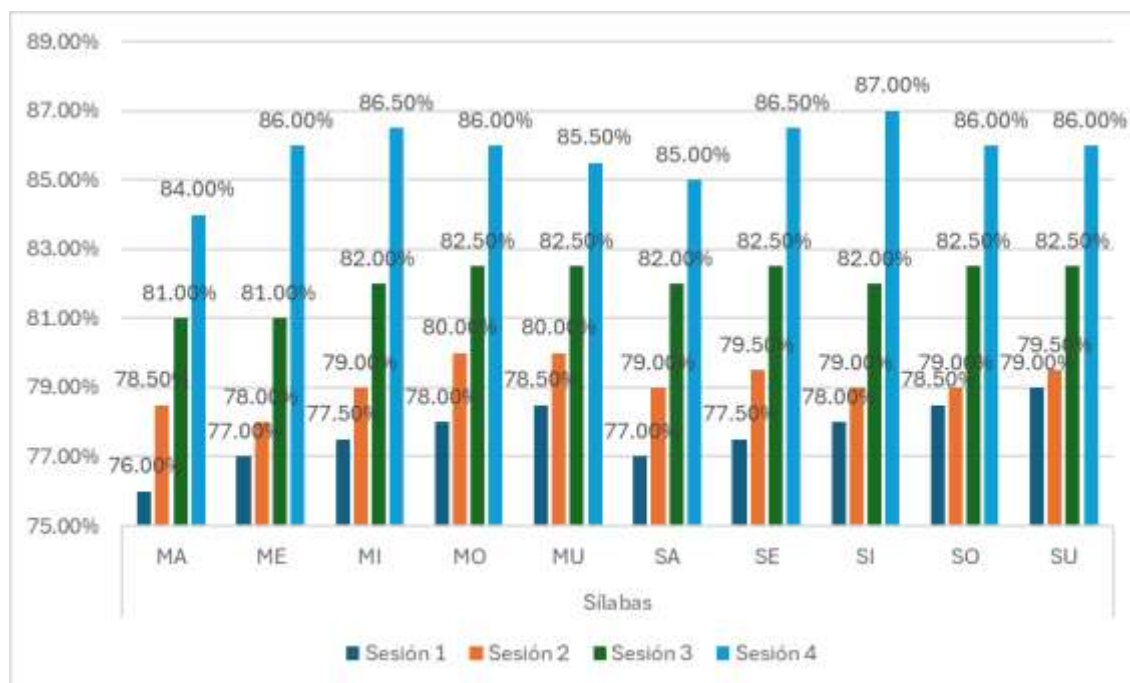


Figura 4.11 Gráfica del progreso del sujeto 2 en sílabas

4.4 Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la implementación del videojuego ExpresaTEA en dos casos individuales con diagnóstico de TEA nivel 1 evidenciaron un progreso gradual en la pronunciación de los subniveles seleccionados, así como una interacción positiva y funcional respecto a la interfaz del sistema. Ambos sujetos, con edades de 4 y 6 años respectivamente, completaron las cuatro sesiones de evaluación con un alto grado de participación y adaptabilidad al entorno propuesto.

La implementación de las métricas de evaluación que se almacenan en archivos generados en formato JSON permitió identificar mejoras cuantificables en los subniveles de vocales, abecedario y sílabas. En ambos casos, los resultados mostraron un aumento gradual en la precisión fonética a lo largo de las sesiones, lo cual sugiere que la dinámica del videojuego, centrada en la repetición guiada, favoreció el fortalecimiento de las habilidades del lenguaje en los participantes.

Además, se comprobó que la estructura progresiva de los subniveles, así como la duración y personalización de cada sesión, fueron elementos clave para mantener la atención de los usuarios sin generar fatiga o desinterés. El acompañamiento clínico y la observación directa también permitieron identificar fortalezas en la interfaz y áreas de oportunidad, como la necesidad de ajustes en el sonido y en la retroalimentación por repetición, que fueron señaladas como mejoras sugeridas por los especialistas.

En conjunto, estos hallazgos respaldan la viabilidad del videojuego como una herramienta de apoyo terapéutica efectiva para niños con TEA, destacando su potencial para integrarse en procesos de intervención clínica centrados en el desarrollo del lenguaje y la mejora de la pronunciación.

Capítulo 5. Conclusiones

ExpresaTEA demostró ser una herramienta eficaz en la mejora de las habilidades lingüísticas de los niños con TEA. Durante el desarrollo del videojuego, se integraron técnicas como la repetición, el enfoque auditivo-verbal y las neuronas espejo mediante el uso de elementos de audio, video y animaciones, lo que permitió una inmersión completa en el aprendizaje. El diseño de la interacción facilitó que los niños asociaran sonidos, imágenes y gestos relacionados con las palabras y letras, mejorando su capacidad de pronunciación y comprensión del lenguaje. La opción de repetir las letras o sílabas, junto con la medición de la pronunciación al final de cada ejercicio utilizando técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural, ofreció a los profesionales y padres una herramienta eficaz para reforzar el aprendizaje, aumentando la confianza de los niños en el uso del lenguaje.

De acuerdo con los casos de estudio, el videojuego no solo captó el interés de los niños, sino que también favoreció su pronunciación. La mayoría de los niños comprendieron rápidamente la dinámica del juego, mientras que otros requirieron más tiempo para familiarizarse con las instrucciones y las señales visuales. En general, todos los participantes mostraron mejoras en su capacidad para seguir instrucciones y mejorar su pronunciación. Es importante destacar que la duración de las sesiones jugó un papel crucial en la efectividad del videojuego, ya que algunos niños mostraron dificultades para mantener la concentración durante sesiones largas.

ExpresaTEA también ofreció un sistema flexible de personalización, permitiendo que los niños seleccionaran qué elementos querían reforzar, como letras o sílabas específicas. Esta funcionalidad resultó ser especialmente útil en los subniveles de abecedario y sílabas, donde los niños mejoraron significativamente en las áreas que más necesitaban practicar. La capacidad del videojuego para adaptarse a los diferentes subniveles permitió una experiencia de aprendizaje gradual y progresiva, acorde con las necesidades individuales de cada niño.

En conclusión, ExpresaTEA demostró que es una herramienta de apoyo prometedora, con el potencial de mejorar las habilidades lingüísticas de los niños con TEA, proporcionando una experiencia de aprendizaje dinámica, interactiva y personalizada. Con la intervención temprana, se mejorará el desarrollo del lenguaje en niños con TEA desde una edad más temprana, optimizando la efectividad del videojuego y permitiendo un mayor impacto en el aprendizaje.

5.1 Recomendaciones

A pesar de los resultados positivos obtenidos con ExpresaTEA, se identificaron algunas áreas donde mejoras o ajustes optimizarían la experiencia de aprendizaje de los niños con TEA. A continuación, se presentan algunas recomendaciones para mejorar y expandir la herramienta:

Ampliación de los niveles del videojuego:

Debido a limitaciones de tiempo, solo se desarrolló el primer nivel del videojuego. Para mejorar y diversificar la experiencia de aprendizaje, se recomienda ampliar los niveles existentes y desarrollar niveles adicionales que no solo refuercen el lenguaje, sino que también aborden aspectos de vocabulario más amplio. Además, sería beneficioso incluir subniveles que trabajen con frases más complejas, lo cual ayudaría a mejorar la capacidad de pronunciación de los niños y fortalecería el movimiento bucal durante la interacción con el juego.

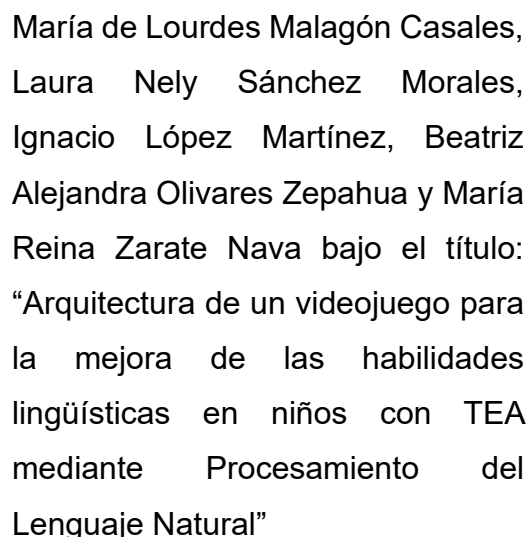
Incorporación de módulo de retroalimentación inmediata:

Se sugiere integrar un módulo de retroalimentación instantánea dentro del videojuego. Esta funcionalidad permitiría que tanto los profesionales como los padres obtuvieran resultados de manera inmediata sin necesidad de utilizar aplicaciones externas. La retroalimentación en tiempo real proporcionaría a los usuarios una evaluación instantánea de la pronunciación y el rendimiento del niño, mejorando así la eficacia del aprendizaje.

Implementación de recompensas y refuerzos positivos:

Incorporar un sistema de recompensas y refuerzos positivos dentro del juego contribuiría significativamente a aumentar la motivación y el compromiso de los niños. Las recompensas virtuales reconocen los logros y progresos, lo que incentivaría la repetición de comportamientos positivos. Además, un sistema de retroalimentación inmediata en combinación con recompensas aumentaría la participación activa de los niños y fomentaría su esfuerzo continuo.

Como parte del trabajo de tema de tesis, se realizó la escritura y publicación del siguiente artículo académico:



120

Referencias

- [1] World Health Organization, "Autism." Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- [2] Centers for Disease Control and Prevention, "Data and Statistics on Autism Spectrum Disorder." Accessed: Mar. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html>
- [3] C. Pérez-Jara and Y. Ruíz, "Evaluación neuropsicológica en niños con trastornos del neurodesarrollo," *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 33, no. 5, pp. 502–511, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.rmclc.2022.07.007.
- [4] American Psychiatric Association, *Guía de consulta de los Criterios Diagnósticos del DSM-5*, 5ta edición. Arlington: American Psychiatric Publishing, 2014. Accessed: Jan. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/Documents/dsm-v-guia-consulta-manual-diagnostico-estadistico-trastornos-mentales.pdf>
- [5] G. Celis Alcalá and M. G. Ochoa Madrigal, "Trastorno del espectro autista (TEA)," *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 65, no. 1, pp. 7–20, Jan. 2023, doi: 10.22201/fm.24484865e.2022.65.1.02.
- [6] J. Fuentes, A. Hervás, and P. Howlin, "ESCAP practice guidance for autism: a summary of evidence-based recommendations for diagnosis and treatment," *Eur. Child Adolesc. Psychiatry*, vol. 30, no. 6, pp. 961–984, Jun. 2021, doi: 10.1007/s00787-020-01587-4.
- [7] A. Vericat and A. B. Orden, "El desarrollo psicomotor y sus alteraciones: entre lo normal y lo patológico," *Cien. Saude Colet.*, vol. 18, no. 10, pp. 2977–2984, Oct. 2013, doi: 10.1590/S1413-81232013001000022.

- [8] M. del C. Salazar Avalos, "Desarrollo del componente pragmático del lenguaje en niños y niñas del ciclo II de Educación Inicial," PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE EDUCACIÓN, Perú, 2018. Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/16389>
- [9] R. Gutiérrez-Fresneda, "Interacción de los componentes del lenguaje oral en el proceso de aprendizaje de la lengua escrita," May 2014, Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/39868>
- [10] R. Gutierrez-Fresneda and A. Díez Mediavilla, "Componentes del lenguaje oral y desarrollo evolutivo de la escritura en las primeras edades," *Alabe Revista de Investigación sobre Lectura y Escritura*, vol. 8, no. 16, pp. 1–15, Jun. 2017, doi: 10.15645/Alabe2017.16.3.
- [11] V. F. Falconi Matute and M. C. Ortega Reinoso, "Sistema de recursos didácticos para la estimulación del componente fonético fonológico en un niño de 6 años," Tesis de Licenciado/a , Universidad Nacional de Educación, Azogues, Ecuador, 2022. Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.unae.edu.ec/handle/56000/2838>
- [12] N. Moreno de Flagge, "Trastornos del lenguaje. Diagnóstico y tratamiento," *Rev. Neurol.*, vol. 57, no. S01, p. 85, 2013, doi: 10.33588/rn.57S01.2013248.
- [13] J. Artigas Pallarés, "El lenguaje en los trastornos autistas," *Rev. Neurol.*, vol. 28, no. S2, p. 118, 1999, doi: 10.33588/rn.28S2.99046.
- [14] F. Mulas, G. Ros-Cervera, M. G. Millá, M. C. Etchepareborda, L. Abad, and M. Téllez De Meneses, "Modelos de intervención en niños con autismo," *Rev. Neurol.*, vol. 50, no. SUPPL. 3, 2010, doi: 10.33588/rn.50s03.2009767.
- [15] L. Galindo Bejarano, "Las prácticas pedagógicas con enfoque diferencial en el Sena y la comunicación aumentativa y alternativa," *REDIIS / Revista de Investigación e Innovación en Salud*, vol. 3, pp. 90–99, Jul. 2020, doi: 10.23850/rediis.v3i3.2979.

- [16] M. H. Carvajal-García and J. R. Triviño-Sabando, "Sistema de comunicación por intercambio de imágenes (PECS): Alternativa en la comunicación de niños con autismo," *Polo del Conocimiento*, vol. 6, no. 5, pp. 87–99, 2021, doi: 10.23857/pc.v6i5.2633.
- [17] D. H. Román Ortega and M. E. Tentori Espinosa, "Superficies interactivas para apoyar el juego no-estructurado de niños con autismo," Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California, 2015. Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/395>
- [18] Y. Kang, Z. Cai, C.-W. Tan, Q. Huang, and H. Liu, "Natural language processing (NLP) in management research: A literature review," *Journal of Management Analytics*, vol. 7, no. 2, pp. 139–172, Apr. 2020, doi: 10.1080/23270012.2020.1756939.
- [19] J. G. Enriquez and S. I. Casas, "Usabilidad en aplicaciones móviles," *Informes Científicos - Técnicos UNPA*, vol. 5, no. 2, pp. 25–47, Jun. 2014, doi: 10.22305/ict-unpa.v5i2.71.
- [20] J. L. Gonzalez, M. J. Cabrera, and F. L. Gutierrez, "Diseño de videojuegos aplicados a la Educación Especial," *Actas del VIII Congreso Internacional de Interacción Persona Ordenador (INTERACCIÓN 2007)*, pp. 35–34, 2007.
- [21] R. Casañ-Pitarch and J. Haba Osa, "Gamificación de la Asignatura Inglés B2 para Ingeniería Industrial con un Videojuego Serio: The Engineer," 2022, Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/128617>
- [22] E. L. Cedeño Romero, J. A. Murillo Moreira, E. L. Cedeño Romero, and J. A. Murillo Moreira, "Entornos virtuales de aprendizaje y su rol innovador en el proceso de enseñanza," *ReHuSo: Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, vol. 4, no. 1, pp. 119–127, Jan. 2020, doi: 10.33936/rehuso.v4i1.2156.

- [23] F. Chen, L. Wang, G. Peng, N. Yan, and X. Pan, "Development and evaluation of a 3-D virtual pronunciation tutor for children with autism spectrum disorders," *PLoS One*, vol. 14, no. 1, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0210858.
- [24] E. J. Weisblatt *et al.*, "A Tablet Computer-Assisted Motor and Language Skills Training Program to Promote Communication Development in Children with Autism: Development and Pilot Study," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 35, no. 8, pp. 643–665, May 2019, doi: 10.1080/10447318.2018.1550176.
- [25] H. Mohammad and F. Abu-Amara, "A mobile social and communication tool for autism," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 14, no. 19, pp. 159–167, 2019, doi: 10.3991/ijet.v14i19.10887.
- [26] G. Terlouw, J. T. B. van't Veer, J. T. Prins, D. A. Kuipers, and J. P. E. N. Pierie, "Design of a digital comic creator (it's me) to facilitate social skills training for children with autism spectrum disorder: Design research approach," *JMIR Ment. Health*, vol. 7, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.2196/17260.
- [27] K. Khowaja, D. Al-Thani, A. O. Hassan, A. Shah, and S. S. Salim, "Mobile augmented reality app for children with autism spectrum disorder (asd) to learn vocabulary (marvoc): From the requirement gathering to its initial evaluation," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, Springer, 2020, pp. 424–437. doi: 10.1007/978-3-030-50164-8_31.
- [28] G. Terlouw, D. Kuipers, J. Van't Veer, J. T. Prins, and J. P. E. N. Pierie, "The development of an escape room–based serious game to trigger social interaction and communication between high-functioning children with autism and their peers: Iterative design approach," *JMIR Serious Games*, vol. 9, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.2196/19765.
- [29] L. Zhang *et al.*, "Design of an Intelligent Agent to Measure Collaboration and Verbal-Communication Skills of Children With Autism Spectrum Disorder in

- Collaborative Puzzle Games,” *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 14, no. 3, pp. 338–352, Jun. 2021, doi: 10.1109/TLT.2020.3029223.
- [30] J. Meng, X. Wu, and L. Liu, “An Avatar-Based Personal Pronouns Intervention System for Children with Autism Spectrum Disorder,” in *2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology & Education (TALE)*, IEEE, Dec. 2021, pp. 1118–1123. doi: 10.1109/TALE52509.2021.9678755.
- [31] J. H. Lee *et al.*, “Development and Application of a Metaverse-Based Social Skills Training Program for Children With Autism Spectrum Disorder to Improve Social Interaction: Protocol for a Randomized Controlled Trial,” *JMIR Res. Protoc.*, vol. 11, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.2196/35960.
- [32] F. Ke, J. Moon, and Z. Sokolikj, “Virtual Reality–Based Social Skills Training for Children With Autism Spectrum Disorder,” *Journal of Special Education Technology*, vol. 37, no. 1, pp. 49–62, Mar. 2022, doi: 10.1177/0162643420945603.
- [33] J. Park, G. Bae, J. Park, S. K. Park, Y. S. Kim, and S. Lee, “AEDLE: Designing Drama Therapy Interface for Improving Pragmatic Language Skills of Children with Autism Spectrum Disorder Using AR,” in *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, Apr. 2023, pp. 1–7. doi: 10.1145/3544549.3585809.
- [34] T. Manju, S. Padmavathi, and D. Tamilselvi, “A rehabilitation therapy for autism spectrum disorder using virtual reality,” in *Communications in Computer and Information Science*, Springer Verlag, 2018, pp. 328–336. doi: 10.1007/978-981-10-7635-0_26.
- [35] G. Lorenzo, M. Gómez-Puerta, G. Arráez-Vera, and A. Lorenzo-Lledó, “Preliminary study of augmented reality as an instrument for improvement of social skills in children with autism spectrum disorder,” *Educ. Inf. Technol. (Dordr.)*, vol. 24, no. 1, pp. 181–204, Jan. 2019, doi: 10.1007/s10639-018-9768-5.

- [36] L. Schmid, L. DeMoss, P. Scarbrough, C. Ripple, Y. White, and G. Dawson, "An Investigation of a Classroom-Based Specialized Music Therapy Model for Children With Autism Spectrum Disorder: Voices Together Using the VOICSS™ Method," *Focus Autism Other Dev. Disabl.*, vol. 35, no. 3, pp. 176–185, Sep. 2020, doi: 10.1177/1088357620902505.
- [37] E.-I. ; A. Febriantini, W. A. Fitriati, and R. Oktaviani, "An Analysis of Verbal and Non-Verbal Communication in Autistic Children," *Journal of Research on Language Education (JoRLE)*, vol. 2, no. 1, pp. 53–56, 2021, doi: 10.1111/j.1460.
- [38] B. Karami, R. Koushki, F. Arabgol, M. Rahmani, and A. H. Vahabie, "Effectiveness of Virtual/Augmented Reality–Based Therapeutic Interventions on Individuals With Autism Spectrum Disorder: A Comprehensive Meta-Analysis," Jun. 23, 2021, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fpsy.2021.665326.
- [39] H. Mayer-Benarous, X. Benarous, F. Vonthron, and D. Cohen, "Music Therapy for Children With Autistic Spectrum Disorder and/or Other Neurodevelopmental Disorders: A Systematic Review," Apr. 09, 2021, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fpsy.2021.643234.
- [40] M. Zhang, H. Ding, M. Naumceska, and Y. Zhang, "Virtual Reality Technology as an Educational and Intervention Tool for Children with Autism Spectrum Disorder: Current Perspectives and Future Directions," May 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/bs12050138.
- [41] M. A. Mosher, A. C. Carreon, S. L. Craig, and L. C. Ruhter, "Immersive Technology to Teach Social Skills to Students with Autism Spectrum Disorder: a Literature Review," Sep. 01, 2022, *Springer*. doi: 10.1007/s40489-021-00259-6.
- [42] D. M. Nekar, H. Kang, H. Alao, and J. Yu, "Feasibility of Using Multiplayer Game-Based Dual-Task Training with Augmented Reality and Personal Health Record on Social Skills and Cognitive Function in Children with Autism," *Children*, vol. 9, no. 9, p. 1398, Sep. 2022, doi: 10.3390/children9091398.

- [43] X. Wang and W. Xing, "Supporting Youth With Autism Learning Social Competence: A Comparison of Game-and Nongame-Based Activities in 3D Virtual World," *Journal of Educational Computing Research*, vol. 60, no. 1, pp. 74–103, Mar. 2022, doi: 10.1177/07356331211022003.
- [44] A. Dechsling *et al.*, "Virtual and Augmented Reality in Social Skills Interventions for Individuals with Autism Spectrum Disorder: A Scoping Review," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 52, no. 11, pp. 4692–4707, Nov. 2022, doi: 10.1007/s10803-021-05338-5.