Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico de Orizaba

División de Estudios de Posgrado e Investigación

Maestría en Sistemas Computacionales

TESIS

TITULO: Desarrollo de una aplicación para Asistente Virtual, utilizando Modelos de Lenguaje de Gran Tamaño para la evaluación de la comprensión lectora en jóvenes con autismo

PRESENTADO POR:

I.S.C Pedro Ángel Velázquez García M16011246

PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestro en Sistemas Computacionales

DIRECTOR DE TESIS:

MRT. Ignacio López Martínez

CODIRECTOR DE TESIS:

Dra. Maritza Bustos López

Orizaba, Ver. Junio 2025

Índice general

Índice de tablas iv
Índice de figuras v
Índice de scripts vii
Resumen viii
Abstract ix
Introducción 1
Capítulo 1 Antecedentes 3
1.1 Marco teórico 3
1.1.1 Trastorno del neurodesarrollo 3
1.1.2 TEA 4
1.1.3 Educación inclusiva 4
1.1.4 Comprensión lectora 5
1.1.5 Inteligencia artificial 5
1.1.6 Aprendizaje Automático 6
1.1.7 Aprendizaje profundo 7
1.1.8 Procesamiento del lenguaje natural 8
1.1.9 Modelos de lenguaje de gran tamaño 8
1.1.10 Asistente virtual 9
1.1.11 JavaScript 9
1.1.12 Alexa Skills kit 10
1.1.13 OpenAI API 10
1.1.14 MongoDB 10
1.1.15 Scrum 11
1.2 Planteamiento del problema 11
1.3 Objetivo general y específicos 13
1.3.1 Objetivo general 13
1.3.2 Objetivos específicos 13
1.4 Justificación 14
Capítulo 2 Estado de la práctica 15
2.1 Trabajos relacionados 15

2.2 Análisis comparativo 23
2.3 Propuesta de solución 26
Capítulo 3 Aplicación de la metodología 28
3.1 Descripción de la solución 28
3.1.1 Sprint 1 Determinación de requerimientos 31
3.1.1.1 Pruebas de evaluación 31
3.1.1.2 Diagrama de casos de uso 32
3.1.2 Sprint 2 Desarrollo conceptual de la aplicación 33
3.1.2.1 Diagrama de actividades 33
3.1.2.2 Diagrama de secuencia 34
3.1.2.3 Arquitectura de la aplicación 37
3.1.2.4 Base de datos 38
3.1.2.5 Diseño de interfaces 40
3.1.2.6 Implementación 47
3.1.3 Sprint 3 Generación de textos 56
3.1.3.1 Generación de textos y preguntas 56
3.1.3.2 Evaluación de la comprensión lectora 58
3.1.4 Sprint 4 Desarrollo de la aplicación 60
3.1.4.1 Registro de estudiante 61
3.1.4.2 Búsqueda de perfil estudiante 63
3.1.4.3 Generación de contenido de evaluación 65
Capítulo 4 Resultados 69
4.1 Sprint 5 Aplicación de caso de estudio 69
4.1.1 Caso de estudio 69
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones 84
5.1 Conclusiones 84
5.2 Recomendaciones 85
Bibliografía 86

Índice de tablas

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados. 23
Tabla 3.1 Descripción de tareas o historias de usuario. 28
Tabla 3.2 Product backlog. 30
Tabla 3.3 Primera iteración. 31
Tabla 3.4 Segunda iteración. 33
Tabla 3.5 Descripción de las colecciones de la base de datos 39
Tabla 3.6 Tercera iteración 56
Tabla 3.7 Cuarta iteración 61
Tabla 4.1 Quinta iteración 69
Tabla 4.2 Encuesta especialista 72

Índice de figuras

Figura 1.1 Relación entre inteligencia artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo. 8
Figura 3.1 Diagrama de casos de uso de la aplicación. 32
Figura 3.2 Diagrama de actividades de la aplicación. 34
Figura 3.3 Diagrama de secuencia de la aplicación (primera parte). 35
Figura 3.4 Diagrama de secuencia de la aplicación (segunda parte). 36
Figura 3.5 Arquitectura de la aplicación. 38
Figura 3.6 Esquema base de datos MongoDB 39
Figura 3.7 Mockup pantalla de bienvenida. 40
Figura 3.8 Mockup pantalla lista de estudiantes 41
Figura 3.9 Mockup pantalla formulario registro 42
Figura 3.10 Mockup pantalla Perfil alumno. 42
Figura 3.11 Mockup pantalla selección de alumno 43
Figura 3.12 Mockup pantalla selección tipo de evaluación. 44
Figura 3.13 Mockup pantalla selección tema 44
Figura 3.14 Mockup pantalla texto de evaluación. 45
Figura 3.15 Mockup pantalla pregunta de evaluación. 46
Figura 3.16 Mockup pantalla resultados 47
Figura 3.17 Pantalla de bienvenida 48
Figura 3.18 Interfaz Lista de alumnos 49
Figura 3.19 Interfaz Registrar/Actualizar alumno 49
Figura 3.20 Interfaz Perfil alumno 50
Figura 3.21 Interfaz Detalles de sesiones (parte 1) 51
Figura 3.22 Interfaz Detalles de sesiones (parte 2) 51
Figura 3.23 Interfaz Selección de alumno 52
Figura 3.24 Interfaz Selección tipo de evaluación 53
Figura 3.25 Interfaz Selección tema de lectura 53
Figura 3.26 Interfaz Texto de evaluación 54

Figura 3.27 Interfaz Pregunta de evaluación 55
Figura 3.28 Interfaz Resultados de la evaluación 56
Figura 3.29 Texto generado por el modelo GPT 4o-mini 58
Figura 4.1 Resultados facilidad de uso 70
Figura 4.2 Resultados calidad de los textos 71
Figura 4.3 Resultados calidad de las preguntas 71
Figura 4.4 Llenado de formulario de registro de alumno 74
Figura 4.5 Perfil usuario (MongoDB) 74
Figura 4.6 Lista de alumnos 75
Figura 4.7 Texto de evaluación básica 76
Figura 4.8 Primera pregunta evaluación básica 77
Figura 4.9 Segunda pregunta evaluación básica 77
Figura 4.10 Reporte sesión (MongoDB) 79
Figura 4.11 Retroalimentación 80
Figura 4.12 Texto evaluación intermedia 81
Figura 4.13 Texto de evaluación avanzada 81
Figura 4.14 Detalle de la sesión (Primera parte) 82
Figura 4.15 Detalle de la sesión (Segunda parte) 82
Figura 4.16 Perfil de estudiante 83

Índice de scripts

Script 3.1 Código fuente solicitud API OpenAI 57
Script 3.2 Código fuente addStuIntent..... 61
Script 3.3 Código fuente registro de estudiante..... 62
Script 3.4 Código fuente profileIntent 63
Script 3.5 Código fuente perfil estudiante..... 64
Script 3.6 Código fuente intents para realizar evaluación 65
Script 3.7 Código presentación de texto..... 66
Script 3.8 Código intents preguntas de evaluación 68

Resumen

El trastorno del espectro autista (TEA) es un conjunto de alteraciones relacionadas con el neurodesarrollo. Cada persona con TEA, generalmente muestra estilos de interacción y percepción diferentes, lo que hace que su desempeño académico se vea afectado. La comprensión lectora es uno de los principales desafíos que presentan los individuos con TEA y muchas veces, en los entornos educativos, no se implementan estrategias o herramientas adecuadas para solventar este problema.

Esta tesis presenta el desarrollo de una aplicación para un asistente virtual, impulsada por un módulo de inteligencia artificial de Grandes Modelos de Lenguaje (LLM), con el objetivo de brindar un apoyo que se adapte a las preferencias y habilidades de los jóvenes con TEA, en la evaluación de la comprensión lectora. Dicha aplicación presenta, en los dispositivos de asistencia virtual, contenido de evaluación dinámico adaptado a los temas interés del joven con TEA, esto mediante la utilización de las capacidades de un LLM para adaptar lecturas y generar preguntas de evaluación basadas en el texto generado. El LLM evalúa las respuestas dadas por el alumno y con los resultados obtenidos de la estimación se proporciona una retroalimentación inmediata para mejorar el proceso de lectura.

La aplicación fue desarrollada utilizando las herramientas proporcionadas por el marco de trabajo Alexa Skills Kit (ASK) para el asistente virtual Amazon Alexa, integrando la API de OpenAI para la generación dinámica de textos y preguntas, y MongoDB como sistema de almacenamiento. Los resultados obtenidos en las pruebas de la aplicación demostraron que el LLM logró adaptar el contenido de evaluación según el perfil de cada usuario, ofreciendo retroalimentación inmediata y personalizada.

Se aborda el desarrollo de proyecto por su relevancia en el campo de la educación inclusiva y la inteligencia artificial. La aplicación brinda un respaldo en la evaluación de la comprensión lectora de jóvenes con TEA, además de fomentar la igualdad de oportunidades en el ámbito académico.

Abstract

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a set of neurodevelopmental disorders. Each person with ASD generally shows different styles of interaction and perception, which affects their academic performance. Reading comprehension is one of the main challenges presented by individuals with ASD and many times, in educational environments, adequate strategies or tools are not implemented to solve this problem.

This thesis presents the development of an application for a virtual assistant, powered by a Large Language Model (LLM) artificial intelligence module, with the aim of providing support that adapts to the preferences and abilities of young people with ASD in the assessment of reading comprehension. This application presents dynamic assessment content on virtual assistance devices, adapted to the topics of interest of the young person with ASD, using the capabilities of an LLM to adapt readings and generate assessment questions based on the generated text. The LLM evaluates the answers given by the student and, based on the results obtained from the assessment, provides immediate feedback to improve the reading process.

The application was developed using tools provided by the Alexa Skills Kit (ASK) framework for the Amazon Alexa virtual assistant, integrating the OpenAI API for dynamic text and question generation, and MongoDB as the storage system. The results obtained in the application tests demonstrated that the LLM was able to adapt the assessment content to each user's profile, offering immediate and personalized feedback.

The project development is addressed due to its relevance in the field of inclusive education and artificial intelligence. The application provides support in assessing the reading comprehension of young people with ASD, as well as promoting equal opportunities in the academic field.

Introducción

La comprensión lectora es una de las habilidades fundamentales que se aprende en la formación académica, sin embargo, las personas con trastorno del espectro autista (TEA) enfrentan dificultades cognitivas y estilos de percepción distintos que afectan su desempeño en esta área. En muchos casos, las estrategias educativas convencionales no logran adaptarse a las necesidades individuales de estos estudiantes, limitando su desarrollo académico.

Los asistentes virtuales han demostrado ser una herramienta valiosa en el apoyo educativo y terapéutico de personas con autismo, al facilitar la comunicación, la comprensión de instrucciones y la adquisición de habilidades sociales. Por otro lado, la integración de la inteligencia artificial en entornos educativos ha tenido un gran impacto en la manera de educar y llevar un seguimiento de las personas con Trastorno del Espectro Autista. Gracias a distintos algoritmos de aprendizaje automático y procesamiento del lenguaje natural, los asistentes virtuales pueden adaptarse a un estilo de comunicación comprensible para cada individuo, ofreciendo respuestas personalizadas y adecuadas para este grupo demográfico.

Con el propósito de contribuir a la educación inclusiva, esta tesis propone el desarrollo de una aplicación para asistentes virtuales, basada en Modelos de Lenguaje de Gran Tamaño (LLM), que permita evaluar y fortalecer la comprensión lectora en jóvenes con TEA. La aplicación fue implementada utilizando Alexa Skills Kit (ASK) como marco de trabajo, OpenAI API para la generación dinámica de textos y preguntas, y MongoDB como sistema de almacenamiento de datos.

La estructura del documento consta de cinco capítulos, en el primer capítulo se describen los conceptos del marco teórico, el planteamiento del problema, el objetivo general del proyecto, objetivos específicos y la justificación; en el segundo capítulo se presenta el estado de la práctica para realizar un análisis comparativo; el tercer capítulo presenta la aplicación de la metodología seleccionada. En el capítulo cuatro, se muestran los resultados obtenidos en los casos de estudio; después en el quinto

capítulo, están las conclusiones y recomendaciones. Finalmente se encuentran los anexos y la bibliografía utilizada en este escrito.

Capítulo 1 Antecedentes

En este capítulo se describirán los conceptos más importantes para el desarrollo del proyecto, mencionando sus características más relevantes. También el planteamiento del problema, objetivo general, objetivos específicos y la justificación del presente trabajo.

1.1 Marco teórico

A continuación, se definen los términos que forman la base del tema de investigación.

1.1.1 Trastorno del neurodesarrollo

El trastorno del neurodesarrollo es una alteración que comienza en cualquier etapa del desarrollo, que va desde la gestación hasta la adolescencia de un individuo, pero a menudo se presenta en edades tempranas de la niñez. Se caracteriza por limitar el funcionamiento personal, social, académico u ocupacional. El rango de afectación que tiene sobre una persona abarca desde limitaciones específicas de aprendizaje o el control de habilidades cognitivas hasta una nula habilidad social o inteligencia. Frecuentemente, existen casos donde una persona presenta más de un trastorno del neurodesarrollo a la vez. Además, en ocasiones un trastorno del neurodesarrollo, presenta más síntomas de los propios del déficit de desarrollo, por ejemplo, el trastorno del espectro autista es diagnosticado cuando las dificultades de interacción social se presentan acompañadas de comportamientos repetitivos, intereses restringidos o la monotonía [1].

Dentro de la clasificación de trastorno del neurodesarrollo se incluyen los siguientes trastornos:

- Trastorno del desarrollo intelectual
- Trastornos de la comunicación
- Trastorno del espectro autista
- Trastorno por déficit de atención/hiperactividad
- Trastornos motores del neurodesarrollo

- Trastorno específico del aprendizaje

1.1.2 TEA

El Trastorno del Espectro Autista (TEA) es un conjunto de alteraciones relacionadas con el neurodesarrollo, que inician en la infancia y perduran durante toda la vida de la persona con autismo. Los individuos con TEA, generalmente, presentan dificultades para interactuar con su entorno, alteraciones en la comunicación, comportamientos repetitivos y poca tolerancia a los cambios [2].

El TEA se clasifica como espectro debido a que las características y dificultades son diferentes en cada persona. Debido a esto, las causas por las que se presenta este trastorno y cómo los síntomas evolucionan a lo largo de la vida del paciente con autismo, van a variar según el sexo, edad o alguna comorbilidad que se presente [3].

1.1.3 Educación inclusiva

Al tratar de definir educación inclusiva, es necesario separar los dos términos que la componen, para comprender mejor su significado. Por un lado, educación, es el proceso de desarrollar el conocimiento personal a través de la adopción y comprensión de normas culturales; implica transmitir el conocimiento y forma parte importante en el proceso de aprendizaje. Por su parte el concepto “inclusión”, desde la perspectiva del ámbito educativo, se trata de garantizar el derecho a la educación para todas las personas, mediante la igualdad de oportunidades, eliminado cualquier impedimento que limite el aprendizaje y lograr la participación de todos en el contexto físico y social.

Con base en lo anterior, delimitando el alcance de cada término, se resume a la educación inclusiva como las adaptaciones en la educación general y de las instituciones educativas para que sean capaces de dar soluciones equitativas y de calidad a las distintas características y dificultades individuales de los estudiantes, poniendo especial atención en los distintos grupos que comúnmente son excluidos del sistema educativo general [4].

1.1.4 Comprensión lectora

Comprender una lectura implica que mientras el lector lee y va interpretando el significado de las palabras y oraciones del texto, en su memoria crea un modelo de lo que está siendo relatado. En este modelo, los conceptos de las palabras “ocupan” un lugar y establecen relaciones espaciales, temporales y causales.

Es importante mencionar que por lo regular no hay una comprensión absoluta, todo varía según la implicación del lector. Se tiene la comprensión superficial, donde la persona solo extrae las ideas del texto, es decir, que entiende la lectura ya que organizó las ideas principales que contenía. Por otro lado, existe la comprensión profunda, donde además de extraer las ideas, el lector construye un modelo sobre lo expuesto en el texto. Por último, la comprensión crítica, donde el individuo le toma importancia a la veracidad de la fuente que elabora el documento [2].

1.1.5 Inteligencia artificial

Desde 1956 cuando John McCarthy utilizó por primera vez el término Inteligencia Artificial (IA), considerándola como: “Hacer que las máquinas utilicen el lenguaje, formen abstracciones y conceptos, resuelvan problemas reservados para los humanos y mejoren a sí mismas” [5]; no existe una única definición, ya que cada autor le da una dimensión distinta.

La IA tiene mucha historia de fondo, además, con el pasar de los años, está en constante cambio y crecimiento. Su enfoque es desarrollar agentes inteligentes, dispositivos que analizan su entorno y con base en el al análisis toman decisiones que maximizan sus posibilidades de éxito. Al hablar de IA, comúnmente se asocia a supercomputadoras que realizan muchas tareas de procesamiento, y haciendo uso de sensores y otros componentes, tienen capacidades cognitivas que le permiten interactuar con los humanos de la misma manera que lo haría cualquier otra persona. Por lo tanto, IA implica a cualquier programa informático que simule el realizar tareas que normalmente ejecutaría un humano y que tenga la capacidad de aprender y pensar. Como consecuencia de esto, la IA destaca en distintas tareas específicas de

muchos campos, pero también permite que muchas personas obtengan mejores resultados al realizar sus tareas cotidianas [6].

Simplificando, la IA se describe como un área de estudio en informática cuyas actividades están dirigidas a resolver diferentes problemas cognitivos comúnmente asociados con la inteligencia humana, como el aprendizaje, la resolución de problemas, toma de decisiones, traducción entre idiomas y el reconocimiento de patrones [7].

1.1.6 Aprendizaje Automático

Aprendizaje automático (en inglés, *machine learning*) es una de las principales ramas de la inteligencia artificial. Se define como el campo de estudio que permite a las computadoras la capacidad de aprender sin ser programadas explícitamente para ello. Un ejemplo de ello son las sugerencias o predicciones en un contexto específico. Con el aprendizaje automático, se pretende que muchos dispositivos ofrezcan una experiencia personalizada gracias al conocimiento obtenido a partir de las formas en que se emplea. Esto se logra ya que el aprendizaje automático implementa algoritmos para aprender de patrones de datos y emplear este conocimiento para la toma de decisiones [8].

El aprendizaje automático cuenta con en tres categorías principales: el aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y el aprendizaje por refuerzo. El aprendizaje supervisado se encarga de desarrollar una función que permita asignar una entrada a una salida, basándose en ejemplos de entrada-salida previamente etiquetados. Los algoritmos de aprendizaje supervisado requieren de una ayuda externa. Los datos utilizados se dividen en conjuntos de entrenamiento y prueba, donde el conjunto de datos de entrenamiento tiene una variable de salida que se predice o clasifica.

Por su parte, el aprendizaje no supervisado, a diferencia de la categoría anterior, no necesitan a un supervisor. Los algoritmos tienen que descubrir y presentar la estructura de los datos por sí mismos, ya que extraen las características claves de los datos. Cuando se necesita clasificar nuevos datos, se utilizan las características aprendidas

previamente para catalogar la nueva información. Este tipo de aprendizaje se utiliza para agrupación y reducción de características.

Finalmente, el aprendizaje por refuerzo, se enfoca en cómo los algoritmos aprenden a tomar decisiones en un entorno, con el fin de lograr el valor máximo de una noción de recompensa acumulativa [9].

1.1.7 Aprendizaje profundo

El aprendizaje profundo (en inglés, *deep learning*), es un subcampo del aprendizaje automático. De forma general, es una red neuronal con gran número de capas y parámetros. En su mayoría, los métodos de aprendizaje profundo utilizan una arquitectura de redes neuronales, por lo que también reciben el nombre de redes neuronales profundas.

En esencia, el aprendizaje profundo implementa múltiples capas de unidades de procesamiento no lineales para extraer y transformar características. Las capas inferiores, cercanas a la entrada de datos, aprenden características simples, mientras que las capas superiores lo hacen, pero con propiedades más complejas basadas en las características extraídas por las capas inferiores. Esta representación de las características permite una estructura jerárquica fuerte. Por lo que, este tipo de aprendizaje es adecuado para analizar y extraer información importante de grandes volúmenes de datos como de datos que provienen de distintas fuentes [10].

En la figura 1.1, se representa la relación entre inteligencia artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo.

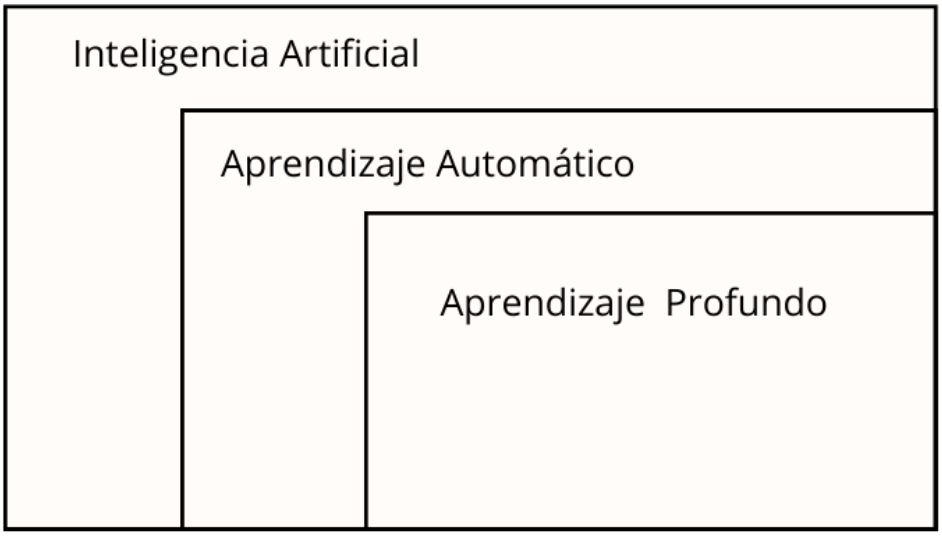

Figura 1.1 Relación entre inteligencia artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo.

1.1.8 Procesamiento del lenguaje natural

El Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN), es el conjunto de métodos que permiten a las computadoras comprender el lenguaje humano [11]. Pero de forma concreta el PLN, es una subdisciplina de la inteligencia artificial y una rama de la lingüística computacional, que emplea distintas técnicas que hacen que las computadoras puedan comprender y generar lenguaje humano, logrando la interacción humano-máquina a través de algoritmos definidos en un lenguaje de programación específico [12].

1.1.9 Modelos de lenguaje de gran tamaño

Los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM por las siglas en inglés de *Large Language Model*), son modelos computacionales basados en aprendizaje profundo, que poseen la capacidad de comprender y generar el lenguaje humano, utilizan una cantidad enorme de parámetros y poseen grandes capacidades de aprendizaje. Se componen principalmente de un módulo de autoatención (*Transformer*) que funciona como mecanismo de construcción para el modelo del lenguaje. La característica principal de los LLM, es la capacidad de aprender según un contexto, es decir, el modelo es entrenado para generar un texto basado en un ámbito determinado. Como

consecuencia de esto, los LLM generan respuestas más coherentes y relacionadas al contexto en el que se trabaja, por esta razón, son adecuados para desarrollar aplicaciones interactivas y conversacionales [13].

1.1.10 Asistente virtual

Los Asistentes Virtuales (AV) son servicios basados en la red, diseñados para actuar como interfaz humano-computadora, proporcionan información destacada sobre algún tema específico que sea del interés del usuario, además, se emplean para realizar una función determinada. Distintas empresas como Google®, Microsoft® o Apple®, implementaron asistentes virtuales en dispositivos móviles, los cuales brindaban soporte a los usuarios en distintas actividades como buscar algún lugar o ubicación, gestionar sus teléfonos, entre otras.

Entre las principales características de los AV, están la capacidad de procesar lenguaje humano y el poder dar una respuesta en un formato enriquecido. Debido a esto, los usuarios realizan preguntas y/o consultas a los AV en lenguaje natural, lo que hace que los AV sean adecuados para personas con discapacidades. Los AV usan sistemas de voz a texto y/o texto a voz, implementando funciones de minería de textos y procesamiento del lenguaje natural, logrando de esta manera ofrecer una mejor experiencia al usuario [14].

1.1.11 JavaScript

JavaScript es un lenguaje de programación ligero, interpretado y compilado, que principalmente es utilizado como lenguaje de secuencia de comandos (*scripting*) para páginas Web, pero es ampliamente utilizado en otros entornos de ejecución como Node.js, Apache CouchDB, entre otros. Es un lenguaje basado en prototipos, dinámico y admite programación orientada a objetos, a pesar de no ser totalmente orientado para trabajar con objetos; además, permite el manejo de funciones de primera clase (funciones que pueden tratarse como variables).

Es un lenguaje fácil de aprender ya que ofrece una sintaxis sencilla, donde las características básicas son similares a Java y C++, lo que permite la reducción de

conceptos nuevos necesarios para su aprendizaje. Haciendo uso de sus capacidades dinámicas, JavaScript no define tipos de manera explícita, sino que los asigna según el valor dado a una variable, también permite la construcción de objetos en tiempo de ejecución, el uso de listas de parámetros variables, variables de función, la creación dinámica de scripts, entre otras funcionalidades [15].

1.1.12 Alexa Skills kit

Alexa Skills Kit es un marco de trabajo que proporciona las herramientas para el desarrollo del software para dispositivos Amazon Alexa, conocido como *skill*. ASK dispone de distintas bibliotecas para el manejo de APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones), desarrollo de software, herramientas para realizar pruebas a la *skill*, entre otras, que permiten crear y gestionar la aplicación a lo largo de su ciclo de vida. ASK cuenta con kits de desarrollo de software con soporte para Node.js, Java y Python, aunque el desarrollo con otros lenguajes de programación también es permitido, siempre que puedan aceptar solicitudes y enviar respuestas a los servicios de Alexa [16].

1.1.13 OpenAI API

La API de OpenAI ofrece una interfaz sencilla para implementar en distintos proyectos de software una capa de inteligencia artificial impulsada por los distintos modelos de OpenAI. La forma de trabajar de la API es sencilla, ya que permite tomar un texto como entrada y utilizar un modelo como GPT (*Generative Pre-trained Transformer*, o Transformador Generativo Preentrenado) para lograr una salida adecuada para la solicitud. La API es posible aplicarla para cualquier tarea, gracias a los distintos modelos con funcionalidades específicas que maneja, además es factible integrar modelos personalizados. La API ofrece las funcionalidades de creación de texto, chatbot, generación de imágenes, resumir texto, entre otras [17].

1.1.14 MongoDB

MongoDB es una base de datos NoSQL de documentos de gran escalabilidad y flexibilidad, que ofrece un modelo de consultas e indexación avanzado. La información se almacena en documentos similares a JSON (*JavaScript Object Notation*), que

permite guardar distintos tipos de datos con gran facilidad. En su núcleo, MongoDB es una base datos distribuida que ofrece una alta disponibilidad, escalabilidad horizontal y es de fácil uso. MongoDB cuenta con *drivers* para más de diez lenguajes de programación, y al ser de código abierto, la comunidad ha desarrollado para más lenguajes. Cuenta con herramientas para la automatización, monitorización y respaldo [18].

1.1.15 Scrum

Scrum es la metodología más popular de desarrollo ágil. En comparación con otras metodologías, nos solo es posible aplicar Scrum en el desarrollo de software, también funciona en la gestión general de proyectos. El proceso de desarrollo consta de tres fases, la primera es la planeación del *sprint*, donde se describen los objetivos a alcanzar del proyecto y también se diseña la arquitectura del software. La siguiente fase son los *sprints,* que consta de una serie de ciclos de trabajo, donde el equipo de desarrollo se encarga de realizar distintas funcionalidades del sistema; una vez finalizado el *sprint*, se entregan los avances realizados a los participantes correspondientes de su evaluación. Finalmente se lleva a cabo la fase de revisión del *sprint*, donde el quipo responsable de esta actividad evalúa la correcta funcionalidad del trabajo realizado durante el *sprint,* con esta comprobación se identifican áreas de mejora y se definen las actividades para un siguiente ciclo de trabajo. Estas fases se iteran hasta terminar de programar el software [19].

1.2 Planteamiento del problema

El TEA es una condición relaciona con el neurodesarrollo. Las personas que presentan este trastorno generalmente tienen dificultades para la interacción social, la comunicación y el lenguaje. El TEA se cataloga como espectro, ya que las capacidades y necesidades de las personas con autismo difieren de un individuo a otro. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), 1 de cada 100 personas en el mundo presenta esta condición. En México, no existen datos precisos

sobre la incidencia del autismo, pero según un estudio realizado en 2016 por *Autism Speaks*, estima que 1 de cada 115 personas presentan este trastorno.

Además, las dificultades y necesidades que presentan las personas con TEA tienen un impacto negativo en la adquisición del desarrollo del lenguaje oral y escrito, por lo que, en el ámbito académico, representa un alto riesgo de fracaso. Entre los principales desafíos que presentan los jóvenes con autismo está la comprensión lectora, que, al verse afectada, dificulta la capacidad de adquirir conocimientos.

Por otro lado, los principios de las habilidades lectoras desde el punto de vista de las tecnologías de información incluyen:

- Acceso a contenido digital: Facilitar la disponibilidad de libros electrónicos actividades y recursos en línea para fomentar la lectura.
- Interactividad: Aplicaciones y plataformas que ofrecen experiencias interactivas para mantener el interés de los usuarios.
- Personalización: Adaptar la lectura a las preferencias y niveles de habilidad de cada persona a través de algoritmos y análisis de datos.
- Retroalimentación y seguimiento: Utilizar tecnologías para proporcionar retroalimentación instantánea y seguimiento del progreso de lectura.
- Integración con la educación: Integrar herramientas de lectura digital en entornos educativos para fortalecer las habilidades de lectura de los estudiantes.

En la actualidad, no se han documentado propuestas que combinen la generación automatizada de textos personalizados con retroalimentación inmediata mediante asistentes virtuales interactivos, diseñadas específicamente para ajustarse al perfil cognitivo de jóvenes con TEA.

Por lo anterior, surge la necesidad de crear herramientas tecnológicas que brinden apoyo personalizado en la evaluación de la comprensión lectora de jóvenes con autismo. Esta tesis consiste en implementar un asistente virtual basado en Grandes

Modelos de Lenguaje, capaz de generar lecturas y evaluaciones ajustadas al nivel de cada usuario.

En la presente tesis, se aborda este tema por la importancia en el campo de la educación inclusiva y la inteligencia artificial, buscando ofrecer una contribución significativa al apoyo de la evaluación de comprensión lectora en jóvenes con autismo.

1.3 Objetivo general y específicos

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

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una aplicación para asistente virtual impulsada por un módulo de inteligencia artificial de Grandes Modelos de Lenguaje (LLM) que brinde apoyo personalizado en la evaluación de la comprensión lectora de jóvenes con autismo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar la literatura existente sobre la utilización de tecnologías de inteligencia artificial, especialmente los modelos de lenguaje, en la educación inclusiva y el apoyo a jóvenes con autismo en el ámbito de la comprensión lectora.
- Analizar las técnicas, estándares educativos y pruebas de evaluación utilizadas en la evaluación de la comprensión lectora en jóvenes con autismo.
- Diseñar una interfaz de usuario accesible e intuitiva que permita la interacción de los usuarios de manera efectiva con el asistente virtual, considerando las necesidades específicas de las personas con autismo.
- Desarrollar una aplicación para asistente virtual personalizada, que emplee un módulo de inteligencia artificial LLM para adaptarse a las necesidades individuales de cada persona y facilite su proces o de evaluación de la comprensión lectora.
- Realizar un caso de estudio que evalúe la efectividad y la aceptación del asistente virtual por parte de los jóvenes, sus padres y los educadores,

recopilando datos sobre el progreso en la comprensión lectora y la interacción usuario-máquina.

1.4 Justificación

El TEA está presente en un gran número de personas en el mundo, este trastorno, relacionado con el neurodesarrollo, afecta cómo el individuo se relaciona con su entorno y las capacidades de procesar información. Por lo que, en el ámbito de la educación, uno de los retos es mejorar las habilidades de comprensión lectora, creando nuevas estrategias educativas que se adapten a las necesidades individuales de las personas con autismo. Sin embargo, las características propias del espectro, como son que cada persona con TEA tiene estilos de interacción y percepción diferentes, hacen que la comprensión lectora sea tarea difícil. Además, muchas veces no se ofrecen lecturas adecuadas, retroalimentación y actividades diseñadas para promover un ambiente de comprensión lectora.

La implementación de un asistente virtual, impulsado por un módulo de inteligencia artificial de grandes modelos de lenguaje (LLM), representa una innovación tecnológica con la posibilidad de transformar los métodos de evaluación y apoyo educativo. A diferencia de las herramientas convencionales, los LLM permiten generar textos y preguntas personalizadas, adaptadas al nivel de comprensión y perfil del usuario, además de ofrecer retroalimentación inmediata que fortalece el proceso de aprendizaje.

El presente proyecto, al hacer uso de un asistente virtual, pretende brindar apoyo personalizado en la evaluación de la comprensión lectora de jóvenes con autismo, crear consciencia sobre la importancia de la educación inclusiva y promover la igualdad de oportunidades en la educación. Asimismo, se realiza una contribución al estado del arte para investigaciones futuras en este campo.

Capítulo 2 Estado de la práctica

El TEA es un conjunto de alteraciones que están relacionadas con el neurodesarrollo. Las personas con TEA presentan dificultades para la interacción social, comportamientos repetitivos y poca tolerancia a los cambios. Las dificultades que caracterizan al TEA, tienen efectos negativos en el lenguaje oral y escrito, por lo que, en el ámbito académico, representa un alto riesgo de fracaso.

A continuación, se presenta un conjunto de resúmenes de trabajos relacionados con el problema a resolver.

2.1 Trabajos relacionados

En [20], se analizaron los efectos que genera el uso de un asistente virtual activado por voz (AVV) en niños con TEA. Los autores decidieron enfocarse en dos cualidades: las habilidades del habla y las habilidades de interacción social, ya que, el poder atender las dificultades que presentan los niños con TEA, en muchas partes del mundo, no es accesible para todas las personas, además, determinaron que, para mejorar estas habilidades se necesitan soluciones que implementen herramientas y dispositivos que estén al alcance de la mayoría de las personas. El estudio consistió en que tres niños, de edades entre 4 y 11 años, interactuaran con un AVV durante tres meses. Para analizar el avance, se realizaron cuestionarios antes y después del periodo de interacción con los AVV, también se llevaron a cabo entrevistas para medir las habilidades de comunicación e interacción social. Los resultados demostraron que el uso de AVV tuvo una influencia positiva en el vocabulario y la interacción social de los niños participantes en el estudio. Los infantes lograron tener un vocabulario más expresivo y pronunciar correctamente un mayor número de palabras en menos intentos. Con este estudio, se concluyó que, el hacer uso de las características de conversación de los AVV, brinda una alternativa en el mejoramiento de las habilidades del habla e interacción social de los niños con TEA.

Cerga-Pashoja et al. [21] indicaron que las personas con TEA presentan dificultades de comprensión lectora y, generalmente malinterpretan textos complejos, metáforas y

modismos. Por lo cual desarrollaron un sistema de asistencia llamado *Open Book*, que permitía simplificar textos, adaptarlos y personalizarlos. El sistema logró satisfacer las necesidades de lectura específicas de las personas con autismo, ya que se utilizaron técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), para lograr que los textos fueran más accesibles para el usuario. La herramienta conseguía, mediante PLN, agregar definiciones a palabras poco frecuentes, sinónimos, convertir un documento estándar en una versión personalizada y simplificada, entre otras funciones. Además, Open Book, brindaba dos interfaces diferentes, una para usuarios con TEA y otra para cuidadores o profesores. Para el usuario con TEA, el sistema facilitaba funciones como explicar la palabra, explicar la imagen o proporcionar resumen. Para los cuidadores se presentaban funciones semiautomáticas, donde además de convertir texto con PLN, también ellos generaban sus modificaciones. El estudio demostró que el uso de tecnologías de asistencia, representa una alternativa de apoyo para la comprensión de texto en personas con TEA, gracias a que los textos simplificados por la plataforma fueron más fáciles de comprender tanto por adultos como para jóvenes con dicho trastorno.

En [22], se mencionó que la comprensión lectora es un proceso que comienza en las primeras etapas de la enseñanza educativa, por lo que es indispensable estimularla en cada nivel educativo. Además, se indicó que el nivel de comprensión es diferente según el grado en que la información se adapta a las estructuras del conocimiento. Con base en lo anterior, se planteó el desarrollo de una arquitectura para una aplicación de asistencia virtual, que integrara mecanismos de inteligencia artificial en dispositivos inteligentes con pantalla activados por voz, con el fin de evaluar los niveles de comprensión lectora de estudiantes de nivel básico y medio. La arquitectura consistió en realizar una *skill* para el asistente virtual Amazon Alexa Echo Show 8, que aplicara un test de evaluación diagnostica del grado de comprensión lectora del alumno, además de utilizar cómputo en la nube de Amazon, para almacenar y diseñar la lógica de la aplicación. Con la implementación de la arquitectura, los autores planearon atacar uno de los mayores desafíos de la educación, como lo es la

comprensión lectora y al mismo tiempo beneficiar a los estudiantes con el conocimiento generado por el proceso de lectura.

Xiao et al. [23] analizaron las capacidades lingüísticas de los grandes modelos de leguaje (LLM) previamente entrenados, como ChatGPT, para aprovecharse en el desarrollo de sistemas inteligentes en el sector educativo. Con base en el análisis, desarrollaron un sistema para profesores y estudiantes de inglés de escuelas secundarias, que aprovechara las capacidades de ChatGPT para generar ejercicios de comprensión lectora, dichos ejercicios se crearon con el respaldo de indicaciones proporcionadas por expertos. El sistema creaba materiales de lectura personalizados y de gran calidad para los estudiantes. Se evaluaron los textos generados por el sistema, y se demostró que las lecturas y ejercicios creados de forma automática, eran adecuados para los alumnos y llegaban a superar la calidad de evaluaciones creadas por humanos. Finalmente, los autores destacaron el trabajo realizado, mencionado que el sistema se encontraba entre las primeras aplicaciones de ChatGPT en la educación y esperaban que los resultados obtenidos fueran inspiración para futuros trabajos que integren inteligencia artificial en centros educativos.

En [24], se investigó la eficacia de la aplicación de LLM en la terapia de lenguaje interactivo de adolescentes con autismo de alto funcionamiento. El estudio tuvo como objetivo principal, analizar la capacidad de un LLM de ser partícipe de interacciones empáticas, que se adaptaran al contexto terapéutico. Para evaluar el desempeño de la herramienta de inteligencia artificial, se contó con un grupo de expertos de la psicología, que calificaron la empatía, habilidades de comunicación, adaptabilidad y la compatibilidad con entornos terapéuticos. Al LLM se le proporcionaron una serie de instrucciones detalladas, para que lograra adoptar un estilo de comunicación e interacción empático con los adolescentes que presentan TEA. Las instrucciones se diseñaron para lograr que el LLM reflejara escenarios de la vida cotidiana y lograr de esta manera una evaluación realista. Los resultados demostraron que, con las habilidades de procesamiento de lenguaje natural de los LLM, estos desempeñaban

un papel importante en la asesoría psicológica, ofreciendo interacciones adaptables y atractivas.

Galletti et al. [25] indicaron que la dificultad para comprender un texto generalmente se asocia con diferentes perfiles clínicos de personas con dificultades o trastornos del lenguaje, dislexia o problemas cognitivos. Dicha tarea resulta frustrante y desafiante para niños con dificultades de aprendizaje, por este motivo el trabajo consistió en desarrollar una interfaz de comprensión lectora, utilizando PLN, para lograr que la comprensión de textos fuera más accesible, automática, multimodal e inclusiva con estudiantes que presenten necesidades especiales. La herramienta mostraba oraciones y los usuarios tenían la posibilidad de escuchar el texto. De cada oración mostrada, la aplicación se encargaba de extraer palabras clave y las resaltaba, además de mostrar su significado. También se colocaba el significado de palabras raras, todo esto con el fin de ayudar en el proceso de comprensión lectora del usuario. Con base en las pruebas realizadas de la interfaz con diversos grupos de jóvenes, los autores concluyeron que la herramienta tenía el potencial de mejorar las capacidades cognitivas de las personas con discapacidades y con esto lograr más beneficios en distintos ámbitos de su vida cotidiana.

En [26], se desarrolló un asistente virtual interactivo impulsado por inteligencia artificial, el cual tenía como función principal el servir como apoyo de los usuarios para lograr centrar su atención en la lectura o alguna tarea visual. La aplicación, llamada MICA (*Mobile Interactive Coaching Agent*), se desarrolló en la plataforma de software “The Fun They Had” (TFTH), y estaba diseñada para dispositivos portátiles. MICA lograba la interacción mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial, como detección de rostros, detección de la postura de la cabeza, seguimiento de la mirada, síntesis y reconocimiento del habla. La herramienta proporcionaba retroalimentación gestual y verbal adecuada para los usuarios, además contaba con funciones de PLN y el poder conectarse con dispositivos domésticos inteligentes y servicios de red mediante distintos módulos con los que contaba. MICA analizaba distintos parámetros para estimar el nivel de atención a la lectura y proporcionar estímulos para mejorar la

concentración. Los resultados de las pruebas de MICA, arrojaron información importante para determinar que el uso de la aplicación introdujo una mejora en la atención visual del usuario hacia la tarea de lectura.

En [27], se analizaron los principales desafíos que enfrentan las personas con TEA en la educación superior, debido a que las estadísticas mostraron que el 40% de los estudiantes con esta condición finaliza sus estudios. Con base en el análisis realizado, se desarrolló una *skill,* aplicación personalizada*,* llamada MotivateMe!, para el dispositivo Alexa Echo Show con el fin de aprovechar las características de PLN y la pantalla del asistente, y esto permitiera hacerla más útil para los individuos con TEA. Los problemas que se identificaron fueron la distracción y la falta de motivación para estudiar, para los cuales la *skill* brindaba apoyo a los estudiantes para lograr superar estos desafíos. El desarrollo se realizó en dos fases con evaluaciones de expertos en TEA, interacción humano-computadora (HCI) y educación. En la evaluación final, se obtuvo una respuesta positiva hacia la *skill* por parte de los usuarios y demostró que la aplicación es apropiada para los estudiantes de educación superior y representaba una alternativa de apoyo para los alumnos con TEA. Pero para conocer el alcance con la población con TEA, los autores concluyeron que es necesaria más investigación con los estudiantes que presentan este trastorno.

Mishra y Welch [28] mencionaron que una de las principales características que presentan los niños con TEA, es la dificultad para la comunicación y la interacción social. Además, indicaron que conforme la intervención de robots y asistentes como apoyo para personas con TEA genera más atención y proporciona resultados positivos, el desarrollo y evaluación de dichas plataformas va en aumento. Por tales motivos, se presentó un robot sociable que era capaz de interactuar mediante voz con niños que presentan TEA, para ayudarlos a desarrollar distintas habilidades cognitivas. La comunicación se lograba gracias a la generación de texto mediante un proceso de Modelos de Lenguaje de Gran Tamaño (LLM) con GPT-2 y BART, estos textos eran vocalizados por el robot. El robot actuaba como estimulador (generando preguntas), apuntador (presentando opciones de respuesta) y como reforzador (celebrando

cuando el individuo acertaba una pregunta), estas funciones las realizaba gracias al canal LLM utilizado. Con los resultados obtenidos, se concluyó que la combinación de GPT-2 y BART tuvo un gran desempeño generando preguntas y opciones para los usuarios, gracias a esto se lograron mejores resultados en las evaluaciones por parte de los expertos en TEA.

Rechowicz et al. [29], indicaron que uno de los desafíos terapéuticos que presentan los jóvenes con TEA, es el desarrollo de habilidades verbales y ecoicas. Se informó que los asistentes virtuales activados por voz, ofrecían una oportunidad para que los niños con TEA practicaran estas habilidades desde sus hogares. En consecuencia, el estudio tuvo como objetivo evaluar la precisión que lograba un Asistente Virtual (AV) para el reconocimiento de expresiones de niños con TEA e identificar si el AV lograba una evaluación similar a la que haría un terapeuta. Para lograr el objetivo, se desarrolló una *skill* de Alexa, llamada ASPECT, para aprovechar las características de Inteligencia Artificial (IA), como PLN, que presentaba el dispositivo Alexa, la *skill* permitía interactuar con el niño reconociendo las expresiones pronunciadas por este. Como resultados se obtuvo que la aplicación tuvo un mejor desempeño cuando las habilidades ecoicas del niño con TEA eran bajas o altas. La *skill* logró clasificar las respuestas de los usuarios de la misma forma que un terapeuta, cuando los niños con habilidades ecoicas deficientes generaban respuestas incorrectas o nulas.

Porayska-Pomsta et al. [30], indicaron que lo trabajos relacionados con la intervención de software en el mejoramiento del aprendizaje de las personas con autismo, se han enfocado en habilidades lingüísticas, afectivas y de interacción social. Además, mencionaron que muchos de los trabajos contemplaron la implementación de la inteligencia artificial, como el uso de PLN y la creación de interfaces interactivas. Siguiendo este enfoque, el trabajo presentado consistió en desarrollar y evaluar un agente de IA, llamado ECHOES, que combinó el apoyo humano con la IA, para el mejoramiento de las habilidades sociales de los niños autistas. ECHOES, proporcionaba a los individuos, actividades de aprendizaje centradas en la comunicación social, haciendo que el niño tomara turnos y participara en una

interacción social recíproca. También generaba actividades para evaluar la capacidad del niño de entender gestos, palabras y oraciones convencionales. Los resultados obtenidos, mostraron un aumento en las respuestas sociales de los niños con TEA hacia los aplicadores humanos, y también con la interacción que tenían con el agente artificial.

En [31], mencionaron que uno de los principales desafíos que presentan los niños con TEA es la comprensión lectora. Por tal motivo, el trabajo se centró en analizar el impacto que tuvo la implementación de una herramienta de lectura asistida por computadora, llamada Reading Eggspress, en la mejora de las habilidades de comprensión lectora de cuatro niños con autismo. El estudio se llevó a cabo con la intervención en dos fases, la primera consistió en utilizar la herramienta con los jóvenes, contando con el apoyo de un maestro que brindaba el soporte para los alumnos en el uso del software. La siguiente fase únicamente involucró el uso de Reading Eggspress, sin el apoyo de algún profesor. Los resultados más alentadores fueron que dos alumnos obtuvieron avances importantes en los resultados en una evaluación estandarizada de comprensión lectora. Además, un total de tres niños presentaron mejoras en puntuaciones medias de pruebas de comprensión lectora. Como beneficio extra se tuvo que los niños con TEA aprendieron a interactuar con herramientas que apoyan su proceso de aprendizaje.

Lewis y Vellino [32] indicaron que, con base a investigaciones pasadas, el mejorar el acceso a las tecnologías permite reducir la brecha digital que existe con las personas que presentan alguna discapacidad intelectual. El objetivo de este estudio fue determinar si las personas que presentan autismo se beneficiarían del uso de asistentes virtuales activados por voz para acceder a distintos servicios y mejorar su interacción con la sociedad. Para analizar el avance, a cada participante se le brindó un dispositivo Amazon Alexa Echo Dot para que interactuara con él durante un mes, y después del tiempo de uso se realizaron evaluaciones para determinar el beneficio que tuvo el asistente como apoyo en sus actividades en entornos sociales, laborales y educativos. Con base a los resultados se determinó que, el nivel de comunicación que

tenían las personas con autismo y la alfabetización digital impactaron en el uso del dispositivo. Para algunos casos, era preferible un método de interacción que combinara una pantalla con comandos de voz.

En [33], mencionaron que los trastornos del neurodesarrollo (NDD, por sus siglas en inglés *Neurodevelopmental Disorders*) como el TEA, TDAH (Trastorno por déficit de atención con hiperactividad) y dislexia, están fuertemente relacionados con malos resultados de aprendizaje, por lo que se indicó que es necesario aplicar nuevas estrategias de educación para apoyar a los jóvenes con NDD en su aprendizaje en escuelas ordinarias. Motivados por la necesidad crítica de aplicar nuevas herramientas tecnológicas, como la IA, en los centros educativos, los autores realizaron una investigación que determinara el alcance y efectividad de herramientas desarrolladas con modelos de aprendizaje automático, que fueron aplicadas para mejorar la educación de personas con NDD. Los resultados mostraron que, la mayoría de trabajos que utilizan IA, se han centrado en personas con TEA. Además, los estudios realizados hasta la fecha de la investigación, demostraron que la asistencia mediante IA tuvo un gran impacto en el aprendizaje de los estudiantes y mostraron resultados favorables para maestros, padres y especialistas. Finalmente, con esta investigación se concluyó que, la IA representaba una alternativa para mejorar la interacción social y la educación de apoyo de las personas con NDD.

En [34], indicaron cómo el uso de la inteligencia artificial y los agentes conversacionales, como los *chatbots*, representaba un apoyo para el aprendizaje de diferentes tipos de estudiantes, logrando con esto una educación inclusiva. Con el fin de investigar las oportunidades y limitaciones de los *chatbots*, los autores desarrollaron un agente conversacional, llamado Sammy, que funcionaba como un tutor inteligente e inclusivo. El *chatbot* se aplicó en un estudio con 215 estudiantes, donde el agente realizaba “entrevistas” para obtener información de cómo lograr una educación inclusiva y con base en las preguntas y respuestas realizadas, identificar las barreras que tenían los estudiantes en su proceso de aprendizaje. El análisis se logró mediante la recolección de información de los datos que se encontraban en el registro de los

chats del *chatbot*. Finalmente, los autores concluyeron que, un *chatbot* tiene el potencial para generar entornos educativos inclusivos para estudiantes con diferentes capacidades. También, para utilizar un *chatbot* como tutor inteligente, este responde a los cuestionamientos con información sobre cursos, proporcionar material educativo y adaptar el contenido a las necesidades individuales de cada estudiante.

2.2 Análisis comparativo

En la tabla 2.1 se comparan los trabajos más relacionados con el tema de investigación del presente documento, con el fin de justificar el desarrollo del mismo.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados.

Artículo	Objetivo	Tecnologías	Resultados
Safi et al. [20]	Analizar el uso de la inteligencia artificial, en particular la tecnología VVA, para facilitar el desarrollo del lenguaje y las habilidades sociales en niños con TEA	iPad, Siri Apple	Los participantes pudieron interactuar eficazmente con la plataforma VVA y producir nuevo vocabulario expresivo. Además de pronunciar correctamente más palabras en menos intentos.
Cerga-Pashoja et al. [21]	Desarrollar una herramienta de tecnología de asistencia para ayudar en la comprensión lectora de personas con TEA.	PLN, Asistencia por computadora.	Tanto los adultos como los adolescentes con TEA dieron más respuestas correctas a los textos simplificados que a los originales.

Artículo	Objetivo	Tecnologías	Resultados
Ojeda-Barbis et al. [22]	Desarrollar una arquitectura para una aplicación de asistencia virtual con integración de inteligencia artificial en altavoces inteligentes con pantalla para estimar mediante un test de evaluación diagnóstica, los niveles de comprensión lectora de estudiantes de educación básica y media.	Amazon Echo Show 8, AWS, PLN	Con la implementación de la arquitectura, los autores planearon atacar uno de los mayores desafíos de la educación, como lo es la comprensión lectora y al mismo tiempo beneficiar a los estudiantes con el conocimiento generado por el proceso de lectura.
Xiao et al. [23]	Desarrollar un sistema para profesores y estudiantes de secundaria que aproveche ChatGPT para generar ejercicios de comprensión lectora.	ChatGPT	Los materiales generados por el sistema son adecuados para los estudiantes e incluso superan la calidad de los escritos por humanos existentes.
Cho et al. [24]	Evaluar la capacidad del LLM para participar en interacciones empáticas, adaptables y contextualmente apropiadas dentro de un entorno terapéutico.	LLM	Los hallazgos sugieren que los LLM tienen el potencial de aumentar los métodos de terapia tradicionales, proporcionando un recurso adicional tanto para terapeutas como para clientes.

Artículo	Objetivo	Tecnologías	Resultados
Galletti et al. [25]	Desarrollar una interfaz de comprensión lectora, utilizando PLN, para lograr que la comprensión de textos fuera más accesible, automática, multimodal e inclusiva con estudiantes que presenten necesidades especiales.	PLN	La herramienta tenía el potencial de mejorar las capacidades cognitivas de las personas con discapacidades y con esto lograr más beneficios en distintos ámbitos se su vida cotidiana.
Bakhai et al.[27]	Identificar los principales desafíos que enfrentan los estudiantes de educación superior con TEA y explorar cómo se diseña una *skill* de Alexa para ayudarlos a superar estos desafíos.	Alexa Skills Kit, Amazon Alexa Echo Show	La *skill* es apropiada para estudiantes de educación superior y también tiene el potencial de apoyar a los estudiantes de educación superior con TEA.
Rechowicz et al. [29]	Determinar con qué precisión una *skill* basada en Amazon Alexa, llamada ASPECT, reconoció las expresiones pronunciadas por un niño autista.	Alexa Skills Kit Amazon Echo Dot	ASPECT funcionó de mejor manera cuando las habilidades del habla evaluadas eran bajas o altas. Lo que pareció ser más fácil de clasificar para ASPECT de la misma manera que lo hizo un terapeuta.

Artículo	Objetivo	Tecnologías	Resultados
Henderson-Faranda et al. [31]	Analizar el impacto que tuvo la implementación de una herramienta de lectura asistida por computadora, en la mejora de las habilidades de comprensión lectora de niños con autismo.	Reading Eggspress, Asistencia por computadora	Dos alumnos obtuvieron avances importantes en los resultados en una evaluación estandarizada de comprensión lectora. Además, un total de tres niños presentaron mejoras en puntuaciones medias de pruebas de comprensión lectora.
Lewis y Vellino [32]	Determinar si personas con autismo podrían beneficiarse de asistentes personales inteligentes activados por voz para acceder a servicios digitales y aumentar su participación en la economía digital.	Alexa Skills Kit Amazon Echo Dot	Se observó que el nivel de habilidades comunicativas o el grado de discapacidad del habla y la alfabetización digital impactaron en el uso del Dot. En algunos casos, es preferible un método de interacción de modo mixto (pantalla y voz).

Con base en el análisis de trabajos relacionados, se identificaron los distintos enfoques para abordar los problemas cognitivos que presentan las personas con TEA y el apoyo en el mejoramiento de la comprensión lectora. Se observa que no existen muchos trabajos relacionados con el uso de asistente virtuales para el mejoramiento de la comprensión lectora de jóvenes con autismo, por los cual se destaca la necesidad de implementar herramientas efectivas y personalizadas que aborden las dificultades que enfrentan las personas con autismo en su aprendizaje.

2.3 Propuesta de solución

Se desarrolló una *skill* (aplicación para el asistente virtual *Amazon Alexa*), que permita evaluar la comprensión lectora de jóvenes con TEA, mediante la presentación de

contenidos de evaluación en el dispositivo de asistencia virtual *Amazon Echo Show 8*, impulsado por un módulo de inteligencia artificial de Grandes Modelos de Lenguaje (LLM). Las lecturas y actividades presentadas son adecuadas y se adaptan a las necesidades de cada joven, gracias a la implementación de la inteligencia artificial. La aplicación muestra mediante interfaces gráficas pruebas de evaluación al usuario a través de diferentes textos para su lectura y posterior evaluación, utilizando JavaScript como lenguaje de programación, el marco de trabajo elegido fue Alexa Skills Kit (ASK), MongoDB como sistema gestor de base de datos, OpenAI API como la interfaz para trabajar con LLM y utilizando Scrum como metodología de desarrollo de software.

La solución propuesta contempla el uso de tecnologías que satisfacen las necesidades del proyecto para implementar una aplicación en un asistente virtual. A diferencia de otros trabajos existentes, la presente implementación combina la generación automática de contenidos personalizados, la retroalimentación inmediata y la interacción conversacional adaptada al perfil del usuario, lo que la convierte en una alternativa más flexible y accesible para contextos educativos inclusivos.

Capítulo 3 Aplicación de la metodología

El presente capítulo tiene como objetivo presentar el desarrollo de la aplicación, siguiendo la metodología seleccionada para el proyecto de tesis.

3.1 Descripción de la solución

A continuación, se describe la solución que se llevó a cabo para el desarrollo de la aplicación, siguiendo la metodología Scrum.

La primera actividad realizada fue definir las funcionalidades que tendría la aplicación a desarrollar. Por lo anterior, se trabajó en detallar y describir las historias de usuario, explicando la interacción de los usuarios con la aplicación, y las distintas tareas a realizar para lograr cada función. La descripción de las historias de usuario se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Descripción de tareas o historias de usuario.

Identificador de historia	Rol	Funcionalidad	Tareas
ID-01	Como un usuario	Registro en la aplicación.	Diseñar la función de registro.
			Codificar la función de registro.
			Evaluar la función de registro.
ID-02	Como un usuario registrado	Búsqueda en la aplicación mediante un código de identificación único.	Diseñar la función de búsqueda.
			Codificar la función de búsqueda.
			Evaluar la función de búsqueda.
ID-03	Como un usuario registrado	Visualización de resultados de comprensión lectora de pruebas hechas.	Diseñar la interfaz de perfil de alumno.
			Codificar la función para la obtención de datos del alumno.
			Evaluar la interfaz de perfil y la función de obtención.

Identificador de historia	Rol	Funcionalidad	Tareas	
ID-04	Como usuario registrado	Realizar lectura de para evaluar la comprensión lectora.	Mostrar textos de evaluación	Diseñar la interfaz de textos.
				Codificar la función de obtención de textos.
				Probar la interfaz y función de textos de evaluación.
			Evaluación	Diseñar la interfaz de preguntas.
				Codificar la función de preguntas y respuestas.
				Probar interfaz y función de preguntas y respuestas.
			Almacenamiento de datos	Diseñar la función de registro de respuestas.
				Codificar la función de registro de respuestas.
				Evaluar la función de registro de respuestas.
ID-05	Como usuario registrado	Visualización retroalimentación para mejorar la comprensión lectora	Diseñar la interfaz de retroalimentación	
			Codificar la función de retroalimentación	
			Evaluar la interfaz y función de retroalimentación	

Con base en las historias de usuario y las tareas de cada historia, se realizó el siguiente producto backlog, mostrado en la tabla 3.2, donde se colocaron las actividades a realizar y la prioridad que tiene cada una.

Tabla 3.2 Product backlog.

ID	Tarea	Historia de usuario	Prioridad
001	Diseñar la interfaz de perfil de alumno.	ID-03	Alta
002	Diseñar la interfaz de textos.	ID-04	Alta
003	Diseñar la interfaz de preguntas.	ID-04	Alta
004	Diseñar la interfaz de retroalimentación	ID-05	Alta
005	Diseñar la función de registro.	ID-01	Alta
006	Codificar la función de registro.	ID-01	Alta
007	Evaluar la función de registro.	ID-01	Alta
008	Diseñar la función de búsqueda.	ID-02	Alta
009	Codificar la función de búsqueda.	ID-02	Alta
010	Evaluar la función de búsqueda.	ID-02	Alta
011	Codificar la función para la obtención de datos del alumno.	ID-03	Alta
012	Evaluar la interfaz de perfil y la función de obtención.	ID-03	Alta
013	Codificar la función de obtención de textos.	ID-04	Alta
014	Probar la interfaz y función de textos de evaluación.	ID-04	Alta
015	Codificar la función de preguntas y respuestas.	ID-04	Alta
016	Probar interfaz y función de preguntas y respuestas.	ID-04	Alta
017	Codificar la función de registro de respuestas.	ID-04	Alta
018	Evaluar la función de registro de respuestas.	ID-04	Alta
019	Codificar la función de retroalimentación	ID-05	Alta
020	Evaluar la interfaz y función de retroalimentación	ID-05	Alta

Para poder cumplir las tareas de las historias de usuario, el trabajo se dividió en sprints, como lo marca Scrum. Los sprints son iteraciones de trabajo, donde al final se presentó un avance del proyecto para lograr el completo desarrollo de la aplicación. A continuación, se enlistan los sprints de la planeación del trabajo.

1. Determinación de requerimientos
2. Desarrollo conceptual de la aplicación
3. Generación de textos.
4. Desarrollo de funcionalidades de la aplicación.
5. Aplicación de caso de estudio

3.1.1 Sprint 1 Determinación de requerimientos

Durante la primera iteración se analizaron los tipos de ejercicios a implementar y se determinaron las distintas funcionalidades de la aplicación. Las actividades se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Primera iteración.

SPRINT	**1**
NOMBRE	Determinación de requerimientos
TAREAS	Análisis de ejercicios y requerimientos de la aplicación.
FINALIDAD	Definir las funciones principales de la aplicación.
ESTADO	Terminado

3.1.1.1 Pruebas de evaluación

Para la selección de las pruebas de evaluación de comprensión lectora, se determinó, con el apoyo de un psicólogo, que los textos doten de una motivación o propósito para el lector, además de resaltar palabras clave como verbos o sustantivos. Las pruebas se dividen en tres niveles:

- Básicas: donde se presentan oraciones cortas con frases sencillas.
- Intermedias: con textos de máximo un párrafo de extensión y resaltando palabras clave.
- Avanzadas: presentando únicamente textos que cuenten con un párrafo de extensión.

3.1.1.2 Diagrama de casos de uso

Para analizar la interacción de los usuarios con la aplicación y comprender los requisitos de ésta, se hace uso de un diagrama de casos de uso, que se aprecia en la figura 3.1. En él se pueden observar los actores y las acciones que realizan con la aplicación.

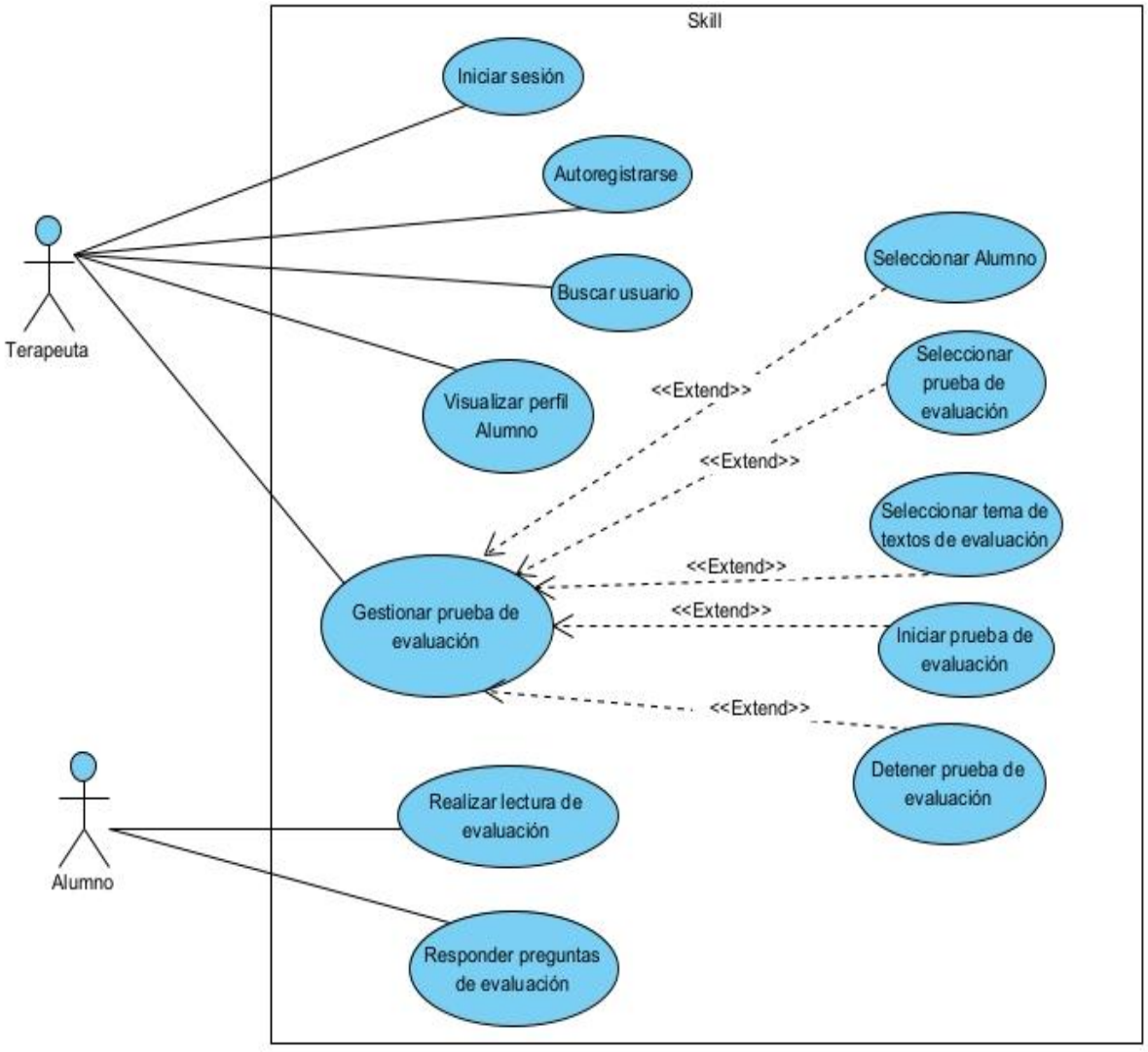

Figura 3.1 Diagrama de casos de uso de la aplicación.

3.1.2 Sprint 2 Desarrollo conceptual de la aplicación

En este sprint se realizaron los diagramas de actividades, secuencia; la arquitectura de la aplicación y las interfaces gráficas. En la tabla 3.4 se describen las actividades realizadas.

Tabla 3.4 Segunda iteración.

SPRINT	**2**
NOMBRE	Desarrollo conceptual de la aplicación
TAREAS	Desarrollar el diseño conceptual de la aplicación.
FINALIDAD	Desarrollar diagramas UML, la arquitectura y las interfaces de la aplicación.
ESTADO	Terminado

3.1.2.1 Diagrama de actividades

Las actividades a realizar por los usuarios al interactuar con la aplicación se presentan en la figura 3.2. Donde la primera acción a realizar es invocar a la aplicación, esto mediante la interacción por voz, utilizando el *invocation name,* que es la frase que el dispositivo de asistencia virtual reconoce para iniciar la aplicación. A continuación, comienza a interactuar con el dispositivo mediante *intents,* que es como Alexa define a las acciones que se desean realizar.

Después de iniciar la aplicación, el terapeuta indica la acción de buscar un perfil del alumno o en caso contrario registrar uno nuevo. Para buscar, se solicita un identificador único de cada usuario que se encuentra almacenado en la base de datos. Para registrar, el asistente solicita los datos para poder crear el perfil y almacenarlo en el gestor de almacenamiento.

La siguiente actividad es seleccionar algún estudiante registrado al perfil del terapeuta, para poder realizar su evaluación de comprensión lectora. Una vez seleccionado, se comienza con las actividades para realizar la prueba, donde se seleccionan el tipo de prueba a realizar, el tema del cual será la lectura a presentar. Con esto se presenta el texto para que el alumno lo lea, y él continue con las preguntas para realizar su estimación de comprensión lectora, al finalizar de responder las preguntas, se

muestran las recomendaciones para mejorar el proceso de lectura del alumno. Finalmente se puede salir de la aplicación o realizar una nueva prueba.

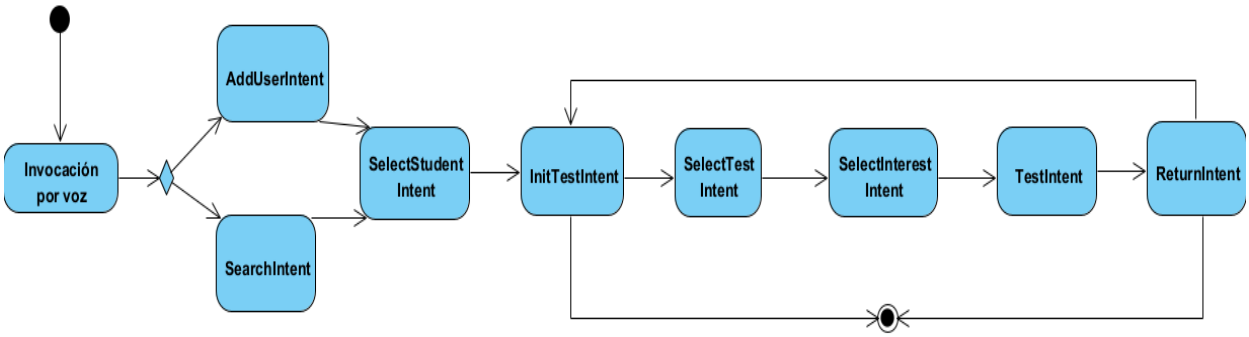

Figura 3.2 Diagrama de actividades de la aplicación.

3.1.2.2 Diagrama de secuencia

La interacción con la aplicación es iniciada por el terapeuta, quién da las solicitudes al asistente virtual. Después de identificar la acción requerida, el dispositivo se comunica con el marco de trabajo ASK, el cual procesa las solicitudes ingresadas, y de acuerdo al tipo de acción a realizar, da una respuesta al asistente virtual para presentarla al usuario. ASK se comunica con la base de datos cuando se requiera consultar o almacenar algún tipo de información, y el almacenamiento responde a las solicitudes cada vez que se requiera. El marco de trabajo también es el encargado de comunicarse con el LLM, enviando las peticiones para generar el material de evaluación, y analizar las repuestas de los alumnos.

El alumno interactúa con el asistente virtual cuando se solicite el tema para generar el material de evaluación, y cuando se inicia la prueba de comprensión lectora, dando las respuestas que son evaluadas, para que al final se le presenten las recomendaciones según los resultados obtenidos en la evaluación.

El diagrama de secuencia donde se aprecia la interacción de los usuarios con los componentes de la aplicación, se presenta en dos partes, en las figuras 3.3 y 3.4.

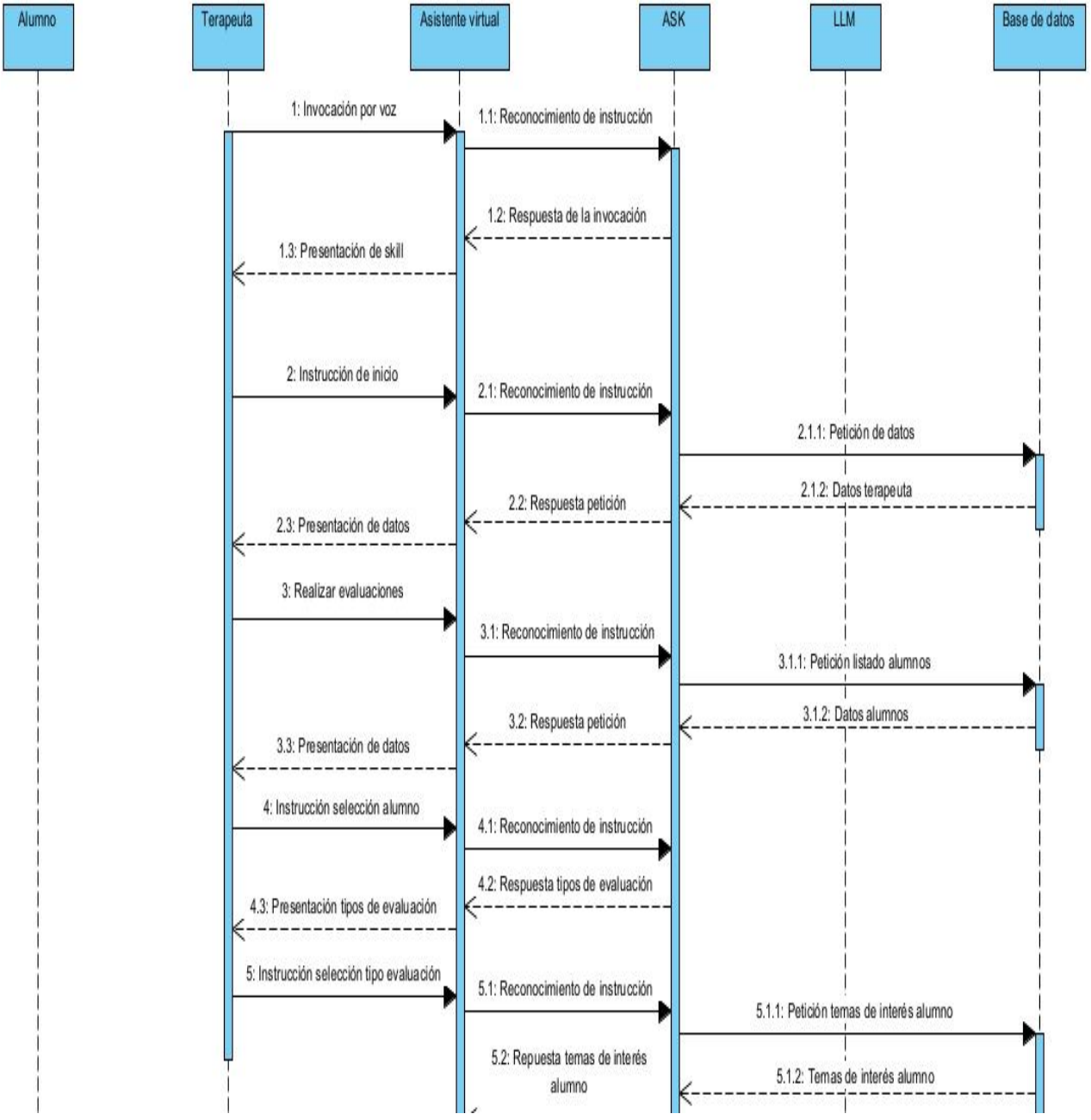

Figura 3.3 Diagrama de secuencia de la aplicación (primera parte).

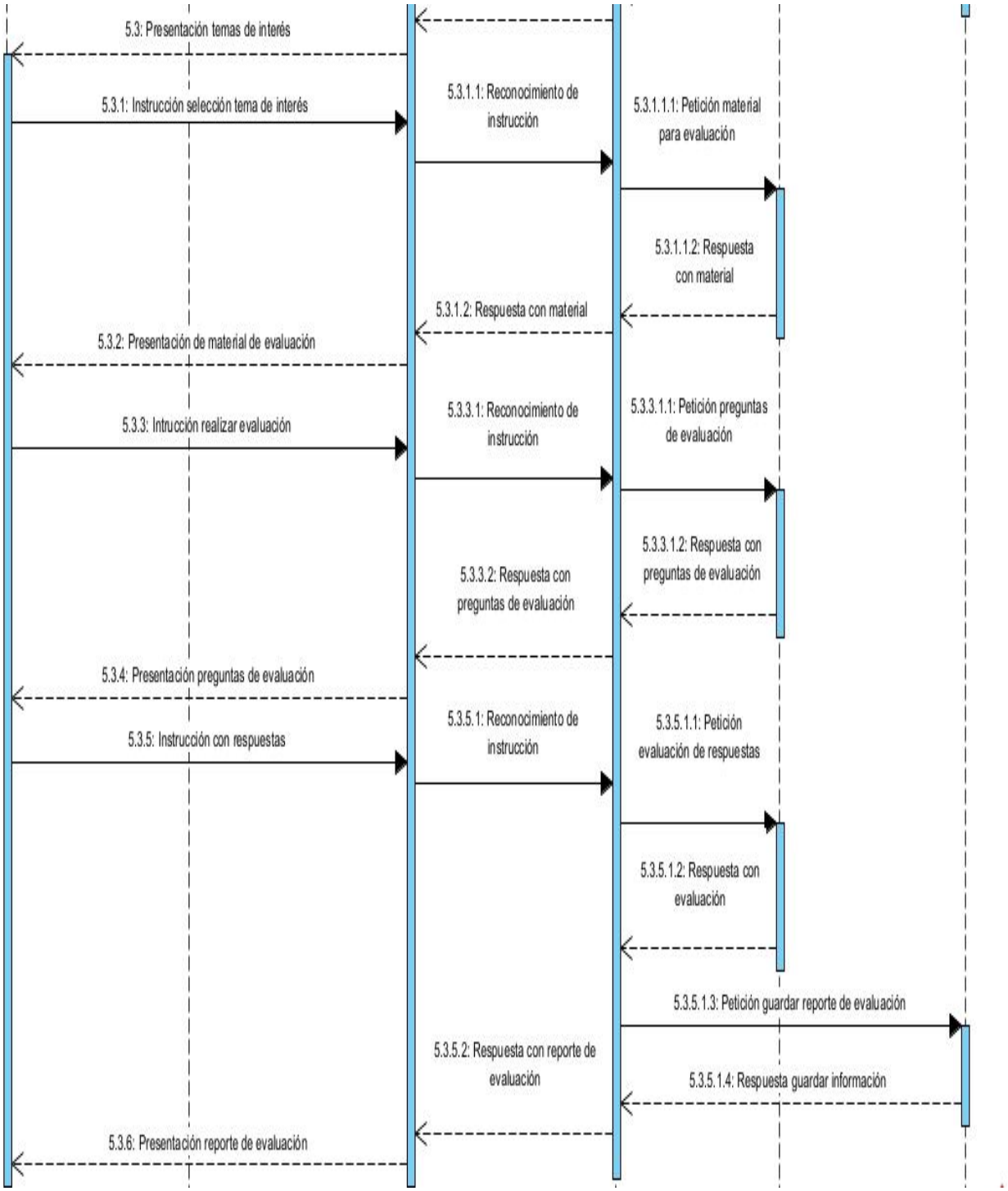

Figura 3.4 Diagrama de secuencia de la aplicación (segunda parte).

3.1.2.3 Arquitectura de la aplicación

La arquitectura de la aplicación se presenta en la figura 3.5. El flujo de la aplicación tiene su comienzo con la interacción del terapeuta con el asistente virtual, este a su vez realiza la petición al cómputo en la nube donde está alojada la aplicación, con ayuda de los servicios en la nube se ejecutan sus componentes, para presentar las interfaces en el dispositivo de asistencia virtual. Mediante la interacción con voz se obtendrá información relevante del usuario para que la lógica de la aplicación la almacene en el gestor de almacenamiento de datos. Después el algoritmo hace uso de los datos del alumno seleccionado, para crear la solicitud al LLM y que este pueda crear un contenido de evaluación adaptado al perfil del alumno, este material es presentado al usuario en el asistente virtual. Una vez realizada la evaluación, los resultados son procesados mediante el algoritmo y el apoyo del LLM, con esto se proporciona una retroalimentación al alumno en la interfaz del dispositivo de asistencia virtual. Los resultados de la evaluación también son almacenados para evaluar el progreso de comprensión lectora de los jóvenes con TEA.

El marco de trabajo seleccionado es Alexa Skills Kit, que permite la integración de diversas herramientas, componentes, bibliotecas, entre otras cosas, para el desarrollo de *skills* personalizadas. Se utiliza MongoDB para el almacenamiento de la información y lograr un rápido intercambio de datos. La API de LLM seleccionada es OpenAI API, ya que permite el intercambio de solicitudes con distintos modelos de OpenAI, que ofrecen funcionalidades para trabajar con textos, como generar lecturas adaptadas a los parámetros que sean establecidos y poder resumirlas. Como plataforma de cómputo en la nube se utiliza Amazon Web Services (AWS), que ofrece los servicios necesarios para la autenticación de usuarios, administración de archivos multimedia y la ejecución de la aplicación sin la necesidad de la gestión de un servidor dedicado.

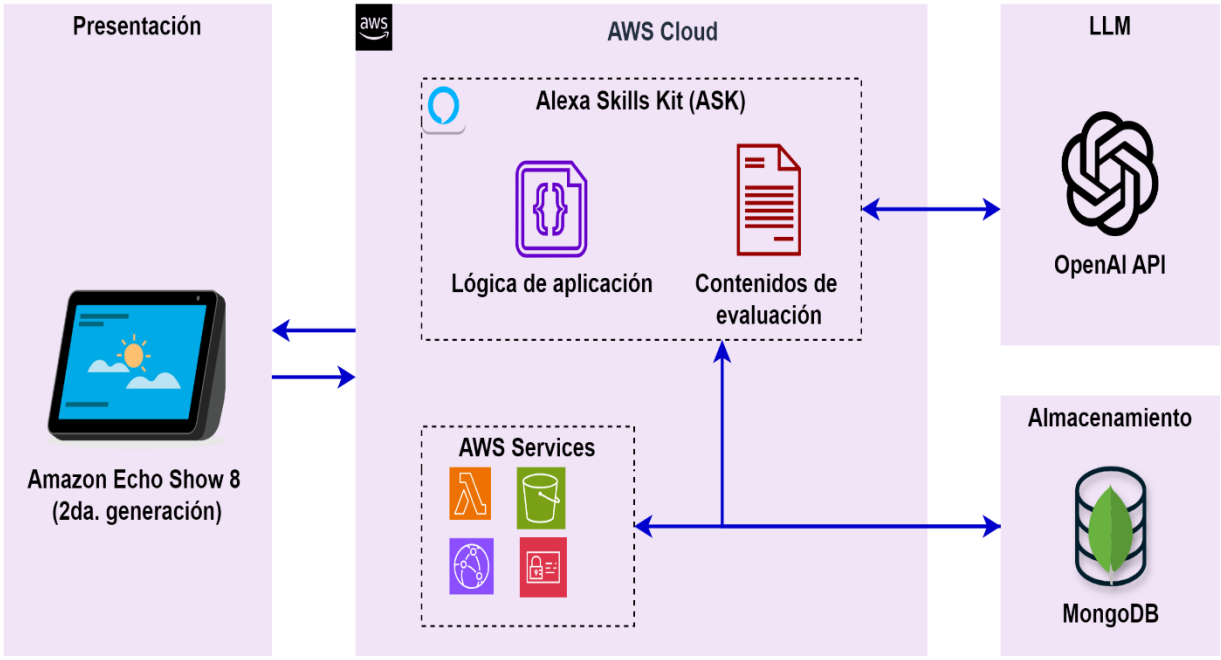

Figura 3.5 Arquitectura de la aplicación.

3.1.2.4 Base de datos

Para realizar este proyecto se necesitaba un base de datos que fuera flexible y tuviera alta disponibilidad de los datos. Debido a la cantidad de los datos y la constante realización de pruebas de evaluación, se decidió utilizar la base de datos NoSQL MongoDB, ya que ofrece escalabilidad, rendimiento y permite trabajar con datos no estructurados.

Se utilizó el servicio en la nube de MongoDB Atlas para crear el clúster de datos, y para la integración con la aplicación se utilizó el *driver* proporcionado por MongoDB, que permite una conexión rápida con el servicio y proporciona diferentes funciones para realizar las transacciones. En la tabla 3.5 se definen las colecciones almacenadas en el clúster y en la Figura 3.6 los atributos de cada una.

Tabla 3.5 Descripción de las colecciones de la base de datos

COLECCIÓN	DESCRIPCIÓN
STUDENTS_COLLECTION	CONJUNTO DE DOCUMENTOS DONDE SE ALMACENA LA INFORMACIÓN DE LOS ESTUDIANTES A LOS QUE SE LES REALIZA LAS PRUEBAS.
REPORTS_COLLECTION	DOCUMENTOS DONDE SE ALMACENA LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRENSIÓN LECTORA.

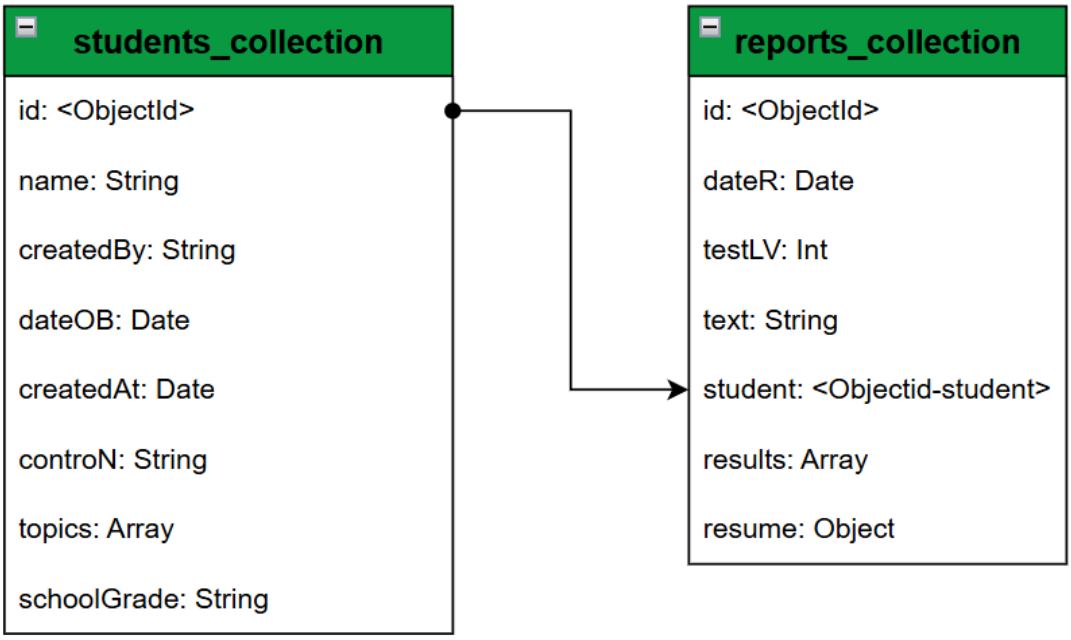

Figura 3.6 Esquema base de datos MongoDB

3.1.2.5 Diseño de interfaces

Para el desarrollo de la aplicación, se toma la decisión de enfocarla a dispositivos de la familia de Amazon Alexa que integran pantalla, principalmente el modelo Echo Show 8, para aprovechar las capacidades de interacción por voz, y presentar material visual interactivo en la pantalla del asistente virtual.

A continuación, se muestran los mockups desarrollados de las interfaces a implementar en la aplicación.

3.1.2.5.1 Mockups

En la figura 3.7 se muestra la pantalla de bienvenida de la aplicación, la interfaz presenta el nombre de la aplicación y las sugerencias de interacción, además del mensaje de bienvenida y el acceso a las secciones de la aplicación.

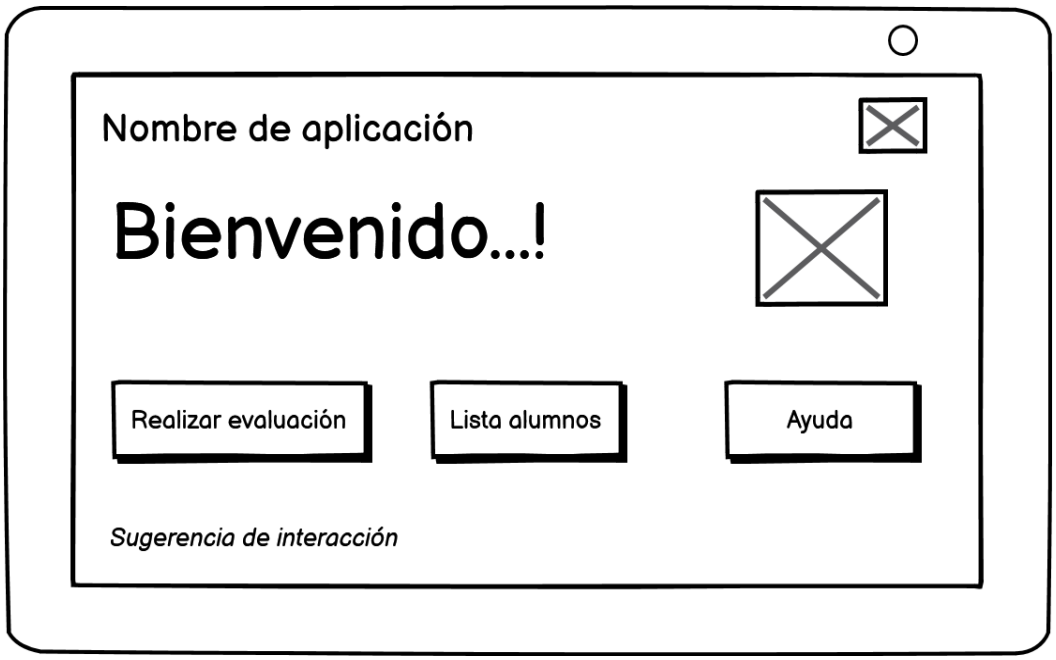

Figura 3.7 Mockup pantalla de bienvenida.

La figura 3.8 muestra el mockup de la lista de estudiantes, en él se presentas los datos de cada uno y las distintas acciones que se pueden realizar, además está el botón para agregar un nuevo alumno.

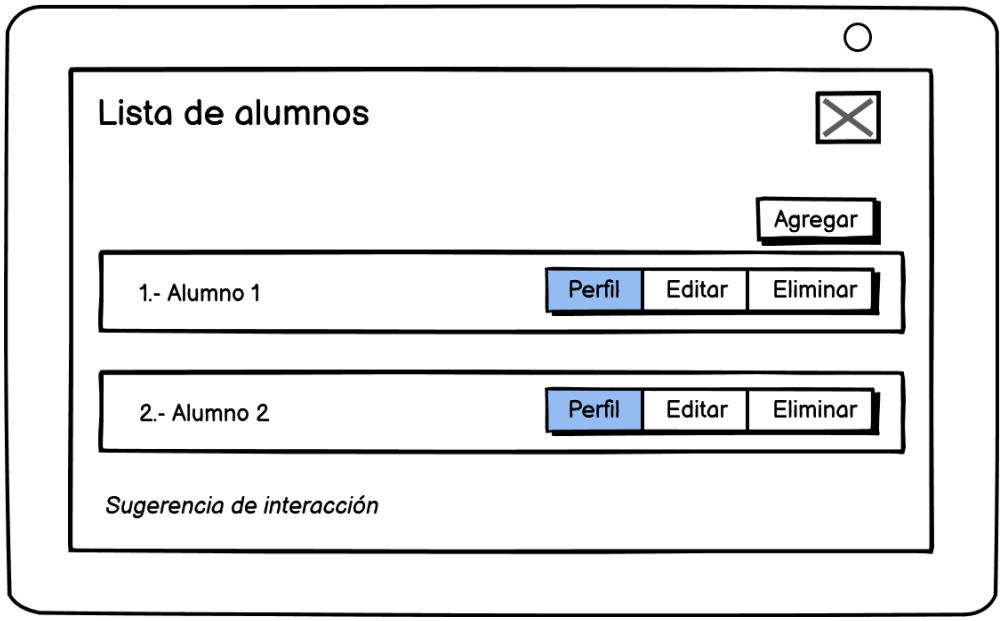

Figura 3.8 Mockup pantalla lista de estudiantes

En la figura 3.9 se presenta el formulario para registrar un nuevo alumno, en él están los campos necesarios para crear el perfil del estudiante, el botón para realizar dicha acción y la sugerencia para interactuar con el asistente.

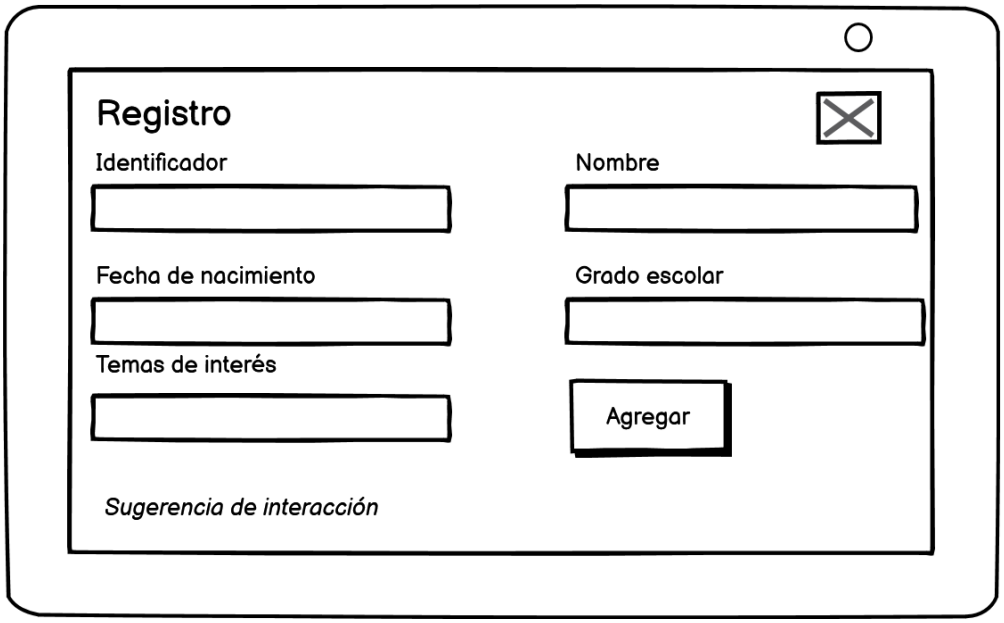

Figura 3.9 Mockup pantalla formulario registro

En la figura 3.10, se aprecia el diseño de la interfaz para el perfil del alumno, donde encuentran los datos personales y el porcentaje de efectividad de las pruebas de comprensión lectora que ha realizado.

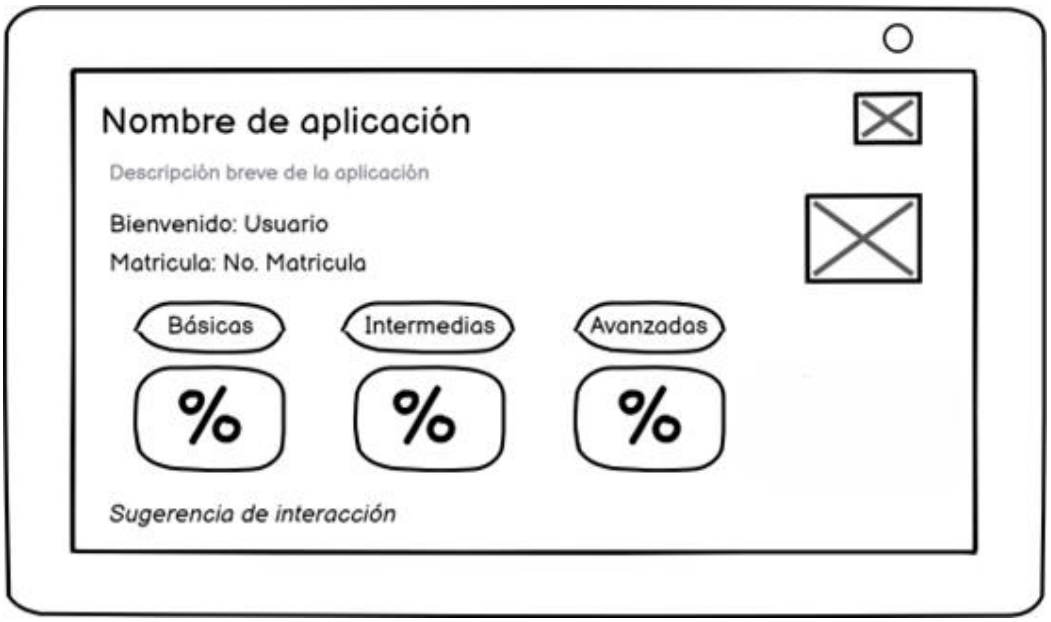

Figura 3.10 Mockup pantalla Perfil alumno.

Para realizar una prueba de evaluación, primero se selecciona al alumno, el cual se presenta en un interfaz como la mostrada en el mockup de la figura 3.11.

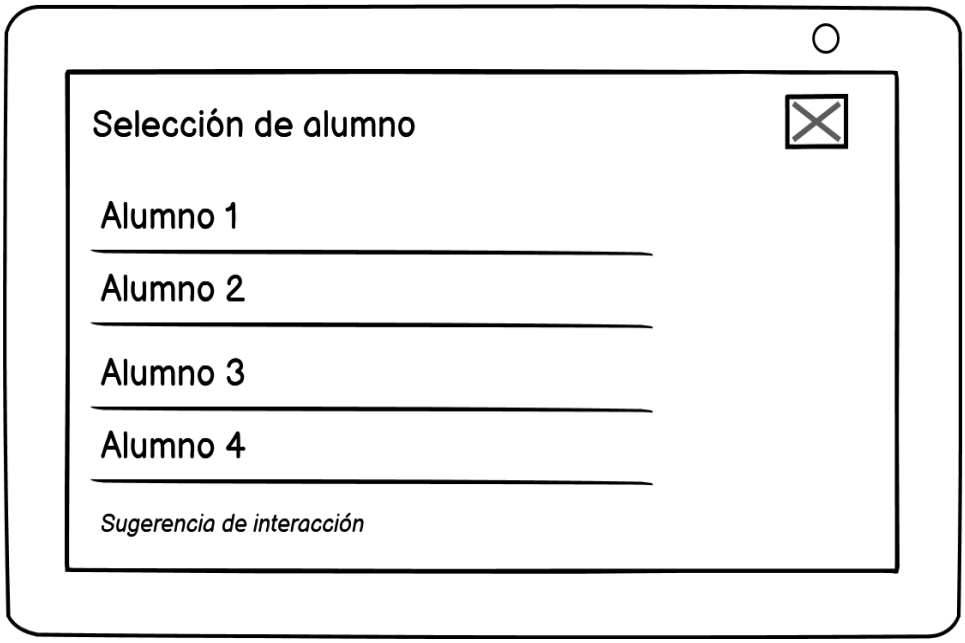

Figura 3.11 Mockup pantalla selección de alumno

El mockup de la interfaz para seleccionar el tipo de evaluación se muestra en la figura 3.12. En esta pantalla se presentan las tres opciones para estimar la comprensión lectora, y donde el usuario elige, a través de comandos de voz o por la interacción con la pantalla, el tipo de prueba, ya sea básica, intermedia o avanzada.

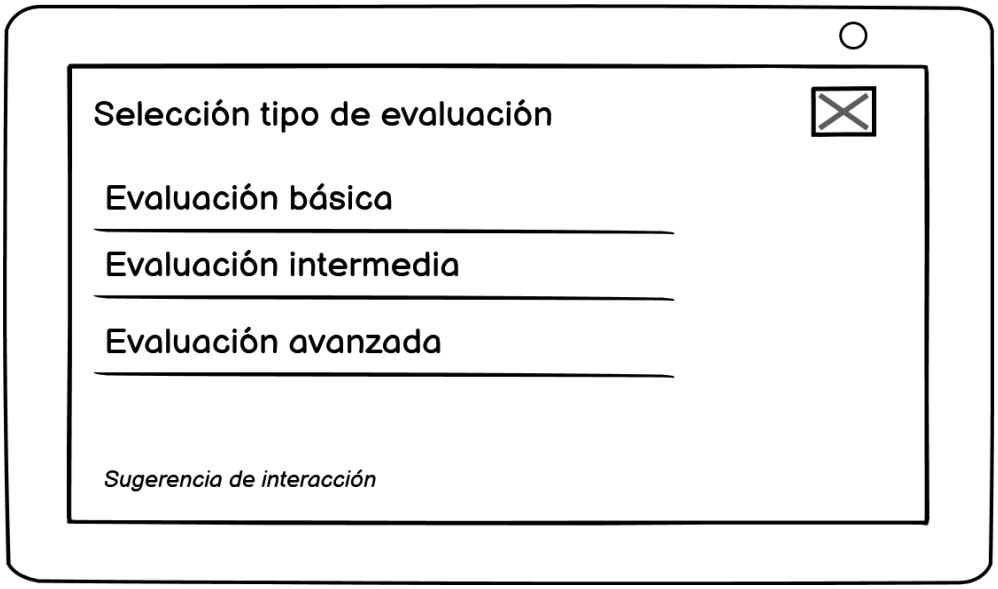

Figura 3.12 Mockup pantalla selección tipo de evaluación.

Después de seleccionar el tipo de evaluación, se selecciona el tema sobre el cual tratará la lectura (Figura 3.13), estos temas son los registrados en el perfil del estudiante.

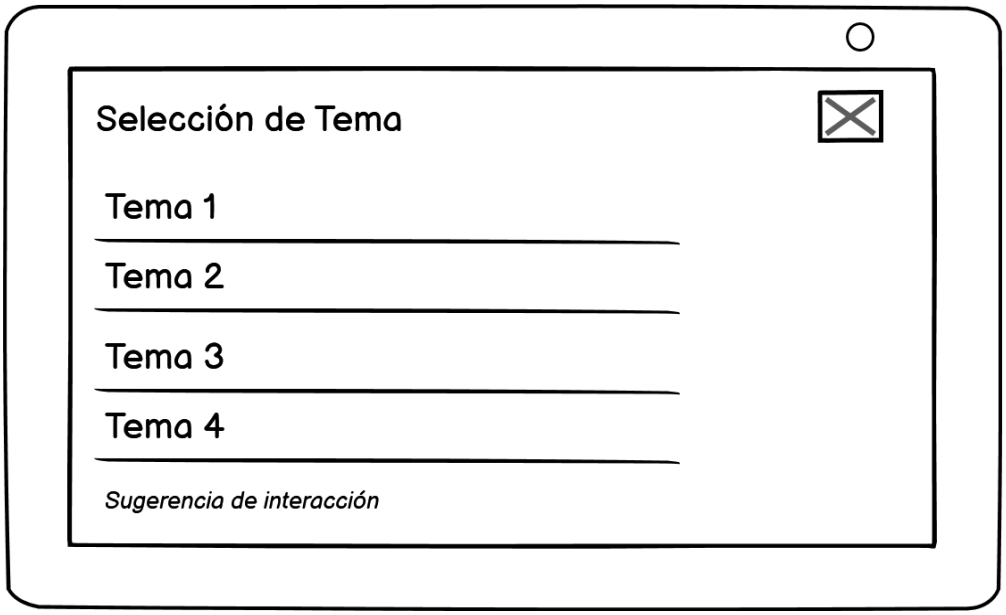

Figura 3.13 Mockup pantalla selección tema

En la figura 3.14 se presenta el mockup de la interfaz donde se encuentra el texto generado por el LLM, para la evaluación de la comprensión lectora. Además, está un botón para avanzar a las preguntas sobre el texto mostrado, la funcionalidad del botón es activada con la interacción física con el dispositivo o por voz.

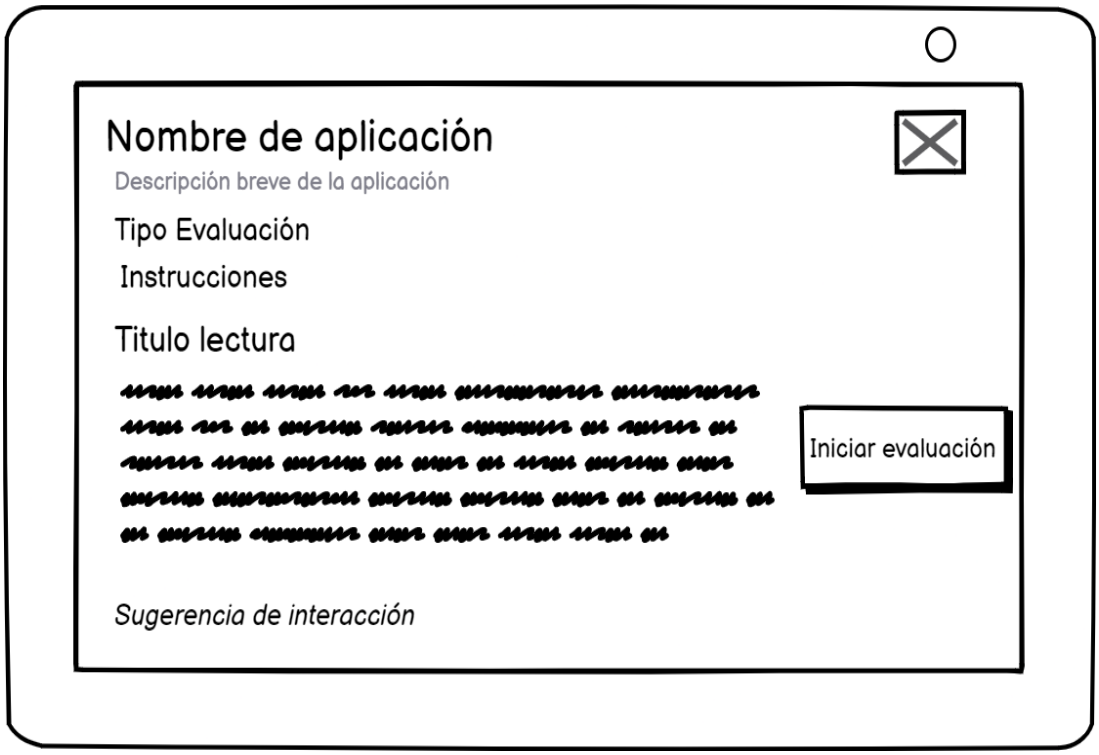

Figura 3.14 Mockup pantalla texto de evaluación.

Para evaluar la comprensión lectora, en la figura 3.15 se muestra la pantalla con el tipo de preguntas que se realizan, las cuales son preguntas abiertas, para que el asistente virtual comprenda la respuesta dada por el usuario.

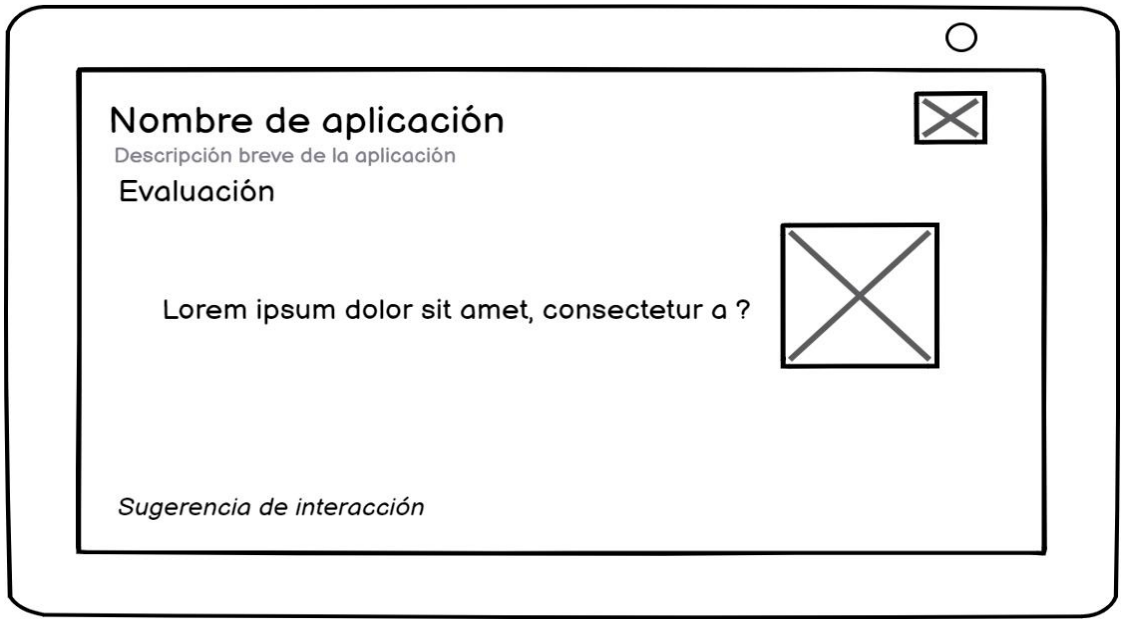

Figura 3.15 Mockup pantalla pregunta de evaluación.

En la figura 3.16, se muestra el mockup desarrollado para la pantalla de resultados de la prueba para comprensión lectora, donde estos se obtienen con base en la evaluación realizada con las respuestas a las preguntas sobre el texto leído.

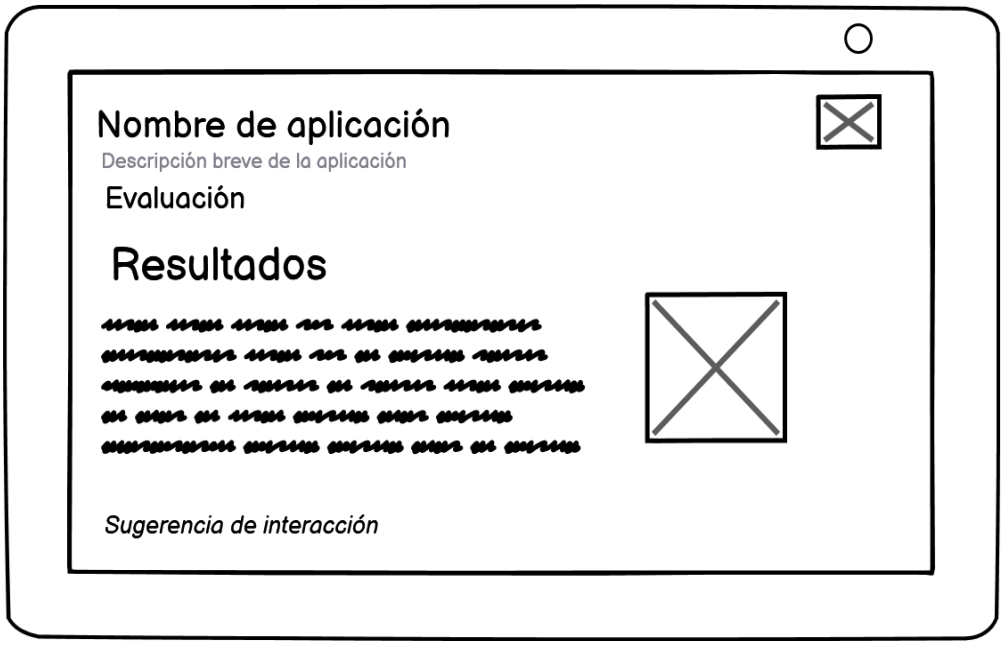

Figura 3.16 Mockup pantalla resultados

3.1.2.6 Implementación

A continuación, se describe el desarrollo de las interfaces gráficas de la aplicación, las cuales fueron realizadas con el lenguaje Alexa Presentation Language (APL), que cuenta con distintos componentes y parámetros que son interpretados por los dispositivos de asistencia virtual Amazon Echo Show.

3.1.2.6.1 Grupo de interfaces gráficas

En la figura 3.17 se aprecian los elementos que corresponden a la interfaz de bienvenida o introducción, donde se muestran los elementos descritos en el mockup de la pantalla.



Figura 3.17 Pantalla de bienvenida

Al acceder a la sección de “Lista de alumnos”, como se muestra en la figura 3.18, se despliega una lista de los alumnos registrados y las diferentes acciones que se pueden realizar. El usuario puede llevar a cabo dichas acciones mediante la interacción por voz o por la pantalla del dispositivo.

Cuando se desea agregar o editar la información de un alumno, se le pide al usuario que llene los campos mostrados en la figura 3.19.

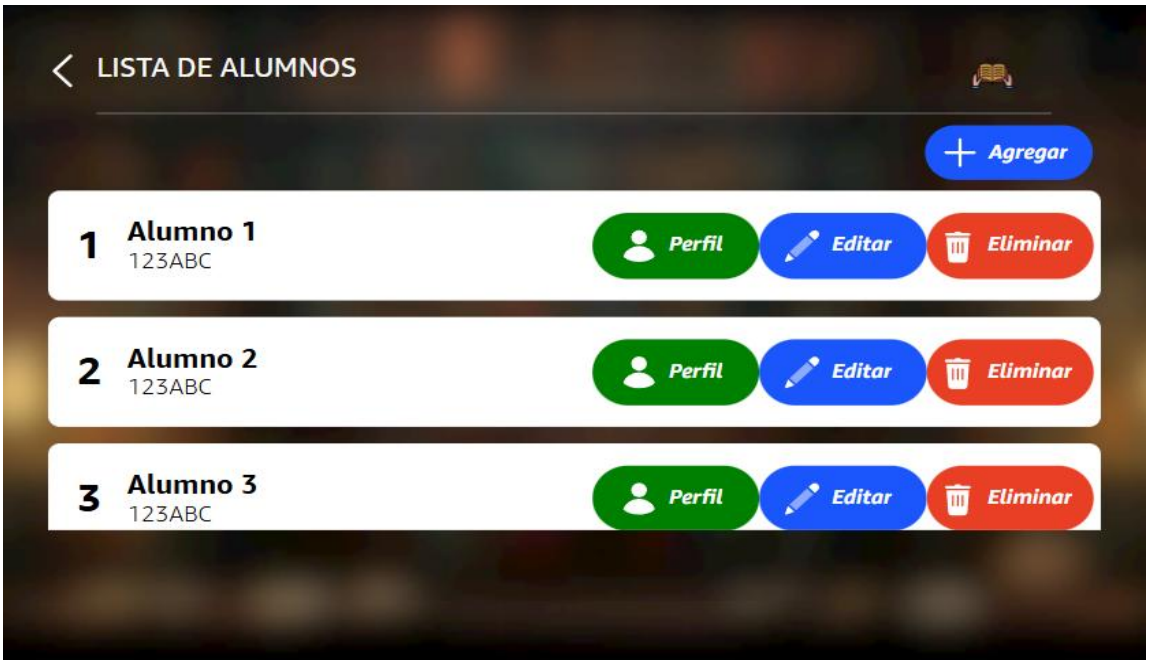

Figura 3.18 Interfaz Lista de alumnos

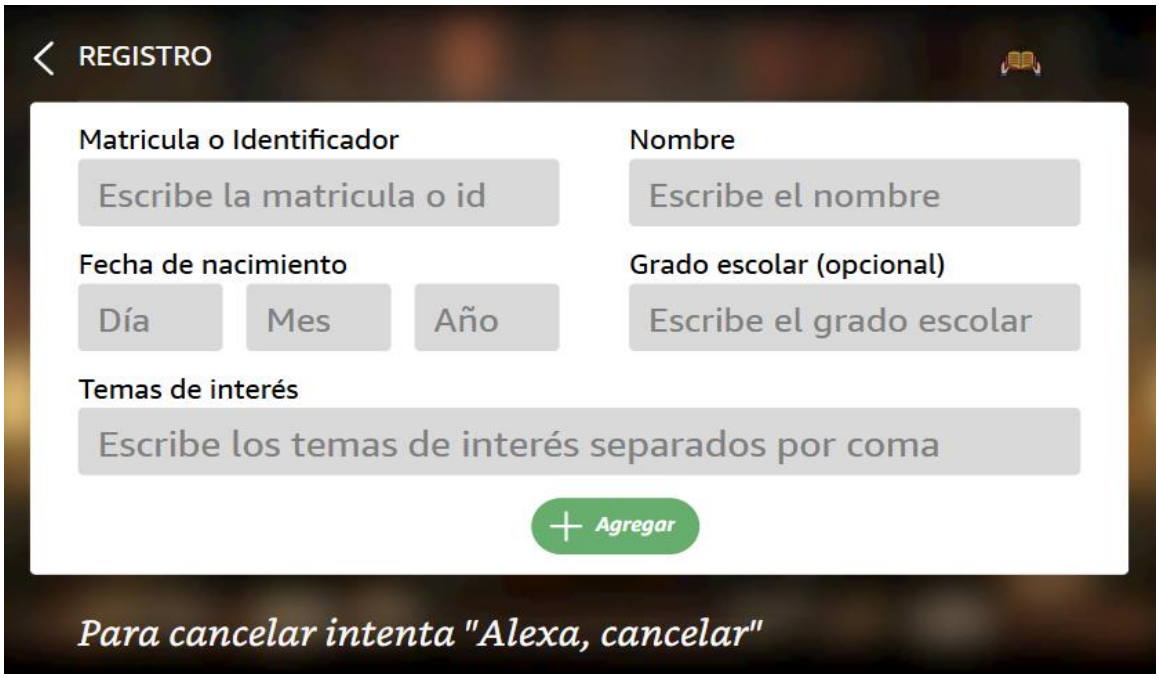

Figura 3.19 Interfaz Registrar/Actualizar alumno

Al acceder al perfil de un alumno, se presentan sus datos generales y el promedio de efectividad en cada tipo de evaluación (figura 3.20). También al presionar el recuadro donde se muestra el promedio, o mediante la interacción por voz, se accede a ver el detalle de todas las evaluaciones de ese nivel.



Figura 3.20 Interfaz Perfil alumno

Los detalles de cada sesión se muestran en la interfaz presentada en la figura 3.21 y figura 3.22. Se presenta un resumen, la lectura, preguntas de evaluación, las respuestas dadas por el alumno y la retroalimentación dada por el LLM.

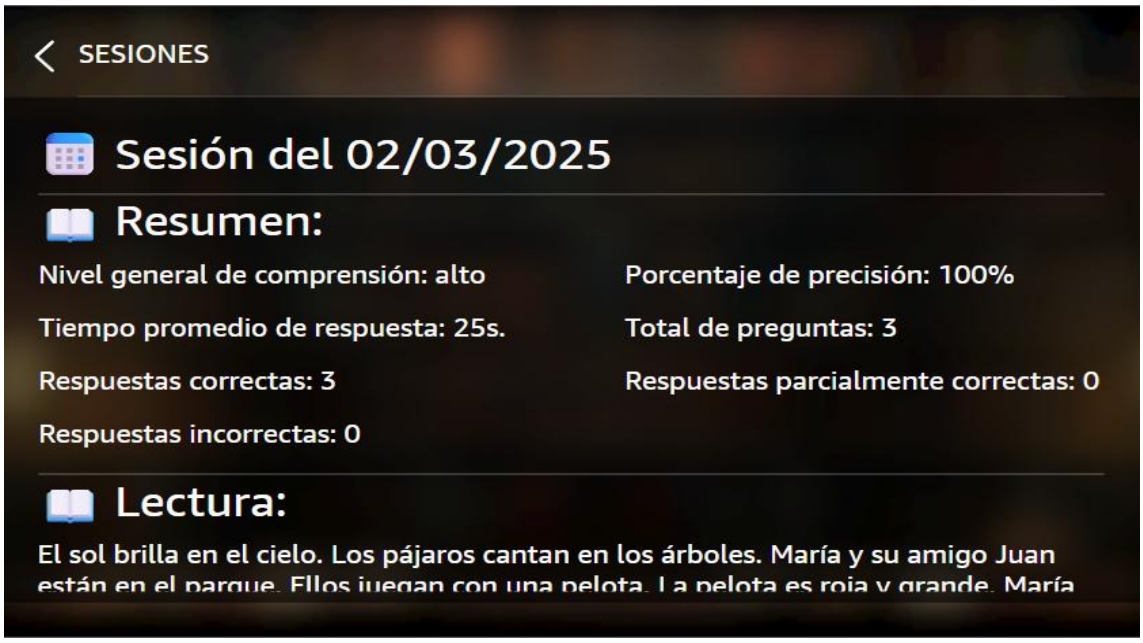

Figura 3.21 Interfaz Detalles de sesiones (parte 1)

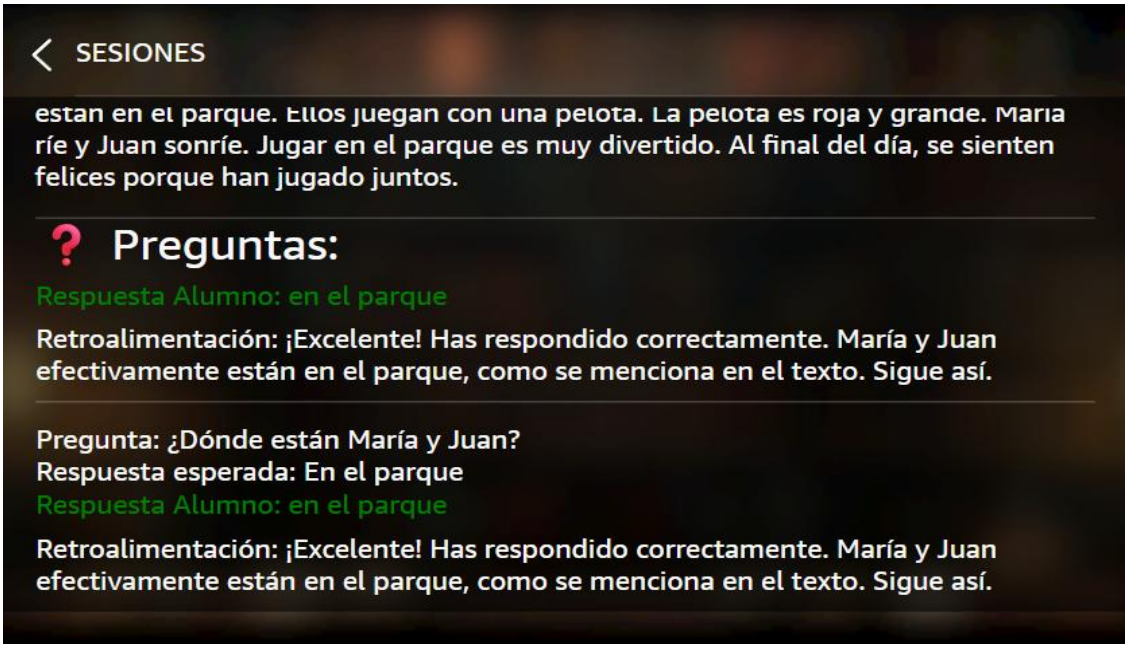

Figura 3.22 Interfaz Detalles de sesiones (parte 2)

Para realizar una prueba de comprensión lectora, se le debe indicar al asistente virtual dicha acción o acceder desde la interfaz de bienvenida. Una vez en esta sección se debe elegir el alumno a evaluar, en la figura 3.23. Se muestra la interfaz para seleccionar el alumno el cual realizará la prueba de evaluación.



Figura 3.23 Interfaz Selección de alumno

Después de seleccionar el alumno, se muestra el listado de tipo de evaluación, como se aprecia en la figura 3.24.

Para adaptar la lectura a los temas de interés del joven, el asistente pregunta por el tema de que tratará el texto o se puede seleccionar del listado de temas, como se muestra la figura 3.25.

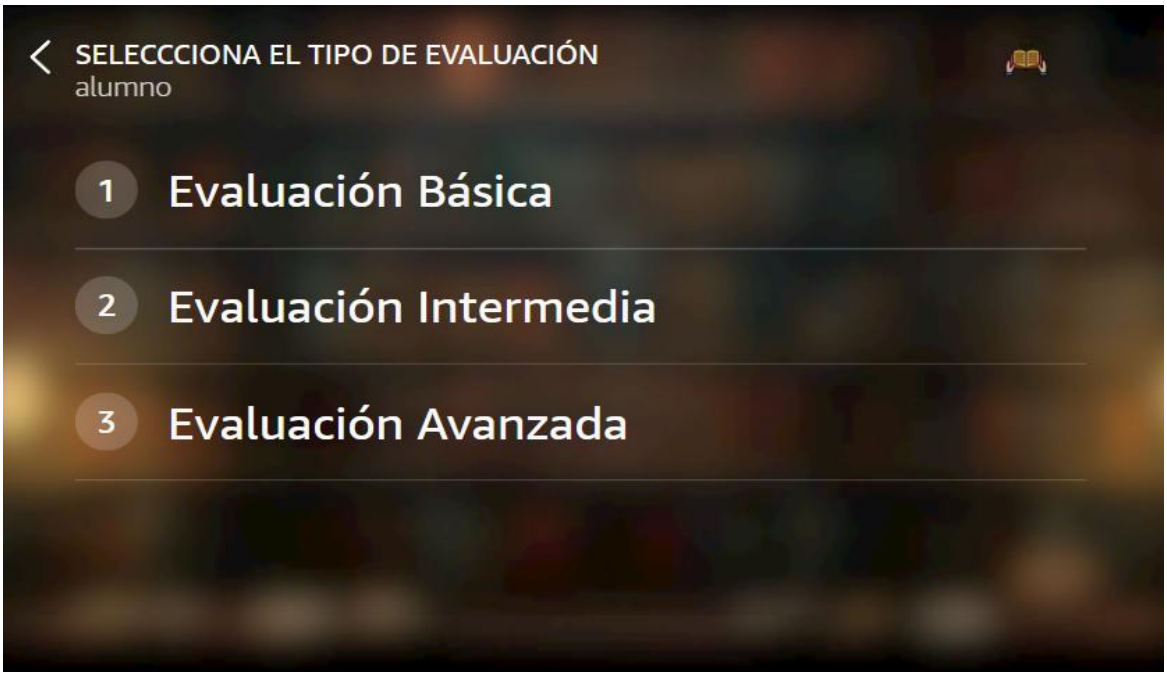

Figura 3.24 Interfaz Selección tipo de evaluación

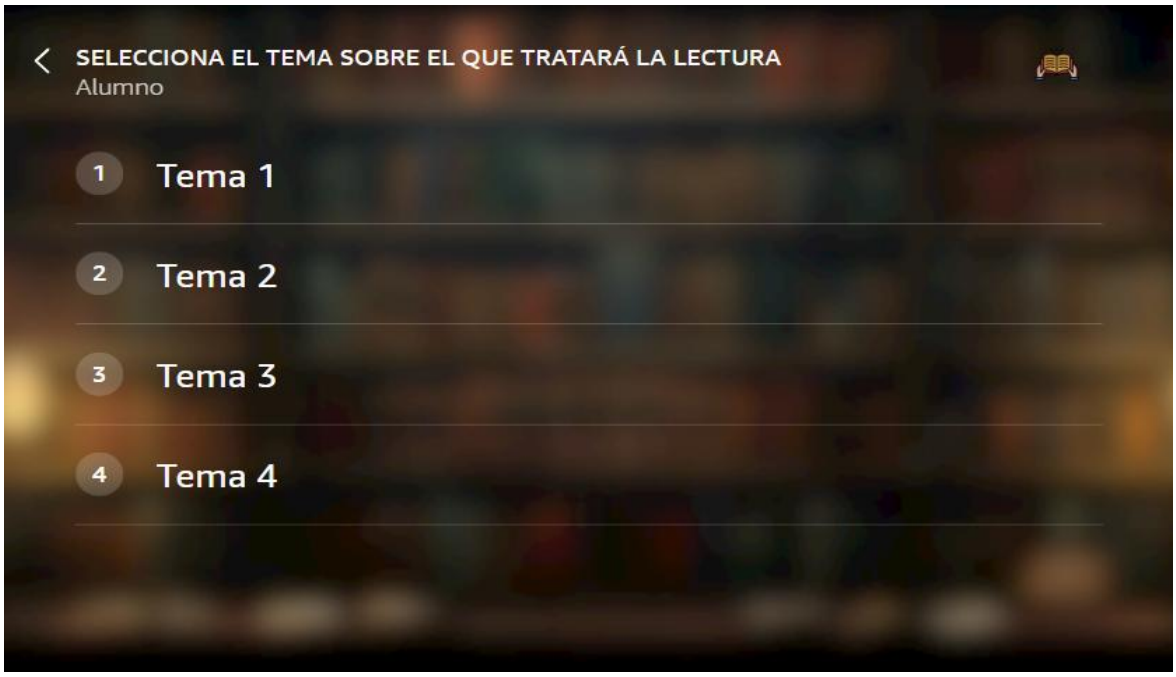

Figura 3.25 Interfaz Selección tema de lectura

En figura 3.26 se muestra la interfaz de los textos, dónde se presentan los elementos como son el título de la activad, la lectura adaptada para el usuario, un botón para iniciar la evaluación de comprensión lectora y una sugerencia para interactuar con el asistente virtual.

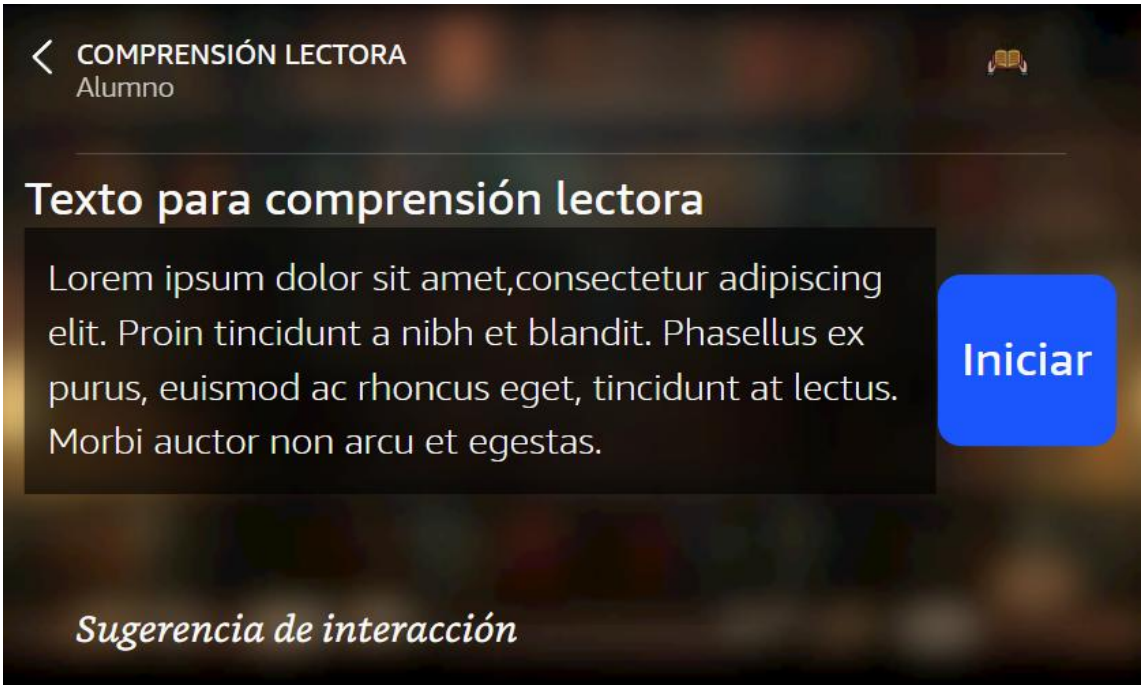

Figura 3.26 Interfaz Texto de evaluación

En la figura 3.27 se aprecia la interfaz de la pregunta para evaluar la comprensión lectora. La evaluación se realiza mediante preguntas abiertas sobre el texto leído, y el asistente virtual está a la escucha de la respuesta, para determinar, con ayuda de LLM, si es correcta.

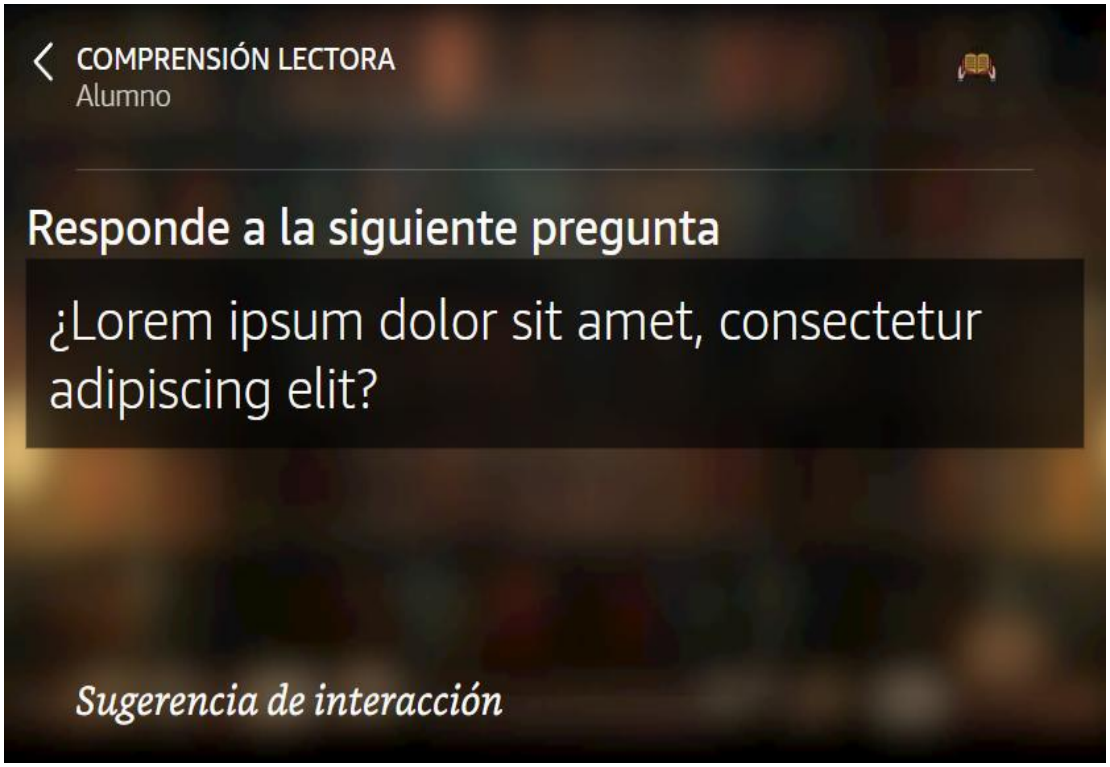

Figura 3.27 Interfaz Pregunta de evaluación

Al concluir con las preguntas de evaluación, el LLM realiza un análisis de las respuestas dadas al asistente, y se presenta la retroalimentación en la interfaz presentada en la figura 3.28.

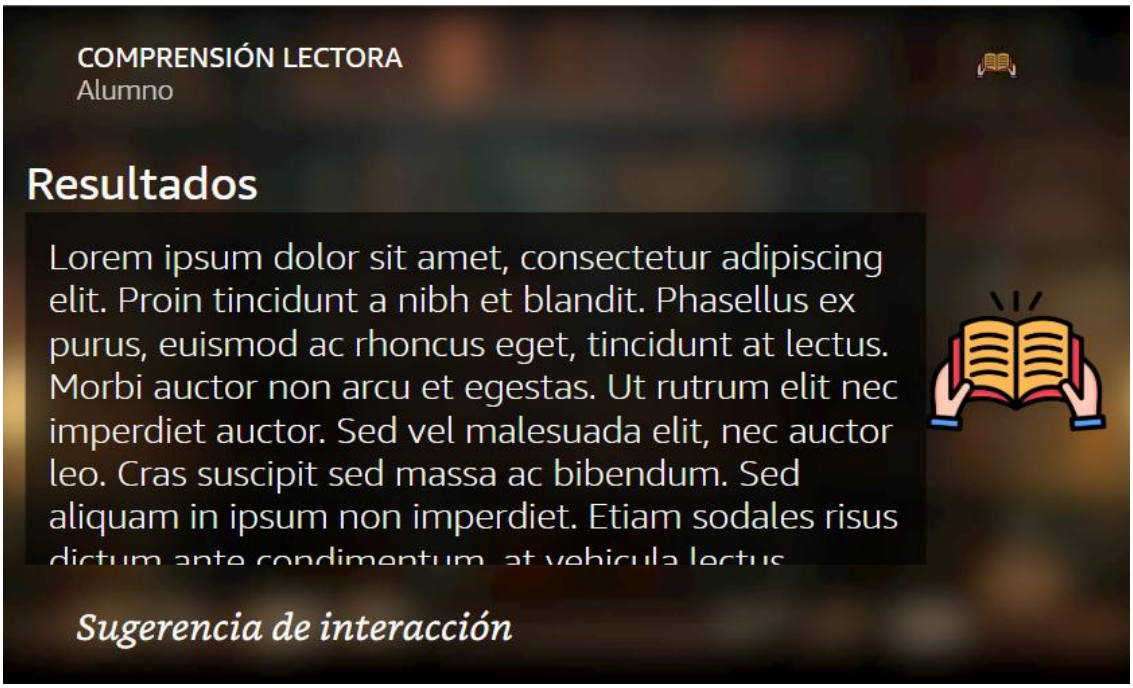

Figura 3.28 Interfaz Resultados de la evaluación

3.1.3 Sprint 3 Generación de textos

Durante este sprint se trabajó en la generación de los textos de evaluación mediante la API de OpenAI (tabla3.6), se explican las características que se trabajaron en los prompts para obtener las lecturas.

Tabla 3.6 Tercera iteración

SPRINT	**3**
NOMBRE	Generación de material de evaluación
TAREAS	Analizar los textos generados por el modelo GPT.
FINALIDAD	Crear material de evaluación de la comprensión lectora.
ESTADO	Terminado

3.1.3.1 Generación de textos y preguntas

La calidad de los textos generados por el LLM GPT, depende en gran medida de la manera en que se realiza la instrucción o prompt. Para este proyecto, se diseñaron

instrucciones específicas, que se basaban en las habilidades cognitivas y lingüísticas de los jóvenes con TEA.

Para la creación de prompts existen distintas guías o recomendaciones, pero para el desarrollo de este proyecto se siguieron las sugerencias dadas por la guía de Prompts de OpenAI [35] y la Prompt Engineering Guide [36]. Entre las características seleccionas para los prompts están las siguientes:

- Leguaje claro y directo.
- Estructura de los textos simples.
- Evitar metáforas o expresiones figurativas.
- Incluir temas de interés del alumno.
- Longitud de los textos.

Durante la implementación, se observaron mejoras en la calidad de los textos generados cuando las instrucciones tenían restricciones, como el número de oraciones que debía tener la lectura y especificar cuál era el público objetivo de los textos. También se trabajó con un especialista en educación, quien dio recomendaciones sobre las características que debían tener las lecturas.

Al trabajar con la API de OpenAI, se utilizaron los parámetros: el prompt, el modelo y la temperatura. El modelo fue GPT 4o-mini, por su desempeño en el procesamiento de instrucciones y la velocidad a la que trabaja; la temperatura es un parámetro para balancear la creatividad y coherencia del texto. En el script 3.1, se muestra un ejemplo de cómo se maneja la solicitud de un texto de evaluación, en él se muestra el modelo seleccionado, las indicaciones que debe seguir el modelo y finalmente la temperatura que debe tener para generar los textos; y en la Figura 3.29 se muestra el texto generado.

Script 3.1 Código fuente solicitud API OpenAI

```
1. const completion = await openai.chat.completions.create({
2.  model: " gpt-4o-mini",
3.  messages: [
```

```
4.  { role: "system", content: "Eres un asistente que genera
    textos educativos accesibles." },
5.  { role: "user", content: `Crea una lectura corta para un
    joven con autismo para practicar la comprensión lectora. El
    texto debe tener dos frases simples, lenguaje claro y tratar
    sobre ${topics[topic]}. El objetivo es que el joven gane
    fluidez en la lectura, así que me gustaría que haya
    repeticiones de estructuras y palabras. No incluyas frases
    introductorias ni comentarios antes del texto. Solo muestra
    el texto` },
6. ],
7.  temperature: 0.7 //Controla la creatividad; 0.7 es
    intermedio
8.  });
```

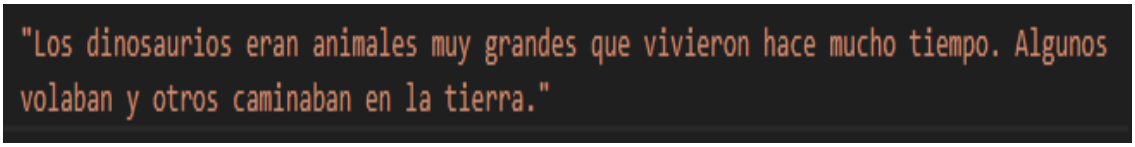

Figura 3.29 Texto generado por el modelo GPT 4o-mini

En general, GPT 4o-mini mostró una gran capacidad para la generación de material de evaluación, aunque en algunas ocasiones el lenguaje mostrado debía ser más adecuado para los jóvenes con TEA. Por esta razón se modificaron los prompts para incluir indicaciones precisas, como “Utiliza oraciones simples”.

3.1.3.2 Evaluación de la comprensión lectora

Este proceso fue diseñado con el apoyo de un psicólogo especialista en trabajar con jóvenes con autismo, quien colaboró en la definición de las etapas de evaluación y los criterios de retroalimentación.

El proceso de evaluación buscó determinar el nivel de comprensión lectora de un alumno con base en sus respuestas a preguntas sobre un texto leído. Se utilizó un LLM, como GPT, para analizar la coherencia, precisión y nivel de detalle de las

respuestas dadas, otorgando retroalimentación inmediata y registrando los resultados para el seguimiento del progreso.

Etapas de la evaluación:

1. Presentación de la lectura
    - El modelo GPT genera un texto adaptado al nivel cognitivo y de comprensión del alumno (por ejemplo: básico, intermedio o avanzado).
    - Alexa muestra el texto en pantalla (Echo Show).
2. Generación de preguntas
    - GPT crea automáticamente 3 preguntas relacionadas con el texto y la respuesta a cada pregunta.
    - Estas preguntas se almacenan temporalmente en la sesión del alumno junto con un registro de inicio de tiempo para cada una.
3. Registro de respuesta y tiempo
    - Al presentarse cada pregunta, Alexa inicia un contador de tiempo (en segundos).
    - El alumno responde.
    - Al recibir la respuesta, el sistema calcula el tiempo total de respuesta y lo asocia con la pregunta.
4. Evaluación automática con GPT
    - Se envía a la API de OpenAI la pregunta, la respuesta del alumno y la respuesta esperada.
    - GPT analiza la respuesta y devuelve una evaluación en formato JSON, con indicadores como: Correcta, Parcialmente correcta, Incorrecta. Además del nivel de comprensión estimado (alto, medio, bajo).
    - Esta evaluación se almacena junto con la pregunta y la respuesta.
5. Cálculo del resumen final: Una vez respondidas todas las preguntas, el sistema genera un resumen con:
    - Total de preguntas.
    - Número de respuestas correctas, parciales e incorrectas.

- Nivel general de comprensión, se de determina evaluando sí el número de respuestas con nivel de comprensión alto es mayor o igual a las respuestas de nivel medio y bajo, entonces será un nivel alto; en caso contario sí las respuestas con nivel medio es mayor o igual a las respuestas de nivel bajo, entonces será nivel medio; de lo contrario el nivel será bajo.
- Porcentaje de precisión. Se calcula con la siguiente formula:

$$\%\ Precisión = \left(\frac{RespuestasCorrectas + (RespuestasParciales\ \times\ 0.5)}{Total\ de\ preguntas}\right) \times 100$$

- Tiempo promedio de respuesta. Se calcula con la siguiente formula:

$$Tiempo\ promedio = \frac{\sum Tiempo\ cada\ pregunta}{Total\ de\ prenguntas}$$

6. Presentación de resultados y almacenamiento
    - Alexa comunica verbalmente el resumen y muestra una versión visual en el dispositivo Echo Show.
    - El sistema guarda toda la sesión en MongoDB, incluyendo: Texto de lectura, Preguntas y respuestas, evaluaciones de GPT, métricas de tiempo y precisión, nivel final y recomendación.

3.1.4 Sprint 4 Desarrollo de la aplicación

En esta sección se describe el desarrollo de las principales funcionalidades de la aplicación (tabla 3.7), en las que se encuentran el registro de estudiantes, búsqueda del perfil del estudiante y el proceso de evaluación de comprensión lectora.

Tabla 3.7 Cuarta iteración

SPRINT	**4**
NOMBRE	Desarrollo de funcionalidades de la aplicación.
TAREAS	Diseñar y codificar el conjunto de funcionalidades de la aplicación.
FINALIDAD	Generar un prototipo funcional de la aplicación.
ESTADO	Terminado

3.1.4.1 Registro de estudiante

Esta funcionalidad es la responsable de validar y almacenar la información de un nuevo estudiante. En el Script 3.2, se muestra la parte del esquema del modelo de interacción correspondiente al *intent* para comenzar a registrar un nuevo alumno, este tiene las frases con las que se puede interactuar con el asistente Alexa y realizar dicha acción. Después de decir alguna frase, se muestra la interfaz para registrar al alumno.

Script 3.2 Código fuente addStuIntent

```
{
  "name": "addStuIntent",
  "slots": [],
  "samples": [
    "agregar un nuevo alumno",
    "quiero agregar un nuevo alumno",
    "agregar alumno",
    "agregar"
  ]
    }
```

Una vez llenado el formulario de registro del estudiante, se procede a guardar la información en la base de datos, en el Script 3.3 se muestra la forma en que se realiza el registro de los datos, donde se obtienen los datos registrados en el formulario y se crea un objeto para hacer la petición a la base de datos, y si todo es correcto, se muestra el nuevo listado de alumnos haciendo la solicitud a la base de datos y mostrando el resultado en el documento APL correspondiente, y se notifica al usuario que el alumno fue agregado correctamente.

Script 3.3 Código fuente registro de estudiante

```
const data = {
  createdBy:
`${handlerInput.requestEnvelope.session.user.userId}`,
  createdAt: new Date(),
  controlN: args[1],
  name: args[2],
  dateOB: new Date(`${args[4]}/${args[3]}/${args[5]}`),
  schoolGrade: args[6],
  topics: args[7].split(",")
}

    if (await db.createStudent(data)) {
      let speakOutput = "";
      const students = await
db.getStudentsCreatedBy(handlerInput.requestEnvelope.session.
user.userId);
      let data = [];

      if (students.length === 0) {
        speakOutput = 'No existen alumnos  para mostrar'
      } else {
        students.forEach((stu, i) => {
          data.push({
            "id": stu._id,
            "nombre": stu.name,
            "clave": stu.controlN
          });
        });
        const DOCUMENT_ID = "lista";
        const datasource = {
          "userData": {
            "datosAlumnos": data
          }
        };
        const aplDirective =
createDirectivePayload(DOCUMENT_ID, datasource);
    handlerInput.responseBuilder.addDirective(aplDirective);
        speakOutput = 'Alumno agregado correctamente';
      }

      return handlerInput.responseBuilder
        .speak(speakOutput)
        .getResponse();
    }
```

3.1.4.2 Búsqueda de perfil estudiante

En este componente se realiza la búsqueda del perfil del estudiante, para mostrar sus datos generales y obtener los reportes de las sesiones de evaluación realizadas con anterioridad. En el script 3.4 se muestra la parte del esquema del modelo de interacción correspondiente al *intent* , en están definidas la frases para interactuar con el asistente virtual y el tipo de dato que tiene la variable alumno.

Script 3.4 Código fuente profileIntent

```
{
  "name": "profileIntent",
  "slots": [
    {
      "name": "alumno",
      "type": "AMAZON.NUMBER"
    }
  ],
  "samples": [
        "detalles",
        "ver detalles",
        "ver perfil del  alumno {alumno}",
        "perfil del alumno {alumno}",
        "perfil alumno {alumno}",
        "ver perfil de alumno {alumno}"
      ]
    }
```

En el script 3.5, se muestra la sección de código para obtener los datos del alumno indicado y mostrarlos en la pantalla del dispositivo mediante un documento APL, en él se muestra cómo se obtiene el id del estudiante mediante los argumentos pasados en el *intent*. Este id sirve para obtener la información, de la base de datos, del estudiante y los reportes de evaluación generados para este alumno. Cada reporte se clasifica según el nivel de evaluación realizado y se van sumando sus porcentajes de precisión para obtener un promedio de cada tipo de evaluación. Después de obtener toda la información se carga el documento APL con los datos y se genera una frase para decir

al usuario. La información del estudiante y los reportes se almacenan en los datos de la sesión

Script 3.5 Código fuente perfil estudiante

```
const id = handlerInput.requestEnvelope.request.arguments[1];
const sessionAttributes =
handlerInput.attributesManager.getSessionAttributes();
const student = await db.getStudentById(id);
const reports = await db.getReports(id);
let basic = { per: 0, total: 0 };
let inter = { per: 0, total: 0 };
let av = { per: 0, total: 0 };

reports.forEach((report) => {
        report.dateR = new
Date(report.dateR).toLocaleDateString();
        if (report.testLv === 1) {
          basic.per += report.resume.porcentajePrecision;
          basic.total += 1;
        } else if (report.testLv === 2) {
          inter.per += report.resume.porcentajePrecision;
          inter.total += 1;
        } else if (report.testLv === 3) {
          av.per += report.resume.porcentajePrecision;
          av.total += 1;
        }
      })
      sessionAttributes.student = student;
      sessionAttributes.reports = reports;
      if (student) {

        const DOCUMENT_ID = "perfil";

        const datasource = {
          "userData": {
            "id": student._id,
            "name": student.name,
            "controlN": student.controlN,
            "age": calcularEdad(student.dateOB),
            "basic": Math.round((basic.per / basic.total)) |
0,
            "inter": Math.round((inter.per / inter.total)) |
0,
            "av": Math.round((av.per / av.total)) | 0
          }
        };
```

```
39.         const aplDirective =
    createDirectivePayload(DOCUMENT_ID, datasource);
40.
41.
    handlerInput.responseBuilder.addDirective(aplDirective);
42.         speakOutput = 'Para ver el detalle de cada evaluación
    dí: ver evaluación, seguido del tipo de evaluación. O
    selecciona de los elementos en pantalla';
43.
44.         return handlerInput.responseBuilder
45.           .speak(speakOutput)
46.           .reprompt('')
47.           .getResponse();
48.     }
```

3.1.4.3 Generación de contenido de evaluación

Para comenzar la evaluación de la comprensión lectora se debe indicar el *intent* correspondiente que es *InicioIntent*. Después se indica el alumno a realizar la evaluación con la frase para *SelectAlumnoIntent* o la interacción con la pantalla del dispositivo. Se continua con el tipo de evaluación (*SelectTipoEvaIntent*) y el tema sobre el cual será la lectura (*SelectTopic)*. Estos *intents* se aprecian en el script 3.6.

Script 3.6 Código fuente intents para realizar evaluación

```
1. {
2.                     "name": "InicioIntent",
3.                     "slots": [],
4.                     "samples": [
5.                         "realizar evaluacion",
6.                         "evaluar",
7.                         "realizar evaluación"
8.                     ]
9.                 },
10.                      {
11.                         "name": "SelectAlumnoIntent",
12.                         "slots": [
13.                             {
14.                                 "name": "alumno",
15.                                 "type": "AMAZON.NUMBER"
16.                             }
17.                         ],
18.                         "samples": [
19.                             "{alumno}",
20.                             "alumno {alumno}"
```

```
                        ]
                    },
                    {
                        "name": "SelectTipoEvaIntent",
                        "slots": [
                            {
                                "name": "evaluacion",
                                "type": "evaluacion"
                            }
                        ],
                        "samples": [
                            "evaluacion {evaluacion}",
                            "evaluación {evaluacion}"
                        ]
                    },
    {
                        "name": "SelectTopic",
                        "slots": [
                            {
                                "name": "topic",
                                "type": "AMAZON.NUMBER"
                            }
                        ],
                        "samples": [
                            "el tema número {topic}",
                            "el tema numero {topic}",
                            "tema número {topic}",
                            "tema numero {topic}",
                            "tema {topic}",
                            "el tema {topic}"
                        ]
                    }
```

Una vez guardados los parámetros para generar el texto de evaluación, se procede a realizar la petición a la API de OpenAI, para que genere la lectura con la ayuda de LLM, para finalmente mostrarlo en la interfaz correspondiente (Script 3.7).

Script 3.7 Código presentación de texto

```
let DOCUMENT_ID = "";
let prompt = '';
let datasource = "";
DOCUMENT_ID = "evBasic";
```

```
5.
6. textGenerate = await openAIRequests(prompt);
7. datasource = {
8.   "simpleTextTemplateData": {
9.     "type": "object",
10.         "properties": {
11.           "backgroundImage":
   "https://d1rag3597fzecf.cloudfront.net/backgroundImage.jpg",
12.           "foregroundImageLocation": "right",
13.           "foregroundImageSource":
   "https://d1rag3597fzecf.cloudfront.net/icon.png",
14.           "headerTitle": "Comprensión lectora",
15.           "headerSubtitle": sessionAttributes.student.name
   || '',
16.           "hintText": "Lee el texto y cuando estés listo,
   dime: \"Iniciar evaluación\"",
17.           "headerAttributionImage":
   "https://d1rag3597fzecf.cloudfront.net/icon.png",
18.           "primaryText": textGenerate,
19.           "textAlignment": "start",
20.           "titleText": "Texto para comprensión lectora"
21.         }
22.       }
23.     };
24.
25.
26.     const aplDirective = createDirectivePayload(DOCUMENT_ID,
   datasource);
27.     handlerInput.responseBuilder.addDirective(aplDirective);
28.     speakOutput = 'Lee el texto y cuando estés listo, dime
   iniciar evaluación o pulsa el botón que está en la parte
   derecha de la pantalla';
29.
30.     return handlerInput.responseBuilder
31.       .speak(speakOutput)
32.       .getResponse();
```

Cuando se decide iniciar con las preguntas de evaluación de comprensión lectora, se debe indicar con la frase de *EvaluarIntent* o mediante la interacción con el dispositivo de asistencia virtual. Después, el asistente muestra y dice las preguntas generadas con la inteligencia artificial LLM, el usuario responde con las frases de *RespuestaIntent,* el modelo de interacción se presenta en el Script 3.8.

Script 3.8 Código intents preguntas de evaluación

```
{
  "name": "EvaluarIntent",
    "slots": [],
     "samples": [
       "iniciar evaluacion",
       "iniciar evaluación"
      ]
},
{
      "name": "RespuestaIntent",
       "slots": [
         {
           "name": "resp",
           "type": "AMAZON.SearchQuery",
           "samples": [
             "{resp}"
           ]
         }
       ],
         "samples": [
           "la respuesta es {resp}",
           "creo que la respuesta es {resp}",
           "es {resp}",
           "creo que es {resp}"
         ]
    }
```

Cuando el usuario responde, se evalúa la respuesta dada y se almacenan los resultados en los datos de la sesión, si aún no se responde a todas las preguntas, se continúa presentando las preguntas faltantes. Al finalizar de responder todas, se genera el resumen para guardarlo y mostrar en la pantalla los resultados obtenidos.

Capítulo 4 Resultados

A continuación, se describen los resultados obtenidos del desarrollo del presente proyecto. Se presenta un caso de estudio correspondiente a la evaluación de la comprensión lectora.

4.1 Sprint 5 Aplicación de caso de estudio

Tabla 4.1 Quinta iteración

SPRINT	**5**
NOMBRE	Realización de caso de estudio.
TAREAS	Validar el correcto funcionamiento de la aplicación
FINALIDAD	Evaluar el desempeño de la aplicación al realizar pruebas de comprensión lectora.
ESTADO	Terminado

Se desarrolló una aplicación con el nombre de “Lectura Azul”, para el asistente virtual Amazon Alexa, este tipo de aplicaciones son conocidas como *skills,* la aplicación fue implementada en dispositivo Amazon Echo Show 8. La *skill* cuenta con funcionalidades de administrar la información de los estudiantes, presentación de lecturas dinámicas, generadas por el LLM; analizar las respuestas a las preguntas de evaluación de comprensión lectora y dar una retroalimentación al alumno, gracias a las capacidades ofrecidas por un LLM.

4.1.1 Caso de estudio

- Se realizaron las pruebas en la institución Xiimbal Weetel, ubicada en la ciudad de Córdoba, Veracruz. Las pruebas estuvieron supervisadas por la Psicóloga Andrea Méndez Juárez.
- Las pruebas se realizaron con un grupo de 5 jóvenes de edades entre 16 y 21 años, todos con TEA nivel 1.

- La aplicación permitió almacenar la información de los alumnos, como un identificador, su nombre, fecha de nacimiento, grado escolar, este dato fue opcional; y los temas de interés de cada estudiante.
- El instructor seleccionó de manera correcta el alumno que realizaría la evaluación, el nivel de la prueba, y el tema de preferencia del alumno. Todo esto mediante comandos de voz y/o la interacción con los elementos mostrados en la pantalla del dispositivo Echo Show.
- Al realizar las pruebas de evaluación de comprensión lectora, el alumno pudo interactuar con el dispositivo de asistencia virtual mediante la voz y la pantalla táctil, para navegar en la lectura presentada y responder las preguntas. Todos los detalles de la sesión de evaluación fueron almacenados correctamente en la base de datos.
- Se realizó una pequeña encuesta a los alumnos, para obtener retroalimentación sobre la facilidad de interacción con la aplicación (Figura 4.1), la calidad de los textos y preguntas presentados (Figura 4.2 y Figura 4.3). También se le hizo una encuesta al especialista sobre la aplicación (Tabla 4.2), obteniendo una respuesta favorable.

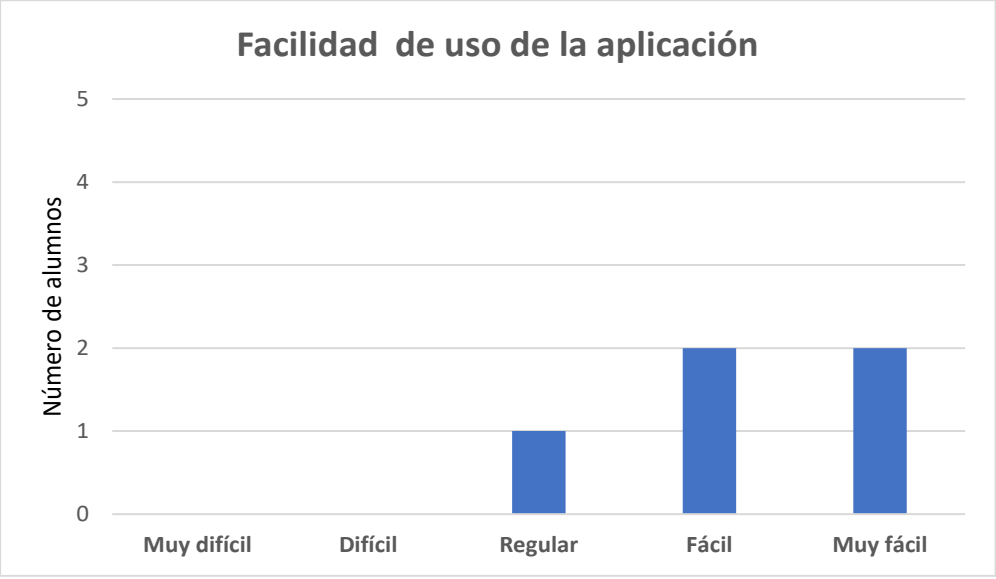

Figura 4.1 Resultados facilidad de uso

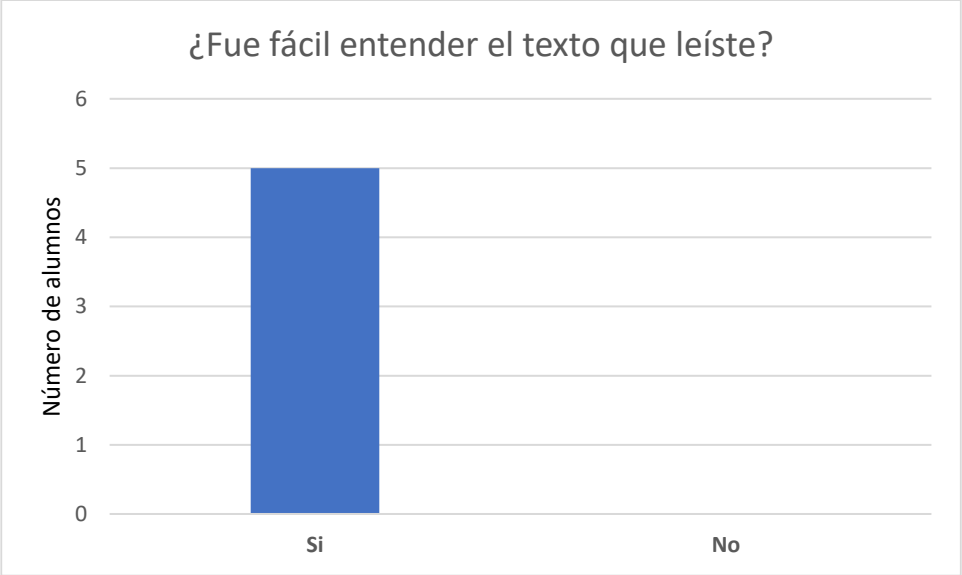

Figura 4.2 Resultados calidad de los textos

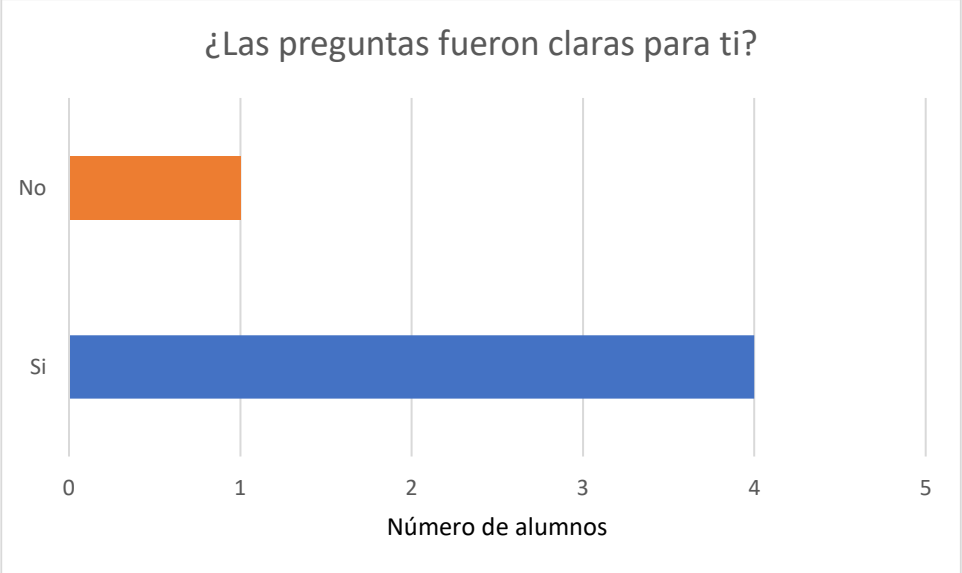

Figura 4.3 Resultados calidad de las preguntas

Tabla 4.2 Encuesta especialista

Pregunta	Respuesta
¿Considera que la interfaz de la aplicación es amigable para los estudiantes con TEA?	La interfaz es adecuada y tiene buena organización, los colores me parecieron apropiados.
¿Los textos fueron adecuados al nivel de los estudiantes?	Los textos se adaptaron bien al nivel lectura de los estudiantes. Tenían oraciones simples y sin palabras complejas.
¿Las preguntas permitieron evaluar la comprensión lectora de manera efectiva?	Si, las preguntas fueron formuladas de manera correcta.
¿Considera útil esta aplicación como apoyo en la enseñanza?	Si, es una excelente herramienta de evaluación
¿Qué aspectos sugeriría mejorar en la aplicación?	implementar más opciones visuales, como imágenes que acompañen el texto

- Entre las principales fortalezas observadas, fue la capacidad del modelo GPT para generar textos adaptados a las necesidades específicas de las personas con TEA, además de adecuar la lectura al nivel y tema establecido.
- Con los resultados obtenidos, se puede concluir que la aplicación tiene un potencial para servir de apoyo en la evaluación de la comprensión lectora, ofreciendo una retroalimentación rápida del proceso de lectura.
- Se identificó que la calidad del material de evaluación puede variar si el *prompt* no es lo suficientemente claro o específico.
- En ocasiones el dispositivo tuvo problemas para identificar la instrucción dada por el usuario mediante la interacción por voz, por lo que se tenía que volver a indicar la acción deseada o, en caso de presentarse, realizar la acción con los elementos mostrados en la pantalla.

- Se concluyó que la evaluación realizada por la aplicación, apoyada por el LLM, no es un sustituto del criterio de los especialistas, sino una herramienta complementaria que necesita de la supervisión del docente o terapeuta.

A continuación, se describe la manera en que los usuarios interactúan con la aplicación, comenzando con la funcionalidad de registro de información del alumno, realizada por el terapeuta.

En primera instancia, el especialista encargado del grupo de estudiantes, interactúa con el dispositivo de asistencia virtual, mediante la voz, para iniciar la aplicación con el *invocation name,* que es la frase que identifica a la *skill*. Después se presenta la respuesta en la pantalla del dispositivo y el asistente virtual explica las distintas acciones que el usuario puede realizar, las cuales son el realizar una evaluación, ir a la sección del listado de alumno, y finalmente la opción de ayuda, donde el asistente le dice al usuario las características de la aplicación y los diferentes comandos de voz que puede utilizar.

Como se explicó en el capítulo 3, cuando se accede a la sección de “Lista de alumnos”, el especialista puede registrar nuevos alumnos, al elegir esta acción, el usuario ingresa los datos solicitados (Figura 4.4), la aplicación valida que los datos sean correctos, si es así, almacena la información en la base de datos (Figura 4.5), se guarda la información de un id generado automáticamente por la base de datos(_id), el id del dispositivo donde se registró este perfil(*createdBy*), la fecha en que se creó(*createdAt)*, y todos los datos registrados en el formulario; y finalmente muestra el estudiante registrado en la interfaz de listado de alumnos (Figura 4.6).

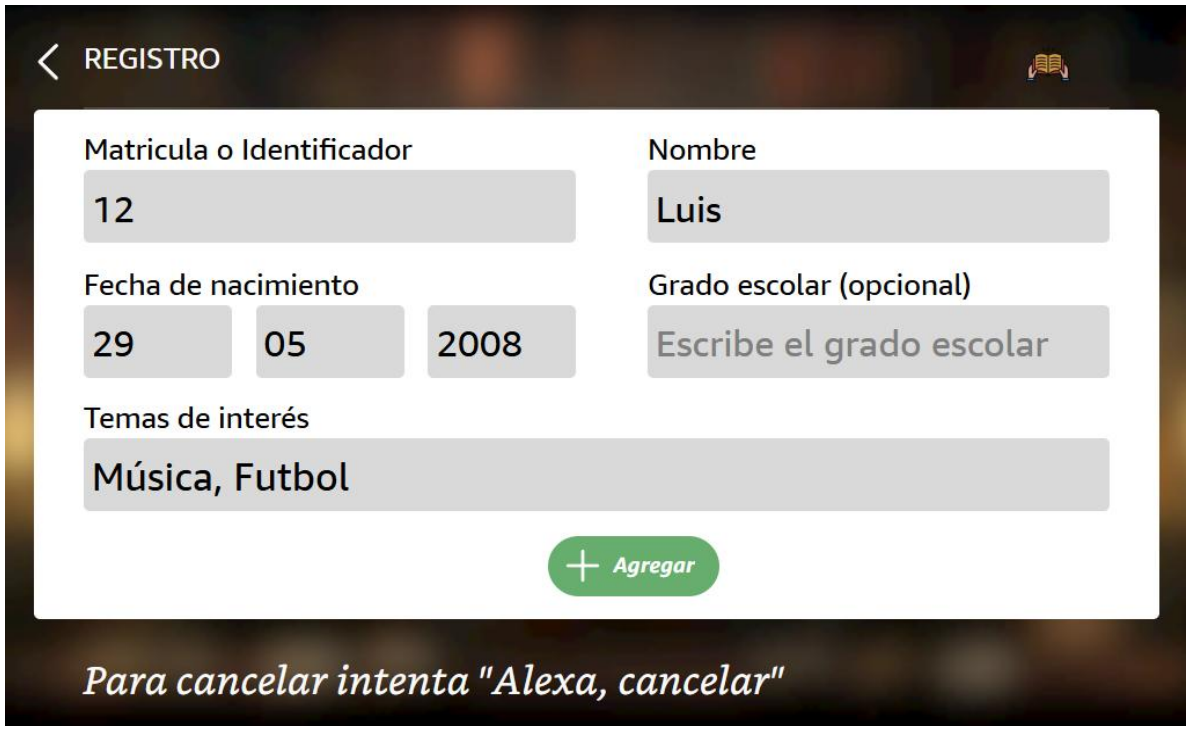

Figura 4.4 Llenado de formulario de registro de alumno


```
_id: ObjectId('6832caa55a66bd663633062a')
createdBy : "amzn1.ask.account.AMAR4HZHE64OMAMFBHDR3RSHXJEQIJPQCHIXOH4W77W5HKJAW6MY…"
createdAt : 2025-03-18T07:45:41.270+00:00
controlN : "12"
name : "Luis"
dateOB : 2008-05-29T00:00:00.000+00:00
schoolGrade : ""
topics : Array (2)
  0: "Música"
  1: " Futbol"
```


Figura 4.5 Perfil usuario (MongoDB)

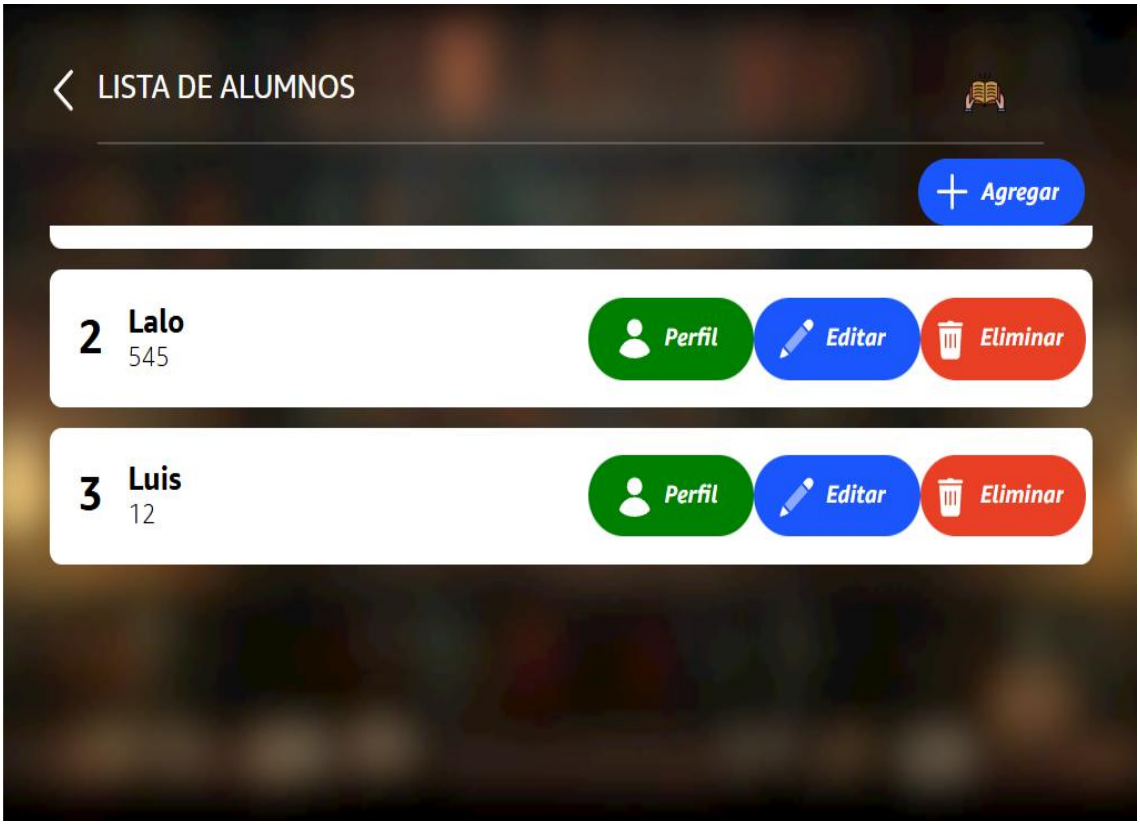

Figura 4.6 Lista de alumnos

Cuando el usuario decide realizar una prueba de evaluación, en el dispositivo se muestra el listado de alumnos para seleccionar a quién se le realiza la prueba, después se elige el tipo de evaluación y el tema de interés del alumno sobre el cual tratará la lectura de evaluación. Con estos datos se hace la petición, mediante la API de OpenAI, para generar el texto. En la Figura 4.7, se muestra la lectura de evaluación básica.



Figura 4.7 Texto de evaluación básica

Después de leer el texto, el alumno decide iniciar la evaluación de comprensión lectora mediante el comando de voz indicado por el asistente o presionando el botón de la interfaz. Cuando realiza esta acción, se procede a presentar las preguntas de comprensión lectora (Figura 4.8, Figura 4.9), para la evaluación básica se realizan dos preguntas. Al presentar el cuestionario, el asistente virtual lee las preguntas, y le indica al usuario que al finalizar de leer la pregunta y decida dar su respuesta, se lo indique con el comando de voz “la respuesta es…” y después diga la respuesta a la pregunta actual.



Figura 4.8 Primera pregunta evaluación básica

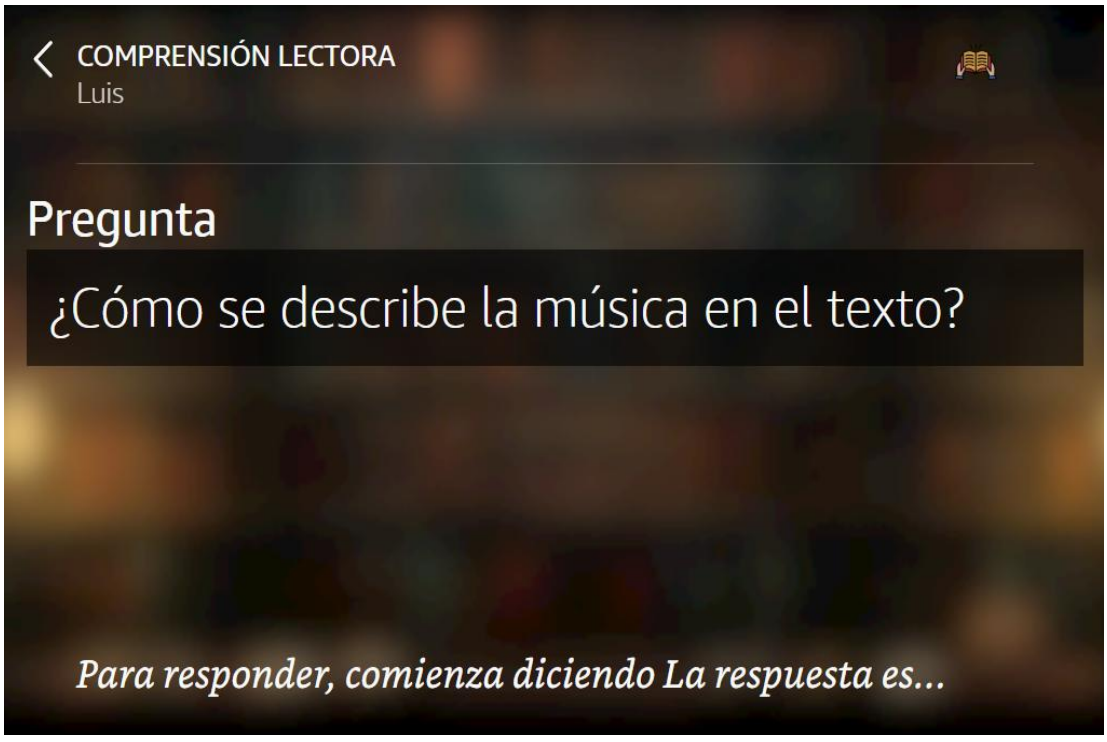

Figura 4.9 Segunda pregunta evaluación básica

Cuando se finaliza de responder a las preguntas de comprensión lectora, se envía la petición a la API de OpenAI para que evalué las respuestas dadas por el alumno, y determine si fueron correctas, incorrectas o parcialmente correctas; además de dar una pequeña retroalimentación sobre el resultado obtenido en cada pregunta. Con base en esta evaluación, se realiza un reporte de la sesión, donde se almacena un id generado por la base de datos, el identificador del estudiante que realizó la evaluación, la fecha en que se presentó, el nivel de la evaluación(1= básico, 2=intermedio, 3= avanzado), la lectura presentada, un arreglo con las preguntas y respuestas dadas por el alumno, como los resultados de la evaluación a las preguntas, la retroalimentación generada por el LLM y el tiempo que tomo en responder el alumno; y las estadísticas de la prueba, como lo son el porcentaje de precisión, el tiempo promedio, el nivel general, y el numero de respuestas correctas, incorrectas y parcialmente correctas (Figura 4.10). Después de realizar el reporte, se presenta en la pantalla del dispositivo, la evaluación que se hizo a las respuestas del alumno y la retroalimentación generada por el LLM, dicha retroalimentación también la dice el asistente virtual de manera auditiva (Figura 4.11).

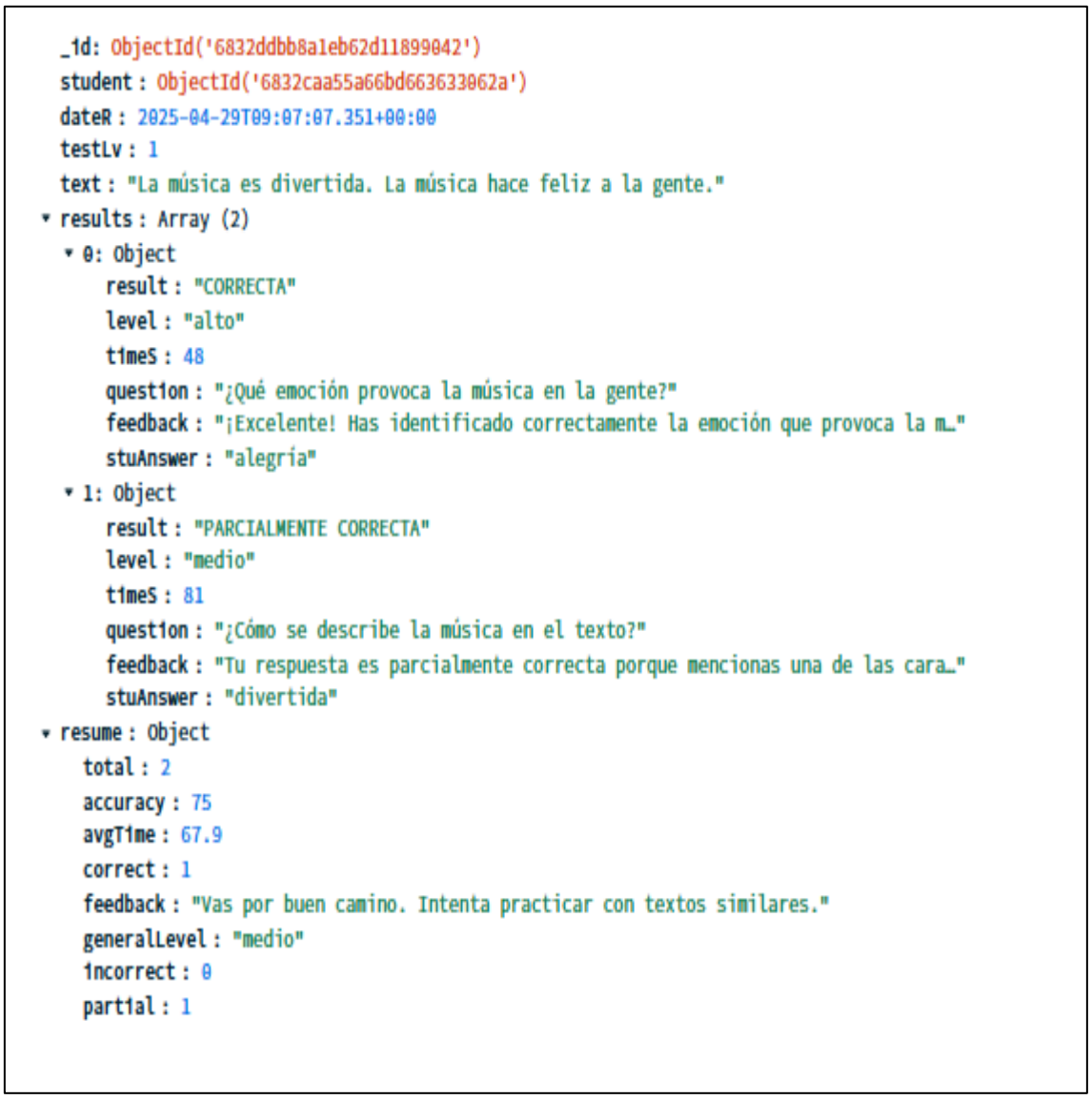

Figura 4.10 Reporte sesión (MongoDB)

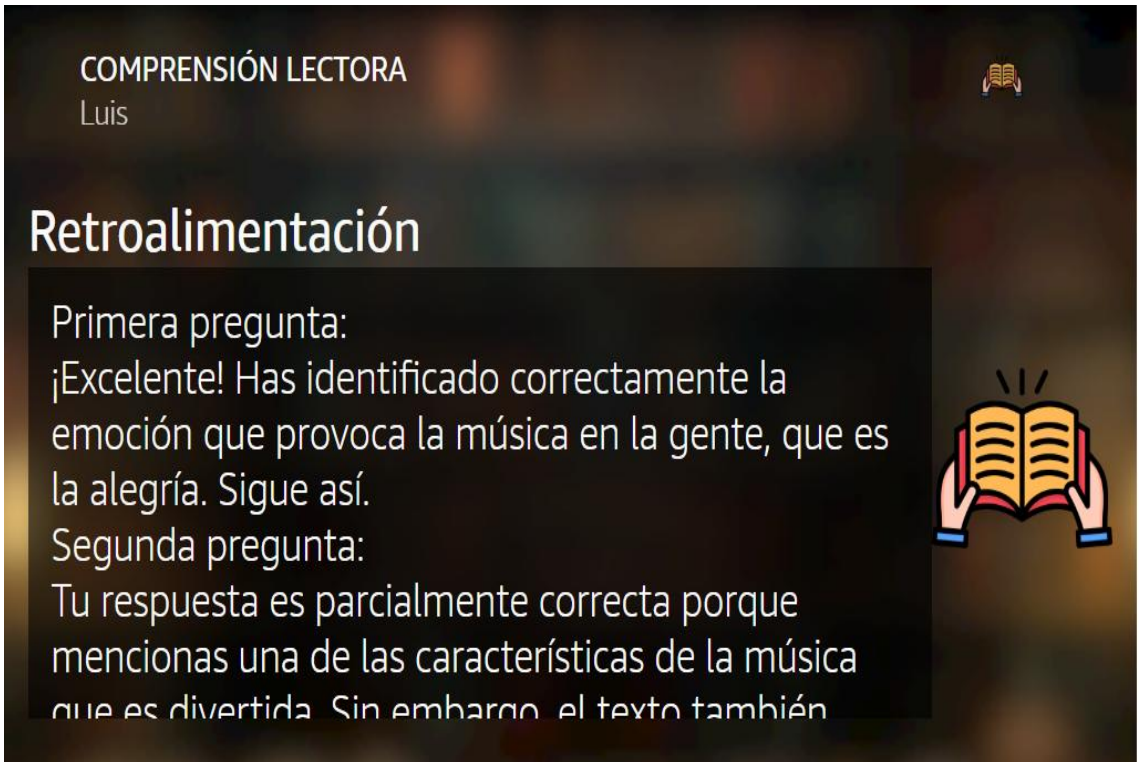

Figura 4.11 Retroalimentación

Cuando se decide realizar una evaluación intermedia, el texto presentado es de mayor extensión y cuenta con palabras resaltadas para que el alumno pueda identificar las características principales (Figura 4.12). De igual manera se realizan las preguntas de evaluación y se evalúan las respuestas con ayuda del LLM mediante la API de OpenAI, para después presentar la retroalimentación de la sesión. Para el caso de la evaluación avanzada, es el mismo proceso, pero la lectura no cuenta con palabras resaltadas y es de mayor extensión que la evaluación básica (Figura 4.13).

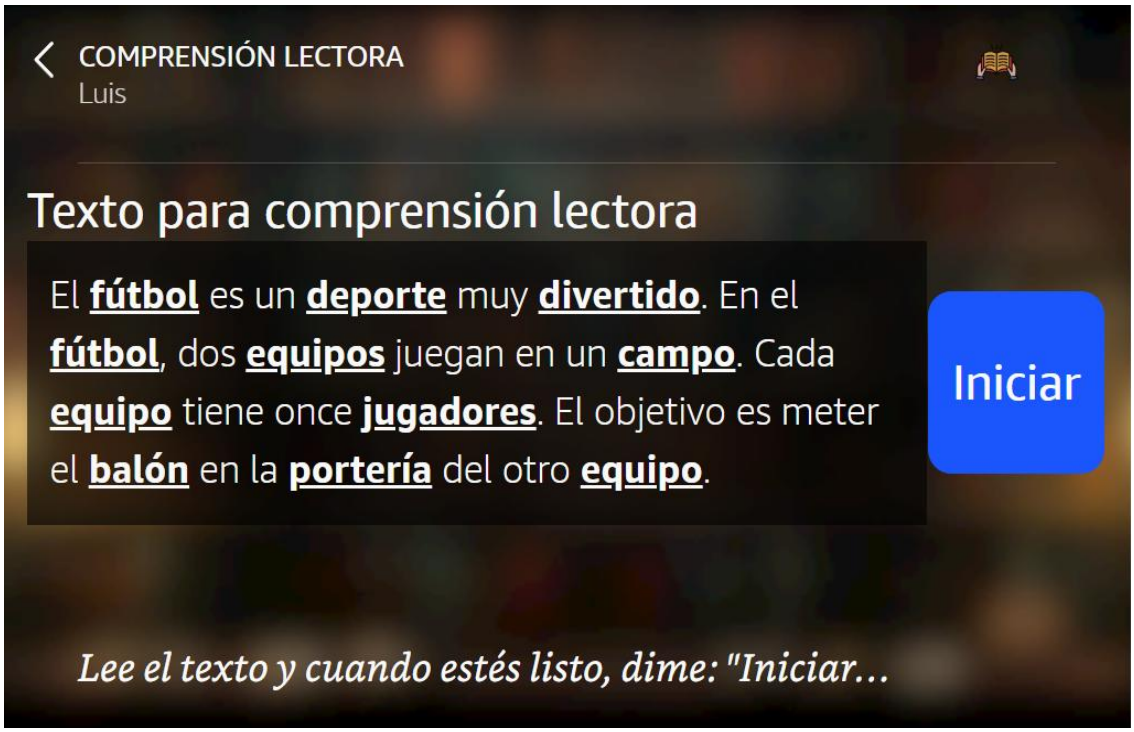

Figura 4.12 Texto evaluación intermedia

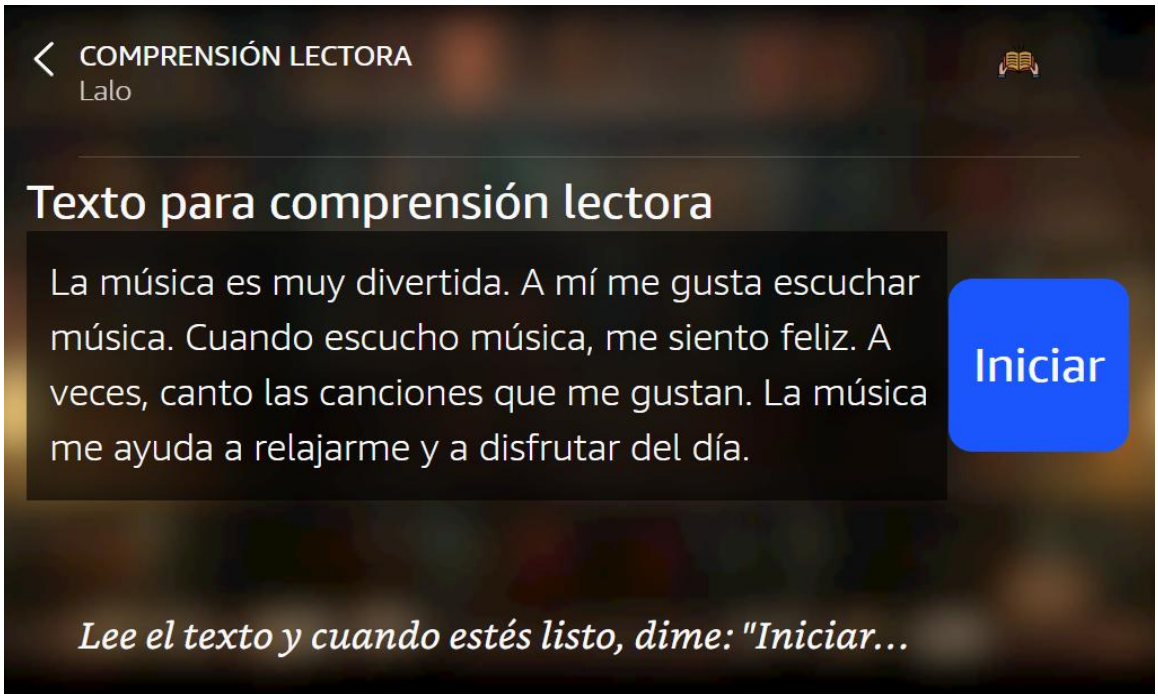

Figura 4.13 Texto de evaluación avanzada

Al finalizar la prueba de evaluación, el usuario puede ver todos los detalles de la sesión indicándole al asistente con el comando “ver detalles”, y se muestran todos los datos obtenidos, como también la lectura, preguntas y respuestas (Figura 4.14, Figura 4.15).

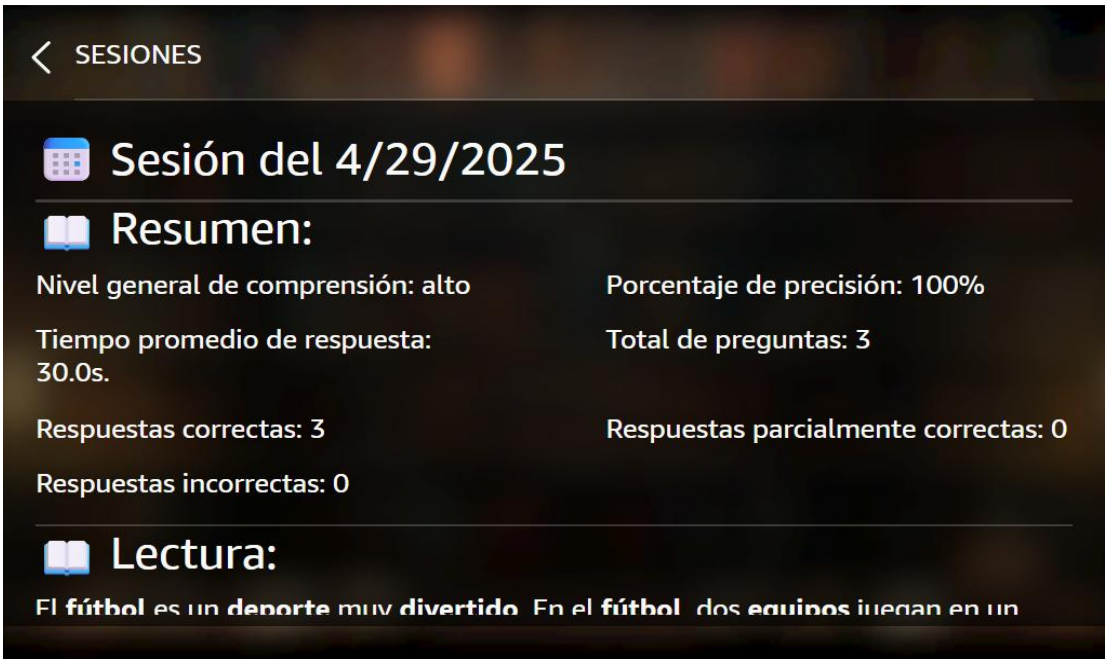

Figura 4.14 Detalle de la sesión (Primera parte)

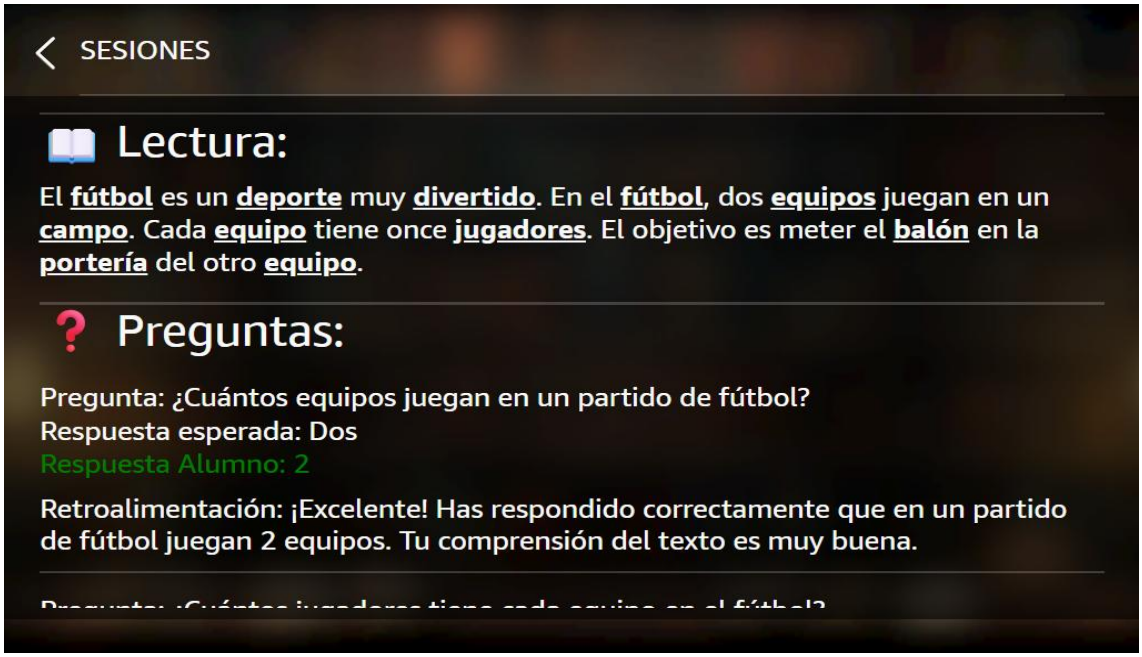

Figura 4.15 Detalle de la sesión (Segunda parte)

Finalmente, en la sección de perfil del alumno se muestran de manera general los datos de alumno y el promedio de efectividad en las distintas evaluaciones (Figura 4.16). Cabe mencionar que no todos los alumnos tomarán los tres tipos de evaluaciones, esta decisión es por parte del especialista, quien determina qué tipo de evaluación es adecuada al nivel del estudiante.



Figura 4.16 Perfil de estudiante

Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones

El siguiente capítulo tiene como objetivo presentar las conclusiones que se obtuvieron al desarrollar el trabajo de tesis, como también las recomendaciones identificadas a partir de los resultados obtenidos.

5.1 Conclusiones

El desarrollo de una aplicación para un asistente virtual, enfocada en evaluar la comprensión lectora de jóvenes con autismo es de gran importancia, ya que actualmente es muy importante la implementación de nuevas estrategias educativas que se adapten a las necesidades de las personas con autismo.

Al analizar el estado de la práctica, se identificó poca cantidad de herramientas efectivas y personalizadas que aborden las dificultades específicas que enfrentan los jóvenes con autismo en su aprendizaje. Esto permitió comprender el impacto que tendría la aplicación en los entornos educativos.

Con la implementación de la arquitectura y las distintas tecnologías en el desarrollo de la aplicación se logró cumplir con los objetivos propuestos al principio del ciclo de trabajo. La aplicación desarrollada lleva el nombre de “Lectura Azul” y fue desplegada para utilizar con el asistente virtual Amazon Alexa. Permite a los especialistas realizar pruebas de comprensión lectora con textos que son adaptados a características y preferencias de los estudiantes con TEA.

La aplicación cuenta con las funcionalidades de gestionar la información de los alumnos, a los que se les realizan las pruebas de comprensión lectora; presentación de lecturas dinámicas, generadas con las peticiones mediante la API de OpenAI para acceder a los modelos de GPT; evaluar el análisis de la lectura y dar una retroalimentación inmediata, gracias a las funcionalidades del LLM. Esto facilitó el proceso de evaluación de comprensión lectora.

Los resultados obtenidos en las pruebas de validación mostraron que la aplicación adapta dinámicamente las actividades al nivel seleccionado para cada usuario,

facilitando la comprensión del texto y mejorando la interacción con el entorno educativo. Los especialistas consultados destacaron la facilidad de uso, y el potencial de escalabilidad de la solución.

Desde el punto de vista tecnológico, el proyecto mostró la viabilidad de integrar Alexa Skills Kit, la API de OpenAI y MongoDB en una arquitectura funcional que promueve el uso educativo de la inteligencia artificial. Esta integración representa una aportación innovadora al campo de la educación inclusiva, al demostrar que los modelos de lenguaje pueden adaptarse éticamente a contextos pedagógicos especializados. Además de representar un avance en la inclusión y la atención personalizada en los centros de enseñanza.

5.2 Recomendaciones

Para un trabajo a futuro, se toman en consideración las siguientes recomendaciones:

1. Analizar e implementar otro tipo de pruebas de evaluación de la comprensión lectora, que se adapten a más necesidades específicas de las personas con Trastorno del Espectro Autista, como puede ser el uso de pictogramas para personas con TEA que no se comunican de manera verbal.
2. Evaluar el desempeño de nuevos LLM en la generación de lecturas, la capacidad de adaptar los textos a contextos pedagógicos específicos, y la manera de evaluar las respuestas de comprensión lectora dadas por los usuarios.
3. Explorar más funcionalidades de los asistentes virtuales, para lograr una mejor interacción usuario-máquina, y de esta manera se mejore la experiencia del usuario al utilizar la aplicación.
4. Realizar estudios adicionales sobre el uso de la inteligencia artificial, en especial la implementación de asistentes virtuales en la educación de las personas con TEA y demás ámbitos similares.

Bibliografía

[1] American Psychiatric Association, *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. American Psychiatric Association, 2013. doi: 10.1176/appi.books.9780890425596.

[2] B. Caiña Varona, “La comprensión lectora en alumnos con TEA,” Sep. 2020, [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10902/19742

[3] A. Hervás, N. Balmaña, M. Maristany, M. Salgado, and L. Sánchez-Santos, “Los trastornos del espectro autista (TEA),” *Pediatria Integral*, vol. 16, pp. 780–794, 2012.

[4] C. P. Dussan, “Educación inclusiva: un modelo de diversidad humana,” *Educación y desarrollo social*, vol. 5, no. 1, pp. 139–150, 2011.

[5] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial intelligence : a modern approach* , 3rd ed. Harlow: Pearson Education, 2010.

[6] P. Limna, S. Jakwatanatham, S. Siripipattanakul, P. Kaewpuang, and P. Sriboonruang, “A review of artificial intelligence (AI) in education during the digital era,” *Advance Knowledge for Executives*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2022.

[7] M. Chassignol, A. Khoroshavin, A. Klimova, and A. Bilyatdinova, “Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview,” *Procedia Comput Sci*, vol. 136, pp. 16–24, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.08.233.

[8] L. Rouhiainen, *Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. in Alienta. Alienta Editorial, 2018.

[9] B. Mahesh, “Machine learning algorithms-a review,” *International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]*, vol. 9, no. 1, pp. 381–386, 2020.

[10] P. P. Shinde and S. Shah, “A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications,” in *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, IEEE, Aug. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCUBEA.2018.8697857.

[11] J. Eisenstein, *Introduction to Natural Language Processing*. in Adaptive Computation and Machine Learning series. MIT Press, 2019. [Online]. Available: https://books.google.com.mx/books?id=72yuDwAAQBAJ

[12] F. de la Caridad Fernández Reyes, E. C. L. Pérez, and R. L. Fernández, *Integración de métodos para la desambiguación del sentido de las palabras en el contexto del procesamiento del lenguaje natural*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CUJAE, 2011.

[13] Y. Chang *et al.*, “A Survey on Evaluation of Large Language Models,” *ACM Trans Intell Syst Technol*, Jan. 2024, doi: 10.1145/3641289.

[14] A. Tavčar, J. Zupančič, and M. Gams, “Virtual Assistants for the Cultural Heritage Domain,” in *VR Technologies in Cultural Heritage*, M. Duguleană, M. Carrozzino, M. Gams, and I. Tanea, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 234–244.

[15] Mozilla, “Acerca de JavaScript.” [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/es/docs/conflicting/Web/JavaScript

[16] Amazon.com, “What is the Alexa Skills Kit?” [Online]. Available: https://developer.amazon.com/en-US/docs/alexa/ask-overviews/what-is-the-alexa-skills-kit.html

[17] OpenAI, “Overview - OpenAI API.” [Online]. Available: https://platform.openai.com/docs/overview

[18] Inc. MongoDB, “¿Qué es MongoDB?” [Online]. Available: https://www.mongodb.com/es/company/what-is-mongodb

[19] C. A. Briano, *Compilación de apuntes sobre conceptos fundamentales de la Ingeniería de Software*, 2nd ed. 2023.

[20] M. F. Safi, B. Al Sadrani, and A. Mustafa, “Virtual voice assistant applications improved expressive verbal abilities and social interactions in children with autism spectrum disorder: a Single-Subject experimental study,” *Int J Dev Disabil*, vol. 69, no. 4, pp. 555–567, Jul. 2023, doi: 10.1080/20473869.2021.1977596.

[21] A. Cerga-Pashoja, J. Gaete, A. Shishkova, and V. Jordanova, “Improving Reading in Adolescents and Adults With High-Functioning Autism Through an Assistive Technology Tool: A Cross-Over Multinational Study,” *Front Psychiatry*, vol. 10, Aug. 2019, doi: 10.3389/fpsyt.2019.00546.

[22] R. Ojeda-Barbis, I. López-Martínez, L. Reyes-Hernández, and C. Romero-Torres, “Arquitectura de aplicación de un asistente virtual para dispositivos inteligentes con pantalla como apoyo en el proceso de comprensión lectora,” *CITID (Congreso Internacional en Tecnología, Innovación y Docencia)*, no. 1, pp. 799–806, Apr. 2023.

[23] C. Xiao, S. X. Xu, K. Zhang, Y. Wang, and L. Xia, “Evaluating Reading Comprehension Exercises Generated by LLMs: A Showcase of ChatGPT in Education Applications,” in *Proceedings of the 18th Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications (BEA 2023)*, Stroudsburg, PA, USA:

Association for Computational Linguistics, 2023, pp. 610–625. doi: 10.18653/v1/2023.bea-1.52.

[24] Y. Cho *et al.*, “Evaluating the Efficacy of Interactive Language Therapy Based on LLM for High-Functioning Autistic Adolescent Psychological Counseling”, *arXiv preprint arXiv:2311.09243*, Nov. 2023.

[25] M. Galletti *et al.*, “A Reading Comprehension Interface for Students with Learning Disorders,” in *International Conference on Multimodal Interaction*, New York, NY, USA: ACM, Oct. 2023, pp. 282–287. doi: 10.1145/3610661.3616176.

[26] G. Iannizzotto, A. Nucita, and L. Lo Bello, “Improving the Reader’s Attention and Focus through an AI-Driven Interactive and User-Aware Virtual Assistant for Handheld Devices,” *Applied System Innovation*, vol. 5, no. 5, p. 92, Sep. 2022, doi: 10.3390/asi5050092.

[27] A. Bakhai, A. Constantin, and C. A. Alexandru, “MotivateMe!: An Alexa skill to support Higher Education students with Autism,” Jul. 23, 2020, *International Conferences Interfaces and Human Computer Interaction 2020 and Game and Entertainment Technologies 2020*.

[28] R. Mishra and K. C. Welch, “Towards scalable robotic intervention of children with Autism Spectrum Disorder using LLMs”, *arXiv preprint arXiv:2402.00260,* Jan. 2024.

[29] K. J. Rechowicz, J. B. Shull, M. M. Hascall, S. Y. Diallo, and K. J. O’Brien, “Internet-of-Things Devices in Support of the Development of Echoic Skills among Children with Autism Spectrum Disorder,” *Sensors*, vol. 21, no. 13, p. 4621, Jul. 2021, doi: 10.3390/s21134621.

[30] K. Porayska-Pomsta *et al.*, “Blending Human and Artificial Intelligence to Support Autistic Children’s Social Communication Skills,” *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol. 25, no. 6, pp. 1–35, Dec. 2018, doi: 10.1145/3271484.

[31] N. R. Henderson-Faranda, J. Newbury, and D. Sutherland, “Using Computer Assisted Instruction to Improve Reading Comprehension of Children on the Autism Spectrum: A Pilot Study,” *Aust J Learn Diffic*, vol. 27, no. 1, pp. 135–167, Jan. 2022, doi: 10.1080/19404158.2021.2021962.

[32] L. Lewis and A. Vellino, “Helping Persons with Cognitive Disabilities using Voice-Activated Personal Assistants,” in *2021 8th International Conference on ICT & Accessibility (ICTA)*, IEEE, Dec. 2021, pp. 1–3. doi: 10.1109/ICTA54582.2021.9809777.

[33] P. D. Barua *et al.*, “Artificial Intelligence Enabled Personalised Assistive Tools to Enhance Education of Children with Neurodevelopmental Disorders—A Review,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 3, p. 1192, Jan. 2022, doi: 10.3390/ijerph19031192.

[34] S. Gupta and Y. Chen, “Supporting inclusive learning using chatbots? A chatbot-led interview study,” *Journal of Information Systems Education*, vol. 33, no. 1, pp. 98–108, 2022.

[35] OpenAI, “Text generation and prompting.” [Online]. Available: https://platform.openai.com/docs/guides/text?api-mode=chat#prompt-engineering

[36] DAIR.AI, “Prompt Engineering Guide.” [Online]. Available: https://www.promptingguide.ai/