



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN**

**Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional
de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión
comunicacional**

**Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero en Tecnologías de la Información**

Autor:

Machado Parra, Anthony Steven

Tutor:

Ing. Ximena Alexandra Quintana López, PhD.

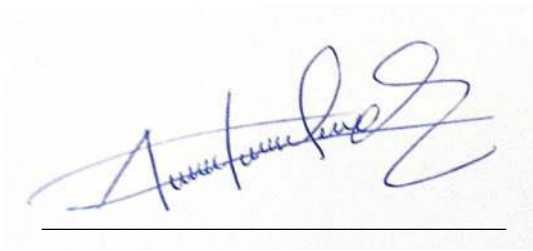
Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Anthony Steven Machado Parra, con cédula de ciudadanía 0605121680, autor (a) (es) del trabajo de investigación titulado: Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión comunicacional, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 01 de abril de 2026.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Anthony Steven Machado Parra', is written over a horizontal line.

ANTHONY STEVEN MACHADO PARRA

C.I: 0605121680

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ximena Alexandra Quintana López catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión comunicacional, bajo la autoría de Anthony Steven Machado Parra; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 01 días del mes de abril de 2026

Ximena Alexandra Quintana López

C.I: 0603557612

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión comunicacional, presentado por Anthony Steven Machado Parra, con cédula de identidad número 0605121680, bajo la tutoría de la Ing. Ximena Alexandra Quintana López, PhD.; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba el 18 de mayo del 2026.

Mgs. Gonzalo Allauca
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Mgs. Lady Espinoza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Mgs. Diego Reina
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



CERTIFICACIÓN

Que, **Machado Parra Anthony Steven** con CC: 0605121680, estudiante de la Carrera Ingeniería en Tecnologías de la Información, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión comunicacional", cumple con el 6%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio Compilatio, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 01 de abril de 2026



Escaneado y certificado por:
**XIMENA ALEXANDRA
QUINTANA LOPEZ**
Firma digitalizada con Minio

PhD. Ximena Quintana
TUTORA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios y a mi familia, por ser mi pilar fundamental y brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de este camino, tanto en los momentos difíciles como en los de alegría:

- *Edgar David Machado Álvaro*
- *Hipatia Monserrat Parra Guilcapi*
- *Cynthia Mishell Toledo Parra*
- *David Alejandro Machado Parra*
- *Andrés Sebastián Machado*

A ustedes, que son lo más valioso en mi vida, les expreso mi amor y gratitud, demostrando que todo su apoyo no ha sido en vano.

También dedico este trabajo a la persona que ha sido como una segunda madre, quien ha guiado y apoyado el desarrollo académico y competitivo a lo largo de este proceso:

- *Ingeniera Ximena Alexandra Quintana López, PhD*

Finalmente, a mi equipo y compañeros, quienes entre risas, dificultades y aprendizajes hicieron posible este proyecto, convirtiéndose en más que colegas, en verdaderos hermanos:

- *Jorge Segundo Urbina Maldonado*
- *Lisbeth Nicole Herrera Espinoza*

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la salud y los días de vida que me ha permitido tener para luchar por mis sueños y metas.

A mi padre, ***Edgar David Machado Parra***, por ser un ejemplo de hombre y de padre, por sus consejos y por su constante apoyo emocional y económico.

A mi madre, ***Hipatia Monserrat Parra Guilcapi***, por brindarme su amor incondicional y enseñarme, a pesar de las dificultades, a levantarme y seguir adelante; además de formarme no solo en lo académico, sino también como persona. A mis padres les debo la persona en la que me he convertido; gracias a su apoyo y enseñanzas, sigo esforzándome cada día por superarme, sin perder de vista todo lo que han hecho por mí.

A mi hermana, ***Cynthia Mishell Toledo Parra***, por ser un ejemplo a seguir y demostrarme que con esfuerzo se puede alcanzar todo lo que uno desea.

A mis hermanos, ***David Alejandro Machado Parra y Andrés Sebastián Machado Parra***, por su constante cariño y respaldo, con la esperanza de que este logro sea para ellos una motivación que los impulse a seguir creciendo y superándose.

A la ***Ingeniera Ximena Alexandra Quintana López, PhD***, por su valioso acompañamiento como docente y tutora, por brindarme la oportunidad de formarme, fortalecer mis capacidades de liderazgo y aspirar a metas cada vez más altas; siendo, además, una guía que trasciende el ámbito académico.

Finalmente, a mis queridos amigos, ***Jorge Segundo Urbina Maldonado y Lisbeth Nicole Herrera Espinoza***, por su apoyo incondicional, por los momentos compartidos entre alegrías y desafíos, y por acompañarme a lo largo de este camino lleno de aprendizajes y logros.

A todos por ser parte de mi vida y parte también de este proyecto de investigación siempre se los llevare en el corazón y deseare siempre los buenos deseos.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Planteamiento del Problema	15
1.2. Justificación	16
1.3. Formulación del Problema.....	16
1.4. Objetivos.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Traducción Automática de Lenguaje de Señas	18
2.2. Visión por Computadora.....	19
2.3. Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN)	20
2.4. Inteligencia Artificial y Machine Learning	21
2.5. Parametro de evaluación de sistemas de <inteligencia artificial	22
2.6. Metodología de desarrollo	23
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	24
3.1. Tipo de Investigación.....	24
3.2. Diseño de la Investigación.....	24
3.3. Población de Estudio y Tamaño Muestra	25
3.4. Técnicas de Recolección de Datos.....	25
3.5. Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos.....	25
3.6. Identificación de variables	26
3.6.1. Variable dependiente	26
3.6.2. Variable independiente.....	26
3.7. Operacionalización de variables	26

3.8. Metodología de Desarrollo	28
Fase 1: Planificación.....	28
Fase 2: Diseño	28
Fase 3: Codificación	35
Fase 4: Pruebas y Lanzamientos.....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1 Resultados	45
4.2 Discusión.....	54
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
5.1 Conclusiones	56
5.2 Recomendaciones.....	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Herramientas y Modelos.....	18
Tabla 2. Herramientas para visión por computadora.....	19
Tabla 3. Herramientas del procesamiento del lenguaje.....	20
Tabla 4. Modelos de inteligencia artificial y machine learning	21
Tabla 5. Evaluaciones del sistema.....	22
Tabla 6. Metodología XP.....	23
Tabla 7. Fases de la investigación	24
Tabla 8. Operacionalización de Variable.....	27
Tabla 9. Requerimientos funcionales	28
Tabla 10. Requerimientos no funcionales	28
Tabla 11. Tabla Sign.....	31
Tabla 12. Tablas Predicciones	31
Tabla 13. Tabla matriz de confusión	32
Tabla 14. Librerías usadas para la detección corporal.....	36
Tabla 15. Descripción de la carta de consentimiento	40
Tabla 16. Carta autorización.....	41
Tabla 17. Métricas a evaluar.....	41
Tabla 18. Resultados de la efectividad "Hola"	42
Tabla 19. Resultados de la efectividad "¿Cómo estás?"	42
Tabla 20. Resultados de la efectividad "Me Alegro"	43
Tabla 21. Resultados de la efectividad "Chao"	43
Tabla 22. Resultados Globales	43
Tabla 23. Modelo seleccionado.....	45
Tabla 24. Tecnologías seleccionadas.....	46
Tabla 25. Herramientas seleccionadas.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Hand Talk	19
Figura 2: Convolutional Neural Network (CNN)	21
Figura 3: Modelo Transformers	22
Figura 4: Casos de uso.....	29
Figura 5: Diagrama de secuencias	29
Figura 6: Diagrama de componentes	30
Figura 7: Diagrama de arquitectura.....	30
Figura 8: Diagrama físico de base de datos.....	31
Figura 9: Diagrama de interfaces Login/Solicitar Traductor /Home.....	32
Figura 10: Bienvenida y login	33
Figura 11: Registro de Traductor.....	33
Figura 12: Diagrama de Interfaces Herramientas	34
Figura 13: Home y Herramientas	34
Figura 14: Añadir señas.....	35
Figura 15: módulo de detección corporal.....	36
Figura 16: Colección de información de seña	37
Figura 17: Colección de información de seña por video	37
Figura 18: Red Neuronal Transformers.....	37
Figura 19: Integración FastAPI	38
Figura 20: Base de datos.....	38
Figura 21: Interfaz de usuario.....	39
Figura 22: Traducción automática (Hola)	39
Figura 23: Traducción automática (Te amo)	40
Figura 24: Visual Code.....	45
Figura 25: Flutter.....	46
Figura 26: Módulo principal.....	48
Figura 27: Módulo de traducción de señas.....	49
Figura 28: Respuestas de Hola	50
Figura 29: Resultado de la frase ¿Cómo estás?	50
Figura 30: Resultados de la frase "Me alegro"	51
Figura 31: Resultados de la palabra Chao	51
Figura 32: Resultado global.....	52
Figura 33: Total, de señas.....	52
Figura 34: Encuesta de escala de usabilidad	53
Figura 35: Encuesta de satisfacción de usuario	53
Figura 36: Manera incorrecta de realizar la seña.....	54
Figura 37: Manera correcta de realizar la seña.....	55

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una aplicación multiplataforma capaz de traducir el lenguaje de señas ecuatoriano a texto y voz en tiempo real mediante el uso de modelos basados en Transformers. Para ello, se adoptó una metodología de tipo cuasiexperimental con un enfoque aplicado, complementada con un desarrollo ágil basado en el marco de Extreme Programming. El sistema fue desarrollado mediante el uso de Flutter, una API implementada en Flask, una base de datos PostgreSQL y técnicas de visión por computadora orientadas al reconocimiento de gestos. La evaluación se llevó a cabo con la participación de 15 usuarios voluntarios, quienes interactuaron con la aplicación, permitiendo medir su desempeño a través de métricas como accuracy, precision, recall y F1-score.

Los resultados obtenidos evidenciaron un funcionamiento satisfactorio del sistema, alcanzando valores globales de 87% en accuracy, 90% en precision, 87% en recall y 88% en F1-score. Asimismo, se determinó que factores como las condiciones de iluminación y la adecuada ejecución de las señas inciden directamente en el rendimiento del modelo. Por otro lado, las encuestas aplicadas reflejaron niveles de aceptación superiores al 80% en términos de usabilidad y satisfacción del usuario.

En conclusión, el sistema desarrollado demostró ser una alternativa viable para la traducción automática del lenguaje de señas en tiempo real, cumpliendo de manera efectiva con los objetivos propuestos. Asimismo, se evidenció su potencial como herramienta tecnológica orientada a mejorar la comunicación entre personas sordas y oyentes, contribuyendo a la inclusión social.

Palabras claves: accesibilidad, aprendizaje profundo, lenguaje de señas, modelo transformer, traducción automática

Abstract

This study aimed to develop a cross-platform application that translates Ecuadorian Sign Language into text and speech in real time using Transformer-based models. To this end, a quasi-experimental methodology with an applied approach was adopted, complemented by agile development based on the Extreme Programming framework. The system was developed using Flutter, a Flask-based API, a PostgreSQL database, and computer vision techniques focused on gesture recognition. The evaluation was conducted with the participation of 15 volunteer users who interacted with the application, enabling performance to be measured using metrics such as accuracy, precision, recall, and F1-score. The results obtained demonstrated satisfactory system performance, achieving overall values of 87% for accuracy, 90% for precision, 87% for recall, and 88% for F1-score. Furthermore, it was determined that factors such as lighting conditions and proper sign placement directly affect the model's performance. On the other hand, the surveys conducted showed acceptance levels exceeding 80% for usability and user satisfaction. In conclusion, the system developed proved to be a viable alternative for real-time machine translation of sign language, effectively meeting the proposed objectives. Furthermore, it demonstrated its potential as a technological tool designed to improve communication between deaf and hearing people, thereby contributing to social inclusion.

Keywords: accessibility, deep learning, sign language, transformer model, machine translation.



Reviewed by:
Jenny Alexandra Freire Rivera, M.Ed.
ENGLISH PROFESSOR
ID No.: 0604235036

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La inclusión social de las personas con discapacidad auditiva sigue siendo un reto importante en muchos entornos, especialmente en las zonas rurales y urbanas intermedias de la provincia de Chimborazo, en Ecuador. A pesar de los notables avances globales en inteligencia artificial y tecnología móvil, la brecha comunicacional entre la comunidad sorda y la sociedad oyente persiste como una problemática crítica. Esta separación va más allá de la tecnología; que constituye un gran obstáculo que llega a perjudicar la disponibilidad igualitaria con los derechos fundamentales tales como es la salud, educación. En la ciudad de Chimborazo existe una cantidad de personas que es su vida diaria son privados de su autonomía al no poder expresarse libremente y alguno de los casos no ser entendidos, lo cual genera una exclusión en la sociedad.

La importancia de esta circunstancia se evidencia en la información del Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades [1], que muestra más de 62.780 personas con pérdida de la audición en Ecuador. De este grupo, alrededor de 3.131 residen en la provincia de Chimborazo con un nivel de discapacidad severo o total, enfrentando obstáculos diarios para comunicarse de forma independiente. Frente a este escenario, instituciones como la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo, ubicada en Riobamba, actúan como pilares de inclusión al fomentar espacios seguros y adaptados mediante la enseñanza de la Lengua de Señas Ecuatoriana (LSEC).

No obstante, el reto estructural consiste en que estas facilidades de comunicación normalmente se restringen al ámbito escolar. Al incorporarse a la sociedad, los individuos sordos vuelven a experimentar aislamiento. Esto demuestra que las soluciones tecnológicas actuales son insuficientes, no se difunden o, lo que es más importante, no están adaptadas a las circunstancias culturales y lingüísticas propias de la región. Hay aplicaciones globales como HandTalk, SignAll o Gesture-to-Speech de Google AI; no obstante, en su mayoría brindan traducciones unidireccionales (de señas a texto), tienen inconsistencias en situaciones reales o no cuentan con soporte para el español latinoamericano. En comunidades como las de Chimborazo, donde el idioma, los modismos y la diversidad de señas requieren un enfoque contextualizado [2][3], estas limitaciones reducen su eficacia. Por lo tanto, la falta de adaptación aumenta el abismo digital entre las soluciones de alcance mundial y las exigencias particulares del contexto local.

Ocuparse de esta gran problemática es fundamental, ya que, la comunicación es un derecho humano importante en la “Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad” [4]. La falta de medios accesibles limita la participación de las personas sordas en la sociedad, disminuyendo su capacidad para entender y expresar. Fomentar una comunicación inclusiva no solo implica eliminar barreras físicas, sino también establecer entornos tecnológicos que garanticen la equidad de oportunidades. La ausencia de estas condiciones impacta de manera directa en su crecimiento personal, académico y profesional, lo que dificulta su incorporación y participación activa en la sociedad.

El objetivo del presente trabajo es contribuir a la reducción de las barreras de comunicación mediante la implementación de tecnologías emergentes como el procesamiento del lenguaje natural (PLN), las redes neuronales y la visión por computadora, abordando así este desafío. En este marco, se sugiere desarrollar una solución que sea contextualizada, accesible y efectiva para fortalecer la inclusión y el empoderamiento de la comunidad sorda. Además, se quiere demostrar que es posible generar innovación con un impacto social desde el ámbito académico, combinando la tecnología con una comprensión empática de las condiciones humanas.

El propósito principal de este estudio es crear una aplicación que funcione en varias plataformas y esté fundamentada en inteligencia artificial, con la capacidad de traducir simultáneamente entre el lenguaje de señas, la voz y el texto. La propuesta, llamada SIGNUS, busca ofrecer una herramienta útil en dispositivos móviles y computadoras, que pueda identificar las señas por medio de la cámara y convertirlas instantáneamente en texto o audio. De este modo, SIGNUS se proyecta como un medio facilitador de la comunicación entre personas sordas y oyentes, promoviendo su participación en contextos educativos, familiares, laborales y sociales, y contribuyendo a disminuir las barreras existentes derivadas de la limitada disponibilidad de intérpretes y recursos tecnológicos accesibles.

El documento de investigación está organizado en los siguientes apartados: en el apartado I se presenta el planteamiento del problema y la definición de los objetivos de la investigación, en el apartado II se aborda la fundamentación teórica de la investigación, en el apartado III se define el proceso metodológico empleado en el desarrollo del proyecto y se realiza el análisis de resultados y las respectivas conclusiones en el apartado V.

1.1. Planteamiento del Problema

En la provincia de Chimborazo, las personas con discapacidad auditiva continúan enfrentando dificultades significativas para comunicarse de manera efectiva con la población oyente, debido principalmente a la falta de soluciones tecnológicas que faciliten una traducción fluida, precisa y en tiempo real entre el lenguaje de señas, el texto y la voz. Esta problemática genera barreras en el acceso a servicios fundamentales como la educación, la salud, el empleo y la participación ciudadana. A pesar de que a nivel mundial se ha notado un crecimiento en la creación de instrumentos para traducir el lenguaje de señas mediante inteligencia artificial (IA), gran parte de ellos tienen múltiples restricciones. Entre ellas, sobresale su naturaleza unidireccional, que no incorpora la Lengua de Señas Ecuatoriana (LSEC), que es imprecisa en situaciones reales y que requiere dispositivos con un alto rendimiento. Esto restringe su uso en entornos locales con escasos recursos.

En este contexto, entidades como la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo han impulsado el aprendizaje de la Lengua de Señas Ecuatoriana (LSEC) y la integración en el ámbito educativo de individuos sordos. Sin embargo, admiten que los alumnos siguen lidiando con un ambiente fuera del contexto escolar que tiene pocas

condiciones de accesibilidad y una disponibilidad baja de instrumentos tecnológicos que se adapten a sus requerimientos comunicativos.

Asimismo, en las investigaciones revisadas no se han utilizado métricas técnicas concretas como recall, precisión y F1-score, a pesar de que estas son ampliamente empleadas en la literatura científica para evaluar modelos de inteligencia artificial, ni se han comprobado con poblaciones locales que permitan corroborar su eficacia en contextos reales. El hecho de no evaluar y contextualizar muestra la diferencia entre el avance tecnológico a nivel mundial y la situación real de las comunidades en desventaja en Ecuador.

Por ende, se recomienda crear una aplicación que esté fundamentada en inteligencia artificial y que pueda funcionar en diferentes plataformas, posibilitando la traducción de voz, texto y lenguaje de señas en ambas direcciones, así como incorporar la LSEC y considerar las condiciones reales de uso; para ser evaluada utilizando criterios técnicos estandarizados y diseñada para que sea accesible, funcional y con un bajo requerimiento de computación. Esto facilitará su uso no solo en dispositivos móviles, sino también en equipos de escritorio. De este modo, se fomentará la inclusión comunicativa de las personas sordas en Chimborazo.

1.2. Justificación

La presente investigación se justificó por la urgente necesidad de promover la inclusión de personas sordas en la provincia de Chimborazo mediante el uso de tecnologías accesibles. A pesar de los avances tecnológicos en inteligencia artificial y reconocimiento de gestos, estas herramientas no han sido aplicadas de forma efectiva en contextos locales para resolver problemas de comunicación entre personas sordas y oyentes. SIGNUS, una solución que utiliza inteligencia artificial para traducir el lenguaje de señas en tiempo real y aspira a una comunicación bidireccional, es un gran avance para disminuir las barreras de comunicación e impulsar la igualdad en términos de acceso a servicios y lugares públicos.

Desde una perspectiva académica, este proyecto combina conocimientos de diversas áreas, entre ellas la accesibilidad, la interacción humano-computadora, la programación y la inteligencia artificial. Se establece, así como una propuesta con un gran impacto en términos sociales y tecnológicos. Además, promueve el desarrollo de competencias investigativas, metodológicas y de innovación orientadas a resolver problemas reales en la comunidad.

1.3. Formulación del Problema

¿Qué nivel de precisión presenta el sistema multiplataforma propuesto, basado en inteligencia artificial, para la traducción en tiempo real de señas, texto y voz, según métricas de evaluación como accuracy, precision, recall y F1-score?

1.4. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión comunicacional.

Objetivos Específicos

- Analizar modelos, tecnologías y herramientas para la traducción automática de señas, con enfoque en visión por computadora, PLN y desarrollo multiplataforma.
- Diseñar una aplicación que reconozca señas mediante cámara, traduzca en tiempo real a texto y voz.
- Evaluar la precisión del sistema mediante métricas de reconocimiento de gestos (accuracy, precision, recall) y F1-score.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Traducción Automática de Lenguaje de Señas

La traducción automática del lenguaje de señas (Sign Language Translation, SLT) constituye una rama de la inteligencia artificial orientada a interpretar los gestos y transformarlos en texto o voz. Dada su naturaleza visual, espacial y gestual, este proceso demanda la integración de diversas tecnologías, entre ellas la visión por computadora, las redes neuronales profundas y el procesamiento del lenguaje natural (PLN) [5]. En este marco, se ha propuesto el modelo Sign Language Transformer, el cual combina la arquitectura Transformer con el mecanismo de conexión temporal (CTC) para llevar a cabo la traducción de secuencias de video a lenguaje natural.

Posteriormente, distintas investigaciones han profundizado en el uso de modelos híbridos basados en CNN-LSTM con mecanismos de atención, aplicados al conjunto de datos WLASL100. Estos enfoques han logrado niveles de precisión que oscilan entre el 85 % y el 92,25 %, incorporando además optimizaciones que facilitan su implementación en dispositivos móviles. En la Tabla 1 se presentan las herramientas mencionadas.

Tabla 1. Herramientas y Modelos

Herramienta / Modelo	Variables	Criterios	Tecnologías utilizadas	Herramientas implementadas	Resultados Esperados
SignAll, HandTalk	Bidireccionalidad, precisión, adaptación local	Reconocimiento de gestos, respuesta tiempo real	Visión por computadora, en PLN, TTS y STT	por APIs móviles (Android/iOS), motores Web, servicios REST	Comunicación básica efectiva; soporte unidireccional predominante BLEU-4: 21.8 en traducción continua de señas a texto
Sign Language Transformer	Precisión de traducción, uso de CTC y atención	de BLEU-4, exactitud de secuencia	CNN Transformer CTC	+ PyTorch, Python, dataset PHOENIX	Accuracy: 84.65%; uso optimizado para dispositivos móviles
CNN-LSTM híbrido	Secuencialidad, eficiencia móvil, bajo consumo energético	Accuracy en test WLASL100, uso de atención	MobileNetV2, LSTM, Mecanismo de atención	TensorFlow, Keras, dataset WLASL100	Accuracy: 84.65%; uso optimizado para dispositivos móviles

Fuente: [5]

En la figura 1 se observa la página oficial de Hand Talk la cual muestra su aplicación de lenguaje de señas



Figura 1: Hand Talk

Fuente: [6]

2.2. Visión por Computadora

La visión por computadora es un componente central para la detección de manos, rostro y articulaciones dentro de secuencias de vídeo. Herramientas modernas como MediaPipe (desarrollada por Google AI) están optimizadas para inferencia en dispositivo, permitiendo flujos en tiempo real en móviles con tasas típicas superiores a 25 FPS en hardware moderno [7]. Por otro lado, sistemas como OpenPose ofrecen alta precisión en keypoints (cuerpo completo, manos y rostro) pero requieren hardware de GPU potente y pueden operar a tan sólo 1-5 FPS en CPU, lo que los hace más adecuados para benchmarking o entornos de investigación que para despliegue móvil [8].

En el desarrollo del prototipo se asumirá MediaPipe como detector principal para entornos móviles y de bajo recurso, reservando OpenPose sólo para pruebas de referencia y evaluación de precisión.

En la Tabla 2 se muestra alguna de las herramientas para la visión por computadora:

Tabla 2. Herramientas para visión por computadora

Herramienta	FPS (flujo en tiempo real)	Precisión de keypoints	Requisitos HW	Uso recomendado	Criterios	Resultados Esperados
MediaPipe	25 - 60 FPS (Depende del hardware resolución)	Alta: incluye del cuerpo, manos, y rostro (33 keypoints)	Baja (33 sin GPU)	(puede correr en móvil tiempo real)	Precisión estable, bajo consumo, rápida inferencia	Fluidez ≥ 25 FPS, detección completa con bajo retardo

Herramienta	FPS (flujo en tiempo real)	Precisión de keypoints	Requisitos HW	Uso recomendado	Criterios	Resultados Esperados
OpenPose	Bajo (~1-5 FPS en CPU), requiere GPU	Muy alta: 25 keypoints de cuerpo completos	Alta (GPU potente)	Investigación, entrenamientos off-line, benchmarking	Máxima cobertura de puntos clave	Precisión máxima pero no apto para tiempo real
PoseNet	Intermedio (~15-30 FPS CPU optimizado)	Moderada, menos keypoints que MediaPipe/Open Pose	Media (Mobile & web)	Aplicaciones web/mobile ligeras	Ligero, eficiente para apps móviles	Reconocimiento razonable con rendimiento estable

Fuente: [9] [10]

2.3. Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN)

Modelos como Whisper (desarrollado por OpenAI) ofrecen una transcripción robusta y multilingüe, con una tasa de error de palabra (WER) inferior al 10 %, incluso en entornos con presencia de ruido [11]. Asimismo, APIs como Google Speech-to-Text y Amazon Polly permiten realizar conversiones de voz a texto y de texto a voz con baja latencia y una calidad sonora fluida [3] [12]. En la Tabla 3 se presentan algunas de las herramientas mencionadas.

Tabla 3. Herramientas del procesamiento del lenguaje

Herramienta / Modelo	Variables	Criterios	Tecnologías utilizadas	Herramientas implementadas	Resultados Esperados
Whisper (OpenAI)	Multilingüismo, precisión de voz, robustez en ruido	WER (Word Error Rate), generalización	Redes Transformer, autoregresivas, multitarea	PyTorch, OpenAI API, transcripción offline	WER <10%; excelente rendimiento multilingüe, incluso en ambientes ruidosos
Google Speech-to-Text / Amazon Transcribe	Conversión de voz a texto, latencia	Tiempo de respuesta, WER	Redes neuronales de profundas acústicas y lingüísticas optimizadas	APIs REST, SDKs (Google Cloud, AWS), alta disponibilidad en servicios en nube tiempo real	WER entre 8-12%; tiempo de respuesta <1s; alta disponibilidad en la nube
Tacotron 2 / Amazon Polly	Naturalidad de voz, latencia	MOS de Opinión entonación	Tacotron 2: Encoder-Decoder con atención + (Tacotron 2), WaveNet; basado en redes neuronales profundas	TensorFlow Polly, personalización de idioma y tono web	MOS >4.0; voz fluida, Polly, personalización de idioma y tono

Fuente: [3] [12]

2.4. Inteligencia Artificial y Machine Learning

La inteligencia artificial constituye el motor principal del sistema, ya que permite integrar diversos modelos que cumplen funciones esenciales dentro del proceso de traducción. Entre ellos, las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) se encargan de extraer características visuales, mientras que las Redes Neuronales Recurrentes (RNN/LSTM) procesan las secuencias temporales. Por su parte, los Transformers posibilitan una traducción multimodal con alta precisión [13], y las Redes Generativas Antagónicas (GANs) contribuyen a la generación de movimientos realistas en avatares digitales [14]. En la Tabla 4 se presentan los principales modelos de inteligencia artificial y machine learning utilizados en el estudio.

Tabla 4. Modelos de inteligencia artificial y machine learning

Modelo	Variables / Propósito	Criterios	Tecnologías utilizadas	Herramientas / Frameworks	Resultados Esperados
CNN	Reconocimiento de imagen, extracción de características visuales	de Accuracy, de velocidad inferencia	Convoluciones 2D, de ReLU, MaxPooling	TensorFlow, PyTorch, Keras	Accuracy $\geq 90\%$ en clasificación de gestos estáticos; rápida ejecución en GPU y CPU
RNN / LSTM	Modelado de secuencias (video/texto), traducción de flujo continuo	Captura de dependencias temporales, fluidez	de Recurrent Neural Networks, celdas LSTM/GRU	TensorFlow, Keras	Traducción fluida y secuencial de gestos; reducción de errores en secuencias complejas
Transformers	Traducción multimodal (imagen, texto, audio)	Atención jerárquica, BLEU, aprendizaje eficiente	Encoder-Decoder, Self-Attention, Multihead Attention	PyTorch, Hugging Face Transformers	BLEU >20 en SLT; rendimiento alto y escalabilidad para múltiples idiomas y modalidades

Fuente: [13] [14]

En la figura 2 podemos observar cómo funciona las redes neuronales convolucionales

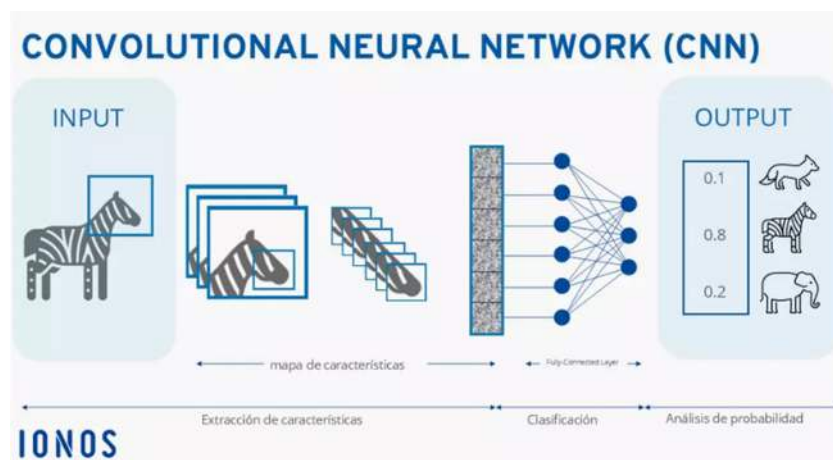


Figura 2: Convolutional Neural Network (CNN)

Fuente: [15]

En la figura 3 podemos observar cómo trabaja el modelo transformes

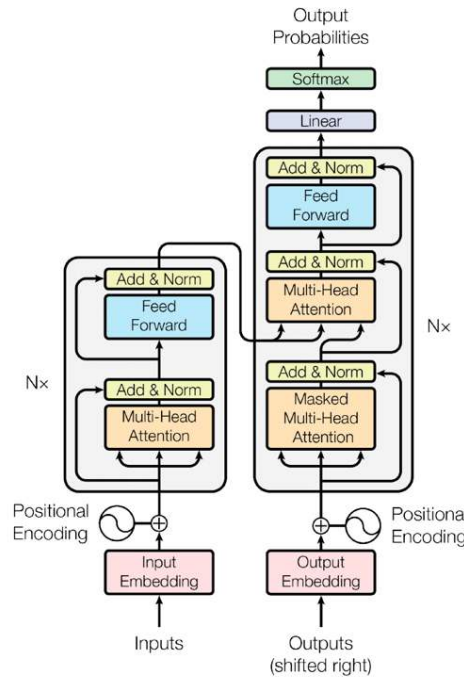


Figura 3: Modelo Transformers

Fuente: [16]

2.5. Parametro de evaluación de sistemas de <inteligencia artificial

Existen parámetros para evaluación de sistema de inteligencia artificial como Accuracy, Precision, Recall y F1-Score, implementados mediante herramientas como Scikit-learn y TensorFlow. Además, se utilizan indicadores específicos como BLEU y WER que permiten medir la calidad de la traducción, y MOS para evaluar la calidad de la voz generada. Los sistemas más eficientes tienden a alcanzar valores de precisión (accuracy) superiores al 90 % en la detección de gestos y puntuaciones BLEU ≥ 0.8 o WER ≤ 10 %, lo que garantiza una alta precisión técnica y una comunicación efectiva. En la Tabla 5 se presentan las métricas empleadas para la evaluación del sistema.

Tabla 5. Evaluaciones del sistema

Métrica / Herramienta	Variables evaluadas	Criterios	Tecnologías / Algoritmos	Resultados Esperados
Accuracy	TP, TN, FP, FN	Proporción de clasificaciones correctas	de Clasificadores supervisados	$\geq 90\%$ en tareas de detección de gestos
Precision	TP, FP	Verdaderos positivos sobre predichos positivos	Scikit-learn metrics	Control de falsos positivos; ideal en entornos críticos
Recall (Sensibilidad)	TP, FN	Captura de verdaderos positivos sobre todos reales	Scikit-learn, TensorFlow metrics	$\geq 90\%$ para asegurar cobertura completa de eventos esperados
F1-Score	Precision, Recall	Media armónica para equilibrio	Scikit-learn	$\geq 90\%$ en modelos balanceados y eficientes

2.6. Metodología de desarrollo

El desarrollo de la aplicación SIGNUS se fundamenta en la metodología ágil Extreme Programming (XP), una de las más efectivas para proyectos que demandan flexibilidad, iteraciones rápidas y una comunicación constante entre los miembros del equipo y los usuarios finales. En este tipo de sistemas que combinan inteligencia artificial, visión por computadora y procesamiento de lenguaje natural es fundamental contar con un enfoque que permita ajustar y mejorar los modelos a medida que se obtienen nuevos resultados o retroalimentación durante las pruebas.

Extreme Programming se fundamenta en un enfoque de trabajo basado en cinco valores clave: comunicación, simplicidad, retroalimentación, valentía y respeto. Estos principios promueven un entorno colaborativo que permite a los desarrolladores generar soluciones eficientes, manteniendo siempre el enfoque en las necesidades reales del usuario [17]. En el contexto del proyecto, esta metodología contribuye al desarrollo de un sistema accesible, flexible y técnicamente consistente, asegurando que cada iteración represente una mejora respecto a la anterior.

Una de las fortalezas más relevantes de XP radica en su carácter iterativo e incremental, donde el desarrollo del software se organiza en ciclos de corta duración. Cada uno de estos ciclos comprende etapas de planificación, diseño, codificación, pruebas y entrega de resultados. Este enfoque facilita la detección y corrección temprana de errores, la incorporación continua de retroalimentación de los usuarios y el progreso sostenido en la calidad del producto [18].

Durante el desarrollo del proyecto, en la tabla 6 se muestra como la aplicación de XP se organiza en las siguientes fases:

Tabla 6. Metodología XP

Fase XP	Actividades principales	Resultados esperados
Planeación	Identificación de necesidades mediante historias de usuario y priorización de funcionalidades.	Lista priorizada de tareas e iteraciones planificadas.
Diseño	Construcción de arquitectura modular y definición de interfaces IA.	Estructura flexible que permite refactorización continua.
Codificación	Programación en pareja, control de versiones e integración continua.	Código funcional, estable y mantenible en cada iteración.
Pruebas	Evaluación de métricas (Accuracy, Recall, F1-Score) y validación con usuarios.	Modelo optimizado y experiencia de usuario validada.
Entrega	Publicación progresiva de versiones y mejoras constantes.	Producto estable, actualizado y adaptable.

Se eligió XP por su efectividad en el desarrollo ágil y su conveniencia para proyectos relacionados con inteligencia artificial. Esta metodología promueve la colaboración entre los programadores y los usuarios del programa, reduce el tiempo de entrega y mejora la calidad del código.

CAPÍTULO III. METODOLOGIA

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque aplicado, dado que su objetivo principal fue abordar un problema real y específico: las barreras comunicacionales que enfrentan las personas con discapacidad auditiva al interactuar de manera fluida con personas oyentes. A diferencia de investigaciones de enfoque teórico o meramente exploratorio, la presente propuesta se centró en el desarrollo de una solución aplicada, concretada en una aplicación multiplataforma basada en inteligencia artificial, capaz de realizar la traducción en tiempo real entre lenguaje de señas, texto y voz.

Esta perspectiva práctica condujo a la creación de un prototipo funcional, que fue evaluado en circunstancias reales con el apoyo de usuarios representativos del público objetivo en términos de eficacia y rendimiento. Por lo tanto, se generó un efecto tangible en los campos social y tecnológico, que contribuyó a la inclusión y a la mejora de la calidad de vida de los sordos de Chimborazo, utilizando herramientas innovadoras fundamentadas en visión por computadora, procesamiento del lenguaje natural y síntesis de voz.

3.2. Diseño de la Investigación

Se empleó un diseño cuasiexperimental, ya que permitió evaluar la relación causa-efecto entre la variable independiente (la aplicación) y la dependiente (inclusión comunicacional), trabajando con grupos reales y sin manipular de forma estricta todas las variables del entorno social

El diseño contempla cuatro fases estructuradas, cada una con objetivos y resultados esperados, asegurando un desarrollo ordenado y verificable del prototipo.

En la tabla 7 podemos profundizar un poco más con respecto a las fases de esta investigación

Tabla 7. Fases de la investigación

Fase	Descripción	Resultado Esperado
Fase 1: Análisis/Planificación	Investigación y selección de modelos IA (CNN, LSTM, Transformers, GANs) y herramientas (MediaPipe, OpenPose, Whisper, Tacotron 2).	Elaboración de una matriz de selección técnica debidamente justificada.
Fase 2: Diseño/ Codificación	Se definió la arquitectura de la aplicación, estableciendo módulos como reconocimiento de señas, conversión de texto a voz y representación mediante avatar animado.	Concepto de un plan funcional validado.
Fase 3: Desarrollo/Pruebas	Se realizó la configuración y el entrenamiento de los modelos, así como la creación de diversas plataformas y la incorporación de módulos de inteligencia artificial, en marcha, incluyendo pruebas unitarias.	Obtención de un prototipo
Fase 4: Evaluación	Se llevó a cabo la validación del sistema mediante cuestionarios sobre usabilidad, entrevistas y pruebas técnicas con el fin de obtener la opinión de los usuarios.	Informe con métricas (Accuracy $\geq 90\%$, WER $\leq 10\%$, MOS ≥ 4.0).

3.3. Población de Estudio y Tamaño Muestra

Población de estudio: Estuvo conformada exclusivamente por padres de familia, estudiantes, docentes e integrantes “Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo”

Tamaño de muestra:

La muestra correspondió a un muestreo no probabilístico de tipo intencional y voluntario, conformada por usuarios de la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo.

Cada participante firmó un consentimiento informado que contempló:

- La autorización para recopilar datos de interacción, incluyendo aspectos de usabilidad y retroalimentación.
- La protección de la información personal mediante cláusulas de confidencialidad.
- La posibilidad de retirarse del estudio en cualquier momento, sin consecuencias negativas.

Se priorizó un enfoque ético riguroso, considerando la condición de vulnerabilidad comunicativa del grupo participante. Por ello, se garantizaron principios como la accesibilidad, el consentimiento informado y la confidencialidad, en conformidad con:

- Ley Orgánica de Discapacidades (Ecuador).
- Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad.
- Normativas éticas universitarias sobre participación de grupos prioritarios.

La muestra estuvo conformada por 15 participantes pertenecientes a la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo, quienes participaron de manera voluntaria, luego de recibir información clara sobre los objetivos del estudio.

El número de participantes se definió considerando el carácter piloto del proyecto, la disponibilidad real de usuarios y la necesidad de probar el funcionamiento del sistema en un entorno real. Esta cantidad permitió evaluar el desempeño del prototipo, identificar posibles fallas y recoger la opinión de los participantes.

3.4. Técnicas de Recolección de Datos

Se aplicó técnicas combinadas para garantizar robustez y validez de los resultados.

- **Pruebas funcionales:** Técnica cuantitativa para verificar objetivamente el rendimiento técnico del prototipo: precisión de reconocimiento de gestos
- **Entrevistas semi-estructuradas:** Técnica cualitativa para profundizar en percepciones, dificultades, sugerencias y contexto real de uso.

3.5. Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos

El procesamiento de los datos combinó un enfoque cuantitativo, estadístico, garantizando que los resultados sean objetivos, verificables y comparables.

Para procesar los resultados de las pruebas funcionales con herramientas como TensorBoard y Scikit-learn, se emplearon métodos como la validación cruzada y el análisis de curvas de aprendizaje, además de métricas como la exactitud, el recall, la precisión y el F1-score. Esto permitió examinar la solidez de los modelos de inteligencia artificial que se implementaron.

Los datos obtenidos mediante encuestas estructuradas fueron analizados con instrumentos estadísticos como SPSS o R, empleando técnicas de análisis descriptivo (por ejemplo, la media y la desviación estándar) e inferencial. Se intentó de este modo encontrar posibles conexiones entre la eficacia técnica del prototipo y el nivel de satisfacción que los usuarios notaron.

Las entrevistas semiestructuradas fueron analizadas mediante un procedimiento de codificación temática, que implicó categorizar las respuestas en grupos significativos como la facilidad de uso, los obstáculos encontrados y las recomendaciones para progresar. Esta metodología permitió que los resultados cuantitativos fueran interpretados de manera más contextual, centrándose en las experiencias de los participantes.

La aplicación de esta triangulación metodológica permitió llegar a conclusiones coherentes y formular recomendaciones fundamentadas en evidencias técnicas y sociales. Esto contribuye a optimizar la calidad de la propuesta y su aptitud para operar en circunstancias reales.

Se llevó a cabo de manera combinada y estructurada el procesamiento de datos, que fusionó las herramientas estadísticas con técnicas analíticas típicas de la inteligencia artificial y la ingeniería del software.

3.6. Identificación de variables

3.6.1. Variable dependiente

Precisión del sistema de traducción de lenguaje de señas a texto y voz.

3.6.2. Variable independiente

Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional

3.7. Operacionalización de variables

A continuación, la tabla 8, presenta la operacionalización de variable.

Tabla 8. Operacionalización de Variable

PROBLEMA	TEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	CONCEPTUALIZACION	DIMENSION	INDICADORES
¿Qué nivel de precisión presenta el sistema multiplataforma propuesto, basado en inteligencia artificial, para la traducción en tiempo real de señas, texto y voz, según métricas de evaluación como accuracy, precision, recall y F1-score?	Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión comunicacional	GENERAL	INDEPENDIENTE	Un sistema de traducción basado en inteligencia artificial se define como una solución tecnológica que integra herramientas de visión por computadora, procesamiento del lenguaje natural y síntesis de voz, con la capacidad de reconocer, interpretar y convertir en tiempo real el lenguaje de señas, el texto y la voz. De este modo, permite una comunicación bidireccional, favoreciendo la accesibilidad y promoviendo la inclusión comunicacional.	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento del modelo de inteligencia artificial • Interacción y experiencia del usuario 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de comprensión de mensajes traducidos • Porcentaje de usuarios satisfechos • Grado de usabilidad
		ESPECIFICOS	DEPENDIENTE	La inclusión comunicacional se define como el fortalecimiento de la interacción y el entendimiento mutuo entre personas sordas y oyentes, a través de herramientas que aseguren precisión técnica, claridad en el mensaje y una experiencia de uso satisfactoria, contribuyendo así a la disminución de las barreras comunicativas.	Inclusión y calidad comunicacional	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión de reconocimiento de gestos (accuracy, precision, recall) • F1-score

3.8. Metodología de Desarrollo

En el siguiente proyecto de investigación, la metodología ágil de software elegida fue la XP (Xtreme Programming). A continuación, se define todas las etapas adecuadas para la elaboración del proyecto.

Fase 1: Planificación

En la siguiente etapa que es la planificación con las siguientes tablas 9 y 10 se han descrito los requerimientos funcionales al igual que los no funcionales. Que han sido recolectados en conjunto con el tutor del proyecto de investigación, mediante reuniones técnicas, con el cual se identificó las necesidades funcionales y técnicas con respecto a los objetivos planteados.

Tabla 9. Requerimientos funcionales

ID	Descripción
RF01	El sistema debe capturar en tiempo real las señas que el usuario realice por medio de una cámara.
RF02	El sistema debe detectar movimientos del cuerpo, manos, rostro todo lo que conlleve una seña.
RF03	El sistema tiene que analizar las señas utilizando algoritmos de visión por computadora.
RF04	El sistema debe traducir en texto y voz al momento de recibir una seña.
RF05	El sistema debe guardar las señas que se le enseñen en una base de datos.
RF06	El sistema debe poder almacenar más información con respecto a las señas
RF07	El sistema debe realizar pruebas continuas para validar la calidad de la traducción de la seña.

Tabla 10. Requerimientos no funcionales

ID	Descripción
RNF01	El sistema tiene que ser de un manejo fácil y que permita cambiar cambios sin perjudicar la funcionalidad principal.
RNF02	La interfaz del sistema debe ser intuitiva para el usuario y para el administrador.
RNF03	Los modelos y sus configuraciones deben mantenerse con control de versiones para garantizar un seguimiento claro y un buen manejo de los cambios realizados.

Fase 2: Diseño

Con la siguiente etapa se presentan los distintos gráficos de la ingeniería de software que fueron necesarios para establecer y programar una solución factible con los requisitos obtenidos.

Casos de uso

En la figura 4 se detallan los casos de uso de la aplicación

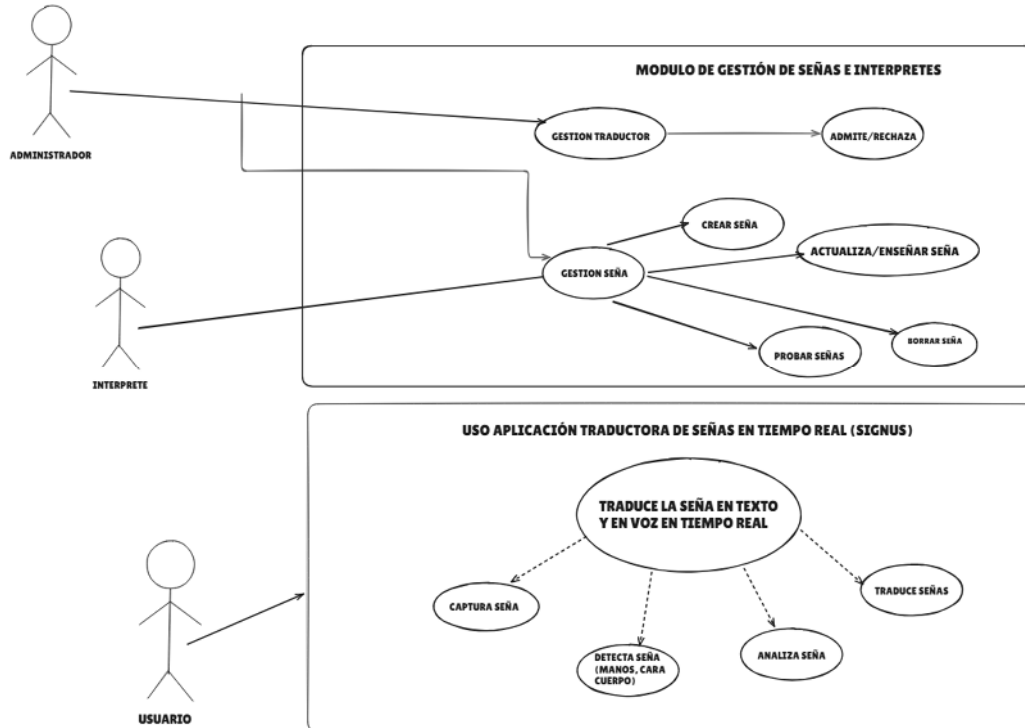


Figura 4. Casos de uso

Diagrama de secuencias

En la figura 5 se muestra el diagrama de secuencias

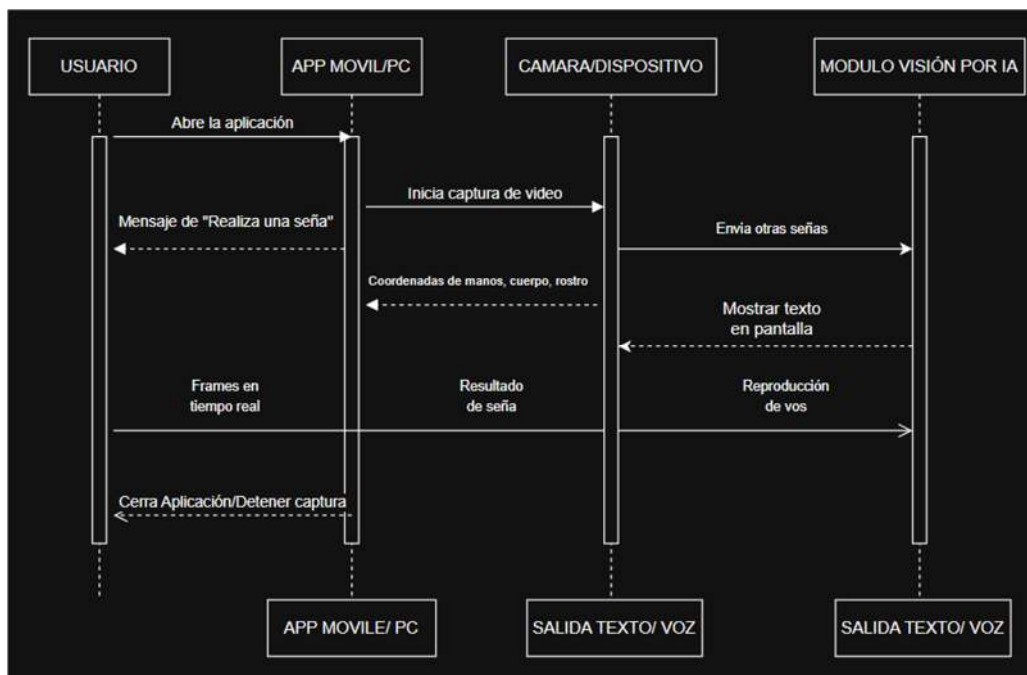


Figura 5. Diagrama de secuencias

Diagrama de componentes

En la figura 6 se presenta el diagrama de componentes

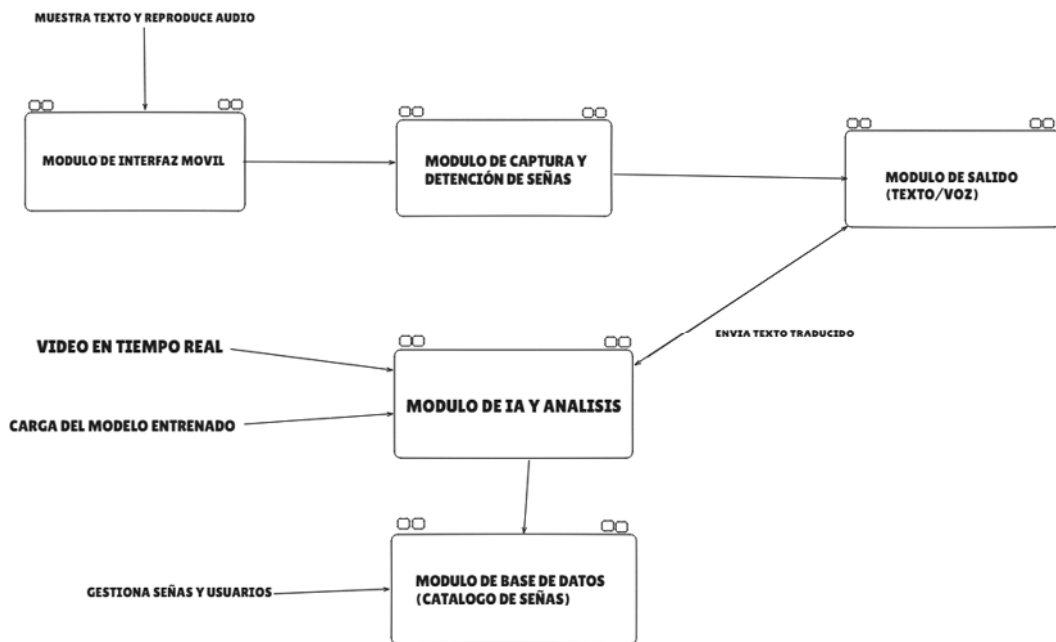


Figura 6. Diagrama de componentes

Diagrama de arquitectura

En la figura 7 se expone el diagrama de arquitectura de la aplicación

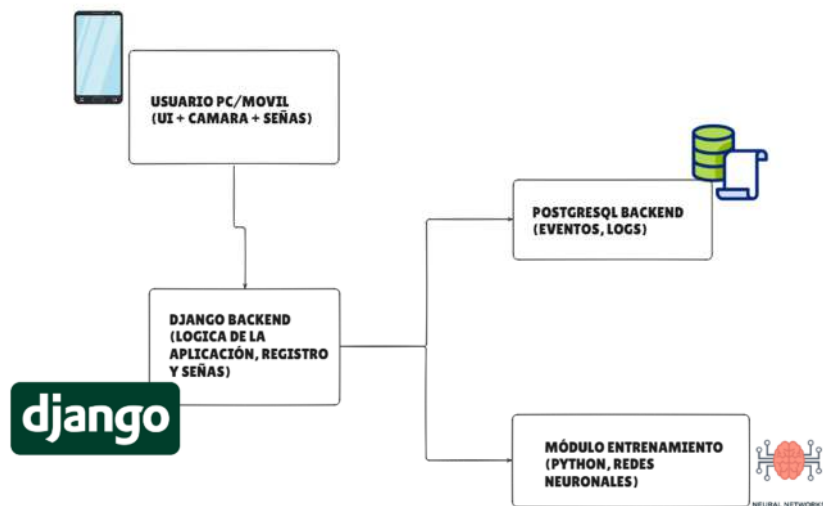


Figura 7. Diagrama de arquitectura

Diagrama físico de base de datos

Con la herramienta "PgAdmin" he realizado el diagrama físico de la base de datos que se proyecta en la figura 8

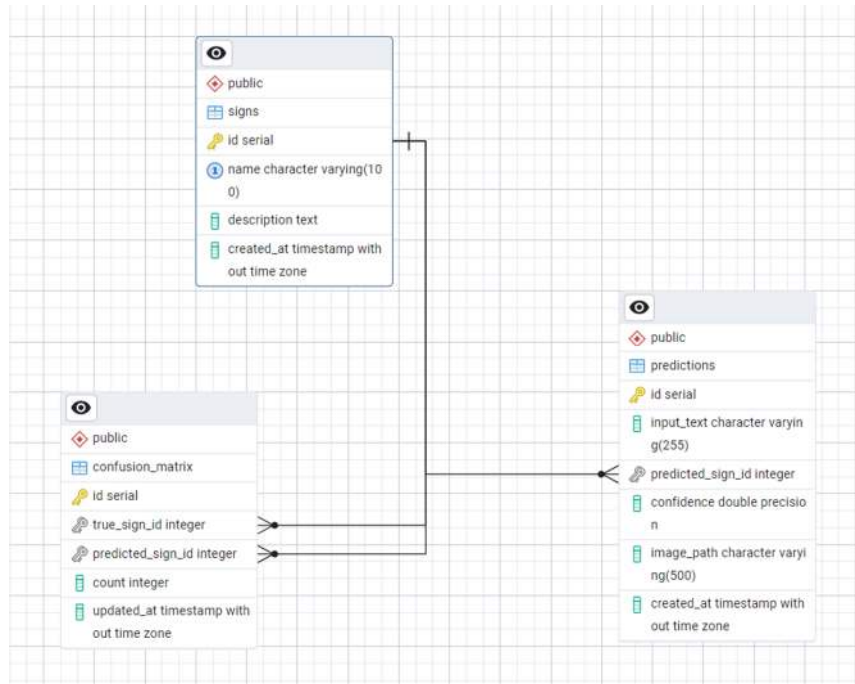


Figura 8. Diagrama físico de base de datos

Diccionario de datos

Tabla Sign (señas)

La tabla para las señas se detalla en la tabla 11

Tabla 11. Tabla Sign

Campo	Tipo	Descripción
Id	INT (PK)	Identificador de la seña
name	CHARACTER VARYING (150)	Nombre de la seña
Descripción	TEXT (254)	Descripción de la seña
Creat_at	TimeStamp (128)	Fecha de la creación de la seña

Tabla Predictions

La tabla para las predicciones de las señas se muestra en la tabla 12

Tabla 12. Tablas Predicciones

Campo	Tipo	Descripción
Id	INT (PK)	Identificador de la predicción
Input_text	CHARACTER VARYING (150)	Nombre de la seña
Predict_sign_id	Int	Identificador de la seña predicha
Confidence	Double precisión	Precisión de la seña
Imagen_path	CHARACTER VARYING (150)	Imagen de la seña
Creat_at	TimeStamp (128)	Fecha de la creación de la seña

Tabla confusión_matrix

La tabla para la matriz de confusión en las señas, se muestra en la tabla 13

Tabla 13. Tabla matriz de confusión

Campo	Tipo	Descripción
Id	INT (PK)	Identificador de matriz
True_sign_id	INT	Identificador de la seña
Predict_sign_id	INT	Identificador de la predicción de la seña
Count	INT	Resultados
Update	TimeStap	Fecha de la actualización de la seña

Diagrama de interfaces

Junto con la herramienta “Excalidraw” se elaboró el diseño de las interfaces de la aplicación de traducción de señas con IA como se muestra en la Figura 9 en el que se evidencia que el login y solicitar traductor, creación de traductores y el home respectivo del mismo en donde se observa las herramientas que puede usar.



Figura 9. Diagrama de interfaces Login/Solicitar Traductor /Home

En la figura 10 podemos ver el resultado de la bienvenida y login de la aplicación para los traductores.

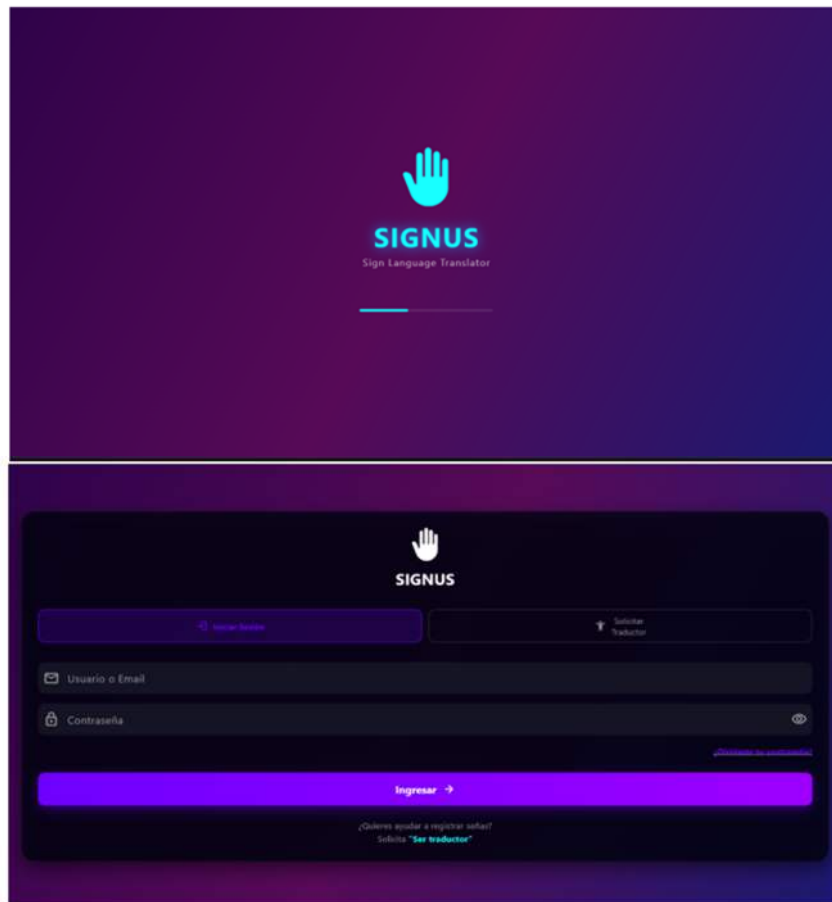


Figura 10. Bienvenida y login

En la Figura 11 podemos ver todo el registro que se necesita para solicitar ser un traductor

Figura 11. Registro de Traductor

En la Figura 12 podemos observar el uso de las herramientas tales como Cámara IA/ Subir seña, etc

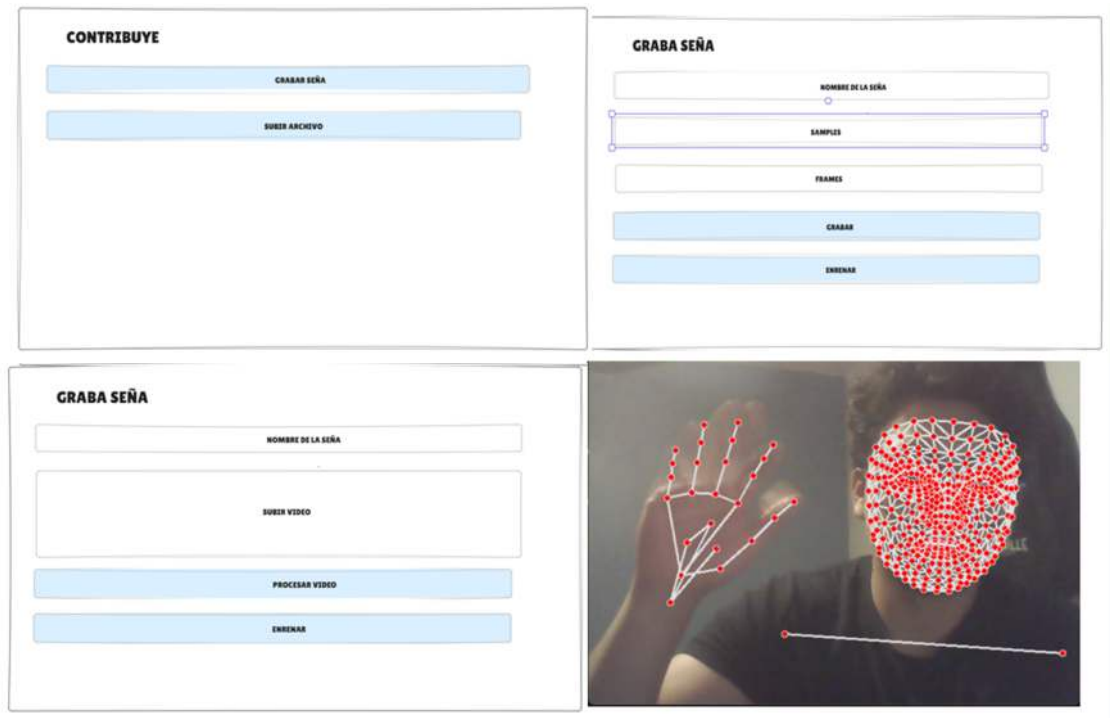


Figura 12. Diagrama de Interfaces Herramientas

En la Figura 13 y 14 podemos ver el desarrollo del home, grabar señas y el subir seña

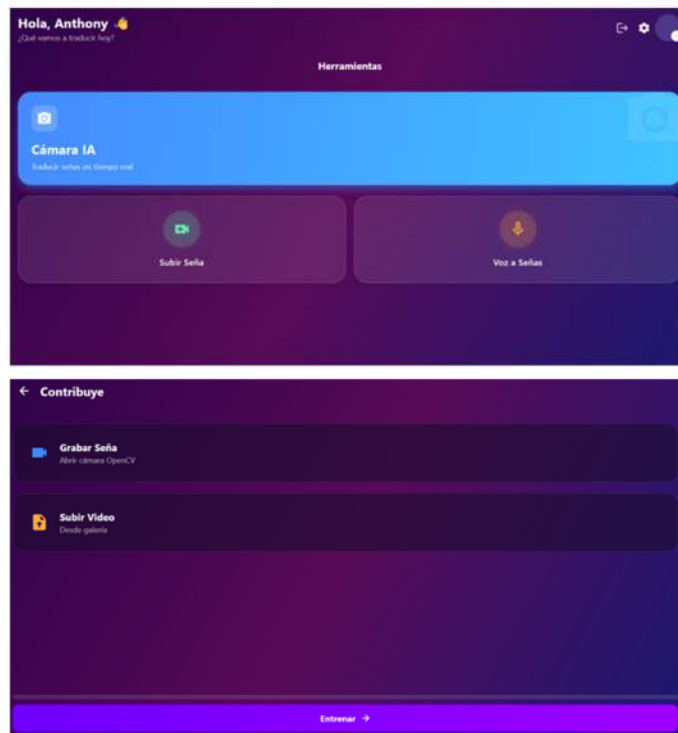


Figura 13. Home y Herramientas

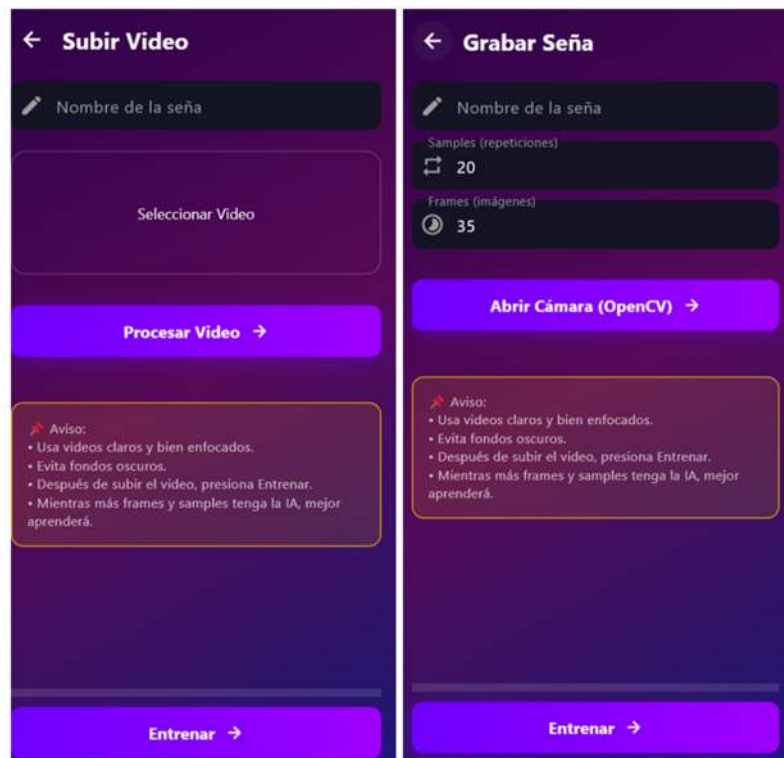


Figura 14. Añadir señas

Fase 3: Codificación

El desarrollo comenzó con la preparación de las herramientas que se van a necesitar para poder realizar la codificación del mismo. En el siguiente proyecto las herramientas y librerías usadas fueron:

- Flutter
- Visual Studio Code
- PgAdmin 4 (PostGresql)
- Flask
- Python (Entorno virtual)
- Open CV
- TensorFlow

A continuación, se detalla los pasos que se ejecutaron para implementar el sistema.

Implementación del módulo de detección corporal

Para esta parte del módulo se implementó librerías como OpenCV, Mediapipe, mp_holistic y mp_drawing la cual en la Tabla 14 se detalla el funcionamiento de cada uno

Tabla 14. Librerías usadas para la detección corporal

Librerías	Función	Explicación
cv2	Video	Para el manejo de la cámara y la ventana de visualización.
mediapipe	Detección	Para poder importar las soluciones de <i>Machine Learning</i> que ya están preentrenadas.
mp_holisti	Modelo	Importa la solución Holistic de MediaPipe. Este es un modelo ya unificado que puede detectar simultáneamente la Pose, Face Mesh y Hands.
mp_drawing	Dibujo	Útil para dibujar los <i>landmarks</i> y las respectivas conexiones sobre el <i>frame</i> de video.

A continuación, en la Figura 15 se muestra parte del código en el que muestra la detección corporal del usuario

```
import cv2
import mediapipe as mp
import argparse
import time
import os
import numpy as np
from utils.utils_keypoints import frame_results_to_flat
from config import DATA_DIR, SEQ_LEN

mp_holistic = mp.solutions.holistic
mp_drawing = mp.solutions.drawing_utils

def capture_sequence(label, seq_len, save_path):
    cap = cv2.VideoCapture(0)
    cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 1280)
    cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 720)

    with mp_holistic.Holistic(static_image_mode=False,
                             model_complexity=1,
                             refine_face_landmarks=True) as holistic:
        frames = []
        print(f"Preparado. Presiona 's' para empezar a capturar {seq_len} frames para '{label}'.")
```

Figura 15. módulo de detección corporal

Colección de la información de las señas por grabación o video

En esta parte del módulo se implementaron librerías como sys, os, re, time y rutas para poder capturar lo más importante de una seña sus movimientos, la distancia entre los hombros para una mayor fluidez en las señas y un espejo que se utiliza para que al momento de realizar una seña con la mano derecha esta también la prediga por el lado izquierdo y viceversa.

A continuación, en la Figura 16 y la Figura 17 se muestra parte del código para poder capturar la información de cada seña.

```

2 import sys, os, re, time
3 ROOT = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
4 sys.path.append(ROOT)
5 sys.path.append(os.path.join(ROOT, "IA"))
6
7 import numpy as np
8 import cv2
9 import argparse
10 import pyttsx3
11 import mediapipe as mp
12 from utils.utils_keypoints import frame_results_to_flat
13 from config import DATA_DIR, SEQ_LEN
14 from utils.db_utils import insert_sign_if_missing, log_prediction
15 from utils.time_normalization import normalize_sequence_length
16 from utils.augmentation import mirror_sequence
17
18
19
20 mp_drawing = mp.solutions.drawing_utils
21 mp_holistic = mp.solutions.holistic
22
23
24 #limpia el texto y lo formatea para usar como nombre de carpeta
25 def sanitize_text(text):

```

Figura 16. Colección de información de seña

```

from utils.utils_keypoints import frame_results_to_flat
from utils.time_normalization import normalize_sequence_length
from config import DATA_DIR, SEQ_LEN

mp_holistic = mp.solutions.holistic

def sanitize(text):
    return text.strip().lower().replace(" ", "_")

def get_next_index(path):
    nums = []
    for f in os.listdir(path):
        try:
            nums.append(int(f.replace("sample_", "").replace(".npy", "")))
        except:
            pass
    return max(nums) + 1 if nums else 1

```

Figura 17. Colección de información de seña por video

Entrenamiento de una red neuronal Transformers

En este módulo se diseñó y entrenó una red neuronal Transformers en Python con torch, torchvision y Transformers que son las bases fundamentales que clasifican: imágenes, videos la cual puede traducir el lenguaje de señas, además el entrenamiento se ajustó a un entorno local y esta es evaluada con métricas como precisión, F1-Score, recall, accuracy. Como se muestra en la Figura 18.

```

import torch
import torch.nn as nn
import math

class PositionalEncoding(nn.Module):
    def __init__(self, d_model, max_len=512):
        super().__init__()
        pe = torch.zeros(max_len, d_model)
        position = torch.arange(0, max_len, dtype=torch.float).unsqueeze(1)
        div_term = torch.exp(torch.arange(0, d_model, 2).float() * (-math.log(10000.0) / d_model))
        pe[:, 0::2] = torch.sin(position * div_term)
        pe[:, 1::2] = torch.cos(position * div_term)
        self.register_buffer('pe', pe.unsqueeze(0))

    def forward(self, x):
        x = x + self.pe[:, :x.size(1), :].to(x.device)
        return x

```

Figura 18. Red Neuronal Transformers

Diseño de la interfaz del usuario

Gracias a Flutter y Kotlin con su extensa variedad de librerías se diseñó una interfaz pensada en la comodidad del usuario, lo que se muestra en la Figura 21.

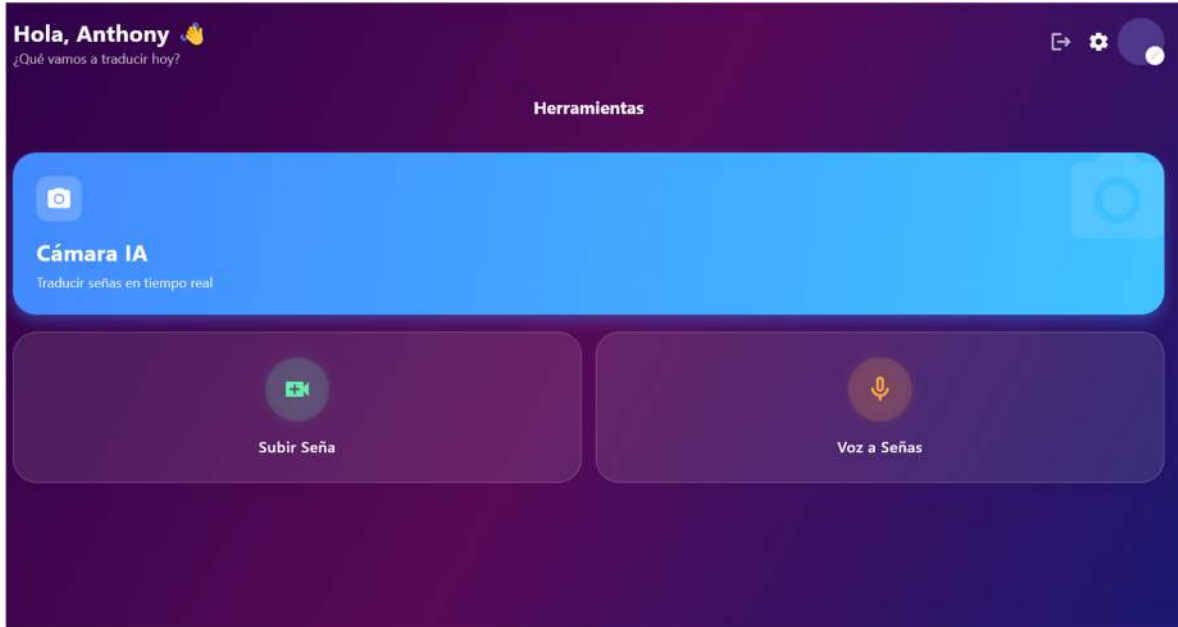


Figura 21. Interfaz de usuario

Traducción automática del lenguaje de señas

Se programó una interfaz en la que el usuario puede encender su cámara y este al realizar su seña se la traduce en texto y voz en tiempo real permitiendo una comunicación con la persona no oyente de manera eficaz en las Figuras 22 y 23 podemos ver parte del código en el que se programó y la respectiva prueba del programa

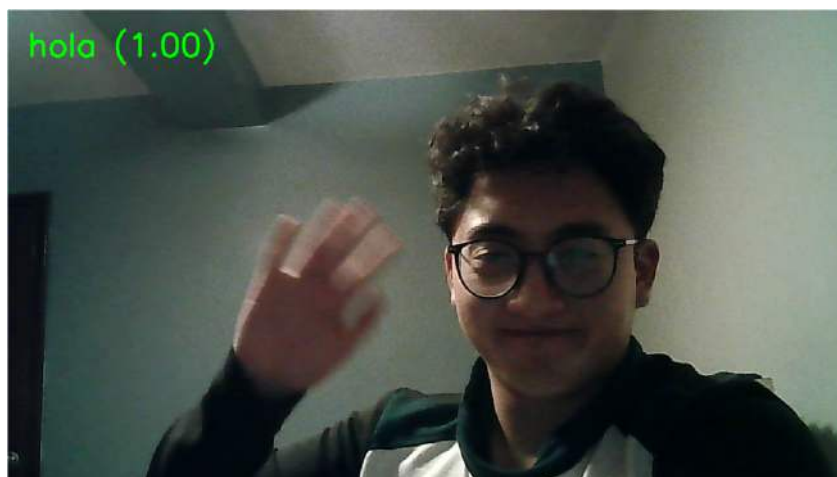


Figura 22. Traducción automática (Hola)



Figura 23. Traducción automática (Te amo)

Fase 4: Pruebas y Lanzamientos

El objetivo en el proceso de la validación del proyecto fue verificar que el desempeño del sistema funcione de manera correcta y se pueda identificar puntos críticos que ayuden a la inteligencia artificial a mejorar en su predicción y traducción.

a) Planificación de recolección de información

Carta de consentimiento y autorización

Para empezar con esta validación se elaboró una carta de consentimiento en el que se presenta todas las clausuras que se presentan durante la investigación, además, serán aplicadas a padres de familia, estudiantes, docentes que deseen participar de la Unidad Educativa Especializada Sordos de Chimborazo, en la Tabla 15 se muestra la descripción de la carta de consentimiento que fue aplicada y en el ANEXO 1 se encuentra el formato de la carta de consentimiento original para personas mayores de 18 años.

Tabla 15. Descripción de la carta de consentimiento

Razón	Descripción
Nombre del proyecto	Describimos el título de la investigación
Investigador principal	En este caso el nombre de investigador
Institución	Institución en el que se elabora la investigación
Introducción	Invitación a la participación de la investigación
Propósito del Estudio	Dar el objetivo de la investigación
Procedimiento	Proceso que se realizara durante la investigación
Riesgo/Beneficio	Los riesgos y beneficios de realizar este proceso

Confidencialidad	El anonimato de la información
Voluntariedad	La participación totalmente voluntaria
Declaración de Consentimiento	Nos entrega el consentimiento de participar
Nombre del Participante	Nombre completo del participante (escrito)
Firma del Participante	Firma física del participante

Además, en el caso que uno de los participantes sea menor de edad se elaboró una carta de autorización en el que el representante legal de autorización a que su hijo participe en la investigación.

En la tabla 16 se puede observar los puntos clave que se detalló en la carta para que el representante permita o no la participación de su hijo, además en el ANEXO 2 se muestra el formato original presentado a los participantes,

Tabla 16. Carta autorización

Razón	Descripción
Nombre del proyecto	Describimos el título de la investigación
Investigador principal	En este caso el nombre de investigador
Institución	Institución en el que se elabora la investigación
Descripción del Estudio	Invitación a la participación de la investigación
¿Qué hará el menor?	Presentamos al representante toda la participación del hijo o hija en la investigación
Uso de la información	Detallar el para que se va a utilizar la información recolectada durante la investigación (privacidad)
Detalle del permiso	Nombre del representante legal y nombres del hijo al que dio su autorización en la participación

b) Métricas de Validación

Una vez adquirido los consentimientos de las personas y evaluadas, los resultados van a ser evaluadas mediante métricas como accuracy, precision, recall y F1-score.

En la tabla 17 se muestra como aplicaremos las métricas a nuestros resultados

Tabla 17. Métricas a evaluar

Métrica	Aplicación	Descripción
Accuracy (Exactitud)	(CRB/ T) *100	Cantidad de respuestas buenas sobre el total de resultados por cien.
Precision (Confiabilidad)	(CRB/SRA) *100	Cantidad de respuestas buenas sobre el total de las señas

Recall (Sensibilidad)	(CS/CRB) *100	respondidas por la aplicación por cien.
F1-Score (Equilibrio)	$F1 = \frac{2x(Precisión \times Recall)}{Precisión + Recall}$	Cantidad de seña sobre cantidad de respuestas buenas por cien Fórmula para encontrar F1

Al aplicar estas métricas en el modelo, se elaboró una conversación corta en la que hay palabras tales como: hola, ¿cómo estás?, me alegro y chao, con el objetivo de poder probar una conversación lo más realista posible.

Con ello los resultados en las pruebas de efectividad realizadas a la aplicación que traduce el lenguaje de señas en texto y voz en tiempo real evidencian un desempeño sobresaliente en todas las métricas evaluadas que serán presentadas a continuación.

En este caso el Accuracy global que alcanzo la aplicación fue del 88% en promedio de las métricas aplicadas durante este proyecto, lo que indica que el modelo realizado fue el esperado, ya que en un inicio se esperaba un 80-85% demostrando la efectividad del mismo.

A continuación, presentamos un resumen de los resultados obtenidos en la investigación, en la tabla 18 podemos ver los resultados de la efectividad de la palabra Hola

Tabla 18. Resultados de la efectividad "Hola"

Seña	Métrica	Valor esperado	Resultado Obtenido
Hola	Precision (%)	≥ 78%	82%
Hola	Recall (%)	≥ 80%	93%
Hola	F1-Score (%)	≥ 78%	88%
Hola	Accuracy (%)	≥ 80%	93%

En la tabla 19 podemos observar los resultados obtenidos de la frase ¿Cómo estás?

Tabla 19. Resultados de la efectividad "¿Cómo estás?"

Seña	Métrica	Valor esperado	Resultado Obtenido
¿cómo estás?	Precision (%)	≥ 80%	94%
¿cómo estás?	Recall (%)	≥ 80%	93%
¿cómo estás?	F1-Score (%)	≥ 80%	93%
¿cómo estás?	Accuracy (%)	≥ 80%	93%

En la tabla 20 podemos observar los resultados de la efectividad de la seña “Me Alegre”

Tabla 20.Resultados de la efectividad "Me Alegre"

Seña	Métrica	Valor esperado	Resultado Obtenido
Me alegre	Precision (%)	$\geq 85\%$	93%
Me alegre	Recall (%)	$\geq 85\%$	93%
Me alegre	F1-Score (%)	$\geq 85\%$	93%
Me alegre	Accuracy (%)	$\geq 85\%$	93%

En la tabla 21 podemos observar los resultados de la efectividad de la palabra chao

Tabla 21. Resultados de la efectividad "Chao"

Seña	Métrica	Valor esperado	Resultado Obtenido
Chao	Precision (%)	$\geq 80\%$	91%
Chao	Recall (%)	$\geq 50\%$	67%
Chao	F1-Score (%)	$\geq 60\%$	77%
Chao	Accuracy (%)	$\geq 50\%$	67%

En la tabla 22 podemos observar los resultados globales de todo el modelo.

Tabla 22. Resultados Globales

Métrica	Valor esperado	Resultado Obtenido
Accuracy (%)	$\geq 80\%$	87%
Recall (%)	$\geq 80\%$	87%
Precision	$\geq 80\%$	90%
F1-Score (%)	$\geq 80\%$	88%

c) Encuestas de Satisfacción del usuario y Usabilidad

Después de analizar los resultados de las métricas en el modelo que traduce el lenguaje de señas, se elaboró dos cuestionarios basados en la escala de Likert de 5 puntos (1: Muy en desacuerdo a 5: Muy de acuerdo), el primer cuestionario está enfocado a la satisfacción del usuario al momento de manipular la aplicación (ver ANEXO 4) y

otro enfocado en la usabilidad (ver ANEXO 5), mediante estos podremos ver el porcentaje de usuarios satisfechos y el grado de usabilidad que obtuvo la aplicación.

El primer cuestionario de satisfacción, que se aplicó a los usuarios, obtuvo una media global de 4.90 en una escala de 5.00 (consulte el ANEXO 6) y un índice general del 97.5 sobre 100. Los participantes calificaron su experiencia entre 4 y 5, lo que indica una evaluación positiva. De igual manera, factores relevantes como la intención de uso en el futuro y el nivel de cumplimiento de expectativas alcanzaron la calificación máxima: 5.00. Estos hallazgos muestran que la aplicación no solo satisface los requerimientos funcionales, sino que también proporciona un elevado nivel de confort y confianza para los usuarios.

Respecto al segundo cuestionario sobre la escala de usabilidad para poder evaluar la facilidad de uso, comprensión y la experiencia del usuario, se obtuvo resultados del 80% la opción “Muy de acuerdo” en las 10 preguntas planteadas, mientras que el 20% fueron la opción “De acuerdo”, además se obtuvo un resultado neutro que representa la opción 3 (Neutro) siendo el 6.7% en la pregunta 6 (ver ANEXO 7), estos resultados muestran que el uso de la aplicación es bastante efectivo entre los usuarios.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

- **Resultados Objetivo Especifico 1.-** Analizar modelos, tecnologías y herramientas para la traducción automática de señas, con enfoque en visión por computadora, PLN y desarrollo multiplataforma.

En la tabla 23 se puede observar el mejor modelo seleccionado para el trabajo de investigación y una diferencia con los modelos analizados.

Tabla 23. Modelo seleccionado.

Modelo seleccionado	Función principal en el sistema	Lenguaje / Entorno	Justificación técnica	Otros Modelos Analizados
Transformers	Traducción multimodal del lenguaje de señas a texto y clasificación de imágenes/videos.	Python (con librerías como PyTorch y Torchvision).	Posibilita una traducción multimodal con alta precisión, excelente escalabilidad y se ajusta para entrenamiento en un entorno local.	<ul style="list-style-type: none"> • Redes Neuronales Convolucionales (CNN): Analizadas para extracción de características. • Redes Neuronales Convolucionales (CNN): Analizadas para extracción de características. • Redes Generativas Antagónicas (GANs): Para avatares. • Híbridos: Sign Language Transformer y CNN-LSTM híbrido.

En la figura 24 se pudo observar el computador y como utilizo visual code para el Proyecto.

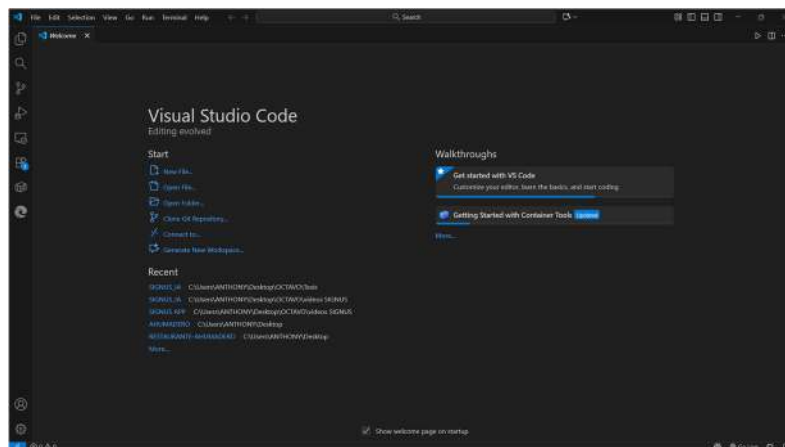


Figura 24. Visual Code

En la figura 25 de igual forma son las extensiones en este caso Flutter la cual se utilizó en todo este proyecto

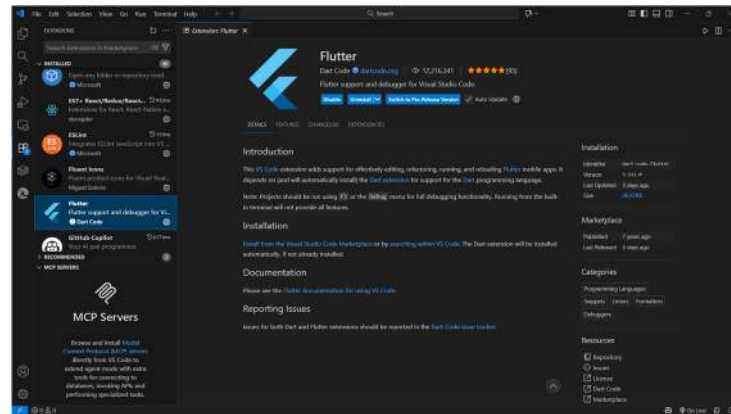


Figura 25: Flutter

En la tabla 24 se pudo tomar las mejores tecnologías para el proyecto en comparación a las varias tecnologías existentes.

Tabla 24. Tecnologías seleccionadas.

Tecnologías seleccionado	Función principal en el sistema	Lenguaje / Entorno	Justificación técnica	Otras Tecnologías Analizadas
Visión por Computadora	Detección de manos, rostro y articulaciones corporales dentro de secuencias de video.	Python / C++.	Es el componente central para identificar de manera espacial los gestos en tiempo real con alta precisión.	Soluciones en la nube (Cloud APIs): Tecnologías de transcripción de voz o análisis en servidores externos como Google Speech-to-Text o Amazon Transcribe, descartadas a favor de inferencia en dispositivo.
Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) y Síntesis de voz	Transformar los gestos interpretados en texto y realizar la conversión de texto a voz de forma local.	Python	Permite una transcripción fluida y la creación de audio a nivel local para la traducción bidireccional.	Traducción Unidireccional: Sistemas tecnológicos enfocados solo en convertir voz a texto o texto a señas, presentes en aplicaciones globales analizadas.

Desarrollo Multiplataforma	Diseño de la interfaz gráfica de usuario para dispositivos móviles y de escritorio.	Dart	Facilita la creación de interfaces coherentes en múltiples sistemas operativos a partir de un solo conjunto de códigos.	Desarrollo Nativo (Individual): Creación separada para Android e iOS a través de APIs móviles específicas.
-----------------------------------	---	------	---	--

En la tabla 25 se logró conseguir las mejores herramientas para que el proyecto pueda ser concluido y validado con los usuarios.

Tabla 25. Herramientas seleccionadas.

Herramientas seleccionado	Función principal en el sistema	Lenguaje / Entorno	Justificación técnica	Otras Herramientas Analizadas
MediaPipe	Detección y seguimiento en tiempo real del cuerpo, manos y cara.	Python / C++.	Buen rendimiento y eficiencia en tiempo real, particularmente en dispositivos móviles con recursos escasos (flujos >25 FPS).	OpenPose: Ofrece muy alta precisión, pero es muy pesado (1-5 FPS en CPU) y requiere GPU potente. PoseNet: Eficiente, pero con menos puntos de precisión.
TensorFlow	Entrenamiento y ejecución de los modelos de deep learning.	Python	Compatibilidad con GPU, desempeño superior en redes neuronales y facilidad en sus APIs.	Whisper (OpenAI) y Tacotron 2: Analizados para procesamiento de voz multilingüe.
OpenCV-Python	Captura y procesamiento de imágenes y videos (segmentar manos, detectar contornos).	Python / C++	Gran nivel de optimización y facilidad de integración con herramientas como TensorFlow y MediaPipe.	Aplicaciones Comerciales: HandTalk, SignAll, Gesture-to-Speech de Google AI (evaluadas como antecedentes).
scikit-learn	Verificar los modelos mediante métricas como exactitud, precisión, recall y F1-score.	Python	Extensa aplicación en evaluación de modelos y sencillez para ejecutar métricas.	N/A
pyttsx3	Convertir texto en voz (TTS) sin internet.	Python	Permite crear audio local, crucial para entornos con poca conectividad.	Amazon Polly / Motores STT en la nube:

				Analizados, pero dependen de internet.
Flutter	Desarrollar la interfaz visual en plataformas web, móviles y escritorio.	Dart	Mejora el desarrollo y la experiencia al crear interfaces desde un solo código.	React: Otro framework utilizado para multiplataforma.
psycopg2-binary / PgAdmin 4	Gestionar la base de datos PostgreSQL.	Python	Proporciona una conexión estable y confiable para almacenar usuarios y modelos.	N/A
Visual Code	Entorno de desarrollo para programación, depuración e integración.	Código	Versatilidad, integración con Git y compatibilidad con frameworks.	N/A

- **Resultados del Objetivo Especifico 2.-** Diseñar una aplicación que reconozca señas mediante cámara, traduzca en tiempo real a texto y voz.

Para la siguiente aplicación realizada con el framework Flutter, se obtuvo en la Figura 26 el módulo principal en la que el usuario pudo realizar las señas, poder subir sus señas y probar el módulo de voz (beta).

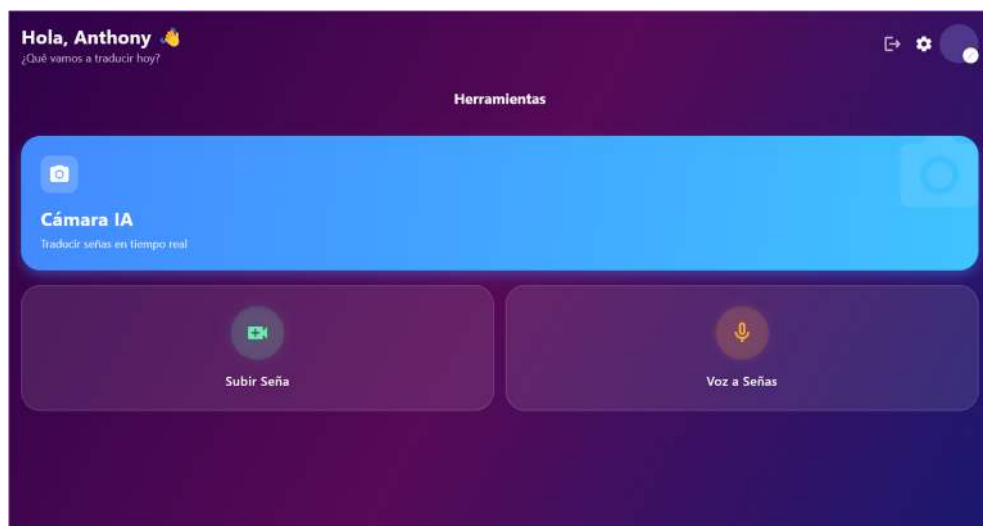


Figura 26. Módulo principal

En la Figura 27 se mostró el módulo de traducción de señas en donde el usuario puede realizar las señas y la inteligencia artificial las traduce en texto y voz.



Figura 27. Módulo de traducción de señas.

En el ANEXO 3 adjuntado a este documento muestra el funcionamiento total de toda la aplicación, explicando paso a paso de como el usuario/administrador debe utilizar de manera correcta la aplicación.

- **Resultados del Objetivo Especifico 3.-** Evaluar la precisión del sistema mediante métricas de reconocimiento de gestos (accuracy, precision, recall) y F1-score.

Efectividad en las métricas aplicadas

Para esta investigación se realizó la prueba con 15 usuarios, a quienes se les solicitó ejecutar las cuatro señas registradas. Como resultado, tanto de manera individual como global, en la Figura 26 se observa que, de los 15 usuarios, la aplicación tradujo correctamente la seña hola en 14 ocasiones y de forma incorrecta en 1. Asimismo, se evidencia que la aplicación registró dos traducciones adicionales respecto al número real de usuarios, lo cual en ambos casos se debió a fallas humanas o a errores de la aplicación. Esta seña no presenta valores de silencio, lo que indica que el sistema logró detectar a los usuarios al realizar la seña. Los resultados de las métricas obtenidas fueron: accuracy del 93%, precisión del 82%, recall del 93% y un F1-score del 88%, mostrando un desempeño superior a lo esperado, lo que demuestra que la aplicación detecta correctamente la seña. esperado lo cual significa que la aplicación detecta de manera correcta la seña.

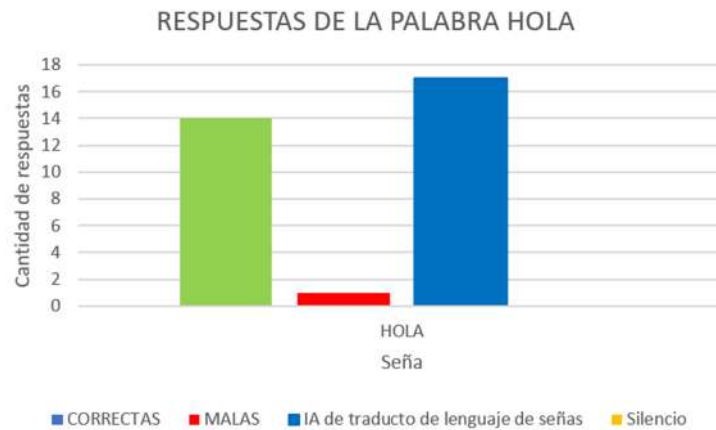


Figura 28. Respuestas de Hola

En la Figura 27 se observa que, en el caso de la frase ¿Cómo estás?, de los 15 usuarios evaluados, la aplicación tradujo correctamente la frase en 14 ocasiones y presentó un error en 1. Además, se evidencia que la aplicación realizó un total de 15 traducciones, lo cual pudo deberse a fallas humanas o a errores propios del sistema durante el proceso de traducción. Las métricas calculadas para esta frase fueron: accuracy del 93%, recall del 93%, precision del 94% y un F1-score del 93%. Asimismo, en este caso la aplicación logró detectar a todos los usuarios sin inconvenientes, obteniendo resultados superiores a los esperados, lo que demuestra que la aplicación traduce la frase de manera correcta.

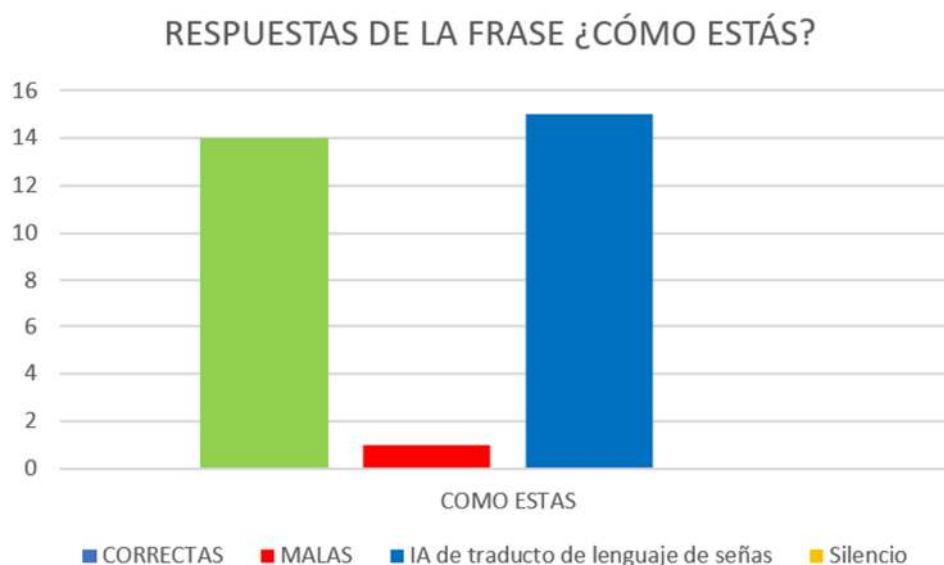


Figura 29. Resultado de la frase ¿Cómo estás?

En la Figura 28 se observa que, para la frase me alegro, de los 15 participantes evaluados, la aplicación tradujo correctamente la frase en 14 ocasiones y presentó un error en 1. Además, se identifica un caso de silencio, lo que indica que en una ocasión la aplicación no logró detectar a un participante, situación que pudo deberse a error humano, a condiciones inadecuadas del entorno o a un fallo del sistema. En cuanto a las métricas obtenidas, se registró un accuracy del 93%, precisión del 93%, recall del 93% y un F1-score del 93%. En

este caso, los resultados superaron lo esperado, lo que evidencia que la aplicación es capaz de traducir correctamente la frase.

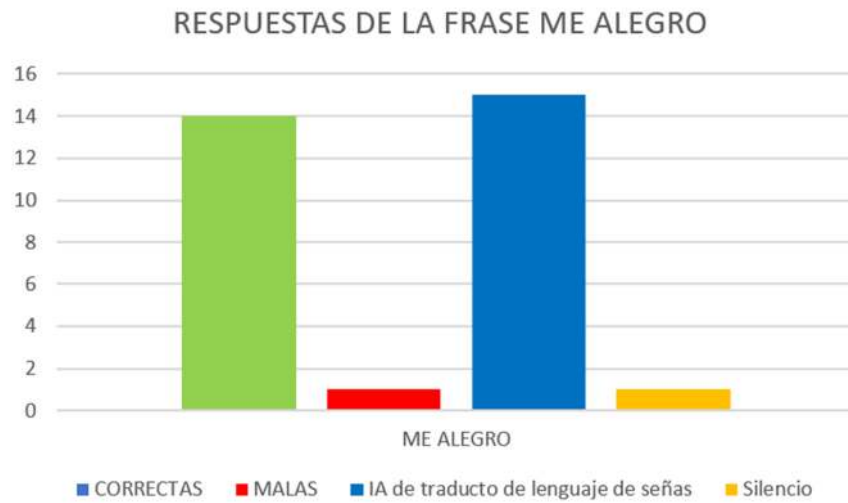


Figura 30. Resultados de la frase "Me alegre"

En la Figura 29 se presentan los resultados correspondientes a la palabra chao. En este caso, de los 15 participantes evaluados, la aplicación tradujo correctamente la seña en 10 ocasiones y presentó errores en 5. Asimismo, se observa que la aplicación realizó un total de 11 traducciones, registrándose un caso de silencio, lo que indica que en una ocasión no se logró detectar al participante. Las métricas obtenidas fueron: accuracy del 67%, precisión del 91%, recall del 67% y un F1-score del 77%. Si bien los resultados pueden considerarse aceptables, no alcanzan los valores esperados, lo que evidencia que la aplicación logra traducir la seña, pero presenta dificultades que pueden estar relacionadas con el entorno, errores humanos o fallos propios del sistema.

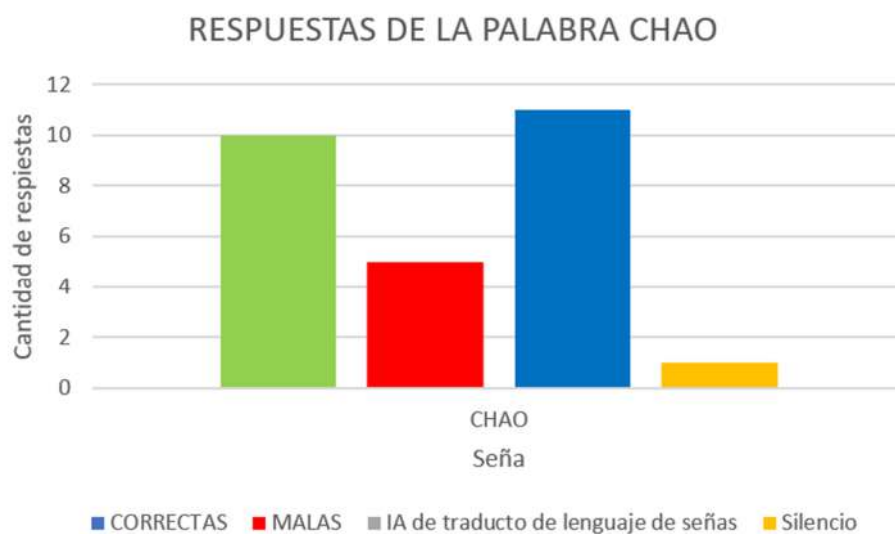


Figura 31. Resultados de la palabra Chao

En la Figura 30 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las figuras anteriores. A partir de este análisis global, se puede afirmar que la aplicación traduce correctamente las señas, ya que alcanzó un accuracy del 87%, una precisión del 90%, un recall del 87% y un F1-score del 88%. En conjunto, estos resultados evidencian que la aplicación presenta un desempeño adecuado al momento de realizar la traducción de las señas.



Figura 32. Resultado global

Además, en la Figura 31 se presenta el resultado global de todas las palabras traducidas por la aplicación. Como se observa en la gráfica de pastel, la aplicación realizó 52 traducciones correctas, mientras que a lo largo de toda la investigación presentó únicamente 8 errores.



Figura 33. Total, de señas

En la Figura 32 se mostró el resultado general de todas las preguntas planteadas en la encuesta de la escala de usabilidad en el que se puede observar que de todas las preguntas más del 80% el resultado fue muy positivo (Muy de acuerdo), el resto de resultados son favorables ya que la opción seleccionada fue “De acuerdo”, solo un caso fue neutral que se muestra en la pregunta 6 y no se presenta resultados inferiores a 3, lo que demuestra la buena usabilidad en la aplicación.

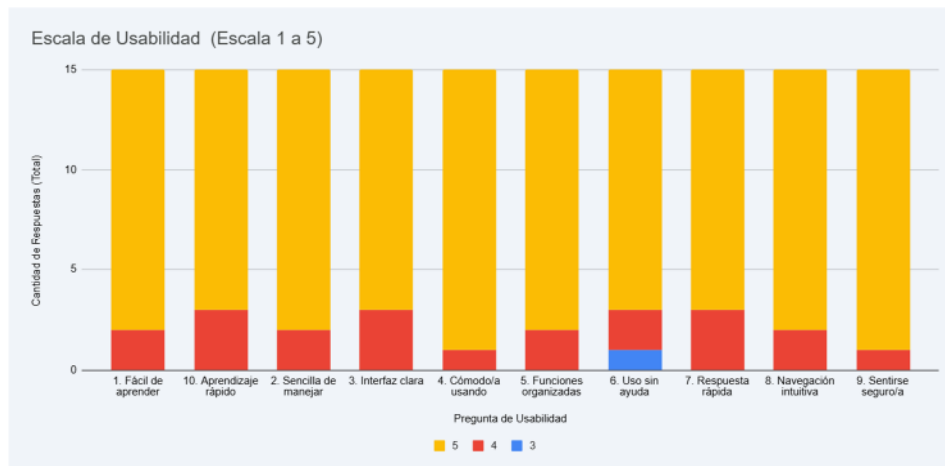


Figura 34. Encuesta de escala de usabilidad

En la Figura 33 se presenta el resultado general de todas las preguntas planteadas en la encuesta de satisfacción del usuario en el que se puede observar que de todas las preguntas más del 85% el resultado fue muy positivo (Muy de acuerdo), el resto de resultados son favorables ya que la opción seleccionada fue “De acuerdo”, no presenta ningún caso inferior a 3 lo que demuestra una buena satisfacción en los usuarios que interactuaron con la aplicación.

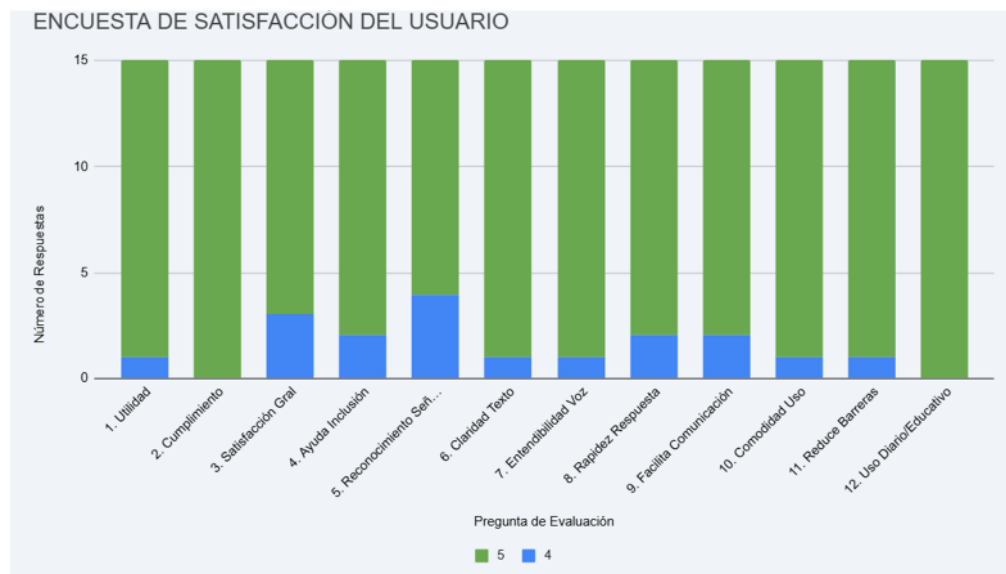


Figura 35. Encuesta de satisfacción de usuario

A partir de los resultados obtenidos con métricas como accuracy, precision, recall y F1-score, se puede observar que el sistema multiplataforma propuesto funciona de manera efectiva en la traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real. En términos generales, el modelo alcanzó un 87% de accuracy, 90% de precision, 87% de recall y un F1-score del 88%, lo que refleja un desempeño bastante sólido dentro del ámbito de los sistemas de reconocimiento de lenguaje de señas.

Estos resultados indican que la aplicación es capaz de generar traducciones correctas en la mayoría de los casos, lo cual respalda su funcionamiento en un entorno real. En consecuencia, se puede afirmar que se cumple con el objetivo planteado en la investigación.

En consecuencia, se puede afirmar que el sistema cumple con los criterios de eficacia planteados en la pregunta de investigación.

4.2 Discusión

Los resultados alcanzados en el presente proyecto fueron exitosos, ya que el modelo de traducción de lenguaje de señas en tiempo real mostro un desempeño sobresaliente ya que alcanzo el 85% en todas sus medidas de evaluación Accuracy, Recall, Precision y F1-Score, este resultado refleja el desempeño sólido y funcional dentro de un contexto práctico, en comparación con la WLASL 100 de la investigación de Muxin Pu et al. [19] menciona que para validar su traductor de lengua en ingles supero el 82% en todas sus métricas y que actualmente superó el 90%, en el cual el modelo propuesto cumple con los objetivos de la evaluación de los desempeños y demostrar la efectividad del mismo.

Además, con las encuestas realizadas para analizar la satisfacción del usuario y la escala en la usabilidad los resultados obtenidos fueron positivos ya que en ambas encuestas (Satisfacción de usuario y escala de usabilidad) los resultados superaron más del 80% los usuarios que interactuaron con la aplicación se sintieron satisfechas y no tuvieron ningún inconveniente al usar la aplicación.

Independientemente de los resultados positivos, existen oportunidades para mejorar el modelo. Como primer punto tenemos el error humano en la ejecución de la seña. Durante las pruebas realizadas, se observó que en los casos en donde se presentaba alguna inconsistencia por parte del modelo era cuando la seña no se realizaba correctamente o el participante no se mostraba de manera correcta en la cámara lo que este generaba inconsistencia en las respuestas, en la figura 34 y 35 se muestra un ejemplo de error humano al trata de hacer la seña de ¿Cómo estás? en la cual esta seña necesita de todo el cuerpo para poder ser traducida.



Figura 36. Manera incorrecta de realizar la seña



Figura 37. Manera correcta de realizar la seña

En comparación al estudio realizado por Garg et al. [19] menciona que, si al tener pocos datos o poca diversidad de personas hace que se reduzca la precisión en los resultados, para ello se recomienda aumentar el dataset para mayor precisión.

Además, otro aspecto que se debe tomar a consideración es el entorno sobre todo en la iluminación y fondo visual, ya que el sistema presento una disminución en el rendimiento, cuando se aplicaba en fondos muy oscuros o escenarios con muy poca iluminación, lo cual complicaba la detección de las manos, rostro y cuerpo la cual son puntos muy importantes para el reconocimiento de los gestos. Estos problemas también han sido comentados en la reciente investigación de Sadeghzadeh et al. [20] en la que comentan que también la forma, tamaño, color de las manos y las condiciones ambientales también afectan a la precisión de los resultados.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se determinó, a partir del análisis de modelos, tecnologías y herramientas para la traducción automática de lenguaje de señas, que la combinación de visión por computadora, aprendizaje automático y Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), junto con enfoques modernos basados en Transformers, constituye una alternativa efectiva para el desarrollo de sistemas de traducción precisos y eficientes. El estudio realizado permitió identificar los modelos, tecnologías y herramientas más apropiadas para entornos multiplataforma, destacando su capacidad de integración y su efectividad ante necesidades auténticas de comunicación. Como consecuencia, se consiguió crear una solución funcional que respalda la validez de las perspectivas elegidas como fundamento para desarrollos futuros en este ámbito.

La aplicación, que tiene como objetivo la identificación de señas a través de la cámara y su traducción simultánea a texto y voz, fue creada exitosamente. Se incluyeron tecnologías de visión por computadora y de procesamiento de datos en un entorno multiplataforma.

La arquitectura puesta en práctica permitió una comunicación eficaz entre el modelo de inteligencia artificial y la interfaz del usuario, garantizando un procesamiento ininterrumpido de los datos. Asimismo, la implementación de funciones adicionales, como el reconocimiento de voz y la representación por medio de un avatar tridimensional, potenció la interacción y optimizó en gran medida la experiencia del usuario al hacerla más dinámica e intuitiva. El sistema creado cumple con los requerimientos planteados en este marco, por lo que se presenta como una alternativa viable para traducir el lenguaje de señas automáticamente en tiempo real.

Se evaluó la precisión de la aplicación utilizando métricas estándar de reconocimiento de gestos (Accuracy, Precisión, recall), F1-score. El análisis de la sensibilidad, la precisión, la confiabilidad y el balance general del sistema fue más fácil gracias a estas medidas. En consecuencia, se logró un promedio general del 88% en estas métricas, lo que evidencia que el modelo tiene un rendimiento sólido al compararlo con referencias como WLASL100. Estos hallazgos demuestran que el sistema propuesto es efectivo, ya que presenta una precisión apropiada en la identificación de señas y una estabilidad en el proceso de traducción del lenguaje de señas ecuatoriano.

Se concluye que la aplicación desarrollada cumple con los objetivos planteados, permitiendo la identificación y traducción de señas en tiempo real; sin embargo, su precisión depende de factores externos como la iluminación, la calidad del dispositivo y la correcta ejecución de las señas. En este sentido, el sistema propuesto demuestra ser una herramienta viable y significativa para la reducción de las barreras de comunicación, favoreciendo la inclusión de las personas sordas en distintos ámbitos sociales.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda profundizar en la investigación y diseño de nuevas técnicas de procesamiento fácil, capturas de manos y cuerpo completo basada en visión 3D, todo esto para detectar de manera más precisa todos los gestos ya que cada persona tiene rasgos diferentes, manos, rostro lo cual podría mejorar la precisión con los resultados.

Se recomienda integrar nuevas funciones adicionales como el futuro avatar digital 3D que permitirá una comunicación bidireccional más fluida, este permite poder hablar y el avatar automáticamente podrá realizar la seña que el usuario le comunico de esta manera facilitará más la comunicación

Se recomienda ampliar en conocimiento de la base de datos con registros más variados en cuanto edad, género, iluminación, tipo de rostro y fisionomía, lo que permitirá aumentar la robustez y precisión del modelo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CONADIS, «El nuevo Ecuador,» Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, Agosto 2025. [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Último acceso: Septiembre 2025].
- [2] D. López, J. Camacho y A. Gómez, «Aplicaciones inteligentes para la traducción de lenguaje de señas: Un análisis comparativo,» *Revista de Inclusión Digital*, pp. 55-72, 2021.
- [3] G. Cloud, «Documentación de Speech-to-Text,» Google, 22 Septiembre 2025. [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/speech-to-text/docs?hl=es-419>. [Último acceso: Septiembre 2025].
- [4] OPS, «INFORME MUNDIALINFORME MUNDIAL,» Organización Panamericana de la Salud, Washington, D.C., 2021.
- [5] N. Camgoz, S. Hadfield y R. Bowden, «Sign Language Transformers: Joint End-to-end Sign Language Recognition and Translation,» CVPR 2020, Germany, 2020.
- [6] R. Tenório, «Hand Talk,» Hand Talk, 2024. [En línea]. Available: <https://www.handtalk.me/en/>. [Último acceso: 10 Octubre 2025].
- [7] Y. Peng, J. Tian, B. Yan, D. Berrebbi, X. Chang, X. Li, J. Shi, S. Arora, W. Chen, R. Sharma, W. Zhang, Y. Sudo, M. Shakeel, J.-W. Jung, S. Maiti y S. Watanabe, «arXiv [cs.CL],» 24 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arxiv.org/pdf/2309.13876>. [Último acceso: 10 Octubre 2025].
- [8] A. Koenecke, A. S. G. Choi, K. Mei, H. Schellmann y M. Sloane, «Careless Whisper: Speech-to-text hallucination harms,» 3 Mayo 2024. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arxiv.org/pdf/2402.08021>. [Último acceso: 10 Octubre 2025].
- [9] F. Zhang, V. Bazarevsky, A. Vakunov, A. Tkachenka, G. Sung, C.-L. Chang y M. Grundmann, «MediaPipe Hands: On-device real-time hand tracking,» MediaPipe hands: On-device real-time hand tracking, 18 Junio 2020. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arxiv.org/pdf/2006.10214>. [Último acceso: 10 Octubre 2025].
- [10] B. Jo y S. Kim, «Comparative analysis of OpenPose, PoseNet, and MoveNet models for pose estimation in mobile devices,» *Traitement du signal*, vol. 39, n° 1, pp. 119-124, 2022.
- [11] A. Radford, J. W. Kim, C. Hallacy, A. Ramesh y G. Brockman, «OPEN IA,» Whisper, 21 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://openai.com/es-419/index/whisper/>. [Último acceso: 14 Octubre 2025].

- [12] AMAZON, «Amazon Polly,» Amazon, 26 Agosto 2025. [En línea]. Available: https://docs.aws.amazon.com/es_es/polly/latest/dg/what-is.html. [Último acceso: 12 Octubre 2025].
- [13] A. e. a. Dosovitskiy, «Una imagen vale más que 16 x 16 palabras: Transformadores para el reconocimiento de imágenes a escala,» ICLR, 2021.
- [14] N. e. a. Naz, «An Adam based CNN and LSTM approach for sign language recognition in real time for deaf people,» *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, pp. 499-509, 2023.
- [15] E. e. d. IONOS, «IONOS Digital Guide,» 3 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/convolutional-neural-network/>. [Último acceso: 10 Octubre 2025].
- [16] «Amazon,» AWS, 2024. [En línea]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/transformers-in-artificial-intelligence/>. [Último acceso: 3 Octubre 2025].
- [17] B. B. S. A. Asma Akhtar, «EXTREME PROGRAMMING VS SCRUM: A COMPARISON OF AGILE MODELS,» *Innovation and Management*, vol. 2, n° 2, 2022.
- [18] A. Akhtar, B. Bakhtawar y S. Akhtar, «Extreme Programming vs Scrum: A comparison of agile models,» *International Journal of Technology, Innovation and Management (IJTIM)*, vol. 2, n° 2, pp. 80-96, 2022.
- [19] B. Garg, M. Kasar, P. Paygude, A. Dhumane, S. Ambala, J. Rajpurohit, A. Sharma, V. Meshram, A. Cubas y A. Kashyap, «Sign language detection dataset: A resource for AI-based recognition systems,» *10.1016/j.dib.2025.111703*, Vols. %1 de %261, 111703, 2025.
- [20] A. Sadeghzadeh, S. Shah y B. Islam, «MLMSign: Multi-lingual multi-modal illumination-invariant sign language recognition,» *Science Direct*, vol. 22, 2024.

ANEXOS

ANEXO 1 (Carta consentimiento mayores de edad)

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIÓN

Nombre del Proyecto: Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión comunicacional.

Investigador Principal: Anthony Steven Machado Parra

Institución: Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH)

Introducción: Se le invita a participar en un estudio de investigación destinado a evaluar y validar una aplicación que utiliza Inteligencia Artificial para traducir lenguaje de señas a texto y voz.

Propósito del Estudio: El objetivo principal es medir la eficacia técnica de la aplicación. Los datos recolectados se utilizarán exclusivamente para calcular métricas de rendimiento del software, específicamente: Exactitud (Accuracy), Precisión (Precision), Sensibilidad (Recall) y Puntuación F1 (F1-Score). Esto nos permitirá determinar qué tan bien el sistema interpreta los gestos en comparación con el significado real.

Procedimiento: Si acepta participar, se le pedirá que realice una serie de gestos o señas frente a la cámara del dispositivo con la aplicación activa. El sistema intentará traducir estos gestos en tiempo real.

- **Duración estimada:** [Ejemplo: 10-15 minutos].
- **Uso de datos:** El sistema analizará la información necesaria y los movimientos de los gestos para su funcionamiento

Riesgos/Beneficios: No existen riesgos físicos conocidos asociados con este estudio. Su participación contribuirá al desarrollo de tecnologías de asistencia que buscan mejorar la comunicación para personas con discapacidad auditiva.

Confidencialidad: Toda la información recopilada será anónima y confidencial. Su nombre no se asociará con los datos en ninguna publicación o presentación de los resultados. Los resultados se presentarán de forma agregada y estadística.

Voluntariedad: Su participación es totalmente voluntaria. Usted puede negarse a participar o retirarse del estudio en cualquier momento sin ninguna penalización.

Declaración de Consentimiento: He leído la información anterior y he tenido la oportunidad de hacer preguntas. Entiendo que mi participación es para fines académicos y de investigación para al día de hoy _____.

Nombre del Participante: _____

Firma del Participante

Firma investigador responsable

ANEXO 2 (Carta de consentimiento, menores de edad)

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA PARTICIPACIÓN DE MENORES EN INVESTIGACIÓN

Dirigido a: Padres o Tutores Legales

Proyecto: Validación de Sistema de IA para Traducción de Lenguaje de Señas.

Institución: Universidad Nacional de Chimborazo

Descripción del Estudio: Su hijo/a ha sido invitado/a participar en un proyecto académico liderado por Anthony Steven Machado Parra de la Universidad Nacional de Chimborazo. El proyecto consiste en validar una aplicación que traduce lenguaje de señas a voz y texto para ayudar a la inclusión de personas con discapacidad auditiva.

¿Qué hará el menor? Bajo su supervisión o la del investigador, el menor realizará gestos básicos de lenguaje de señas frente a la aplicación. El objetivo es verificar si la Inteligencia Artificial reconoce correctamente los movimientos.

Uso de la Información (Métricas de Validación): Los resultados de la interacción se utilizarán únicamente para cálculos matemáticos (Exactitud, Precisión, Recall y F1-Score) que nos indicarán la calidad técnica del software.

- **Privacidad:** La identidad del menor será protegida. No se publicarán nombres ni rostros en el informe final, únicamente tablas estadísticas sobre el rendimiento de la IA.

Derechos: La participación es completamente gratuita y voluntaria. Usted tiene el derecho de retirar a su hijo/a del estudio en cualquier momento.

AUTORIZACIÓN:

Yo, _____ (Nombre del Padre/Madre/Tutor),
identificado con Cédula/DNI N° _____, declaro que he sido informado
sobre los objetivos de la investigación.

AUTORIZO a mi hijo/a (o representado/a) a la fecha actual _____,
_____ (Nombre del Menor), para
que participe en las pruebas de validación de la aplicación mencionada.

Firma del Padre/Madre/Tutor

Firma del Investigador Responsable

ANEXO 3 (Manual de Administrador)



Manual del Traductor SIGNUS
Versión 1.0

Introducción

La aplicación de traducción de lenguaje de señas ha sido totalmente desarrollada con el objetivo de traducir cualquier seña del lenguaje de señas ecuatoriana. Utilizando tecnologías tales como visión por computadora, inteligencia artificial, esta aplicación permita traducir una conversación básica en el que se rompe la barrera de la comunicación.

El sistema ha sido desarrollado para computadora como para móviles, facilitando el uso del mismo, de esta manera el usuario puede traducir no importa el dispositivo a utilizar

Usted como Traductor debe tener en cuenta varios aspectos como el de subir señas para que la inteligencia artificial pueda reconocer y traducir de manera correcta las señas, además de poder gestionar las solicitudes de los Traductores para un mejor manejo de la información.

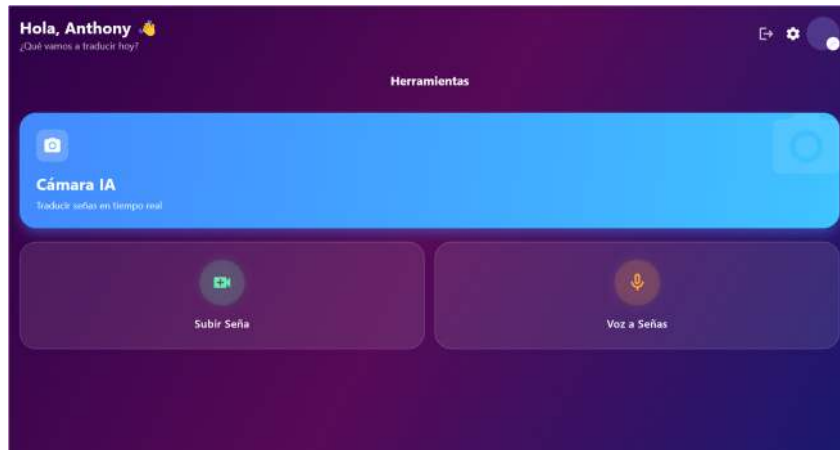
1. Solicitud de Traductor

Usted como administrador se le va a otorgar el correo oficial del sitio en el que le va a llegar a su buzón todas las solicitudes de los usuarios que deseen participar y agregar sus señas, en el correo se le otorgará toda la información y será el encargado de permitir o rechazar a los usuarios.



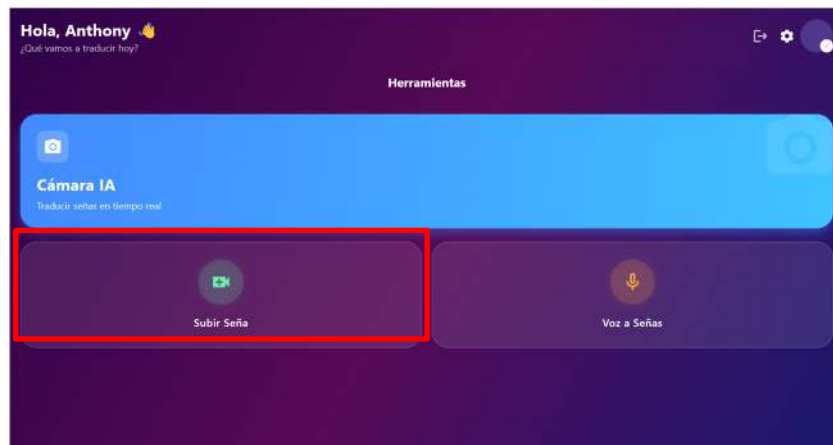
2. Home y Herramientas

Al ingresar usuario y contraseña usted vera un panel en donde está su información y tiene 3 opciones, Probar Cámara IA, Subir seña y voz a seña (beta)

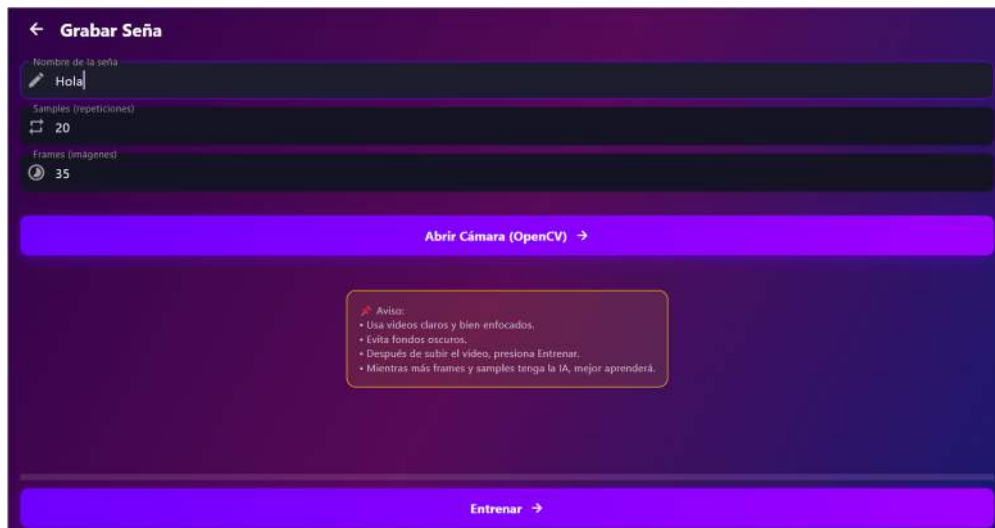


SUBIR SEÑA

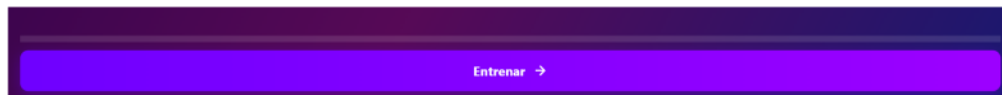
Bien en esta parte el usuario traductor podrá subir sus señas al darle clic se mostrará dos opciones “Grabar seña” y “Subir seña”



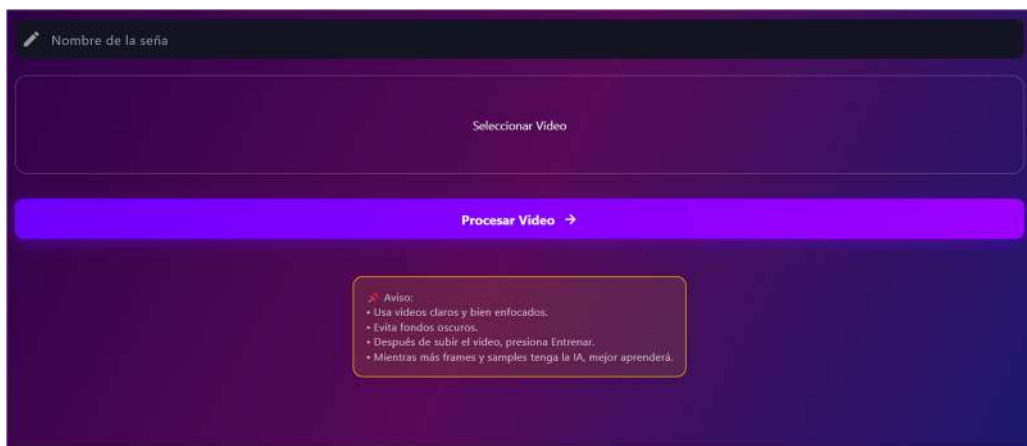
En grabar seña usted debe colocar el nombre de la seña o frase, luego colocar la cantidad de samples y frames son la cantidad de imágenes que se va a tomar lo recomendado es 80 samples x 40 frames para un buen aprendizaje



Después de grabar la seña da clic en el botón de entrenar para que la IA entrene tu palabra/frase



También tiene la opción de subir seña la que permite al usuario colocar el nombre de la seña y subir en formato de video para que la IA aprenda de manera correcta



3. Probar señas

La opción de cámara IA es muy simple al darle clic se abrirá su cámara para que simplemente acomodarse a cuerpo completo y empezar a realizar las señas.



ANEXO 4 (ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL USUARIO)

Instrumento de Evaluación - Proyecto SIGNUS

Título del proyecto: Aplicación multiplataforma con IA para traducción bidireccional de señas, texto y voz en tiempo real, facilitando inclusión comunicacional.

Objetivo del instrumento: Evaluar el nivel de satisfacción de los usuarios respecto al uso de la aplicación SIGNUS y su aporte a la inclusión comunicacional.

Escala de Valoración: 1 = Muy en desacuerdo | 2 = En desacuerdo | 3 = Neutral | 4 = De acuerdo | 5 = Muy de acuerdo

#	Ítem / Pregunta	1	2	3	4	5
1	La aplicación me pareció útil para comunicarme.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	La aplicación cumple con lo que promete.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Me sentí satisfecho/a usando la aplicación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Considero que esta aplicación puede ayudar a personas sordas y oyentes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Las señas fueron reconocidas correctamente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	El texto generado fue claro y comprensible.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	La voz generada fue entendible.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	La aplicación respondió rápidamente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	La aplicación facilitó la comunicación entre personas sordas y oyentes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Me sentí más cómodo/a comunicándome usando la aplicación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Considero que esta herramienta reduce barreras de comunicación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Usaría esta aplicación en mi vida diaria o en entornos educativos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANEXO 5 (ESCALA DE USABILIDAD)

Instrumento de Evaluación - Usabilidad y Experiencia de Usuario

Objetivo del instrumento: Evaluar la facilidad de uso, comprensión y experiencia del usuario.

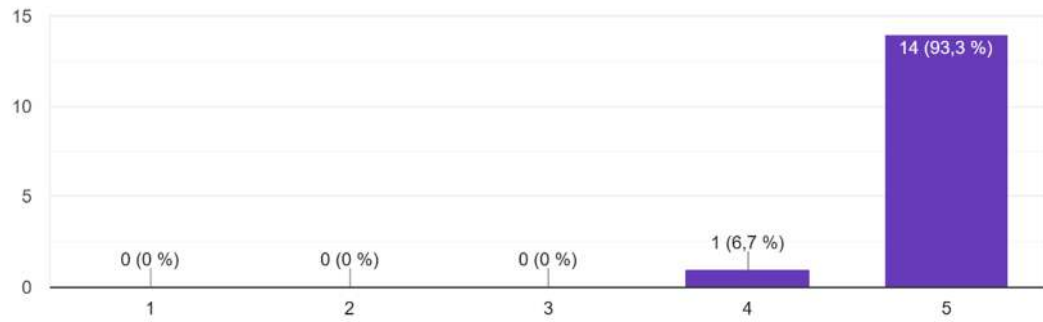
Escala de Valoración: 1 = Totalmente en desacuerdo | 2 = En desacuerdo | 3 = Neutral | 4 = De acuerdo | 5 = Totalmente de acuerdo

#	Ítem / Pregunta	1	2	3	4	5
1	Me resultó fácil aprender a usar la aplicación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	La aplicación es sencilla de manejar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	La interfaz es clara y comprensible.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Me sentí cómodo/a usando la aplicación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Las funciones están bien organizadas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Pude usar la aplicación sin ayuda.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	La aplicación responde de forma rápida.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	La navegación dentro de la aplicación es intuitiva.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Me sentí seguro/a al utilizar la aplicación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Considero que cualquier persona podría aprender a usarla rápidamente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANEXO 6 (Encuesta de Satisfacción del usuario)

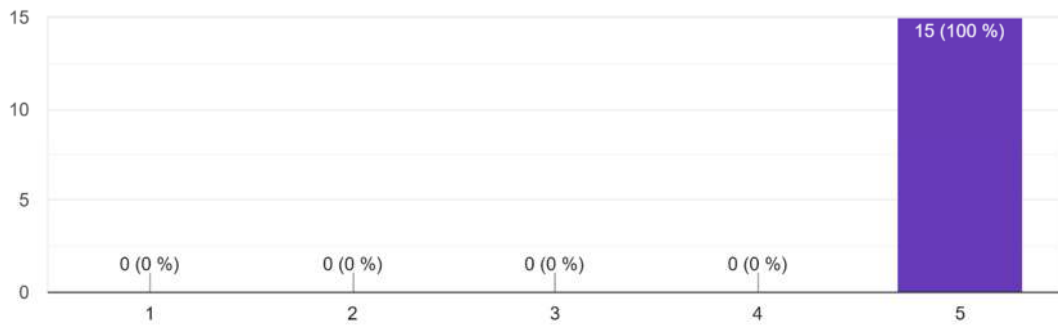
1. La aplicación me pareció útil para comunicarme.

15 respuestas



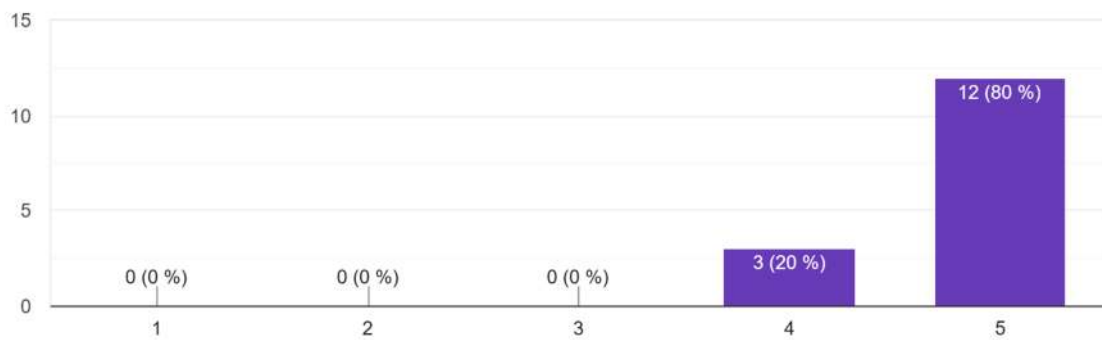
2. La aplicación cumple con lo que promete.

15 respuestas



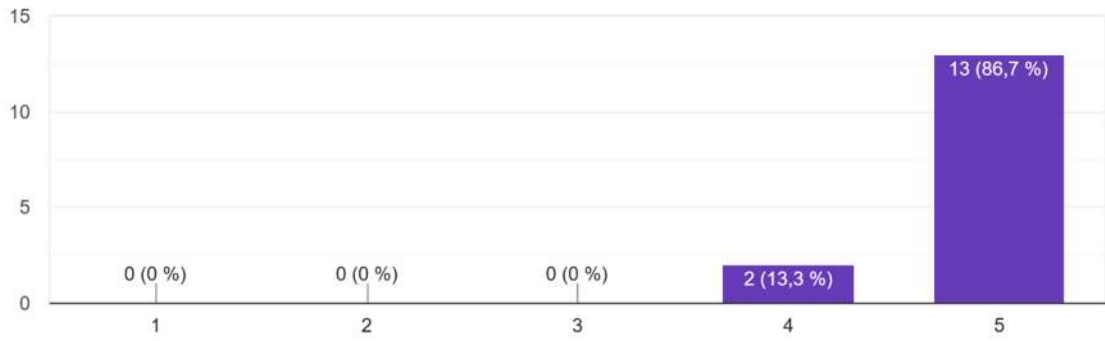
3. Me sentí satisfecho/a usando la aplicación.

15 respuestas



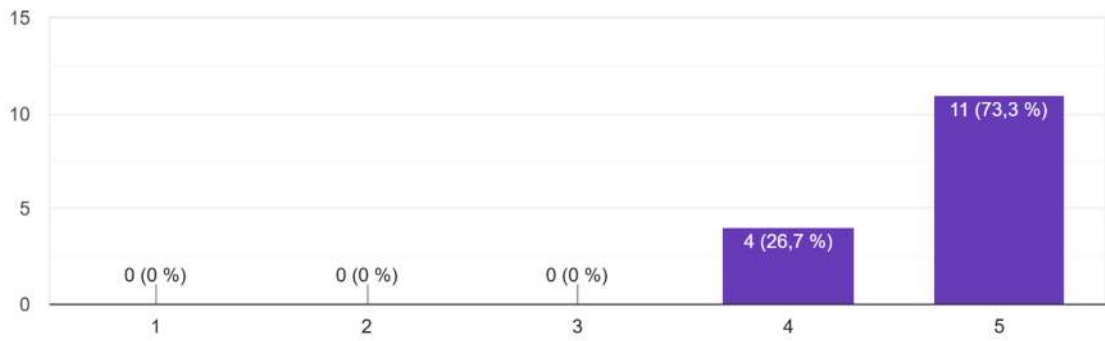
4. Considero que esta aplicación puede ayudar a personas sordas y oyentes

15 respuestas



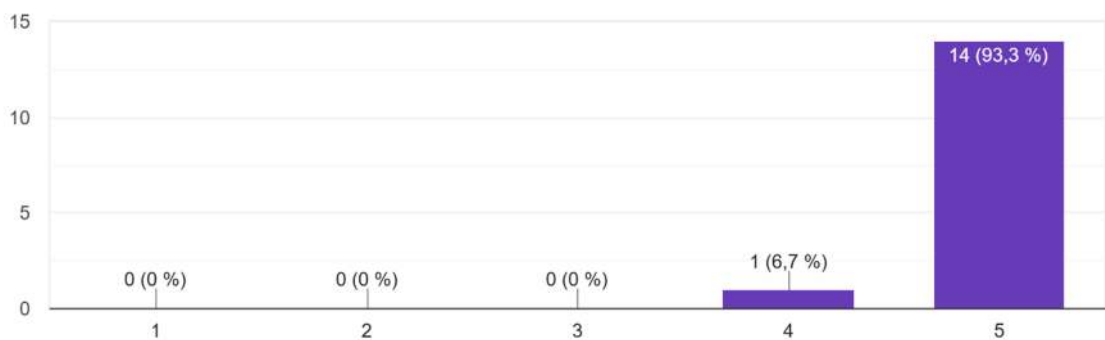
5. Las señas fueron reconocidas correctamente.

15 respuestas



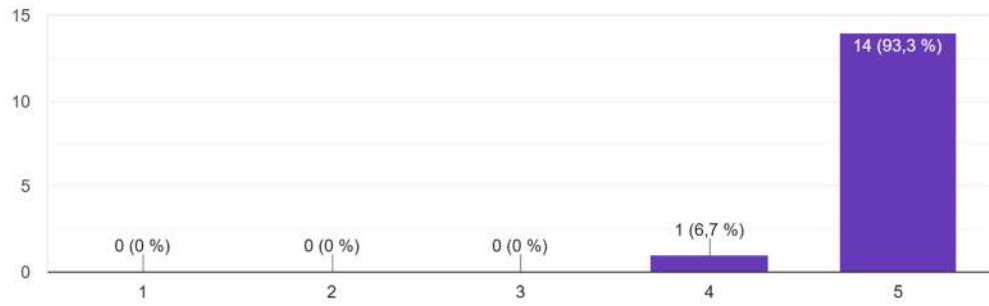
6. El texto generado fue claro y comprensible

15 respuestas



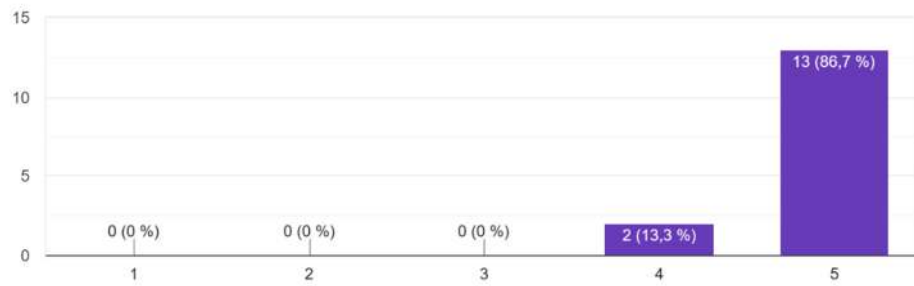
7. La voz generada fue entendible

15 respuestas



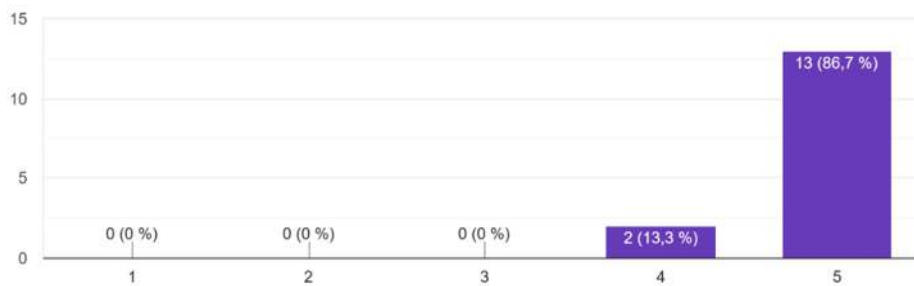
8. La aplicación respondió rápidamente.

15 respuestas



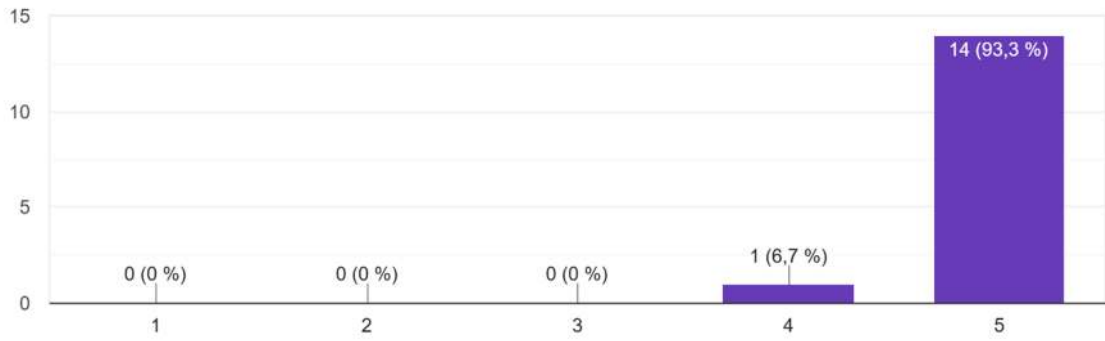
9. La aplicación facilitó la comunicación entre personas sordas y oyentes.

15 respuestas



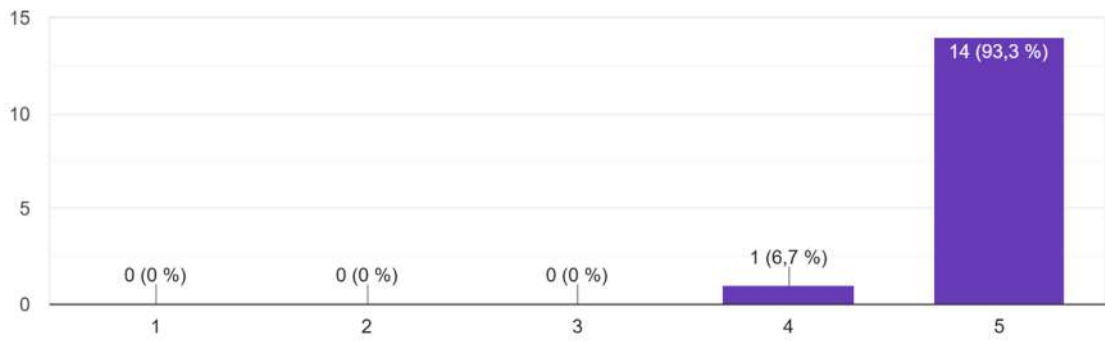
10. Me sentí más cómodo/a comunicándome usando la aplicación.

15 respuestas



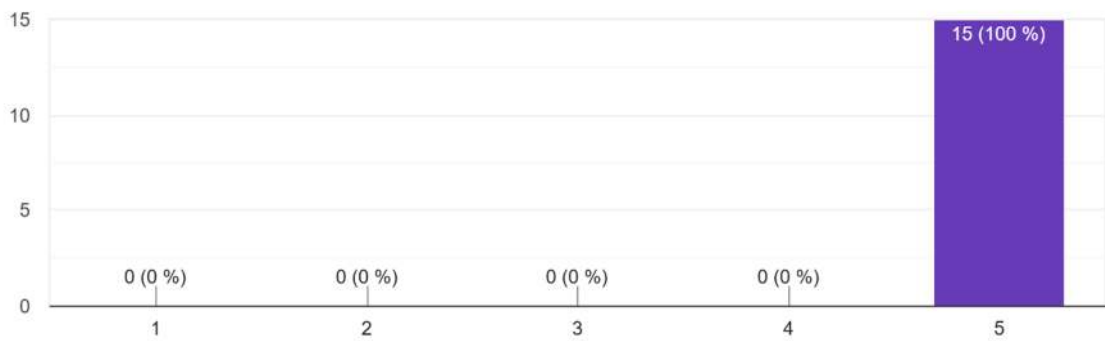
11. Considero que esta herramienta reduce barreras de comunicación.

15 respuestas



12. Usaría esta aplicación en mi vida diaria o en entornos educativos

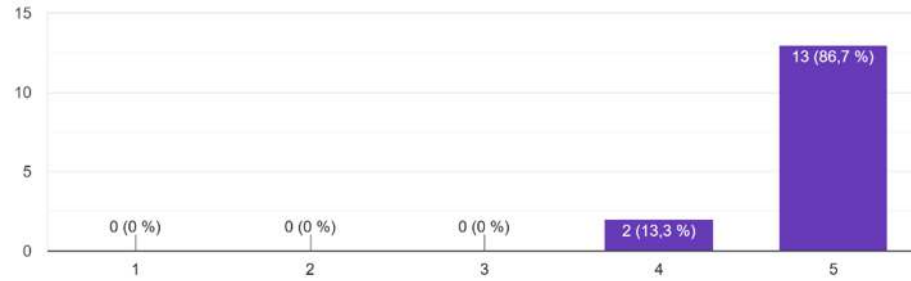
15 respuestas



ANEXO 7 (Encuesta de Escala de usabilidad)

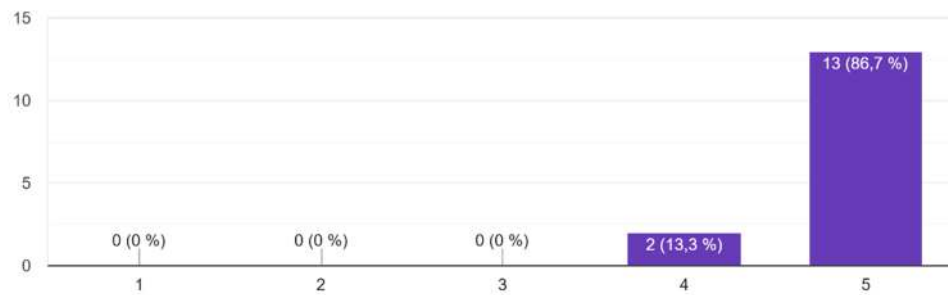
1. Me resultó fácil aprender a usar la aplicación

15 respuestas



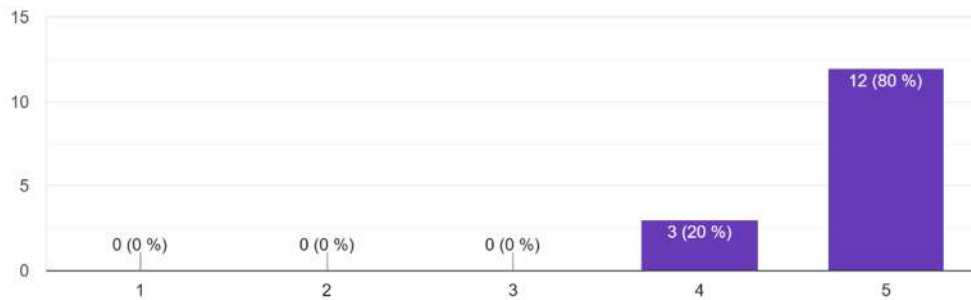
2. La aplicación es sencilla de manejar.

15 respuestas



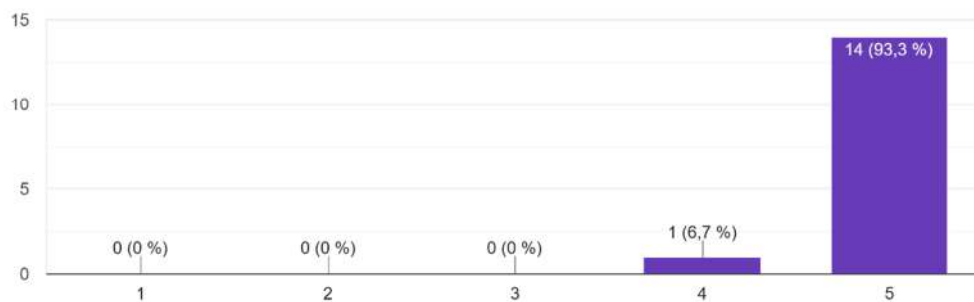
3. La interfaz es clara y comprensible

15 respuestas



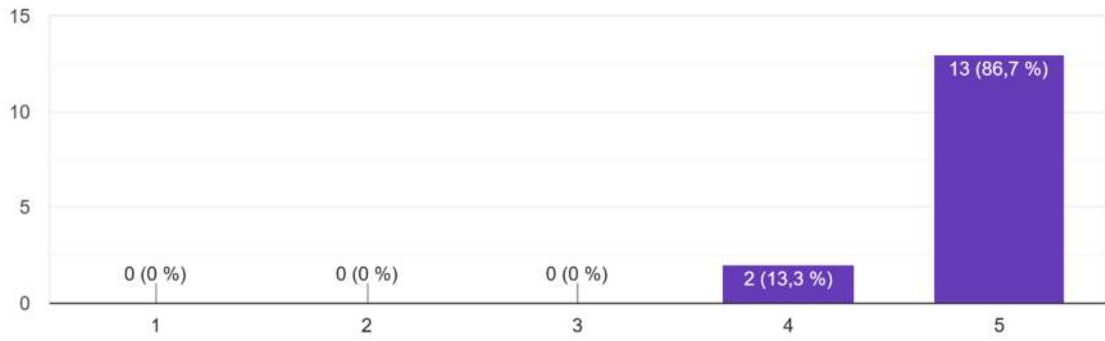
4. Me sentí cómodo/a usando la aplicación

15 respuestas



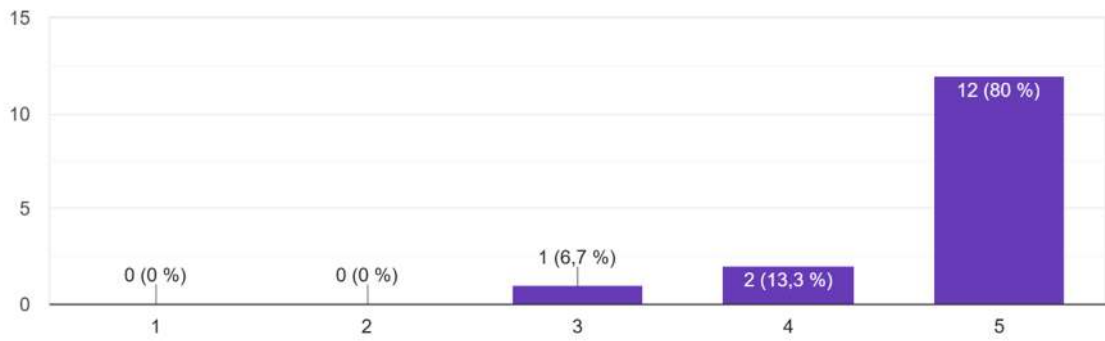
5. Las funciones están bien organizadas

15 respuestas



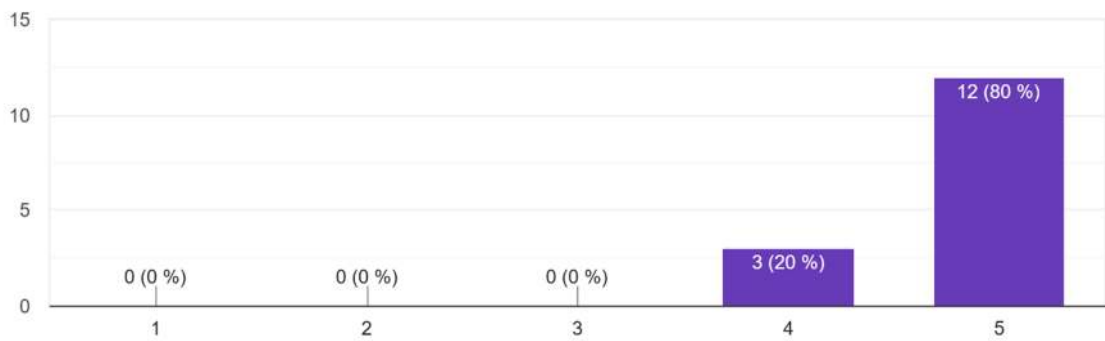
6. Pude usar la aplicación sin ayuda.

15 respuestas



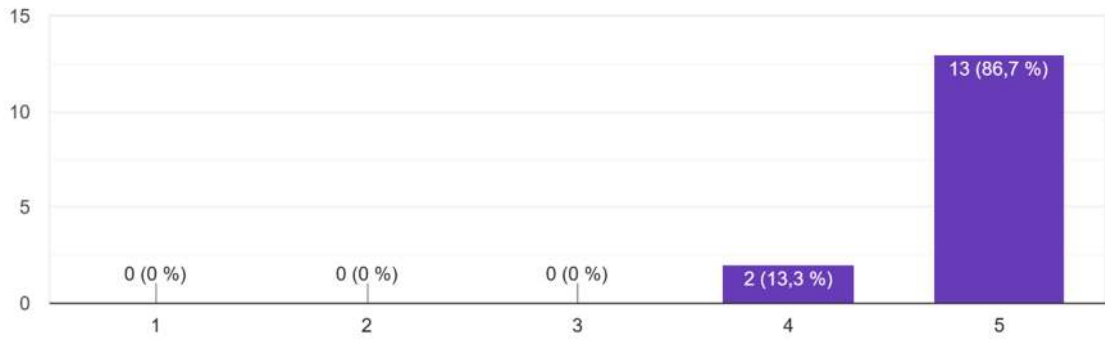
7. La aplicación responde de forma rápida.

15 respuestas



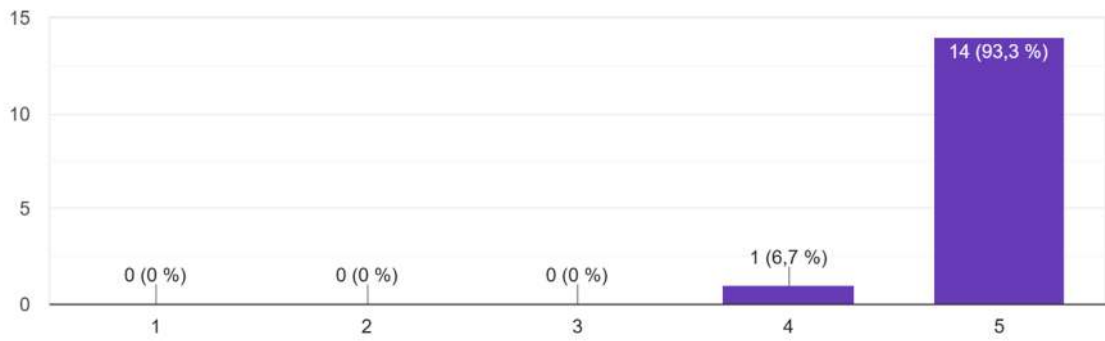
8. La navegación dentro de la aplicación es intuitiva

15 respuestas



9. Me sentí seguro/a al utilizar la aplicación.

15 respuestas



10. Considero que cualquier persona podría aprender a usarla rápidamente

15 respuestas

