



Garantía de Excelencia

UNIVERSIDAD PRIVADA BOLIVIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS COMPUTACIONALES

**Prototipo de Intérprete Virtual de Texto a Lengua de Señas
Boliviana como Herramienta de Comprensión Lectora**

Proyecto de Grado

Presentado por: Mayra Oropeza Condori

Tutor: Ing. Miguel Horacio Frade Flores

Cochabamba, diciembre 2024

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	11
1. ESTUDIO DIAGNÓSTICO	13
1.1. Antecedentes	13
1.1.1. La sordera en la actualidad.....	13
1.1.2. Tecnologías actuales.....	15
1.1.3. Áreas de la carrera puestas en práctica durante el proyecto	16
1.2. Descripción del problema.....	17
1.2.1. Definición del problema.....	17
1.2.2. Formulación del problema.....	17
1.2.3. Criterios de aceptación.....	17
1.3. Solución propuesta	18
1.4. Justificación de la solución propuesta.....	18
1.4.1. Correspondencia con la problemática y sus criterios.....	18
1.4.2. Contribución a la comunidad científica.....	18
1.5. Objetivos	20
1.5.1. Objetivo general.....	20
1.5.2. Objetivos específicos.....	20
1.6. Delimitación.....	20
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1. Metodologías para la ingeniería del Software.....	23
2.1.1. Arquitectura de un sistema	23
2.1.1.1. Diagrama de flujo de datos.....	23
2.1.1.2. Diagrama de despliegue	23
2.1.1.3. Obtención de requerimientos	24
2.2. Herramientas para el desarrollo del aplicativo	25
2.2.1. Formalización de los movimientos señantes.....	25
2.2.1.1. Clasificación de los gestos de la LSB.....	25
2.2.1.2. Modelización de las posiciones clave por vectores.....	25
2.2.1.3. Compiladores y autómatas	26
2.2.2. Software asistido por computadora.....	27
2.2.2.1. Unreal Engine	27
2.2.2.2. Unity.....	28
2.2.2.3. Blender como herramienta de modelado y animación	28
2.2.3. Rango de movimiento natural del ser humano	29
2.2.4. Desarrollo lógico de la aplicación web	29
2.2.4.1. Procesamiento de Lenguaje Natural.....	29
2.2.4.2. Aprendizaje Automático y Redes Neuronales	30
2.2.4.3. Modelos de Lenguaje a Gran Escala (LLM).....	30
2.2.4.4. APIs y Asistentes de OpenAI.....	30
2.2.5. Desarrollo de la aplicación web	31
2.2.5.1. Integración de gráficos 3D.....	31
2.3. El usuario como persona Sorda.....	32
2.3.1. La persona Sorda	32
2.3.1.1. Patología, historia y soluciones.....	33
2.3.2. La comunidad Sorda.....	35
2.3.3. La comunidad Sorda en Bolivia	35

2.3.4.	La Lengua de Señas	35
2.3.5.	La Lengua de Señas Boliviana (LSB)	35
2.3.6.	Metodología educativa de la persona Sorda	36
2.3.6.1.	Educación bilingüe y bicultural	37
2.3.6.2.	La LSB como primera lengua y el español escrito como lengua secundaria	38
3.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	39
3.1.	Elección de los componentes del software.....	39
3.1.1.	Lenguaje de programación.....	39
3.1.2.	Herramientas de animación	40
3.1.3.	Modelos LLM.....	40
3.1.4.	Asistentes LLM.....	41
3.1.5.	Almacenamiento de datos.....	41
3.1.6.	Aplicaciones web y aplicaciones móviles	42
3.2.	Elección del análisis de requerimientos.....	43
3.3.	Selección de metodologías de desarrollo	43
4.	METODOLOGÍA	45
4.1.	Diagrama de Gantt	46
5.	RECOLECCIÓN DE DATOS	48
5.1.	Entrevistas a expertos y posibles usuarios	48
5.2.	Análisis de las entrevistas	52
5.2.1.	Con respecto a la problemática	52
5.2.2.	Con respecto prototipo de la aplicación	53
5.2.3.	Con respecto a la estructura de la LSB	53
5.3.	Conclusiones de las entrevistas	54
6.	INGENIERÍA DEL PROYECTO	55
6.1.	Formalización del movimiento señante.....	55
6.1.1.	Clasificación de los gestos de la LSB	56
6.1.2.	Captura de posiciones clave con vectores	63
6.1.3.	Formalización de las animaciones a través de un lenguaje.....	67
6.1.3.1.	El lenguaje de animación	68
6.1.3.2.	Compilación del lenguaje y creación de la base de datos.....	72
6.2.	Proceso de creación del avatar 3D	74
6.2.1.	Ánalysis de requerimientos del usuario	74
6.2.2.	Definición de un avatar de características amigables e inclusivas	75
6.2.3.	Proceso de creación de un avatar articulado y escalable.....	76
6.3.	Creación del Add-on de Blender adaptado	78
6.3.1.	Desarrollo	78
6.3.2.	Funcionalidades	78
6.4.	Interpretación del texto	83
6.4.1.	Tecnologías utilizadas para la interpretación	83
6.4.2.	Detalles para tomar en cuenta.....	83
6.4.3.	Elección del modelo LLM.....	84
6.4.4.	Bucle de Verificación Iterativa	84
6.5.	Transición del glosario de la LSB a la animación señante del avatar 3D	87
6.5.1.	Captura vectorial de posiciones clave de las señas.....	87
6.6.	Creación de una aplicación web que incorpore el presente proyecto	91
6.6.1.	Definición de diseño de interfaz de acuerdo a los requerimientos	91

6.6.2.	Desarrollo de la interfaz web	92
6.6.3.	Funcionamiento del intérprete de texto y el avatar 3D.....	96
7.	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO	98
7.1.	Cambios en versiones.....	98
7.1.1.	Sobre la interfaz de usuario	98
7.1.2.	Sobre las señas animadas	98
7.1.3.	Sobre el avatar	98
7.1.4.	Sobre la formalización de las animaciones señantes.....	99
7.2.	Análisis de impacto del prototipo	101
8.	EVALUACIÓN FINANCIERA	102
8.1.	Tabla de presupuesto e inversiones.....	102
9.	CONCLUSIÓN	103
10.	RECOMENDACIONES	105
10.1.	Sobre el intérprete	105
10.2.	Formalización universal de las animaciones señantes	106
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	107
12.	ANEXOS	113

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 : Distribución de personas con algún tipo de dificultad permanente por departamento según el Censo 2012 - INE (3).....	14
Figura N° 2 : Repartición en porcentaje de las personas con sordera severa a profunda por departamento. Elaboración propia en base a datos del Censo 2012 - INE.	14
Figura N° 3 : Lenguajes de programación más populares en 2024 según IEEE Spectrum, basados en datos de búsquedas, repositorios, foros, publicaciones y ofertas laborales. (33)	39
Figura N° 4 : Metodología aplicada en las diferentes etapas del proyecto. Se indica en la parte derecha los objetivos específicos asociados a cada etapa, elaboración propia.	45
Figura N° 5 : Diagrama de Gantt, elaboración propia.	47
Figura N° 6 : Diagrama de Gantt, vista detallada, elaboración propia.	47
Figura N° 7 : Unidad Educativa de Audiología Lucy Argandoña, entrada principal, elaboración propia.	50
Figura N° 8 : Unidad Educativa de Audiología Lucy Argandoña, patio principal, elaboración propia.	51
Figura N° 9 : Unidad Educativa de Audiología Fe y Alegría, entrada principal, elaboración propia.	51
Figura N° 10 : Conjunto de caras seleccionadas para el avatar, elaboración propia.....	62
Figura N° 11 : Los 6 vectores de rotaciones para las articulaciones de los brazos y su equivalencia en términos aeronáuticos, elaboración propia.....	63
Figura N° 12 : Ejemplo de vectores de rotaciones en una pose – parte 1. Elaboración propia.	65
Figura N° 13 : Ejemplo de vectores de rotaciones en una pose – parte 2. Elaboración propia.	66
Figura N° 14 : Ejemplo de vectores de rotación en una configuración simétrica de ambos brazos, elaboración propia.	66
Figura N° 15 : Descripción de la estructura de datos que representa una pose, elaboración propia.	67
Figura N° 16 : Estructura de una animación compuesta por tres posiciones clave, elaboración propia.	67
Figura N° 17 : Sintaxis de una pose dentro del lenguaje de animación, elaboración propia.....	68
Figura N° 18 : Autómata asociado a la lectura de una pose, elaboración propia.....	69
Figura N° 19 : Autómata asociado a la lectura de un vector dentro de una pose, elaboración propia.	69
Figura N° 20 : Sintaxis de una animación dentro del lenguaje de animación, elaboración propia.	70
Figura N° 21 : Autómata asociado a la lectura de una animación, elaboración propia.....	70
Figura N° 22 : Autómata asociado a la lectura de "poses" dentro de una animación, elaboración propia.	70

Figura N° 23 : Sintaxis de la función REPEAT dentro del lenguaje de animación, elaboración propia.	71
Figura N° 24 : Autómata asociado a la lectura de la función REPEAT, elaboración propia.....	71
Figura N° 25 : Sintaxis de la función SPEED dentro del lenguaje de animación, elaboración propia.	72
Figura N° 26 : Autómata asociado a la lectura de la función SPEED, elaboración propia.....	72
Figura N° 27 : Ejemplo de combinación de las funciones del lenguaje de animación, elaboración propia.	72
Figura N° 28 : Estructura de la base de datos dentro del archivo JSON, elaboración propia.	73
Figura N° 29 : Ejemplo de una pose guardada en la base de datos de animaciones, elaboración propia.	73
Figura N° 30 : Boceto del intérprete virtual, elaboración propia.	75
Figura N° 31 : Boceto de las manos del intérprete virtual, elaboración propia.	75
Figura N° 32 : Encabezado de la página web de Mocap Market (42).....	76
Figura N° 33 : Modelo final del intérprete virtual y enfoque al diseño de sus manos, elaboración propia.	77
Figura N° 34 : Comparación entre el modelo inicial (izquierda) y el modelo modificado (derecha) del avatar, elaboración propia.	77
Figura N° 35 : Vista general de la interfaz de Blender con su apartado en la zona inferior que permite editar y ejecutar el script, elaboración propia.....	79
Figura N° 36 : Interfaz gráfica del add-on después de la ejecución del script, elaboración propia.	79
Figura N° 37 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Global”. Elaboración propia.	80
Figura N° 38 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Brazo Derecho”. Elaboración propia.....	81
Figura N° 39 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Manos”. Elaboración propia.	81
Figura N° 40 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Manos” con la pose “L_F” seleccionada para la mano izquierda. Elaboración propia.....	82
Figura N° 41 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Animación”. Elaboración propia.....	83
Figura N° 42 : Ilustración del ciclo de comunicación con el asistente de OpenAI tras dos intentos fallidos debido al uso de palabras no existentes dentro del diccionario LSB, elaboración propia.	85
Figura N° 43 : Ilustración del ciclo de comunicación con el asistente de OpenAI. Después del tercer intento, la frase es gramaticalmente correcta y contiene palabras existentes dentro del LSB, elaboración propia.....	86
Figura N° 44 : Descripción de la seña asociada a la palabra “mujer” y sus movimientos asociados (1).	87
Figura N° 45 : Modelado de la primera posición clave de la palabra “mujer”, elaboración propia.	88

Figura N° 46 : Primera posición clave de la palabra “mujer” según la sintaxis del lenguaje de animación, texto recuperado mediante el botón “Copy Global Pose” del add-on, elaboración propia.....	88
Figura N° 47 : Modelado de la segunda posición clave de la palabra “mujer”, elaboración propia.....	89
Figura N° 48 : Segunda posición clave de la palabra “mujer” según la sintaxis del lenguaje de animación, texto recuperado mediante el botón “Copy Global Pose” del add-on, elaboración propia.....	89
Figura N° 49 : Animación de la palabra “mujer” escrita en el lenguaje de animación, elaboración propia.....	90
Figura N° 50 : Animación de la palabra “mujer” guardada dentro de la base de datos, elaboración propia.....	90
Figura N° 51 : Vista del apartado de animación en Blender, la animación presentada es asociada a la palabra “mujer”. Elaboración propia.....	91
Figura N° 52 : Boceto de las regiones de la interfaz gráfica – vista “Computadora”, elaboración propia.....	92
Figura N° 53 : Boceto de las regiones de la interfaz gráfica – vista “Teléfono”, elaboración propia.....	93
Figura N° 54 : Interfaz gráfica de la aplicación web – vista “Computadora”, elaboración propia.....	93
Figura N° 55 : Interfaz gráfica de la aplicación web – vista “Teléfono”, elaboración propia.....	94
Figura N° 56 : Botones dinámicos – estado inactivo (no se cargó el texto), elaboración propia..	94
Figura N° 57 : Botones dinámicos – estado activo (se recibió el texto guía), elaboración propia.....	94
Figura N° 58 : Aviso temporal que informa el procesamiento del texto en el back-end, elaboración propia.....	95
Figura N° 59 : Aviso puntual que informa la correcta recepción de un texto guía, elaboración propia.....	95
Figura N° 60 : Vista de la consola web durante un proceso completo, elaboración propia.....	96
Figura N° 61 : Ampliación del repertorio facial para mejorar la representación de emociones en las animaciones, elaboración propia.....	99
Figura N° 62 : Tabla del primer prototipo del manejo de las posiciones de los brazos para la formalización del lenguaje de animación. Elaboración propia.....	100
Figura N° 63 : Concepción inicial de la base de datos, elaboración propia.	100

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1 : Rango de movimiento natural de las articulaciones de los hombros, codos y manos, elaboración propia en base al artículo “Range of motion measurements” (43)	29
Tabla N° 2: Posiciones clave de las manos seleccionadas para las animaciones (anexo D).....	60
Tabla N° 3 : Posiciones omitidas (Anexo D)	61
Tabla N° 4 : Escalas individuales para cada ángulo de rotación, elaboración propia.....	64
Tabla N° 5 : Tabla de presupuesto e inversiones, elaboración propia.	102

AGRADECIMIENTOS

En este importante momento de mi vida, quiero dedicar un espacio especial para expresar mi gratitud hacia las personas y seres queridos que han sido fundamentales en el desarrollo de este proyecto y en mi camino académico. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo incondicional, la guía y la motivación de quienes han estado a mi lado a lo largo de este desafiante y enriquecedor proceso.

A mi familia, a mis padres, José Oropeza y Reyna Condori, y a mis hermanos menores, Micaela y Matías, les debo el mayor de los agradecimientos. Gracias por ser mi pilar inamovible y por brindarme su amor y comprensión en cada etapa de este recorrido. Su apoyo constante, tanto emocional como material, me ha permitido superar obstáculos y seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Cada palabra de aliento, cada gesto de cariño y cada sacrificio que han hecho por mí son el motor que me ha impulsado a alcanzar esta meta.

A mi tutor, Miguel Horacio Fraile Flores, le extiendo mi más sincera gratitud por su invaluable ayuda, sus precisas correcciones y su inmensa paciencia. Sus conocimientos y su orientación han sido una brújula que me permitió mantener el rumbo y elevar el nivel de este trabajo. Su dedicación como mentor no solo ha sido crucial para el desarrollo del proyecto, sino que también ha dejado una huella significativa en mi crecimiento personal y profesional.

A mi jefe de carrera, Marcel Barrero, quien además de ser mi revisor, ha sido una figura clave en mi trayectoria académica. Su apoyo en la gestión y revisión de este proyecto ha sido invaluable, y su compromiso con la excelencia académica se refleja en la manera en que guía a sus estudiantes. Gracias por su tiempo, por sus observaciones críticas y por su constante disposición a ayudar, que han contribuido de manera significativa a este trabajo.

Del mismo modo, doy mi más profundo y sincero agradecimiento a la comunidad Sorda de Bolivia, por abrirme sus puertas y permitir que profundice mis investigaciones con su apoyo. Especialmente a la Dra. María Teresa Alcazar, psicóloga de la Unidad Educativa de Audiología Lucy Argandoña, de la ciudad de Cochabamba, quién me apoyó desde las primeras interacciones con la comunidad. También quisiera darle un agradecimiento especial a Dominga Mostacedo, la directora de la Unidad Educativa de Audiología Fe y Alegría, de la ciudad de Sucre, quien fue siempre muy amable y dedicada en su labor, gracias por la paciencia y voluntad de hacerme partícipe en todas sus actividades y ayudarme a reunir la información

necesaria para mi investigación. Sin su ayuda, el proyecto no habría alcanzado los resultados esperados.

A mi pareja, Sacha Cruz, quiero agradecerle profundamente por ser mi apoyo constante y mi fuente de motivación durante los días más difíciles. Su confianza en mis capacidades, sus palabras alentadoras y su amor incondicional me han recordado en cada momento que los sueños son alcanzables con perseverancia y esfuerzo. Gracias por estar ahí, no solo para celebrar los logros, sino también para sostenerme en los momentos más inciertos.

Además, no puedo no mencionar a Plutón, mi compañero gatuno, cuyo apoyo emocional ha sido tan importante como cualquier otro. Sus silenciosas compañías en largas noches de trabajo, su calma en momentos de estrés y su presencia reconfortante han sido pequeños pero vitales recordatorios de que el equilibrio y la tranquilidad son esenciales para enfrentar grandes retos.

A todos ustedes, gracias por haber sido parte de este proceso. Cada uno, desde su lugar, ha sido una pieza fundamental en la construcción de este proyecto. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, cuyo amor, dedicación y paciencia, han contribuido de manera incalculable a que esta etapa se cierre de la mejor manera. Este trabajo es un reflejo del esfuerzo compartido y del valor de contar con un entorno lleno de apoyo y motivación.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente Trabajo Final de Grado (TFG) aborda el desarrollo de una aplicación web que funcione como un intérprete virtual que facilite la comprensión del castellano boliviano escrito a la Lengua de Señas Boliviana (LSB), la formalización de las animaciones señantes por medio de un lenguaje especializado y un compilador para procesarlo. La idea principal responde a la necesidad de aquellas personas que pertenecen a la comunidad Sorda¹ boliviana, cuya lengua primaria es la LSB y continúan aprendiendo el español, de acceder a cualquier fuente de información sin la necesidad de asistencia humana continua. Asimismo, se propone la creación de un lenguaje con el propósito de formalizar la animación de los gestos señantes como aspecto clave dentro del desarrollo del proyecto, ya que podría facilitar que esta tecnología pueda adaptarse a otras lenguas de señas. Esta última propuesta parte de la idea de que formalizar la manera en la que se crean las animaciones de los gestos de la LSB no solo haría más fácil el desarrollo de herramientas orientadas a los Sordos bolivianos, sino que supone un impacto importante dentro de todas las comunidades Sordas con relación al uso de la tecnología como una herramienta de trabajo, aprendizaje y como medio de información.

El problema identificado se centra en las dificultades que enfrentan algunas personas Sordas al comprender el español escrito debido a la falta de herramientas de asistencia adecuadas a su lengua principal, la LSB, así como a su contexto social y educativo dentro la sociedad boliviana. Por lo tanto, el propósito de este TFG consiste en diseñar y prototipar un sistema que asista la comprensión lectora de este sector de la población Sorda, permitiéndoles acceder a un mayor volumen de información pública, comprenderla mejor y tener la posibilidad de participar de forma más activa en una sociedad cuyo entorno está principalmente diseñado para la comunidad oyente. Garantizar la igualdad de oportunidades y acceso a la información para la comunidad Sorda es imperativo, así como solventar la falta de soluciones adaptadas al entorno bilingüe y bicultural del Sordo boliviano.

Para llevar a cabo el proyecto propuesto, se contemplan actividades que abarcan desde la investigación de tecnologías existentes, la determinación de requisitos de usuario, la selección y adaptación de un asistente inteligente como intérprete, hasta la creación de un lenguaje y su compilador para formalizar los gestos de la LSB y el desarrollo de una aplicación web que

¹ Sorda: En el contexto de este proyecto, se utiliza la palabra Sorda en correspondencia a la definición dada por su comunidad, la cual refiere a las personas que forman parte de la Comunidad Sorda y que usan la lengua de signos como su primera lengua o de preferencia.

contenga el resultado de dicho proyecto como primer prototipo. Basándose en las actividades propuestas, las distintas metodologías aplicadas corresponden a revisiones de literatura, entrevistas, análisis categóricos, y evaluaciones de eficiencia y funcionalidad; todas alineadas con los objetivos a cumplir y las acciones necesarias para su validación.

La creación de un intérprete de texto a la LSB, disponible en todo momento, tiene el potencial de mejorar de forma significativa la calidad de vida de las personas Sordas en Bolivia, así como facilitar su participación dentro de la cultura oyente, proporcionándoles una herramienta innovadora y adaptada a sus necesidades.

1. ESTUDIO DIAGNÓSTICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. La sordera en la actualidad

En la actualidad, se estima que el 15% de la población mundial enfrenta algún tipo de discapacidad, de las cuales más del 5% corresponde a personas con una condición auditiva discapacitante, también llamada Hipoacusia. Se proyecta que para el año 2050, este porcentaje, que hoy representa a más de 430 millones de personas, se incrementará a más de 700 millones (1). Es decir que, dentro de 25 años, una de cada diez personas tendrá problemas de audición. Esta situación no ha pasado desapercibida por la comunidad tanto médica, como ingenieril, que día tras día idean soluciones más eficientes para mejorar la calidad de vida de aquellas personas que se encuentran en esta desafiante situación. Sin embargo, aún persisten necesidades por satisfacer.

En Bolivia, según el censo del año 2012, más de 50.000 habitantes pertenecen al grupo de personas que no pueden oír, incluso con el uso de audífonos, lo que indica una sordera severa a profunda. Este número corresponde al 0.5% de la población nacional (2). De acuerdo con los datos obtenidos del INE - Censo 2012, la gráfica de la figura N°2 representa la distribución de las personas con sordera severa a profunda por departamento.

BOLIVIA: PERSONAS CON ALGUNA DIFICULTAD PERMANENTE POR TIPO DE DIFICULTAD, SEGÚN DEPARTAMENTO, CENSO 2012									
DEPARTAMENTO	POBLACIÓN TOTAL	TOTAL	TIPO DE DIFICULTAD PERMANENTE						
			Ver, aún si usa anteojos o lentes	Oír, aún si usa audífonos	Hablar, comunicarse o conversar	Caminar o subir escalones	Recordar o concentrarse	Otra	
Total	10.027.254	388.119	160.208	50.562	32.321	66.014	33.082	45.932	
Chuquisaca	576.153	27.152	8.713	4.633	3.535	4.771	2.514	2.986	
La Paz	2.706.351	83.651	41.216	11.911	5.899	14.419	5.837	4.369	
Cochabamba	1.758.143	74.634	28.945	9.833	5.490	11.818	5.530	13.018	
Oruro	494.178	25.631	11.099	3.517	1.386	3.394	1.319	4.916	
Potosí	823.517	32.325	11.446	5.578	2.641	5.460	2.373	4.827	
Tarija	482.196	22.127	8.702	3.394	2.501	3.620	1.786	2.124	
Santa Cruz	2.655.084	117.194	47.599	11.140	10.264	21.732	13.418	13.041	
Beni	421.196	2.331	912	292	272	429	150	276	
Pando	110.436	3.074	1.576	264	333	371	155	375	

Figura N° 1 : Distribución de personas con algún tipo de dificultad permanente por departamento según el Censo 2012 - INE (3)

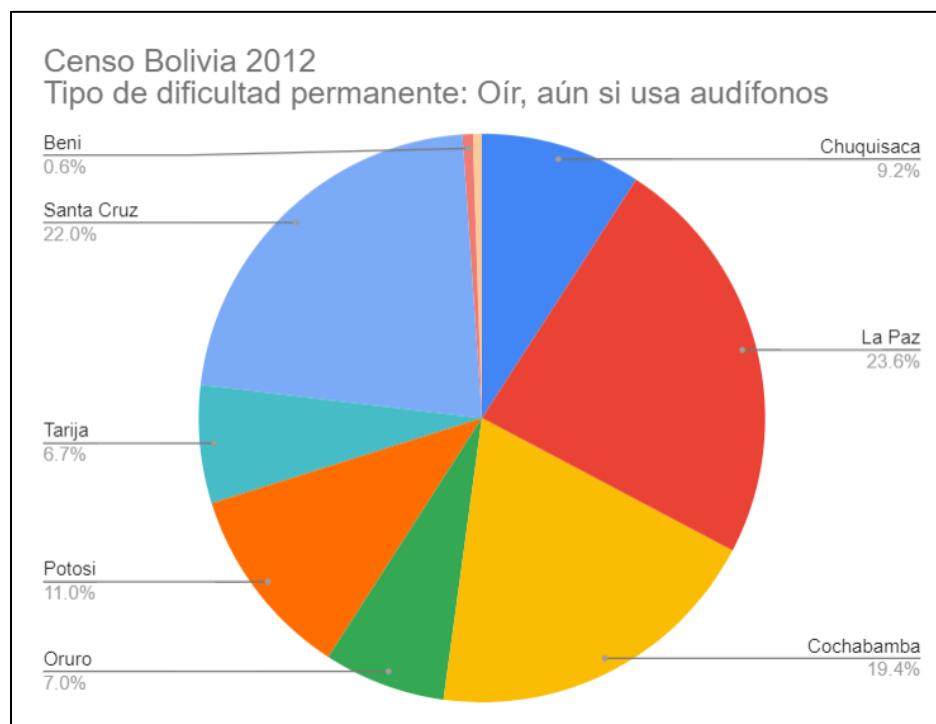


Figura N° 2 : Repartición en porcentaje de las personas con sordera severa a profunda por departamento. Elaboración propia en base a datos del Censo 2012 - INE.

Tomando en cuenta las necesidades de ese segmento de la población, que experimenta algún tipo de discapacidad auditiva, es necesario ofrecer una gama más amplia y avanzada de herramientas que faciliten su integración y desenvolvimiento cotidiano. Esta necesidad sobresale

cuando personas con hipoacusia se enfrentan a entornos y situaciones que no consideran adecuadamente su discapacidad, lo que es recurrente en una sociedad diseñada principalmente para personas oyentes.

1.1.2. Tecnologías actuales

Hoy en día existe una gran cantidad de herramientas diseñadas con el objetivo de mejorar la comunicación entre los Sordos y las personas oyentes, como intérpretes unidireccionales (12) y bidireccionales (13); además de aplicaciones móviles de enseñanza del lenguaje de señas para personas oyentes, como la aplicación *Sign Language ASL Pocket Sign*, la cual brinda información didáctica sobre la lengua de señas americana, perteneciente a Estados Unidos (14); y proyectos similares con el mismo enfoque (15).

Si bien existen una gran variedad de proyectos para la comunidad Sorda, gran parte de ellos fueron diseñados para las personas oyentes como público objetivo, como una herramienta de aprendizaje de la Lengua de Señas basada en la lengua oral de la región o una herramienta que traduce a esa misma lengua oral, por medio de la captura de movimiento de las señas del Sordo, los cuales suelen ser los tipos de proyecto predominantes en el área. Por esa razón no ha sido posible encontrar algún proyecto previo sobre una herramienta de asistencia para la mejora de la comprensión lectora del Sordo que aún no es ávido en la escritura de la lengua oral de su región. Al ser la lengua de señas la primera lengua del Sordo que perdió la audición a temprana edad, la comprensión de una lengua oral suele ser tomada como una segunda lengua, lo que la hace más complicada de aprender y que requiera la asistencia de un intérprete que conozca ambas lenguas para que guíe su aprendizaje.

En Bolivia, fue posible encontrar antecedentes de diversas herramientas desarrolladas para la comunidad Sorda en periódicos o canales de información, como es el caso de Leesa, una aplicación móvil que se dedicaba a la traducción del español a la LSB (16), aplicación que ya no se encuentra vigente a la fecha de hoy. De igual forma, también existen proyectos en plataformas como Github, como un traductor del alfabeto dactilológico de la LSB a texto (17).

Entre los proyectos encontrados, destaca por su parecido un proyecto de materia universitaria de tipo grupal, que trata de una herramienta que traduce el texto a la LSB (18). Pese a que dicho proyecto se enfoca en un objetivo muy similar al de este TFG, aún persisten diferencias significativas, como el proceso de animación que se lleva a cabo por medio de la captura de movimiento de una persona que domina la LSB, es decir, la LSB no es formalizada en un lenguaje

de animación. También difiere del entorno, herramientas en el que fue desarrollado, y en el diseño del intérprete. Estas características hacen que ambos proyectos difieran completamente uno del otro pese a tener el mismo objetivo. Fuera de lo mencionado no se ha podido encontrar más información acerca de él debido a su desarrollo reciente, el cual aún se encuentra en progreso, y debido a que se lo describe como un proyecto grupal desarrollado dentro de una materia universitaria por lo que no está formalmente documentado (18).

La comunidad Sorda boliviana enfrenta diversos desafíos tanto de discriminación como de inclusión en diversas áreas de la sociedad del país, como la búsqueda de lograr que la Lengua de Señas Boliviana sea reconocido como el idioma oficial de las personas Sordas en Bolivia (19), además de la falta de atención en nuevas tecnologías que les asistan (20). Asimismo, las herramientas desarrolladas para la LSB en su mayoría no se encuentran disponibles para uso público, ya sea porque fueron retiradas, siguen en desarrollo o fueron discontinuadas por las limitaciones de aquel entonces.

En conclusión, al día de hoy no existe una propuesta de formalización o estandarización a la creación de las animaciones señantes de la Lengua de Señas, por lo que no es viable una ampliación de las herramientas ya existentes en otros países para su uso en Bolivia, no sin que requiera una gran inversión de recursos y la necesidad de intérpretes expertos en la LSB. Lo mismo se aplica para cualquier otra Lengua de Señas, ya que cada una difiere de la otra de acuerdo al entorno socio-cultural de la región.

1.1.3. Áreas de la carrera puestas en práctica durante el proyecto

El desarrollo de este proyecto, en su gran mayoría, tiene su origen como un producto del conocimiento y valores aprendidos en la Universidad Privada Boliviana (UPB), específicamente en la carrera de Ingeniería de Sistemas Computacionales. Si bien se puede considerar que cada una de las materias cursadas toma presencia en el proyecto de forma indirecta, existen varias que tienen un rol protagónico en el mismo.

De acuerdo con la malla curricular actual en la carrera de Ingeniería de Sistemas Computacionales (44), estas materias son Infografía, Tópicos Selectos en Inteligencia Artificial, Robótica, Autómatas y Calculabilidad, Programación Funcional y Compilación, además de aquellas enfocadas en la realización del Trabajo Final de Grado.

1.2. Descripción del problema

1.2.1. Definición del problema

Actualmente, no existen herramientas disponibles al público que atiendan las necesidades específicas de las personas Sordas en Bolivia, ni alguna que facilite el aprendizaje de la lengua española como segunda lengua, tomando en cuenta que la LSB es su lengua materna. Esta necesidad es aún más crítica si se considera que existen grupos de personas no oyentes que no han tenido el privilegio de acceder a un entorno propicio para aprender adecuadamente esta segunda lengua y/o se encuentran en contextos socio-culturales que no les permiten recibir la asistencia necesaria.

1.2.2. Formulación del problema

El problema puede formularse de la siguiente manera: ¿Cómo mejorar la comprensión del castellano boliviano escrito en las personas Sordas de Bolivia mediante el desarrollo de una aplicación accesible y adaptado a su contexto, sin la necesidad de depender del uso de la captura de movimiento?

1.2.3. Criterios de aceptación

Para abordar esta problemática, deben considerarse los siguientes puntos clave:

1. Disponibilidad: La solución debe ser accesible para la persona Sorda en cualquier momento del día y del año, facilitando su uso constante y permitiéndole familiarizarse de manera natural con tal solución.
2. Accesibilidad: La solución debe poder ser utilizada por cualquier persona Sorda, independientemente de su estatus socio-cultural, considerando que quienes más necesitan esta solución suelen ser las personas en situaciones más vulnerables.
3. Calidad de enseñanza: La solución propuesta debe garantizar la producción de contenido correcto y preciso, ya que cualquier error en la enseñanza podría tener efectos negativos en la comprensión y el aprendizaje de la persona Sorda.
4. Escalabilidad: Aunque este punto no es central en la problemática de este proyecto, la solución debe ser escalable y adaptable, permitiendo un posible salto a otros sistemas de lenguas de señas, lo que incrementaría su valor y utilidad.

1.3. Solución propuesta

La solución consiste en una herramienta que interprete un texto escrito en español y lo traduzca a la Lengua de Señas Boliviana (LSB), animando dicha interpretación mediante un avatar². La herramienta contará con una interfaz gráfica simple y fácil de usar para todo tipo de usuarios. Además, estará disponible en línea, accesible tanto desde una computadora como desde un teléfono móvil o tableta.

1.4. Justificación de la solución propuesta

1.4.1. Correspondencia con la problemática y sus criterios

Con respecto al criterio de disponibilidad, el desarrollo de la herramienta como una aplicación web la haría accesible en cualquier momento, desplegándose en un dominio³ web para su fácil acceso, siempre y cuando el usuario tenga una conexión a internet.

En cuanto a la accesibilidad, la interfaz gráfica de la herramienta se puede concebir a razón de ser lo más intuitiva y clara posible, gracias a la libertad que permite el desarrollo del *front-end*⁴ con las herramientas elegidas.

En el caso de un intérprete virtual, la calidad de enseñanza depende de dos factores principales: la calidad de las animaciones de los gestos, y la calidad de la interpretación. Si se logra configurar adecuadamente el sistema de traducción y de animación, el resultado debería proveer una calidad educativa de ese mismo grado.

Con respecto a la escalabilidad, la aplicación puede ser perfectamente escalable si durante su desarrollo toda variable relacionada con la LSB sea un parámetro mutable y no un parámetro integrado estáticamente.

1.4.2. Contribución a la comunidad científica

El presente proyecto representa un avance significativo en el ámbito de la inclusión tecnológica, especialmente en la creación de herramientas accesibles para personas con discapacidades

² Avatar: Representación gráfica de la identidad virtual de un usuario en entornos digitales.

³ Dominio: Nombre único que identifica a un sitio web y que permite a los usuarios acceder a él fácilmente.

⁴ Front-End: Parte de una página web o aplicación que los usuarios ven e interactúan.

auditivas. La principal contribución radica en el diseño de un lenguaje formal para una posterior representación visual de una Lengua de Señas, que luego puede ser utilizada para crear un avatar que se comunique con las personas Sordas. Este desarrollo establece un estándar replicable que, además de optimizar la creación de nuevas señas, puede ser adaptado a otras lenguas de señas, ampliando así su impacto a nivel internacional.

La implementación de tecnologías avanzadas, como modelos de lenguaje a gran escala (LLM) pre-entrenados, permite interpretar y reformular texto en español hacia estructuras compatibles con, en este caso, la LSB. Esto se logra mediante la integración de herramientas de procesamiento del lenguaje natural y sistemas de visualización 3D, marcando un precedente en el desarrollo de soluciones tecnológicamente inclusivas. Asimismo, este proyecto refuerza la importancia de la colaboración interdisciplinaria, al combinar ingeniería de sistemas, lingüística y educación especial, con el propósito de demostrar la efectividad de un enfoque integrador que no solo aborda una problemática social urgente, sino que también establece las bases para investigaciones futuras en el área.

Además, el impacto del proyecto trasciende el ámbito técnico al destacar la posibilidad de diseñar soluciones complejas que aborden necesidades sociales. Esto demuestra que la ingeniería puede ser un instrumento poderoso para promover la igualdad de oportunidades y la inclusión social, facilitando el acceso a la información y la comunicación para comunidades marginadas.

El presente TFG combina innovación tecnológica, colaboración interdisciplinaria y un enfoque socialmente consciente, estableciendo un modelo que no solo avanza en el ámbito de la accesibilidad, sino que también busca inspirar a la comunidad científica a explorar nuevas formas de inclusión mediante el uso de tecnologías avanzadas.

Finalmente, se añade que realizar este tipo de avances es importante para generar una mayor visibilidad de las necesidades e inquietudes de la comunidad Sorda dentro de la comunidad ingenieril y científica, lo que podría aportar en una mayor cantidad de apoyo en el área. Asimismo, uno de los objetivos del presente TFG incluye resaltar que dentro del marco social también se pueden hacer trabajos técnicamente desafiantes, lo que para algunos estudiantes suele ser un criterio primordial para dirigirse a uno u otro proyecto.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar y prototipar un sistema que interprete un texto en español a la LSB, para facilitar la comprensión lectora de las personas con discapacidad auditiva.

1.5.2. Objetivos específicos

En el presente TFG se desea:

1. Investigar las características, los requerimientos y las condiciones iniciales de las tecnologías actuales similares al proyecto.
2. Determinar y evaluar los requerimientos del usuario.
3. Identificar y analizar la efectividad de las posibles herramientas y asistentes a utilizar en la realización del proyecto.
4. Identificar las herramientas y asistente ideal para la creación del intérprete y hacer los ajustes necesarios.
5. Diseñar y desarrollar un modelo 3D articulado, amigable y comprensible de un intérprete.
6. Formalizar las animaciones señantes sin la necesidad de utilizar captura de movimiento o realizar cada gesto de manera manual.
7. Crear las animaciones necesarias de los gestos de la LSB para el modelo 3D, de acuerdo con la formalización creada.
8. Diseñar y desarrollar un prototipo de aplicación web que implemente al modelo 3D y el asistente adaptado al proyecto.
9. Validar el prototipo con un análisis de efectividad, eficiencia e impacto.

1.6. Delimitación

Este proyecto se enmarca en un enfoque puramente social, ya que se busca proveer una herramienta sin fines de lucro a la comunidad. Se remarca que el objetivo principal no es comercializar el producto, sino proporcionar una solución accesible y funcional para la comunidad Sorda boliviana, y orientar el proyecto a razón de recibir alguna compensación económica restringiría tal accesibilidad. Del mismo modo, se considera que su uso sea orientado al ámbito educativo e informativo, de modo que su impacto tendría mayor alcance en áreas

concurridas para los Sordos, como sus unidades educativas, aeropuertos, centros médicos, entre otras.

La Lengua de Señas Boliviana (LSB) sigue en constante crecimiento y cambio, de forma que se considera una lengua relativamente nueva dentro de la sociedad boliviana. Esta situación tiene por consecuencia que aún exista información no documentada y de difícil acceso al público en general. Por lo tanto, dentro del proyecto existe información, como la estructura gramatical de la LSB, que tuvo que ser recopilada por medio de entrevistas a expertos en el área.

Asimismo, dichas entrevistas se llevaron a cabo únicamente a expertos residentes de las ciudades de Cochabamba y Sucre por temas de alcance, presupuesto y tiempo del proyectista. Específicamente con la ayuda de la Unidad Educativa de Audiología Lucy Argandoña de Cochabamba y la Unidad Educativa de Audiología Fe y Alegría de Sucre.

El desarrollo de la aplicación web estará limitado a la creación de un prototipo debido a las restricciones presupuestarias. Mantener un servidor en funcionamiento y utilizar un asistente entrenado mediante tecnología de OpenAI conlleva costos elevados, lo que imposibilita un desarrollo más avanzado dentro del marco del proyecto.

En cuanto a un impacto medioambiental, la propuesta no supone un riesgo considerable para el ecosistema, su consumo de energía se plantea como mínimo y el asistente se basará en un modelo pre-entrenado. La aplicación del prototipo final no tendrá un peso significativo, ya que se escogerán estructuras y formatos de archivo condensados y ligeros, propios de un programa que debe ser funcional en cualquier tipo de dispositivo inteligente.

Debido a las limitaciones de tiempo y recursos, no se podrá animar extensivamente todas las palabras de la LSB, y se limitarán las animaciones a una cantidad necesaria para ilustrar el funcionamiento del sistema. De la misma forma, el sistema se limitará a procesar e interpretar todo dato de tipo texto que sea ingresado correctamente dentro de la entrada de texto que ofrece. En cuanto a la interpretación del texto, el prototipo a implementar se verá limitado a que las frases dadas no utilicen demasiados sustantivos que no existan dentro del glosario LSB, además, se evitará el uso de oraciones demasiado largas, a causa del costo de los recursos que se requieren y del tiempo que implica el procesado de la interpretación.

A pesar de estas limitaciones, el prototipo busca demostrar la viabilidad de la solución propuesta y ofrecer una base sólida para futuros desarrollos que puedan mejorar tanto la cobertura del

glosario LSB como la capacidad del sistema para adaptarse a diferentes contextos y necesidades de los usuarios. Además, al igual que las entrevistas a expertos, la validación del prototipo se realizará en las mismas regiones y con la ayuda de las mismas instituciones previamente mencionadas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Metodologías para la ingeniería del Software

2.1.1. Arquitectura de un sistema

La arquitectura de un sistema es un modelo conceptual que define la estructura, las vistas y el comportamiento de un sistema, de modo que incluye su hardware, software, subsistemas y dispositivos de red. Este modelo permite que un sistema pueda mantenerse adecuadamente y estructurarlo de una forma escalable (46).

2.1.1.1. Diagrama de flujo de datos

Un diagrama de flujo es una representación gráfica que ilustra un proceso, sistema o algoritmo informático. Son utilizados en diversos campos para comunicar procesos complejos y expresarlos de una manera clara y fácil. Estos diagramas pueden emplear diferentes elementos o símbolos, como rectángulos, óvalos y diamantes, para indicar los tipos de pasos, los cuales están unidos por flechas que establecen el flujo y la secuencia (26).

Dada la gran variedad de símbolos posibles a utilizar, los diagramas de flujo son uno de los más comunes en el mundo. Aplicado en el proyecto, un diagrama de flujo resulta útil para demostrar, de forma simple, el proceso lógico del sistema a desarrollar.

2.1.1.2. Diagrama de despliegue

Un diagrama de despliegue es una representación visual de las relaciones físicas entre los nodos⁵ que componen un sistema, así como la distribución de los componentes sobre estos nodos. En él, cada nodo se refiere a un recurso de ejecución, como un ordenador, dispositivo o memoria, y los componentes representan instancias de software que se ejecutan en esos nodos (27).

Este tipo de diagrama se utiliza para modelar la disposición física de un sistema, destacando cómo las instancias de los componentes de software se asignan a instancias de nodos conectados por enlaces de comunicación. La vista de despliegue ayuda a analizar la distribución y asignación de recursos, modelando tanto las dependencias como la migración de

⁵ Nodos: Cada uno de los puntos de origen de las distintas ramificaciones en un esquema o representación gráfica en forma de árbol.

entidades entre nodos u otros contenedores. El diagrama de despliegue presenta dos formas; una de descriptor, que ilustra qué tipos de componentes pueden residir en ciertos tipos de nodos, y otra de instancia, que muestra cómo se ubican las instancias específicas de los componentes en nodos concretos dentro de una configuración de sistema (27).

Este tipo de diagrama es especialmente útil para modelar la distribución física de un sistema, como en los sistemas cliente-servidor. Los diagramas de despliegue permiten visualizar la topología del hardware sobre la que se ejecuta el software, facilitando la toma de decisiones sobre la conectividad de red y la asignación de recursos.

2.1.1.3. Obtención de requerimientos

La obtención de requerimientos constituye una etapa esencial en el desarrollo de software, ya que permite definir las necesidades y expectativas del usuario final y asegurar que el sistema cumpla con los objetivos para los que fue diseñado. Este proceso implica la recopilación, análisis y validación de información relevante mediante diversas técnicas como entrevistas, encuestas, talleres y la observación directa. En un contexto general, el enfoque se centra en entender el problema a resolver desde una perspectiva técnica y operativa, equilibrando las demandas del usuario con las capacidades tecnológicas disponibles.

Sin embargo, tomando en cuenta el caso de proyectos de causa social, como el presente TFG, la obtención de requerimientos adquiere un carácter más especializado y participativo. Es fundamental involucrar tanto a expertos en el área, como lingüistas, intérpretes y educadores especializados en la lengua de señas boliviana (LSB), como a los propios miembros de la comunidad Sorda boliviana. Las entrevistas en profundidad y las sesiones de consulta permiten no solo identificar las necesidades específicas de los usuarios, sino también incorporar sus perspectivas culturales y lingüísticas en el diseño del sistema. Este enfoque inclusivo garantiza que el software sea pertinente, accesible y efectivo en su propósito.

Asimismo, estos requerimientos pueden clasificarse en dos categorías principales, funcionales y no funcionales. Los requerimientos funcionales describen las funciones específicas que el sistema debe realizar; en este caso, podrían incluir la capacidad de traducir texto en español a una representación estructurada y comprensible en la LSB, basada en principios gramaticales y léxicos de esta lengua. Por otro lado, los requerimientos no funcionales se refieren a atributos de calidad del sistema, como la usabilidad, el tiempo de respuesta, la accesibilidad y la compatibilidad con diferentes dispositivos. De esta manera, se preserva una sensibilidad

particular hacia las necesidades y realidades de la comunidad objetivo, asegurando que el producto final tenga un impacto positivo en ellas.

2.2. Herramientas para el desarrollo del aplicativo

2.2.1. Formalización de los movimientos señantes

La lengua de señas es un sistema lingüístico estructurado que permite su formalización práctica para un uso globalizado de sus gestos. Esto se puede llevar a cabo mediante la formalización de los movimientos señantes, el cual propone una forma de estructuración sistemática que permite reutilizar sus componentes para crear las entidades necesarias.

En el presente TFG, se implementará un método de formalización para facilitar la creación de cada palabra en la LSB que se planea utilizar.

2.2.1.1. Clasificación de los gestos de la LSB

Los parámetros formacionales de la LSB se componen en seis partes principales (21):

- El Queirema, la forma de la mano
- El Toponema, el lugar en el que se encuentra la mano
- El Kinema, el tipo de movimiento que realiza la mano
- El Kineprosema, la dirección de dicho movimiento
- El Queirotropema, la orientación de la mano
- El Prosoponema, la expresión facial del señante

Para realizar una clasificación de los gestos de la LSB, se deben tomar en cuenta los tipos y repeticiones existentes en cada parámetro formacional. En el presente TFG, se tomaron en cuenta especialmente los Queiremas y Prosoponemas, el resto de los movimientos fueron representados con vectores.

2.2.1.2. Modelización de las posiciones clave por vectores

La concepción de un brazo robot articulado para el intérprete se basa en la cinemática básica y dinámica de un brazo robot industrial, el cual se compone del brazo, un controlador y una unidad conversora de potencia para el movimiento articular (35).

El brazo articulado o brazo industrial tiene su origen en 1938, como una herramienta para pintar en spray, pero no fue hasta 1957 que el invento alcanzó un nivel comercial y el inicio de una inminente popularidad dentro de las fábricas. Sin embargo, fue recién en 1978 que *Unimation* creó el brazo robot llamado *Programmable Universal Machine for Assembling* o PUMA, por sus iniciales, el cual era un brazo articulado controlado por un microcomputador. Las configuraciones principales de un brazo manipulador genérico suelen ser cuatro, la configuración cartesiana, la cilíndrica, la esférica y la rotatoria (35).

La cinemática aplicada al movimiento articular de un brazo robot estudia el movimiento, mas no la manera de controlar dicho movimiento, el cual le corresponde a la dinámica. Para ello, se definen los parámetros del eslabón, las cuales son las partes rígidas del robot que se unen entre sí mediante juntas o articulaciones; y las matrices homogéneas de cada eslabón y el respectivo espacio de trabajo, que dan la directriz del movimiento a ejecutar desde un punto A, hasta un punto B (35).

En la realización de las articulaciones en el brazo del intérprete, se contempla un funcionamiento similar en cuanto a los eslabones y sus respectivas articulaciones, utilizando vectores para indicar el movimiento que debe ejecutar desde una posición de partida a una de destino.

2.2.1.3. Compiladores y autómatas

Un compilador es una herramienta fundamental en la formalización de lenguajes de programación y lenguajes especializados. Su propósito principal es traducir las instrucciones escritas en un lenguaje de alto nivel a un lenguaje que pueda ser entendido y ejecutado por un sistema de cómputo, como el código máquina. En este contexto, los compiladores operan sobre gramáticas formales que definen las reglas del lenguaje de entrada, permitiendo verificar su corrección sintáctica y semántica. Estas gramáticas se modelan comúnmente mediante conceptos de la teoría de autómatas, como autómatas finitos y a pila, que describen el comportamiento del lenguaje y sus posibles cadenas de entrada (45).

Los autómatas tienen una relación directa con los compiladores, ya que se utilizan para analizar el flujo de datos y verificar estructuras como cadenas regulares o gramáticas independientes del contexto. Por ejemplo, un analizador léxico, una de las etapas del compilador, utiliza autómatas finitos para identificar patrones en el código fuente, como palabras clave, identificadores o delimitadores. Posteriormente, un analizador sintáctico emplea autómatas más avanzados, como los autómatas a pila, para validar la estructura jerárquica del código (45).

En el marco del proyecto de un intérprete para la LSB, el uso de un compilador resulta esencial para formalizar un lenguaje que instruya los movimientos de un avatar. Este lenguaje debe modelar las señas mediante un conjunto finito de movimientos y posiciones articulares, representando cada seña como una combinación específica de instrucciones. Al emplear una gramática formal, se puede garantizar que las instrucciones sigan una estructura bien definida, que luego será procesada por un autómata capaz de interpretar y ejecutar los movimientos en el avatar.

Además, al tomar en cuenta estos conceptos no solo se asegura la precisión de las animaciones, sino que también permite diseñar un sistema extensible y adaptable. Por ejemplo y resaltando el punto para el proyecto, se podrían incorporar nuevas premisas al lenguaje mediante la adición de reglas a la gramática, sin necesidad de rediseñar el sistema completo, como se muestra en la sección 6.1.3.

2.2.2. Software asistido por computadora

2.2.2.1. Unreal Engine

Unreal Engine es un motor de desarrollo de videojuegos creado por *Epic Games*⁶, el cual permite la creación de gráficos de alta fidelidad, gracias a sistemas avanzados como Lumen para iluminación global dinámica y Nanite para renderizado de geometrías detalladas. Además, ofrece un motor físico robusto que permite simular colisiones y dinámicas de objetos con gran realismo (41).

Una de sus características distintivas es el sistema *Blueprints*⁷, el cual facilita la programación visual, permitiendo a los desarrolladores crear lógica de juego sin necesidad de codificación avanzada. Además, posee una compatibilidad multiplataforma que abarca consolas, PC, dispositivos móviles y sistemas de realidad virtual y aumentada, lo que lo hace ideal para proyectos diversos. *Unreal Engine* también incluye herramientas integradas para diseño de niveles, animación y efectos visuales, todo en un entorno intuitivo que potencia la creatividad (41).

⁶ Epic Games: Empresa estadounidense que se dedica al entretenimiento interactivo y al desarrollo de videojuegos.

⁷ Sistema BluePrints: Herramienta visual que representa el proceso de interacción entre un usuario y un servicio o producto digital.

2.2.2.2. Unity

Unity es un motor de desarrollo de videojuegos creado por *Unity Technologies*, conocido por su flexibilidad y facilidad de uso, lo que lo convierte en una de las plataformas más populares para desarrolladores de videojuegos, aplicaciones interactivas y tecnologías enfocadas en experiencias inmersivas. De esta forma, al igual que con *Unreal*, su arquitectura modular permite crear contenido para una amplia variedad de plataformas, incluyendo consolas, PC, dispositivos móviles y sistemas de realidad virtual y aumentada (34).

Una de las principales ventajas de *Unity* es su enfoque intuitivo, que facilita el desarrollo tanto para principiantes como para expertos, ofreciendo herramientas integradas para diseño de niveles, creación de animaciones, gestión de audio y efectos visuales. Además, cuenta con un sistema de scripting⁸ robusto basado en C#, que permite implementar lógica de juego compleja (34).

2.2.2.3. Blender como herramienta de modelado y animación

Blender es una herramienta de creación 3D gratuita y de código abierto, reconocida por su capacidad para realizar tareas como modelado, animación, composición y efectos visuales. Su versatilidad la convierte en la herramienta adecuada tanto para profesionales como para aficionados que buscan una solución completa (28).

Blender funciona en múltiples plataformas, con bajos requisitos de sistema, y su interfaz basada en OpenGL garantiza una experiencia fluida y bastante personalizable. Además, cuenta con un gran apoyo de su comunidad, de modo que la herramienta sigue evolucionando constantemente, ofreciendo recursos educativos para que sea sencillo dominar las características de esta herramienta (28).

- Desarrollo de un add-on personalizado**

Un add-on es un programa grande o pequeño que permite extender las funcionalidades ya existentes de *Blender*. Actualmente, la comunidad de *Blender* posee múltiples add-ons ya existentes que satisfacen una gran cantidad de necesidades (29).

⁸ Scripting: Tipo de lenguaje de programación que permite desarrollar programas de manera ágil y versátil.

En el presente proyecto se prevé utilizar esta característica para facilitar los procesos de creación y animación necesarias para el intérprete de la LSB.

2.2.3. Rango de movimiento natural del ser humano

El rango de movimiento del ser humano, ROM por sus siglas en inglés, es la amplitud articular máxima que puede alcanzar un ser humano en condiciones normales. Para la creación de un intérprete hecho de un modelo 3D animado y una correcta animación y formalización de los gestos a utilizar, es necesario tomar en cuenta los parámetros de movimiento reales del ser humano para que las animaciones puedan ser lo más reales y naturales posibles (30).

Los parámetros articulares a utilizar en este caso consideran principalmente las áreas del brazo, como el hombro, codo y muñecas. Estos movimientos se definen por el cabeceo, la guñada y el alabeo, los cuales son términos usados para describir las rotaciones de un objeto en el espacio tridimensional. En el proyecto, estas variables definen los límites naturales de cada articulación del brazo que rota alrededor de sus ejes intrínsecos, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Articulación	Cabeceo (grados)	Guñada (grados)	Alabeo (grados)
Hombro	-90 a 90	-50 a 180	-45 a 45
Codo	0	0 a 140	0
Muñeca	-20 t o 20	-70 a 90	-30 a 30

Tabla N° 1 : Rango de movimiento natural de las articulaciones de los hombros, codos y manos, elaboración propia en base al artículo "Range of motion measurements" (43)

2.2.4. Desarrollo lógico de la aplicación web

2.2.4.1. Procesamiento de Lenguaje Natural

El Procesamiento del Lenguaje Natural, del inglés *Natural Language Processing* (NLP), es un subcampo de la Inteligencia Artificial que se centra en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano, tanto hablado como escrito. Tradicionalmente se abordaba mediante enfoques basados en reglas y algoritmos deterministas; sin embargo, con el tiempo ha evolucionado para incorporar métodos estadísticos y técnicas de aprendizaje automático o sus derivadas (37).

En este proyecto, el sistema idealizado deberá procesar texto en español y generará automáticamente una traducción a un "texto guía" que siga las reglas y el diccionario de la LSB. Este texto guía se utilizará para su interpretación visual mediante un avatar 3D previamente creado y animado.

2.2.4.2. Aprendizaje Automático y Redes Neuronales

El aprendizaje automático (*Machine Learning*) agrupa las técnicas que permiten a las computadoras aprender y mejorar a través de la experiencia para realizar cierta tarea sin ser programadas explícitamente, estos sistemas son alimentados por datos de entrenamiento.

Dentro de este campo, el aprendizaje profundo (*Deep Learning*) es un conjunto de algoritmos de aprendizaje que utiliza redes neuronales artificiales con múltiples capas para modelar y entender patrones complejos en los datos, inspirado en cómo funcionan los sistemas neuronales biológicos.

2.2.4.3. Modelos de Lenguaje a Gran Escala (LLM)

Los modelos de lenguaje son procesos que buscan encontrar patrones dentro del lenguaje natural a base de estadísticas.

Los modelos de lenguaje a gran escala, o *Large Language Models* (LLM), son una categoría de modelos de lenguaje que se entranan con una cantidad de datos variada y extensiva cuyo fundamento es típicamente una arquitectura de transformadores⁹ (*Transformers*), que a su vez están basados en modelos de aprendizaje profundo. Los LLM pueden ser herramientas muy eficientes para la generación de contenido si se logran configurar correctamente, en el caso de este proyecto, la generación de texto guía.

2.2.4.4. APIs y Asistentes de OpenAI

OpenAI es una organización de investigación en inteligencia artificial fundada en 2015, mundialmente reconocida por haber desarrollado modelos generativos revolucionarios como ChatGPT, para la generación de texto, o Dall-E, para la generación de imágenes.

⁹ Transformers: Tipo de arquitectura de red neuronal que transforma o cambia una secuencia de entrada en una secuencia de salida.

La empresa propone, además de sus herramientas dedicadas a todo público, herramientas para desarrolladores como los asistentes, que son modelos pre-entrenados basados en GPT que permiten elegir el modelo, adjuntar documentos, realizar ajuste fino¹⁰ (Fine-Tuning) y cierto nivel de configuraciones para adaptarlos a las necesidades del problema.

OpenAI también propone servicios de APIs que permiten interactuar, configurar o crear asistentes desde el mismo código. Actualmente, la API propone tres tipos de herramientas auxiliares: Interpretación de Código, Búsqueda de Archivos y Llamadas a Funciones (36).

La API está diseñada para que los desarrolladores creen asistentes capaces de realizar diversas tareas, de manera que puedan acceder a varias herramientas en paralelo, ya sean alojadas por OpenAI o desarrolladas de forma personalizada. Además, los asistentes pueden gestionar conversaciones persistentes mediante *Threads*, que almacenan el historial de mensajes y lo ajustan según la longitud máxima del contexto del modelo. Cabe destacar que, al día de hoy, la API está en fase beta y OpenAI continúa añadiendo más funcionalidades, invitando a los desarrolladores a compartir su retroalimentación en el foro de la comunidad (36).

En el contexto del proyecto, dado que la cantidad de datos correspondientes a la LSB no es suficiente para crear un modelo generativo desde cero, recurrir a servicios de modelos pre-entrenados es una opción muy práctica, siempre que se configure de manera óptima.

2.2.5. Desarrollo de la aplicación web

2.2.5.1. Integración de gráficos 3D

La biblioteca *Three.js* es una de las bibliotecas clásicas y robustas para la animación y visualización 3D con JavaScript¹¹. Además, se considerará utilizar el módulo *React Three Fiber*, que permite integrar las funcionalidades de *Three.js* en aplicaciones *React*¹² de manera más eficiente y moderna. Esto se logra al renderizar componentes 3D como parte del árbol de componentes de *React*.

¹⁰ Fine-Tuning: Proceso que consiste en ajustar un modelo de aprendizaje automático que ya ha sido entrenado para que se adapte a una tarea o dominio específico.

¹¹ JavaScript: Lenguaje de programación que se utiliza para crear páginas web interactivas y dinámicas.

¹² React: Biblioteca de JavaScript de código abierto que se utiliza para crear interfaces de usuario para aplicaciones web y móviles.

Al combinar *Three.js* con *React Three Fiber*, se aprovechan las ventajas de *React* en la gestión del estado y la reactividad, simplificando significativamente el desarrollo de la interfaz gráfica y la fluidez de su ejecución.

2.3. El usuario como persona Sorda

2.3.1. La persona Sorda

La persona Sorda tiene dos concepciones principales, la concepción clínica y la concepción socio-antropológica (21).

La concepción clínica parte por percibir al Sordo como una persona enferma a la que se le debe curar, específicamente “reparando” el oído dañado, sin contemplar las distintas necesidades que requiere dentro de la sociedad, cultura y entornos educativos, y enfocándose únicamente en el desarrollo de herramientas que permitan mejorar su audición (21). Por otra parte, la concepción socio antropológica plantea la despatologización de la persona Sorda, considerándola como miembro de una comunidad lingüística minoritaria y marginada, la cual es obstaculizada por pretender que se construya basado en el modelo psico cultural de la comunidad oyente (22).

Es importante señalar que cualquier investigación sobre la persona Sorda debe realizarse a partir del conocimiento de estas dos concepciones, siendo la socio-antropológica la más acertada para comprender sus necesidades dentro de la sociedad.

Entre las características principales de la persona Sorda, está el comunicarse a través de la Lengua de Señas Boliviana (LSB) como primera lengua, pertenecer a la comunidad Sorda, tener la visión como sentido principal y tener una identidad lingüística viso-gestual. De esta forma, la persona Sorda desarrolla mayor agudeza en sus sentidos funcionales, siendo más sensible a cambios de luces, cambios de temperatura, vibraciones y corrientes de aire (23).

La persona Sorda no es sordo-muda, esta es una concepción errónea y sesgada a la creencia de que un Sordo era incapaz de hablar. La persona Sorda es capaz de emitir sonidos, incluso sin ser consciente de ello. Dependerá de la etapa de la vida en la que adquirió su condición de si es capaz de hablar o no, por lo tanto, una persona Sorda puede ser de tipo prelocutiva, su sordera se produjo antes de adquirir lenguaje oral; o post-locutiva, su sordera surgió después de haber adquirido una lengua oral, es decir, desde los 3 años en adelante. Asimismo, también

existen distintos grados de sordera y distintas zonas posibles de la lesión causante, resaltando que, si bien no todos los Sordos poseen el mismo grado de sordera, coexisten dentro de la misma comunidad y bajo las mismas normas educativas y sociales (23).

2.3.1.1. Patología, historia y soluciones

La hipoacusia es uno de los problemas de salud crónicos más comunes de la actualidad y puede ser causada por predisposición genética, enfermedades, infecciones, traumatismos, exposición prolongada al ruido o medicamentos. Esta condición puede surgir en cualquier etapa de la vida, siendo más frecuente en la vejez (4).

En cuanto a su clasificación cuantitativa, la hipoacusia puede ser diagnosticada como leve, que posee un umbral de audición menor a 30dB; moderada, entre 30 y 50 dB; severa, entre 50 y 80 dB; profunda, entre 80 y 95 dB; y pérdida total, también llamada cofosis o anacusia (4). Cabe destacar que, en algunos casos hereditarios esta discapacidad puede estar acompañada de una leve disminución de la capacidad intelectual, como ocurre en el síndrome de Waardenburg (5).

Para personas con pérdida auditiva leve, ya sean niños o adultos, se recomienda el uso de audífonos adaptados. En casos de pérdida auditiva severa, se recomiendan los implantes cocleares, los cuales requieren intervención quirúrgica (6). No obstante, es relevante destacar que estos dispositivos están diseñados para personas con pérdida auditiva parcial, no total.

Los primeros estudios sobre la hipoacusia y la audición como campo de investigación datan de los años 495-435 A.C, con contribuciones significativas de figuras destacadas como Hipócrates, Aristóteles y Galeno (7). En cuanto al desarrollo de dispositivos para asistir a las personas con dificultades auditivas, no fue hasta el siglo XVII, que Jean Leurechon, un sacerdote y matemático francés, ideó unos artefactos rudimentarios similares a trompetas. Estos dispositivos metálicos se insertaban en el oído con el fin de amplificar el sonido circundante, no obstante, su utilidad estaba limitada a casos de sordera leve (8).

El lenguaje de señas, el cual hoy en día es utilizado ampliamente como un puente de enseñanza y educación para las personas Sordas, fue creado inicialmente como respuesta independiente de la población Sorda ante la necesidad de comunicación entre sus pares. Debido a su origen, en un principio carecía de estructura gramatical o de arquitectura parecida al lenguaje oral, ya que se basaba en expresar ideas y principios conceptuales, por ello en 1960 aún existía el estigma

de creer que el lenguaje de señas era un lenguaje primitivo y mímico, haciéndolo incapaz de ser aceptado socialmente (9).

Pese al estigma infundado, la lengua de señas comenzó su crecimiento y desarrollo a nivel global, con la inclusión de los conjuntos gramaticales adecuados, en 1760 gracias a Charles-Michel de l'Epée o también conocido como el padre de la educación para Sordos, quien se encargó de difundir y perfeccionar el lenguaje de señas parisino, además de compartir sus métodos de enseñanza. Eventualmente, los que fueron sus estudiantes se volvieron docentes de las siguientes generaciones de niños Sordos, algunos de ellos difundiendo estos métodos y prácticas con otros países. Fue así como en 1816, Laurent Clerc llegó a Estados Unidos y fundó la primera escuela para sordos un año después (9). De este modo, la Lengua de Señas, al ser una lengua que expresa ideas y conceptos, se ha diversificado y adaptado de acuerdo con la comunidad Sorda que la acogió, derivando diversas variantes de esta por región, independientes del idioma que se habla en la zona. Debido a ello, existe una lengua de señas prácticamente en cada país, siendo la LSB, Lengua de Señas Boliviana, la lengua adoptada en nuestro país.

Contando con estos importantes avances en cuanto a la inclusión a la sociedad de las personas no oyentes, no fue hasta la década de 1950 que se produjo un hito importante en el área ingenieril sobre esta área. Con la creación de los primeros audífonos de transistores portátiles, que, al igual que el rudimentario diseño de Leurechon, amplificaban el sonido del alrededor. Sin embargo, la capacidad de filtrar los ruidos ambientales no se logró sino hasta la década de 1980, con la introducción de los audífonos digitales (8).

Hoy en día, la gama de audífonos se ha diversificado notablemente, presentando variantes adaptadas a las necesidades específicas de distintos tipos e intensidades de discapacidad auditiva. Sin embargo, las personas completamente Sordas no obtienen un beneficio significativo de los dispositivos que amplifican el sonido a su alrededor, por lo que deben optar por herramientas visuales y de vibración para facilitar su integración en la sociedad y llevar a cabo sus actividades cotidianas con la mayor normalidad posible. Estas herramientas se enfocan en brindar apoyo mediante métodos de comunicación aumentativa o alternativa y sistemas de alerta que reemplacen situaciones que ameriten una alerta auditiva, como una alarma contra incendios, llamadas telefónicas o timbres de hogar (11). No obstante, su educación y desenvolvimiento cotidiano depende estrechamente, al menos en un inicio, del lenguaje de señas, ya que este se introduce como primera lengua del Sordo y base para enseñarle a leer.

2.3.2. La comunidad Sorda

Una comunidad Sorda comprende un espacio en el que intervienen diversos actores que se sustenta de una forma de comunicación viso-gestual que posee particularidades culturales, históricas, conductuales y sociales propias de su comunidad. Dentro de ellas se encuentran las personas Sordas, familias propias o sustitutas, su comunidad educativa, los intérpretes de su Lengua de Señas y su entorno social, como amigos y conocidos (21).

Estas comunidades no pertenecen a una zona específica, sino que comprenden a toda aquella persona que participe dentro de la comunidad y comprenda la lengua seña por la cual se comunican. De esta forma, existen diversas comunidades Sordas alrededor del mundo y cada una de ellas comprende su propia lengua de señas.

2.3.3. La comunidad Sorda en Bolivia

La comunidad Sorda boliviana inició en la primera mitad del siglo XIX, junto con el inicio de la educación especial en el país, donde se dio prioridad a la ceguera y a la sordera (21).

Actualmente, esta comunidad cuenta con más de 20 centros activos de educación en los distintos departamentos del país, en los cuales enseñan y enriquecen su lengua, así como los estudios básicos, secundarios y técnicos adaptados a sus necesidades (21).

2.3.4. La Lengua de Señas

Una lengua de señas es un sistema lingüístico que posee un medio más visual que auditivo, tiene su propio vocabulario, expresiones idiomáticas, gramática y sintaxis. Asimismo, sus parámetros formacionales se definen por la forma de la mano, de acuerdo a la clasificación ya mencionada en la sección 2.2.1.1 de Clasificación de los gestos de la LSB.

No existe una lengua de señas universal, tal como no existe una lengua oral universal. Las lenguas de señas difieren por razones culturales, sociales, geográficas, políticas, ideológicas, religiosas, económicas, entre otras; al igual que las lenguas orales. Hoy en día, cada país tiene su propia lengua de señas (21).

2.3.5. La Lengua de Señas Boliviana (LSB)

La LSB es la Lengua de Señas utilizada en Bolivia, dentro de la comunidad Sorda boliviana, tiene su origen en 1974 junto con la llegada de la familia Powlison para evangelizar y colaborar con la

educación de los Sordos. Inicialmente, esta familia al venir de Estados Unidos enseñaba la religión cristiana utilizando la lengua de señas estadounidense (*American Sign Language*, ASL) y es la razón por la que las señas en Bolivia eran tan similares a la ASL hace algunos años atrás. Sin embargo, esto no quiere decir que antes de su llegada no existía una lengua de señas en el país, ya que previamente las familias de Sordos tenían formas y códigos propios que hoy permanecen en el interior de estos grupos (24).

No fue hasta 1996 que se da el primer paso de construcción de la lengua de señas boliviana, acuñando la sigla LSB, seguido de empezar a formar profesores Sordos para la enseñanza de la lengua de señas que cada vez adoptaba una identidad más “boliviana”. Por ejemplo, la palabra “agua” se señaba iniciando con la letra W de “Water” y actualmente se utiliza con la A de agua (4). Si bien no fue una transición cómoda para aquellos Sordos que ya utilizaban la ASL, fue necesario para formalizar la LSB como elemento principal y parte de la identidad de la comunidad Sorda boliviana. Finalmente, así fue reconocido por el Estado Plurinacional de Bolivia mediante el Decreto Supremo N° 0328 del 14 de octubre del 2019 (21).

2.3.6. Metodología educativa de la persona Sorda

En Bolivia, inicialmente el enfoque oralista en la educación de los sordos fue aplicado como norma durante muchos años, con el objetivo de que el estudiante Sordo aprenda a hablar. Si bien este enfoque está basado en las recomendaciones médicas sobre la condición del Sordo, el evidente fracaso escolar alrededor del mundo hizo que se busque un método más efectivo. Cabe recalcar que el niño o niña Sorda si es capaz de aprender por el método oralista, pero requiere de muchos recursos económicos y humanos para hacerlo de la manera óptima (23).

El enfoque de educación bilingüe-bicultural, el cual es aplicado actualmente en Bolivia y muchos otros países del mundo, respeta tanto la identidad lingüística y cultural, como el derecho de aprender la LSB. A través de este enfoque, se enseña el español escrito como segunda lengua (23).

Fuera del enfoque de educación bilingüe-bicultural, los contenidos y aprendizajes no varían en comparación de las Unidades Educativas Regulares, solo se readaptan a una metodología más visual y con los estímulos necesarios para los estudiantes Sordos. Para ello, se debe contar con un equipo de educadores que dominen la LSB y la lengua oral de la región, una educación en la LSB asegura que el estudiante Sordo alcance las mismas metas y niveles que cualquier otro estudiante oyente (23).

2.3.6.1. Educación bilingüe y bicultural

Históricamente, los sistemas educativos han tendido a privilegiar una cultura dominante sobre otras, limitando la expresión y desarrollo de las culturas minoritarias. Este enfoque desconoce la diversidad étnica y cultural inherente a las sociedades, y promueve la homogeneización a través de criterios educativos que no contemplan la pluralidad lingüística ni cultural. Pedagógicamente, se ha enfatizado un aprendizaje centrado en la memorización, donde el alumno es un receptor pasivo, y se prioriza la lengua dominante, dejando de lado las lenguas de las minorías (23).

En contraste, la propuesta de educación bilingüe y bicultural destaca por un enfoque que desafía dicha tendencia, ya que reconoce la diversidad cultural y lingüística del segmento de población en la que se aplica. En este modelo, la toma de decisiones compartida y la interacción continua facilitan el desarrollo de la identidad propia de los estudiantes, permitiendo la convivencia entre diferentes culturas. Además, fomenta la creación de proyectos educativos que respondan a las necesidades reales de los actores involucrados (21).

Este tipo de enfoque comprensivo transforma las relaciones de poder y control en el ámbito educativo, favoreciendo la construcción colectiva del conocimiento, de modo que los procesos de aprendizaje se vuelven más coherentes y relevantes para las realidades sociales de los estudiantes.

En el contexto de un sistema educativo para las personas Sordas en Bolivia, el enfoque tradicional ha impedido que los niños sordos desarrollen una comunicación eficaz y un desarrollo cognitivo equiparable al de los niños oyentes. Para revertir esta situación, fue fundamental implementar un modelo educativo bilingüe bicultural que reconozca la lengua de señas como lengua materna y promueva la participación activa de la comunidad Sorda (23).

Por tanto, la educación bilingüe implica el uso de dos o más lenguas como medio de instrucción. En este enfoque, los estudiantes no solo adquieren competencia lingüística en ambas lenguas, sino que también desarrollan una mayor capacidad cognitiva y creativa, mejorando su identidad cultural y su capacidad para integrarse socialmente. La educación bicultural, por su parte, incorpora el contexto cultural de la segunda lengua, facilitando la comprensión profunda y el respeto por las diferencias culturales. Este modelo no solo prepara a los estudiantes para un éxito académico, sino también para una participación social más amplia y significativa en una sociedad globalizada sin perder su identidad (24).

2.3.6.2. La LSB como primera lengua y el español escrito como lengua secundaria

En el enfoque educativo bilingüe y bicultural, la LSB y la lengua escrita dominante en la región juegan un papel fundamental para la formación del estudiante Sordo. En Bolivia, el español escrito se establece como una lengua secundaria, cuyo aprendizaje se realiza de manera progresiva. La enseñanza del español como segunda lengua es esencial para facilitar la comunicación con la comunidad oyente y acceder a mayores oportunidades educativas y profesionales. Sin embargo, su adquisición depende en gran medida del dominio de la LSB, que actúa como un puente para aprender la estructura gramatical y sintáctica del español escrito (21).

El proceso educativo bilingüe-bicultural en Bolivia se basa en la enseñanza de la LSB como lengua primaria (L1), por el cual los estudiantes sordos adquieren las habilidades necesarias para comunicarse de manera efectiva en su entorno social. La adquisición de la segunda lengua (L2), en este caso el español escrito, se lleva a cabo de manera gradual, respetando las diferencias individuales en el aprendizaje y el desarrollo cognitivo de los estudiantes Sordos (23).

En los primeros años de escolaridad, el uso de recursos visuales es fundamental, ya que la visión es el principal canal de adquisición de experiencias para los Sordos. La estimulación temprana, con apoyo de objetos reales y materiales visuales, asegura una enseñanza efectiva en los primeros años. Por otro lado, el aprendizaje del español escrito, como su L2, sigue un enfoque sistemático y progresivo a lo largo de su escolaridad. Durante el nivel inicial se enseña la LSB como primera lengua, a medida que el estudiante avanza de cursos, se introduce el alfabeto manual, el deletreo y la escritura del nombre propio, así como el nombre de los compañeros y maestros. Una vez que los estudiantes dominan estos conceptos y prácticas, comienzan a leer oraciones sencillas en español, compuestas de palabras de hasta tres sílabas, este es un proceso clave para que los estudiantes Sordos puedan interpretar lo escrito y poder traducirlo a la LSB. Seguido de ello, aprenden los sujetos gramaticales y continúan hasta dominar tanto su L1, como su L2 (25).

La enseñanza de la segunda lengua sigue una metodología visual y participativa, utilizando textos con gráficos, dramatizaciones y juegos de roles para enseñar conceptos abstractos. En todo momento, se busca involucrar a los estudiantes en actividades que les permitan practicar el uso de ambas lenguas, especialmente en contextos de la vida cotidiana. Las "oraciones guía", que sirven como un puente entre la LSB y el español, son una herramienta clave para enseñar el español escrito de manera gradual y accesible para los estudiantes Sordos (25).

3. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

3.1. Elección de los componentes del software

3.1.1. Lenguaje de programación

La elección de un lenguaje de programación adecuado para el proyecto implica considerar diversas características, como su curva de aprendizaje, la disponibilidad de herramientas especializadas en el tema, su popularidad y el nivel de soporte disponible.

Actualmente, el lenguaje de programación más usado es Python, seguido de Java, JavaScript y C++ (33). De entre ellos, se ha escogido Python para la sección de desarrollo lógico de la aplicación por la facilidad de su uso, popularidad y cantidad de herramientas enfocadas al uso de LLM. Por otra parte, para el área de desarrollo de interfaz del proyecto, se utilizará JavaScript por el uso de React como herramienta de desarrollo. Se utilizará React por la familiaridad que ya se posee con esta herramienta.

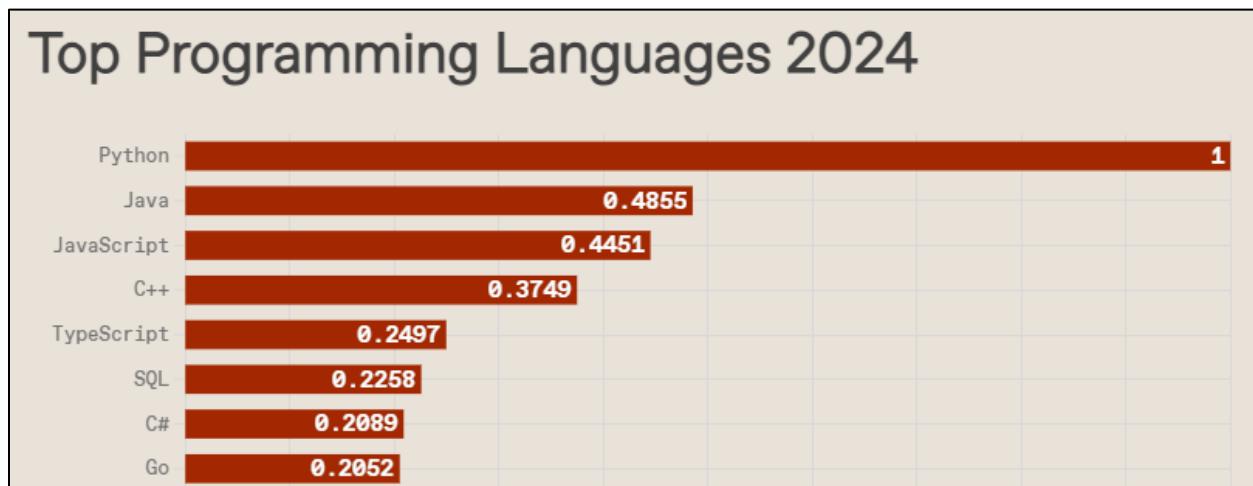


Figura N° 3 : Lenguajes de programación más populares en 2024 según IEEE Spectrum, basados en datos de búsquedas, repositorios, foros, publicaciones y ofertas laborales. (33)

El uso de otros lenguajes de programación supondría una inversión de tiempo mayor al aprendizaje y comprensión de dicho lenguaje y sus componentes, tiempo que podría ser utilizado para la realización y perfeccionamiento del proyecto.

3.1.2. Herramientas de animación

En cuanto a las herramientas utilizadas para la creación, modelado y animación del intérprete, se tomaron en cuenta aquellos entornos de desarrollo más utilizados para este tipo de proyectos, *Unreal Engine*, *Unity* y *Blender*.

Unity, al igual que *Unreal Engine*, es un motor gráfico multiplataforma 2D y 3D basado principalmente en C# y es utilizado principalmente para la creación de videojuegos, aunque también puede ser una herramienta útil para agregar experiencias con realidad virtual, en el cine y la animación, favoreciendo sectores como el de la salud, automotriz, el de la construcción, entre otros (34). Por otro lado, como se mencionó anteriormente, *Blender* es una herramienta más enfocada a la creación de animaciones, además de basarse en Python. De igual forma, al ser de código abierto permite una mayor personalización y adaptación a la tarea que se busca realizar, la cual es la razón principal por la que *Blender* fue considerada más apta para la realización del presente TFG.

3.1.3. Modelos LLM

La creación de un modelo de lenguaje grande (LLM) desde cero requiere una inversión significativa de tiempo y recursos, elementos que actualmente no están disponibles en la realización de este proyecto. Además, la realización de este tipo de modelos necesita un entrenamiento con grandes volúmenes de datos para alcanzar un nivel adecuado de desempeño, caso que no se puede dar con la Lengua de Señas Boliviana (LSB), ya que no existe una cantidad suficiente de información disponible para entrenar un modelo de esta magnitud, lo que representa una limitación considerable para su efectividad.

Una solución más viable sería utilizar modelos LLM pre-entrenados, que han sido desarrollados con datos relevantes y de gran alcance, lo que facilita su adaptación a diversas tareas. Estos modelos, como los llamados modelos generales de lenguaje natural, tales como GPT de OpenAI o Gemini de Google, destacan por su capacidad para “comprender” y generar respuestas coherentes en diferentes lenguas. Dichos modelos podrían ser empleados como traductores o intérpretes, proporcionando una base sólida para la interpretación de la LSB, siempre que se les proporcione un conjunto de instrucciones adecuado. Esta estrategia permite aprovechar los avances existentes en el procesamiento del lenguaje natural sin la necesidad de desarrollar un modelo completo desde sus cimientos.

3.1.4. Asistentes LLM

Actualmente, diversas empresas de tecnología, especializadas o no en modelos de lenguaje, han puesto a disposición servicios de asistentes LLM que permiten a cualquier persona aprovechar de sus funcionalidades y utilidades, sin necesidad de comprender su funcionamiento. Por lo que se define como Asistente de LLM a una interfaz de comunicación directa y sencilla con dichos modelos.

Los asistentes disponibles ofrecen interfaces accesibles al público general, como es el caso de ChatGPT para los modelos de OpenAI, que alcanzaron gran popularidad en los últimos años. Asimismo, proporcionan APIs que permiten integrar y automatizar interacciones en el código. La mayoría de los asistentes admiten cierto nivel de personalización, como la selección del modelo, hiperparámetros, reglas de respuesta, entre otros. Por tanto, no solo se considera la calidad del modelo propuesto por cada empresa, sino también su nivel de personalización y la facilidad de integración con otras aplicaciones.

Bajo estos criterios, se seleccionó la interfaz de OpenAI por su utilidad superior, al ofrecer un alto grado de personalización, una interfaz accesible tanto desde la web como desde el código, funcionalidades bien documentadas y modelos de alta calidad a un precio competitivo.

3.1.5. Almacenamiento de datos

La creación de las animaciones comprende alrededor de 1000 gestos, tantos como palabras existan en la LSB, las cuales continúan creciendo porque la lengua sigue extendiéndose dentro de la comunidad Sorda. Por lo tanto, es útil considerar un medio de obtención de datos fácilmente actualizable para futuras expansiones del proyecto. Esta premisa también contribuye al origen de la propuesta de crear un lenguaje y su compilador, que facilite la creación de animaciones por medio de su formalización, de modo que no se requiera de una persona experta en la interpretación de la LSB para actualizar constantemente las señas nuevas o modificadas.

A razón de facilitar la actualización y escritura de datos, la recopilación se obtendrá de una hoja de cálculos de Google Sheets, de forma que sea más sencillo actualizarlos y cargarlos al aplicativo del proyecto. La conexión entre la hoja de cálculos y el programa se realiza mediante el uso de APIs, de modo que el aplicar esta manera de recopilar los datos permite que no sea necesario tenerlos de forma local.

3.1.6. Aplicaciones web y aplicaciones móviles

El lanzamiento del prototipo del presente TFG debe llevarse a cabo a través de una plataforma accesible, adaptable y escalable, para que sea posible realizar cambios y mejoras a futuro. Para lograr este objetivo, el proyecto se realizará en una plataforma de tipo aplicación web con proyección a ser una Aplicación Web Progresiva o PWA, por sus siglas en inglés, la cual es una aplicación web que adopta rasgos característicos de las aplicaciones móviles nativas y puede instalarse directamente en el dispositivo sin pasar por tiendas de aplicaciones tradicionales. Se basa en un archivo de configuración (manifest) y en el uso de service workers, lo que posibilita, entre otras cosas, el funcionamiento sin conexión a internet mediante la gestión de contenido en caché, la recepción de notificaciones y la actualización automática de recursos (38).

Tomando en cuenta el tipo de proyecto a realizar y los recursos que consume, el no tener que crear una aplicación móvil supone menos inversión de tiempo en crearla y adaptarla para los distintos sistemas operativos de celulares y tabletas. Por otro lado, ya no sería fácilmente accesible a computadoras, por lo tanto, limitaría su uso a los dispositivos móviles. Una aplicación web puede ser utilizada desde cualquier dispositivo conectado a internet y su accesibilidad depende de qué tan adaptable es a cada tipo de pantalla donde se la pueda utilizar. Además, para la creación de aplicaciones móviles, se debe considerar la tienda a través de la cual se lanzará y será visible para el usuario, como la App Store o la Play Store. El uso de una tienda de aplicaciones implica un costo extra para su registro dentro de la misma o el pago de una membresía como es en el caso de App Store (39). Con el uso de una PWA, no es necesario depender de una de ellas.

Para realizar la aplicación web, se tomó en cuenta ReactJS, la cual es una biblioteca JavaScript de código abierto que se enfoca en la visualización, permitiendo el desarrollo de interfaces de usuario de forma sencilla. Esto es posible mediante el uso de componentes interactivos y reutilizables. React aporta una serie de ventajas frente a la forma clásica de realizar una aplicación web, por sus facilidades para el desarrollo unido al rendimiento, la flexibilidad y organización del código (32).

Además, los componentes de React son reutilizables y se organizan en un árbol de componentes. Al combinarlos, se crean estructuras más grandes hasta formar una aplicación completa. React

permite integrar HTML¹³ y JavaScript dentro de cada componente, lo que facilita su reutilización en otros proyectos (32).

3.2. Elección del análisis de requerimientos

La captura y análisis de requerimientos puede ser realizada de distintas formas, dependerá del propósito y los tipos de datos que se buscan recopilar para elegir el método más adecuado.

En el presente proyecto, la información relevante comprende opiniones, concepciones de los problemas que enfrentan las personas Sordas, el entendimiento de la herramienta, recomendaciones sobre el funcionamiento del prototipo, entre otros.

Dada la situación, el tipo de análisis más apropiado es el cualitativo, ya que las encuestas de tipo numérico podrían indicar un grado de satisfacción o insatisfacción, pero no un razonamiento acompañado con dicha opinión que permita realizar una correcta retroalimentación del proyecto.

Por lo tanto, al requerir información detallada sobre los conocimientos, las opiniones y los puntos de vista tanto del usuario objetivo como de aquellas personas expertas en el área a cubrir, es idónea la realización de entrevistas para poder plasmar correctamente dicha información en la investigación.

3.3. Selección de metodologías de desarrollo

El desarrollo del proyecto comprende distintos objetivos, los cuales requieren el desarrollo de distintas tareas y subobjetivos que se irán modificando junto con la evolución misma del proyecto, ya que depende de la retroalimentación que reciba de su funcionamiento y efectividad. Para ello, se requiere una metodología Ágil que permita organizar el proyecto de manera que se puedan ver y organizar todas las tareas y planes.

Al ser un proyecto con varios objetivos y de un plazo medianamente largo, es necesario fijarse pequeñas metas dentro del avance del proyecto, características compatibles con la metodología ágil SCRUM.

¹³ HTML (HyperText Markup Language): Lenguaje de programación que se utiliza para crear y estructurar páginas web.

La metodología SCRUM es un marco de trabajo para gestionar proyectos de desarrollo de software centrados en la flexibilidad y la entrega continua de valor. Basada en un enfoque iterativo e incremental, esta metodología divide el proyecto en ciclos de trabajo cortos llamados *sprints*, generalmente de dos a cuatro semanas, durante los cuales un equipo multidisciplinario desarrolla y entrega partes funcionales del producto final. Cada sprint incluye actividades como la planificación, revisiones diarias, revisión del sprint y retrospectiva, donde se evalúa el rendimiento y se ajustan los procesos para mejorar la eficiencia, asegurando un producto de alta calidad al final del proyecto (40).

De acuerdo a la metodología de trabajo escogida, se utilizará Jira, de Atlassian, como la herramienta de seguimiento y organización para esta, por razones de comodidad y experiencia con su uso.

4. METODOLOGÍA

La metodología empleada durante el desarrollo del proyecto varía y se ajusta a las necesidades de cada etapa, como se puede ver en la figura N°4.

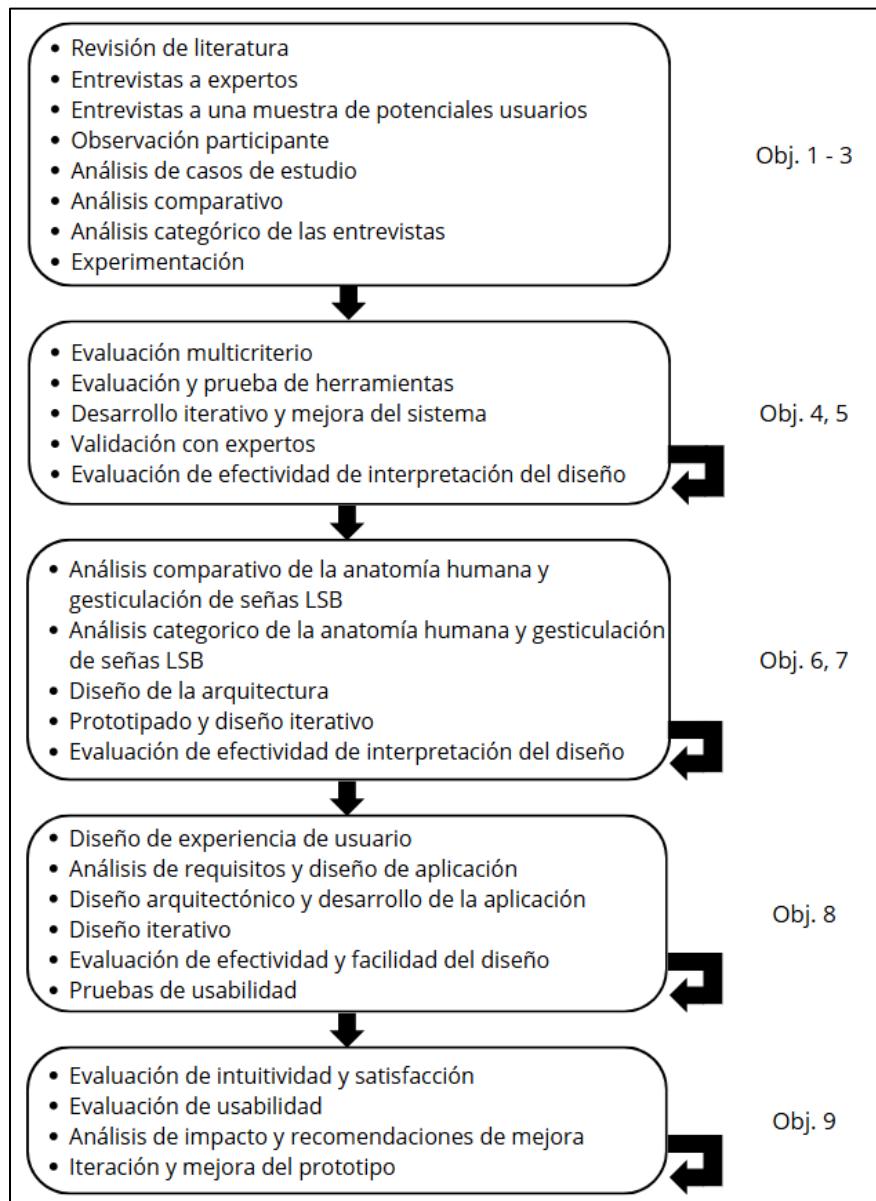


Figura N° 4 : Metodología aplicada en las diferentes etapas del proyecto. Se indica en la parte derecha los objetivos específicos asociados a cada etapa, elaboración propia.

Cada objetivo tiene sus metodologías a utilizar para poder cumplirlos de forma óptima. El primer, segundo y tercer objetivo posee metodologías propias de la obtención y análisis de información recopilada de distintos medios, con el objetivo de armar las bases del proyecto. Las metodologías

que se observan para los objetivos cuatro y cinco comprenden más la evaluación de las herramientas a utilizar a lo largo de todo el proyecto y los posibles aspectos del intérprete.

En relación al sexto y séptimo objetivo, se empiezan a tomar aspectos más precisos con relación a la LSB por lo que las metodologías mencionadas toman en cuenta la correcta formalización y estructuración de la lengua para poder ser adaptada al intérprete animado. Asimismo, el octavo y noveno objetivos consisten, respectivamente, en la creación de la página web que integre todas las características desarrolladas y en la validación de su correcto funcionamiento.

4.1. Diagrama de Gantt

La organización del desarrollo del proyecto se hizo mediante la utilización de la herramienta Jira, de *Atlassian*. En ella se crearon los objetivos, sus subtareas y los plazos límite para cada una de ellas. Tomando en cuenta el tiempo de realización establecido de seis meses, el diagrama de Gantt se ve como la figura N°5.

Las subtareas de cada objetivo se crean de acuerdo a las necesidades a cumplir y la metodología elegida. De igual forma, poseen fechas límite como se puede ver en la figura N°6. La correcta distribución y organización de tareas a realizar en cada etapa del proyecto es vital para su correcto desarrollo, ya que es útil para realizar un seguimiento preciso al cumplimiento de cada uno de los objetivos.

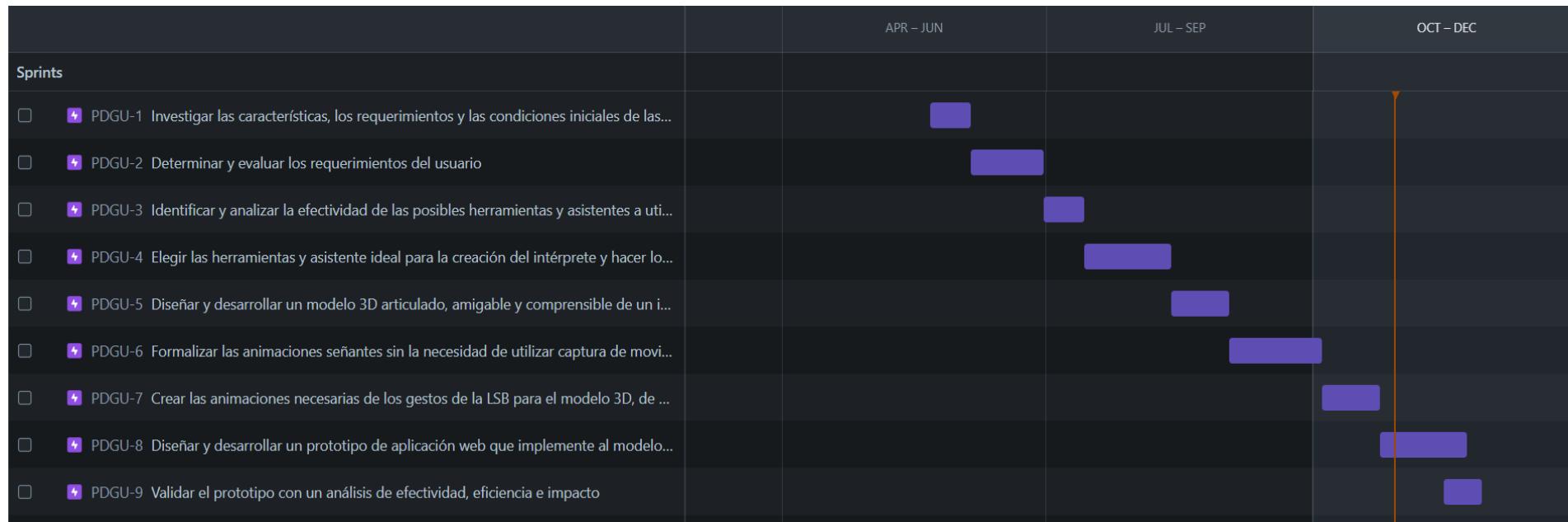


Figura N° 5 : Diagrama de Gantt, elaboración propia.

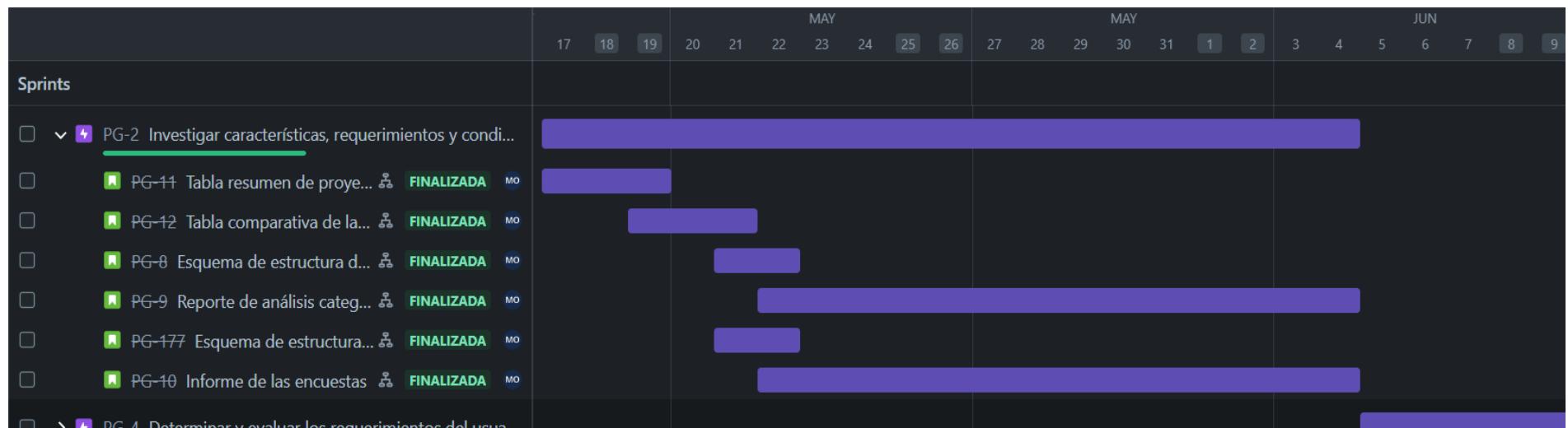


Figura N° 6 : Diagrama de Gantt, vista detallada, elaboración propia.

5. RECOLECCIÓN DE DATOS

5.1. Entrevistas a expertos y posibles usuarios

Las entrevistas realizadas a expertos en el presente TFG se enfocan en obtener más información de áreas donde el investigador no puede acceder por medios más prácticos, tales como la concepción de la problemática dentro de la comunidad Sorda, saber si utilizan alguna herramienta para solventar dicha problemática, mayor información sobre su lengua y su opinión acerca del proyecto propuesto. De esta forma, el objetivo es entrevistar a expertos en la educación de personas Sordas y la LSB.

Sobre la base de lo dicho previamente, la entrevista fue dividida en tres partes esenciales. La primera parte comprende las preguntas acerca de la problemática que abarca el proyecto y si existen herramientas que se utilicen como posible solución. La segunda sección busca recopilar información sobre la percepción del proyecto, su utilidad, precisión y posibles mejoras. Por último, la tercera parte comprende preguntas que complementen conceptos y datos relacionados a la estructura y gramática de la LSB ya que la información encontrada en documentos y textos educativos del tema carecen de información precisa sobre la formulación e interpretación de oraciones complejas en dicha lengua.

De ese modo, las preguntas orientadas a la problemática son las siguientes.

1. ¿Cómo cree que se siente una persona Sorda con respecto al español? ¿Se puede considerar que la LSB es su lengua materna y el español su segunda lengua?
2. ¿Qué tan difícil es aprender español con base en la LSB? ¿Considera que la enseñanza del español en la escuela es suficiente, o se necesitan recursos adicionales fuera de clase?
3. ¿Aproximadamente, hasta qué edad un estudiante sordo enfrenta dificultades con el español?
4. (Además de los estudiantes que siguen aprendiendo el español) ¿Qué otros perfiles de personas Sordas enfrentan dificultad con el español?
5. ¿Cree que las dificultades de aprender español pueden afectar su integración en la sociedad?

-
6. ¿Ser totalmente bilingüe en la LSB y español mejoraría la condición e integración social de una persona Sorda?
 7. ¿Conoce aplicaciones o herramientas que los estudiantes sordos utilicen para mejorar su comprensión del español? ¿Qué tan efectivas son?

Asimismo, las preguntas relacionadas a la estructura y gramática de la LSB son las que se muestran a continuación

(Introducción sobre la importancia del conocimiento de la LSB para el proyecto y la necesidad de información sobre su estructuración para mejorar el intérprete)

1. ¿Cómo es la estructura de una oración básica de la LSB?
2. ¿Cómo es la estructura de una oración básica en tiempo pasado? ¿y en tiempo futuro?
3. ¿Cómo varía la oración al utilizar el pasado con "ayer/el lunes pasado/anoche/la semana pasada"? ¿la seña de pasado se mantiene en la oración o es reemplazada?
4. ¿Cómo manejan la estructura de la oración ante tiempos y frases más complejas como "me gustaría haber ido a aquella fiesta"? ¿Es común/aceptable simplificar las frases para su interpretación a la LSB?
5. ¿Pueden existir varias interpretaciones de una misma oración en español? ¿Por qué podría pasar algo así?
6. ¿Sabe si hay una diferencia mayor en la estructura de la LSB en comparación con otras lenguas de señas?
7. ¿Utilizan un texto guía para enseñar la transición entre la LSB al español escrito? En ese caso, ¿Qué tan preciso es?

En cuanto a las preguntas relacionadas al proyecto y su posible impacto, se desarrollaron las siguientes.

1. (Mostrar el ejemplo desarrollado del proyecto) Tomando en cuenta que lo presentado es un ejemplo de cómo se podría ver y funcionar el posible prototipo final, ¿cuál es su primera impresión general sobre lo que podría ser la aplicación? ¿Qué opina?
2. Si pudiese cambiar algo de la idea, ¿qué podría ser?
3. ¿Con qué facilidad se pueden comprender los gestos representados en las animaciones?
4. Entonces, ¿qué tan precisas le parecen las animaciones?
5. ¿Qué tan fácil e intuitiva le resulta la interfaz de la aplicación para su uso?
6. ¿En qué aspectos ha notado fallas en la idea que podrían mejorarse?

-
-
7. En caso de ser corregida y perfeccionada, ¿considera que esta solución podría convertirse en una herramienta para ayudar al aprendizaje del español? (En caso contrario, ¿Qué es lo que la hace poco efectiva para su tarea?)
 8. ¿Tiene algún otro comentario que le gustaría compartir sobre la aplicación?

Las entrevistas fueron realizadas en el Unidad Educativa de Audiología Lucy Argandoña de Cochabamba y en la Unidad Educativa de Audiología Fe y Alegría de Sucre.



Figura N° 7 : Unidad Educativa de Audiología Lucy Argandoña, entrada principal, elaboración propia.



Figura N° 8 : Unidad Educativa de Audiología Lucy Argandoña, patio principal, elaboración propia.



Figura N° 9 : Unidad Educativa de Audiología Fe y Alegría, entrada principal, elaboración propia.

5.2. Análisis de las entrevistas

5.2.1. Con respecto a la problemática

De acuerdo a las entrevistas, cuya transcripción se encuentra en el anexo A, es posible tener la certeza de que el Sordo siempre se sentirá más cómodo hablando en su primera lengua, la Lengua de Señas y en Bolivia la LSB, ya que la entienden mejor. Asimismo, esta preferencia depende mucho de cómo y cuándo adquirió la sordera. Si la persona es Sorda prelocutiva, es completamente ajena a la lógica detrás de las lenguas orales, y su mundo se crea en torno a comunicarse por medio de gestos y expresiones.

Otro caso puede ocurrir cuando la persona Sorda es post-locutiva, ante esta situación, la preferencia por la LSB dependerá de qué tanta familiaridad con la lengua oral haya tenido la persona antes de ser Sorda. Por ejemplo, aquellos de edad avanzada que pierden la audición a causa de problemas relacionados con su misma edad, muy difícilmente querrán incorporar la LSB en sus vidas. Sin embargo, una persona joven eventualmente se adaptará a su nueva condición y su preferencia por la Lengua de Señas se desarrollará naturalmente.

Por las mismas razones, la enseñanza del español escrito como L2, es especialmente compleja para los estudiantes Sordos, los cuales en su gran mayoría son prelocutivos o con una poca familiarización con el español oral. Por ello, se recomienda continuar incentivando a los estudiantes dentro del hogar y por todos los medios posibles. Además, esta complejidad no depende de la edad de la persona Sorda, sino del entorno en el que creció, su voluntad a adaptarse y si recibió una atención adecuada a sus capacidades (anexo A).

A pesar de que el aprendizaje del español escrito sea tan desafiante para una persona Sorda con la LSB como L1, es completamente necesario para su integración dentro de la comunidad oyente. Bolivia posee varios centros educativos dedicados a esta misión, sin embargo, no existen tecnologías dedicadas a ser un apoyo para este aprendizaje. Como menciona una de las entrevistadas, “solo he podido ver que algunos estudiantes utilizan las videollamadas de WhatsApp para comunicarse a distancia con sus padres o compañeros”, destacando que deben aprender el español para poder comprender completamente todo lo que el dispositivo móvil puede ofrecer, ya que, sin ir muy lejos, este es necesario para poder leer los mensajes de texto de la misma aplicación o poder configurar y personalizar su celular (anexo A).

5.2.2. Con respecto prototípico de la aplicación

En cuanto a las primeras impresiones recibidas sobre el ejemplo ilustrativo desarrollado para mostrar la posible apariencia del aplicativo, todas fueron muy positivas en cuanto a su facilidad de uso, su precisión y apariencia. Entre estas primeras impresiones, sobresale que más de un entrevistado destacó como valiosa la característica de que la aplicación se enfoque en las necesidades del Sordo y no en las comodidades de la comunidad oyente (anexo A).

Las animaciones de los gestos fueron calificadas como precisas y perfectamente entendibles tanto como para los entrevistados oyentes que conocen la LSB, como para los entrevistados Sordos. Sin embargo, se mencionó varias veces que las expresiones faciales deben ser mucho más precisas y “humanas”, el Prosoponema debe tener mayor desarrollo, para poder realizar una interpretación perfecta de la Lengua.

Todos los entrevistados estuvieron de acuerdo en que la aplicación puede llegar a ser una herramienta muy útil para toda persona Sorda que quiera aprender y entender mejor el español escrito.

5.2.3. Con respecto a la estructura de la LSB

La estructura gramatical de la Lengua de Señas suele seguir un orden de oración donde primero va el tiempo, seguido del lugar, objeto o sujeto y el verbo al final. En caso de formular una pregunta, esta se coloca al final de la oración. Además, el verbo nunca es conjugado, quedando siempre en infinitivo. Por lo que, ante oraciones complejas a interpretar, usualmente se sigue un proceso de simplificación de la oración, manteniendo la información indispensable, quitando cualquier conector y ordenando las palabras de acuerdo a la estructura gramatical mencionada. Sin embargo, esta estructura puede variar dependiendo del contexto que se quiera expresar, salvo el gesto de pregunta, en el caso de que se lo utilice, que siempre va al final.

Con base en las entrevistas, se pudo confirmar que esta estructura gramatical mantiene el mismo orden para la Lengua de Señas Boliviana. Previamente, no se podía afirmar este hecho ya que el orden y estructura gramatical no se encontraba mencionado en ningún texto referente a la LSB, y solo se lo encontraba mencionado de forma implícita en algunos textos de enseñanza de la LSB. Por otra parte, también menciona que este orden gramatical no siempre es respetado, producto de un error en la interpretación, un modismo o del simple cambio de orden para

priorizar el contexto. Por ejemplo, se ha visto en algunos textos que palabras de tiempo se acomodan al final de la oración (Anexo A).

5.3. Conclusiones de las entrevistas

Se tomaron en cuenta las observaciones de los entrevistados para poder delimitar mejor los objetivos y alcances del presente proyecto. Si bien se demuestra que la concepción del proyecto va por buen camino, aún quedan avances a realizar, como la mejora del intérprete de acuerdo a la información recopilada sobre la estructura gramatical de la LSB.

No se contempla mejorar mucho más el Prosoponema del intérprete ya que requiere de muchos más parámetros a considerar, como una mayor cantidad de expresiones faciales, mayores movimientos en la postura y posición del rostro y torso, además de cambiar drásticamente los parámetros previstos del asistente dedicado a la interpretación del texto. Estos cambios, si bien son importantes, no están contemplados dentro de los objetivos del proyecto y se añadirán en la sección de recomendaciones como posibles mejoras a realizar.

6. INGENIERÍA DEL PROYECTO

6.1. Formalización del movimiento señante

El diseñar una aplicación que dé como resultado un producto en la LSB implica distintos métodos de desarrollo para el mismo, las soluciones más comunes suelen ser el mostrar una recopilación de muchos videos de intérpretes humanos realizando los gestos o de un avatar 3D con las señas cargadas mediante captura de movimiento de un intérprete humano. Ambas soluciones mencionadas requieren de una persona experta en la Lengua de Señas supervisando y realizando cada seña a utilizar en el aplicativo, acción que tomaría demasiado tiempo. De este modo, se analizarán las ventajas y desventajas de estas soluciones, mencionando otras nuevas, con el fin de encontrar una solución aún más optima o que se acondicione mejor a los objetivos del presente proyecto.

El recopilar o crear muchos videos de uno o más intérpretes humanos realizando los gestos implica grabar por un largo periodo de tiempo a una o más personas, con su respectivo consentimiento. Tomando en cuenta que cada gesto requiere un trabajo de captura, ajustes y modelado equivalente a un aproximado de 5 minutos, y existen alrededor de 800 palabras dentro del glosario de la LSB, la realización de esta tarea implica al menos un mes entero de trabajo para realizar únicamente las animaciones y un producto bastante pesado en memoria para contener un video de cada gesto de la LSB. Sin mencionar que la característica formacional de las expresiones faciales, el Prosoponema, de las personas captadas en video no pueden modificarse, por lo que el contexto del mensaje a interpretar podría perderse o malinterpretarse. Además, en el caso de que se cometiera un error o que las animaciones no quedaran como se espera, el trabajo debe rehacerse. Este método, además de costoso, es poco escalable e intelectualmente poco interesante.

Otra alternativa muy conocida es utilizar la captura de movimiento para aplicarlo posteriormente a un avatar 3D diseñado para interpretar dichos movimientos. Utilizar esta alternativa supone dos formas de obtener dichas capturas de movimiento, una de ellas es recopilar y adaptar a la LSB capturas ya existentes de otras Lenguas de Señas, como la Lengua de Señas Americana (ASL) y la Lengua de Señas Mexicana (LSM), ya que no existe una base de datos propia de la LSB. Esta forma de obtención supone mucho trabajo revisando, modificando y corrigiendo todas las capturas de movimiento ya existentes debido a que no existen dos Lenguas de Señas iguales por más que sean parecidas, además habrá gestos que no puedan ser obtenidos con base en la

una captura de movimiento ya existente y tendrán que ser creados desde cero. La segunda forma de utilizar la captura de movimiento para los gestos del intérprete es creándolos con la ayuda de una persona intérprete de la LSB. Lo que supone las mismas dificultades que la opción de grabar a dichos intérpretes.

Uno de los objetivos principales del proyecto, y su aporte principal, es reducir el trabajo humano que implica animar los gestos de una lengua de señas y mejorar la compatibilidad de las herramientas desarrolladas para la comunidad Sorda, ya que es difícil adaptarlas a las distintas lenguas de señas que existen alrededor del mundo. A raíz de este propósito, surge el análisis de las posiciones clave de los gestos de la LSB, y el sistema de animación automática de acuerdo a las posiciones clave.

La lengua de señas reposa en los parámetros formacionales que se traducen físicamente a la articulación de brazos, codos y manos, dependiendo del nivel de detalle que se plantee, también se puede considerar el movimiento muscular del rostro y la postura del cuerpo, las cuales dan una mejor comprensión de las emociones en cada gesto. Para cumplir con los objetivos puestos para el proyecto, estos gestos fueron limitados a tres variables principales, manos, brazos y expresión facial.

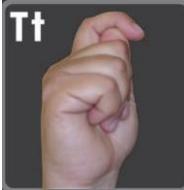
6.1.1. Clasificación de los gestos de la LSB

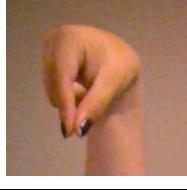
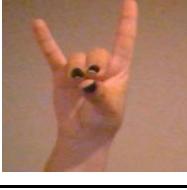
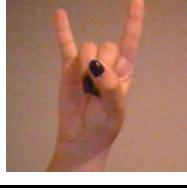
Las posiciones de las manos, contando únicamente la posición de los dedos, en la LSB son puntuales y limitadas, por lo que es posible etiquetarlas. Estas posiciones son obtenidas haciendo un cotejo de las posiciones de los dedos de la mano, sin contar los de la muñeca, en el alfabeto dactilológico y el alfabeto numérico, descartando las posiciones repetidas. Posterior a ello, se hace un análisis de esas mismas posiciones en cada palabra de la LSB, en busca de posiciones particulares no presentes en las ya enlistadas, para ser agregadas.

Por ende, tomando en cuenta todas las posiciones posibles de las manos en la LSB, sin repetirlas, se obtienen 40 posiciones posibles, de las cuales 35 pueden ser utilizadas por ambas manos. De este número, 29 pertenecen al alfabeto dactilológico y numérico, y 22 a movimientos particulares que, en su gran mayoría, se repiten en más de una palabra.

De esta forma, las posiciones clave de las manos se pueden observar en la siguiente tabla.

Posición (imagen)	Código asignado	Extraído de	Posición (imagen)	Código asignado	Extraído de
	A	Alfabeto dactilológico de la LSB		B	Alfabeto dactilológico de la LSB
	C	Alfabeto dactilológico de la LSB		D	Alfabeto dactilológico de la LSB
	E	Alfabeto dactilológico de la LSB		F	Alfabeto dactilológico de la LSB
	G	Alfabeto dactilológico de la LSB		I	Alfabeto dactilológico de la LSB
	K	Alfabeto dactilológico de la LSB		L	Alfabeto dactilológico de la LSB
	M	Alfabeto dactilológico de la LSB		N	Alfabeto dactilológico de la LSB
	O	Alfabeto dactilológico de la LSB		Q	Alfabeto dactilológico de la LSB

Posición (imagen)	Código asignado	Extraído de	Posición (imagen)	Código asignado	Extraído de
	R	Alfabeto dactilológico de la LSB		S	Alfabeto dactilológico de la LSB
	T	Alfabeto dactilológico de la LSB		U	Alfabeto dactilológico de la LSB
	W	Alfabeto dactilológico de la LSB		X	Alfabeto dactilológico de la LSB
	Y	Alfabeto dactilológico de la LSB		1	Alfabeto dactilológico de la LSB
	2	Alfabeto dactilológico de la LSB		3	Alfabeto dactilológico de la LSB
	4	Alfabeto dactilológico de la LSB		5	Alfabeto dactilológico de la LSB
	7	Alfabeto dactilológico de la LSB		8	Alfabeto dactilológico de la LSB

Posición (imagen)	Código asignado	Extraído de	Posición (imagen)	Código asignado	Extraído de
	10	Alfabeto dactilológico de la LSB			
	P1	Posición particular dentro del glosario de la LSB		P3	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	Mi	Posición particular dentro del glosario de la LSB		Cc	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	P4	Posición particular dentro del glosario de la LSB		P5	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	Ro	Posición particular dentro del glosario de la LSB		Qc	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	D8	Posición particular dentro del glosario de la LSB		Ro2	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	U2	Posición particular dentro del glosario de la LSB		P7	Posición particular dentro del glosario de la LSB

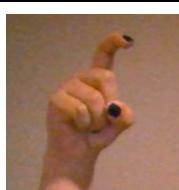
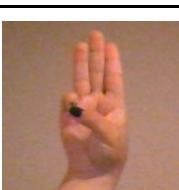
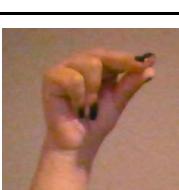
Posición (imagen)	Código asignado	Extraído de	Posición (imagen)	Código asignado	Extraído de
	Vc	Posición particular dentro del glosario de la LSB		P8	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	U2c	Posición particular dentro del glosario de la LSB		8a	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	Qa	Posición particular dentro del glosario de la LSB		1c	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	Wj	Posición particular dentro del glosario de la LSB		U3	Posición particular dentro del glosario de la LSB
	U3c	Posición particular dentro del glosario de la LSB		5m	Posición particular dentro del glosario de la LSB

Tabla N° 2: Posiciones clave de las manos seleccionadas para las animaciones (anexo D).

Como se puede notar en la tabla anterior, hay letras y números del alfabeto que no fueron tomados en cuenta ya que el gesto es similar o igual a otro ya existente, la diferencia nace en la posición de la muñeca o movimiento que lo representa, más la posición de los dedos se mantiene. Las letras y números omitidos son los siguientes.

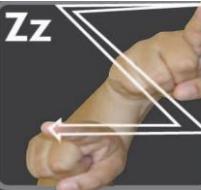
Posición (imagen)	Letras /números del alfabeto	Razón de omisión	Posición similar (imagen)
	H	La posición de los dedos es la misma que en la letra "U".	
	J	La posición de los dedos es la misma que en la letra "I", pero con movimiento.	
	Ñ	La posición de los dedos es la misma que en la letra "N", pero con movimiento.	
	V	La posición de los dedos es la misma que en el número "2".	
	Z	La posición de los dedos es la misma que en el número "1", pero con movimiento.	
	6	La posición de los dedos es la misma que en la letra "W".	
	9	La posición de los dedos es la misma que en la letra "F".	

Tabla N° 3 : Posiciones omitidas (Anexo D)

Así como las posiciones de las manos, las expresiones faciales genéricas también son puntuales y limitadas, por lo que se pueden categorizar. Para el presente TFG, se tomaron en cuenta alrededor de doce expresiones faciales distintas, las cuales fueron escogidas de acuerdo a las necesidades de los gestos principales a utilizar en la demostración del funcionamiento del prototipo final.

Estas expresiones fueron adaptadas y creadas para poder mostrarse en el avatar 3D desarrollado, para ello solo se tomaron en cuenta imágenes ya que el rostro del avatar simula una pantalla por propósitos de simplicidad, como pueden observarse en la figura N°10.



Figura N° 10 : Conjunto de caras seleccionadas para el avatar, elaboración propia

Por otra parte, las posiciones de los brazos no son limitadas, dado que cada gesto posee al menos 3 posiciones de brazo distintas y muy poco reusables para otros gestos ya que pueden tener variaciones. Por ello, se estima que hay alrededor de 3000 posiciones distintas y aplicar la categorización por etiquetado, como en las manos y expresiones faciales, no es la opción más eficiente.

Como posible solución se propone capturar los ángulos rotacionales de cada articulación del brazo en un vector.

6.1.2. Captura de posiciones clave con vectores

Este modo de formalización, lejos de ser la categorización de las posiciones frecuentes, es la modelización matemática de los gestos de los brazos que resume una posición en tres variables rotacionales.

A razón de manejar de forma eficiente estas variables rotacionales, se utilizaron vectores como tripletes de rotaciones para poder ser manejados correctamente dentro del código del proyecto. Si bien en un inicio se consideraba utilizar matrices de rotación, como las usadas comúnmente en robótica, se requería de una opción más simple, concisa y coherente a las necesidades del proyecto. Por lo tanto, se optó por guardar únicamente la información de los ángulos de Euler en un arreglo de 3 valores, el cual se llamará más adelante como “vector de rotaciones” para simplificar su referencia.

En consecuencia, se pueden observar 6 vectores en la figura N°11.



Figura N° 11 : Los 6 vectores de rotaciones para las articulaciones de los brazos y su equivalencia en términos aeronáuticos, elaboración propia.

De igual forma, con el propósito de facilitar la lectura de dichos vectores y de visualizar si los límites naturales de cada rotación son respetados, se consideró usar un sistema de escala individual para cada uno de los ángulos en cada uno de los 6 vectores de rotación, lo que hace un total de 18 escalas individuales. La tabla a continuación muestra las escalas individuales para cada rotación (hombro, codo, muñeca) de cada miembro superior (izquierdo, derecho). La escala se aplica a ángulos en notación sexagesimal (grados) y permiten visualizar mejor los

vectores de rotaciones y tener en claro los límites naturales de cada articulación. En ella, cada casilla indica el coeficiente multiplicativo necesario para convertir el ángulo inicial expresado en grados al ángulo normalizado que resalta los límites naturales del cuerpo humano.

Eje de rotación	Hombro izquierdo	Codo izquierdo	Muñeca izquierda	Hombro derecho	Codo derecho	Muñeca derecha
Rx	1/90	.	1/90	1/90	.	1/90
Ry	-1/90	-1/15	-1/30	1/90	-1/15	1/30
Rz	-1/90	.	-1/90	1/90	.	1/90

Tabla N° 4 : Escalas individuales para cada ángulo de rotación, elaboración propia.

De acuerdo a esta nueva escala, se obtienen valores entre 0 y 1, o entre -1 y +1, dependiendo de la articulación, con el objetivo de conservar un sentido más natural de leer y modificar estos valores de acuerdo a la posición que sea necesaria simular. En consecuencia, se define a la posición 0,0,0 como la posición neutra por defecto, la cual coincide con una posición neutra natural y las escalas tienen factores negativos para que los vectores sean los mismos en la izquierda y en la derecha si las posiciones son simétricas, lo que resulta muy útil para manipular rápidamente estas variables.

En la imagen N°12 se puede observar la interacción entre los vectores de rotación y el avatar, precisamente con la rotación del hombro derecho. Las tablas comprenden los vectores rotacionales del hombro, el codo y la muñeca del brazo derecho. Un movimiento de -90 grados en el eje X del hombro resulta en un movimiento de -1, en el mismo eje, en las escalas diseñadas para un manejo más sencillo del avatar.

Brazo derecho (Euler)		
H	C	M
0	.	0
0	0	0
0	.	0

Brazo derecho (Escalas)		
H	C	M
0	.	0
0	0	0
0	.	0

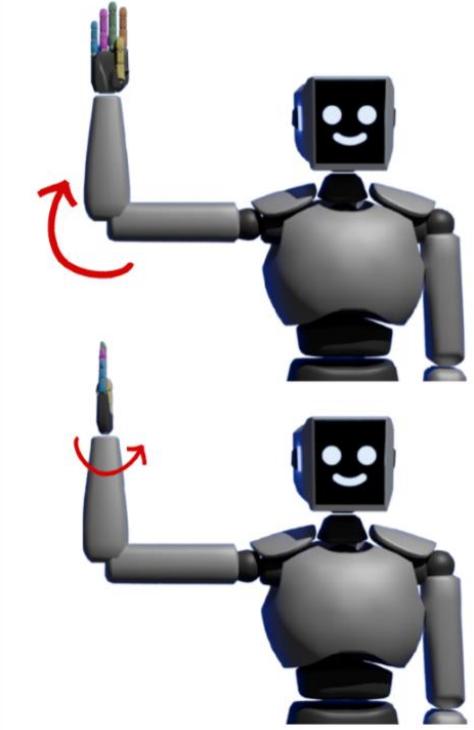
Brazo derecho (Euler)		
H	C	M
-90	.	0
0	0	0
0	.	0

Brazo derecho (Escalas)		
H	C	M
-1	.	0
0	0	0
0	.	0

Figura N° 12 : Ejemplo de vectores de rotaciones en una pose – parte 1. Elaboración propia.

Se puede observar que el hombro, al tener un rango de rotación de casi 180 grados, varía de -90 a 90 grados con respecto a la posición predeterminada. De acuerdo con los valores de la tabla 4, este rango se convierte en un intervalo de -1 a 1.

Sin embargo, la situación es diferente para el codo, que naturalmente puede rotar hasta 150 grados alrededor de su eje Y. En este caso, el intervalo de ángulos en grados va de 0 a 150, lo que corresponde a un rango de 0 a 1 en la escala establecida en la tabla 4. Por ejemplo, una rotación de 90 grados en el codo equivale a un valor de 0.6 en dicha escala, como se ilustra en la figura 13. Además, en la misma figura se observa que la rotación de la muñeca abarca un intervalo de 1 a -1 en esa misma escala.

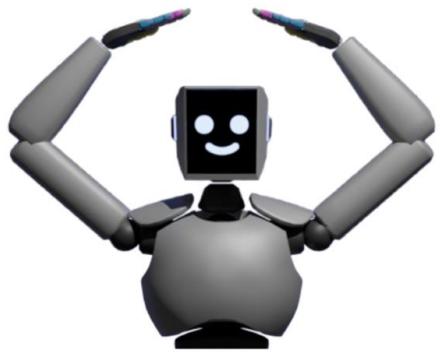


Brazo derecho (Euler)			Brazo derecho (Escalas)		
H	C	M	H	C	M
-90	.	0	-1	.	0
0	90	0	0	0.6	0
0	.	0	0	.	0

Brazo derecho (Euler)			Brazo derecho (Escalas)		
H	C	M	H	C	M
-90	.	-90	-1	.	-1
0	90	0	0	0.6	0
0	.	0	0	.	0

Figura N° 13 : Ejemplo de vectores de rotaciones en una pose – parte 2. Elaboración propia.

De esta forma, las posiciones simétricas entre ambos brazos del avatar comprenden los mismos vectores, lo que permite un desarrollo más fácil en las posiciones de las señas de la LSB. Como se puede ver en la figura N°14.



Brazo izquierdo (Euler)			Brazo derecho (Euler)			Brazo izq. y der. (Escalas)		
H	C	M	H	C	M	H	C	M
-90	.	-90	-90	.	-90	-1	.	-1
0	-90	-30	0	90	30	0	0.6	1
45	.	0	-45	.	0	-0.5	.	0

Figura N° 14 : Ejemplo de vectores de rotación en una configuración simétrica de ambos brazos, elaboración propia.

6.1.3. Formalización de las animaciones a través de un lenguaje

Una vez creado el sistema para modelizar de forma compacta las posiciones clave, es posible hacer lo mismo con las animaciones, por lo que se define la estructura informática de las posiciones clave de los brazos de acuerdo a la figura N°15.

```
Pose : {
    Mano_Izq : String,
    Rot_H_Izq : [Rx: float, Ry: float, Rz: float],
    Rot_C_Izq : [Rx: float, Ry: float, Rz: float],
    Rot_M_Izq : [Rx: float, Ry: float, Rz: float],
    Mano_Der : String,
    Rot_H_Der : [Rx: float, Ry: float, Rz: float],
    Rot_C_Der : [Rx: float, Ry: float, Rz: float],
    Rot_M_Der : [Rx: float, Ry: float, Rz: float],
    Velocidad : int
}
```

Figura N° 15 : Descripción de la estructura de datos que representa una pose, elaboración propia.

En la imagen se puede observar que una pose considera la posición de ambas manos como una cadena de texto y las rotaciones de los hombros, codos y muñecas como vectores o triplets. El atributo de velocidad define la duración de una pose, en caso de que se requiera especificar que un movimiento sea más rápido que el resto.

De esta forma, es posible escalar esta estructura para definir una animación como el encadenamiento de varias posiciones clave, la cual se puede guardar en una lista.

```
Anim1 = {Pos1, Pos2, Pos3}
```

Figura N° 16 : Estructura de una animación compuesta por tres posiciones clave, elaboración propia.

Sin embargo, conforme el proyecto se desarrollaba, surgió la necesidad de que estas instrucciones también manejen si la animación está compuesta de movimientos repetidos o velocidades distintas durante su desarrollo. Si bien fue considerada una solución básica como copiar y pegar varias posiciones claves para hacer repeticiones de movimientos o de manera seguida una misma posición para prolongar su duración, el método no sólo prolongaba la cantidad de tiempo de trabajo, sino que implicaba más líneas de instrucciones innecesarias, lo que hacía que la estructura sea menos entendible y poco práctica.

6.1.3.1. El lenguaje de animación

El desarrollo de un lenguaje propio para las animaciones surge a base a la necesidad de añadir funciones que instruyan la forma en la que se interpreta la estructura de las variables de rotación de los brazos, funciones tales como una que repita determinada cantidad de veces un conjunto de posiciones clave o una que modifique la velocidad aplicada a la transición de un punto clave a otro. Además, la creación de un lenguaje facilita la lectura de una o varias posiciones, permitiendo saltos de línea y poder estructurar las líneas de código de una forma más legible, haciendo simple el entendimiento de instrucciones más robustas.

- **Estructura del lenguaje**

Como se mencionó anteriormente, la estructura del lenguaje comprende la composición de varias posiciones clave para armar una animación y cada posición está compuesta de las variables de posición de la mano derecha, el brazo derecho, de la mano izquierda y brazo izquierdo, en ese orden. Además, a razón de permitir esta flexibilidad de escritura, se desarrolló un lenguaje fuertemente tipado, de modo que esta estructura puede guardarse de manera sintética, como se observan en las siguientes figuras.

{Mano_D, Rot_H_D, Rot_C_D, Rot_M_D - Mano_I, Rot_H_I, Rot_C_I, Rot_M_I}

Figura N° 17 : Sintaxis de una pose dentro del lenguaje de animación, elaboración propia.

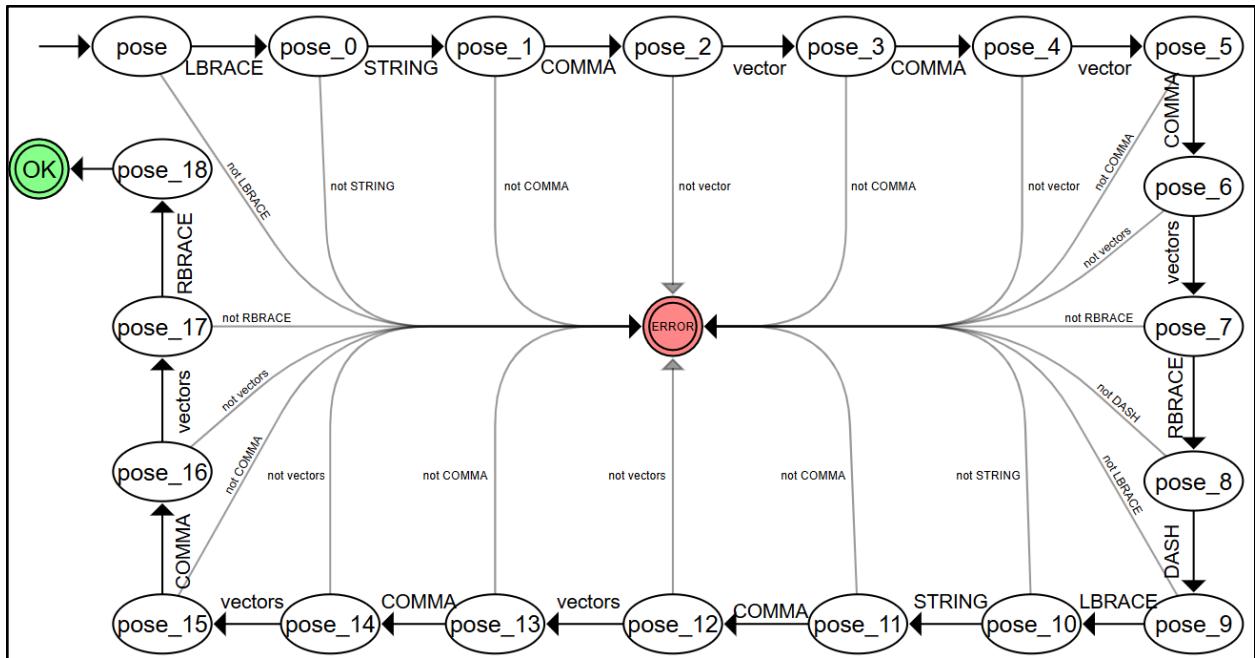


Figura N° 18 : Autómata asociado a la lectura de una pose, elaboración propia.

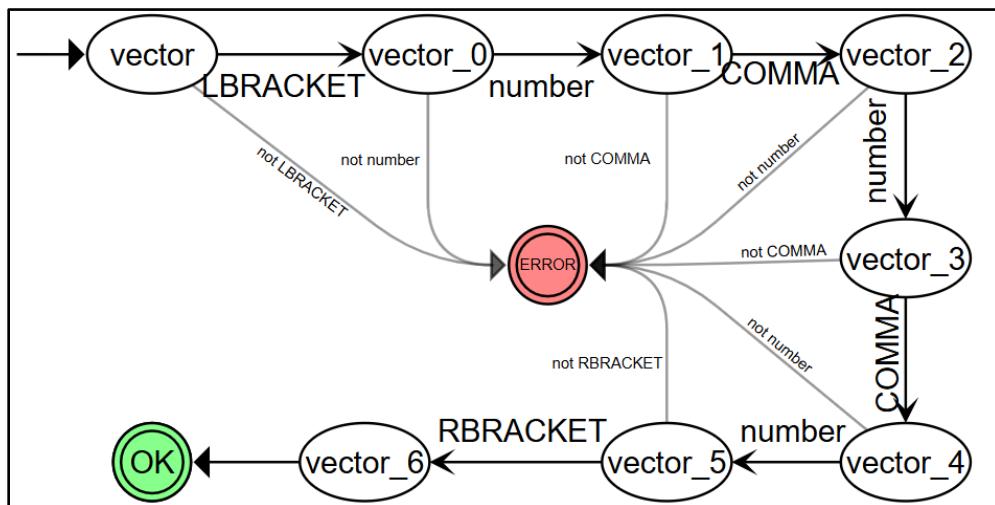


Figura N° 19 : Autómata asociado a la lectura de un vector dentro de una pose, elaboración propia.

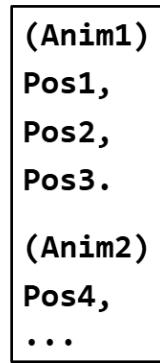


Figura N° 20 : Sintaxis de una animación dentro del lenguaje de animación, elaboración propia.

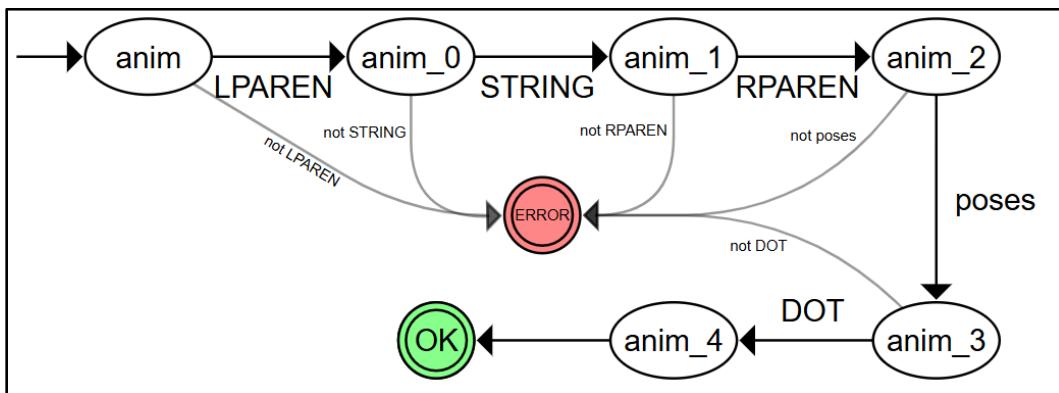


Figura N° 21 : Autómata asociado a la lectura de una animación, elaboración propia.

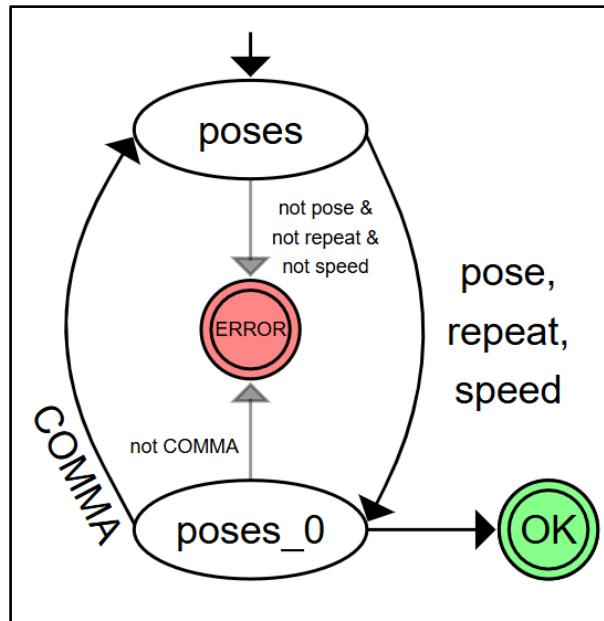


Figura N° 22 : Autómata asociado a la lectura de “poses” dentro de una animación, elaboración propia.

• Función REPEAT

La función REPEAT cumple la función de repetir un número dado de veces la transición de una o más posiciones clave. Es útil cuando se requiere hacer un mismo movimiento varias veces dentro de la seña de una palabra.

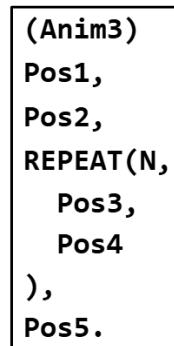


Figura N° 23 : Sintaxis de la función REPEAT dentro del lenguaje de animación, elaboración propia.

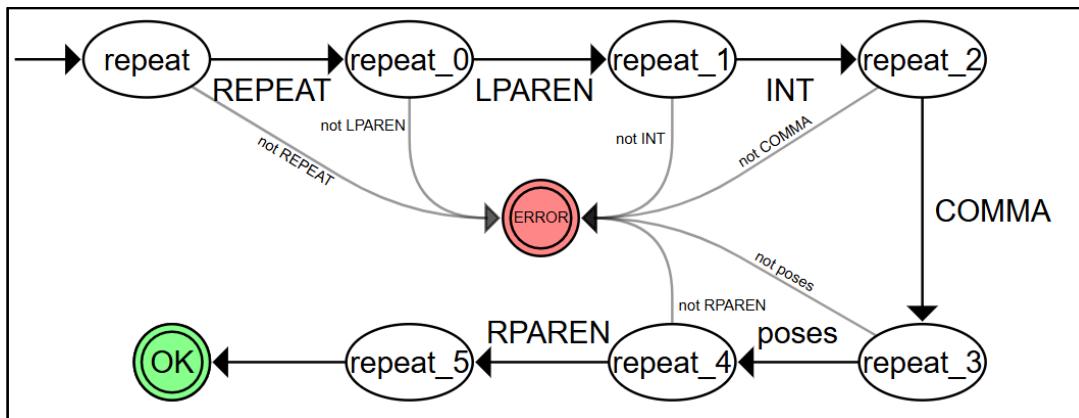


Figura N° 24 : Autómata asociado a la lectura de la función REPEAT, elaboración propia.

• Función SPEED

La función SPEED modifica la velocidad de las transiciones entre cada posición clave, por lo que puede acelerar o ralentizar los movimientos que le sean indicados por medio del valor que se le asigne a la función. Pese a tener un uso distinto, la función SPEED tiene la misma sintaxis que la función REPEAT, a diferencia de que el número N representa el factor multiplicativo de la velocidad de la animación.

```
(Anim4)
Pos1,
Pos2,
SPEED(N,
Pos3,
Pos4
),
Pos5.
```

Figura N° 25 : Sintaxis de la función SPEED dentro del lenguaje de animación, elaboración propia.

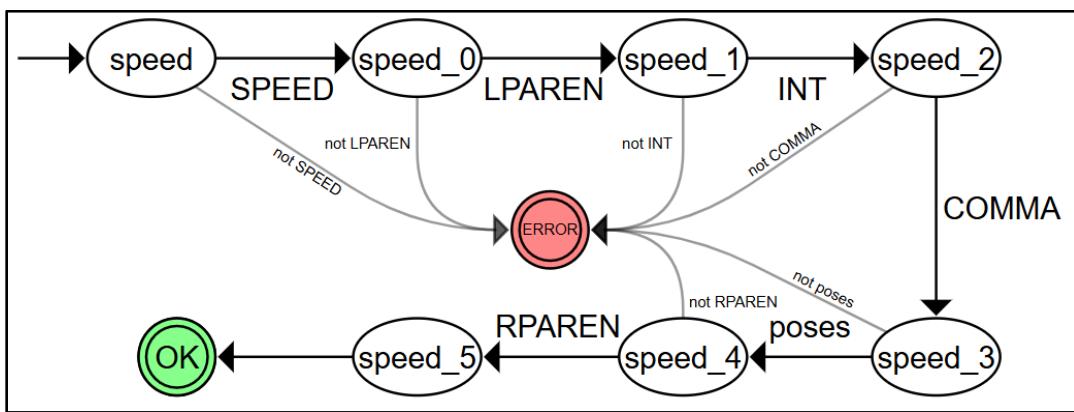


Figura N° 26 : Autómata asociado a la lectura de la función SPEED, elaboración propia.

En adición, se tomó en cuenta la posibilidad de utilizar ambas funciones al mismo tiempo en caso de ser necesario, de modo que la sintaxis de ambas funciones comprende una posible anidación dentro de ellas.

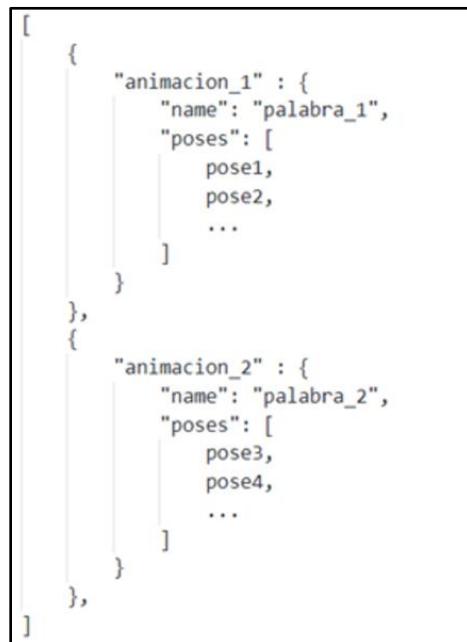
```
(Anim5)
Pos1,
REPEAT(NR,
SPEED(NS,
Pos2,
Pos3,
),
).
```

Figura N° 27 : Ejemplo de combinación de las funciones del lenguaje de animación, elaboración propia.

6.1.3.2. Compilación del lenguaje y creación de la base de datos

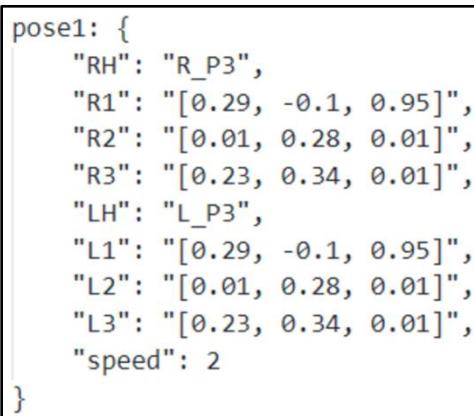
Dentro de la tabla en la hoja de cálculo de Google Sheets, cada palabra de la LSB corresponde a una fila, la cual tiene una columna donde se guarda el script de las instrucciones para la

animación del gesto, sin compilar, y otra columna para el tipo de expresión facial a aplicar si es que se requiere una que no sea la expresión por defecto. Para su compilación, se creó un programa que, al ejecutarse, lee dicha tabla y recupera estos dos parámetros. Posteriormente, la compilación crea un archivo de tipo JSON que transforma las instrucciones a su estado más simple, descomprimiendo las funciones, si es que fueron utilizadas. Se puede observar un ejemplo en las figuras a continuación.



```
[  
  {  
    "animacion_1": {  
      "name": "palabra_1",  
      "poses": [  
        pose1,  
        pose2,  
        ...  
      ]  
    }  
  },  
  {  
    "animacion_2": {  
      "name": "palabra_2",  
      "poses": [  
        pose3,  
        pose4,  
        ...  
      ]  
    }  
  },  
]
```

Figura N° 28 : Estructura de la base de datos dentro del archivo JSON, elaboración propia.



```
pose1: {  
  "RH": "R_P3",  
  "R1": "[0.29, -0.1, 0.95]",  
  "R2": "[0.01, 0.28, 0.01]",  
  "R3": "[0.23, 0.34, 0.01]",  
  "LH": "L_P3",  
  "L1": "[0.29, -0.1, 0.95]",  
  "L2": "[0.01, 0.28, 0.01]",  
  "L3": "[0.23, 0.34, 0.01]",  
  "speed": 2  
}
```

Figura N° 29 : Ejemplo de una pose guardada en la base de datos de animaciones, elaboración propia.

Esta base de datos será leída por el add-on personalizado de *Blender* para realizar dichas animaciones. Sin embargo, la expresión facial no es procesada en esta sección ya que, como se

verá a continuación, se añade en la última etapa de la animación, antes de ser enviada al usuario y no durante el proceso de animación.

6.2. Proceso de creación del avatar 3D

Un avatar 3D es una representación digital tridimensional de una entidad, el cual suele ser un ser humanoide y puede utilizarse en una gran variedad de contextos, como videojuegos, realidad virtual, aplicaciones educativas y herramientas de comunicación. Su diseño y creación involucran técnicas de modelado, texturizado y animación para dotarlo de características visuales y comportamientos realistas o estilizados, según las necesidades del proyecto. Estas figuras destacan por poder reflejar rasgos específicos como género, vestimenta, expresiones faciales y movimientos corporales, lo que los convierte en herramientas versátiles y representativas.

En el marco de este proyecto, el modelado del avatar se llevó a cabo utilizando *Blender*, una herramienta de modelado y animación tridimensional ampliamente reconocida por su flexibilidad y funcionalidad de código abierto. Esta elección pudo garantizar que el diseño del avatar cumpliera con los requisitos de accesibilidad, amigabilidad e inclusión establecidos en los objetivos del proyecto. De este modo, se explicará el proceso por el cual se desarrolló el avatar utilizado en el presente TFG.

6.2.1. Análisis de requerimientos del usuario

De acuerdo con los análisis de requerimientos realizados, el usuario necesita que el avatar sea fácil de entender, cada dedo debe distinguirse y cada expresión facial debe poder comprenderse. Asimismo, los movimientos realizados por el avatar deben ser naturales, al igual que su diseño amigable y familiar.

Al mismo tiempo, el avatar debe ser simple, de modo que las animaciones sean concisas y simples de realizar. Es por ello, que se decidió modelar un avatar de aspecto humanoide y para no lidiar con una apariencia específica, este simulará parecerse a un robot.

6.2.2. Definición de un avatar de características amigables e inclusivas

En correspondencia a lo mencionado anteriormente, el avatar tendrá un aspecto de robot, como de juguete, para evitar que el usuario forme algún prejuicio sobre su apariencia. Del mismo modo, para que los gestos de las manos sean fáciles de comprender y más visibles, cada dedo tendrá un color que en conjunto sean agradables a la vista.

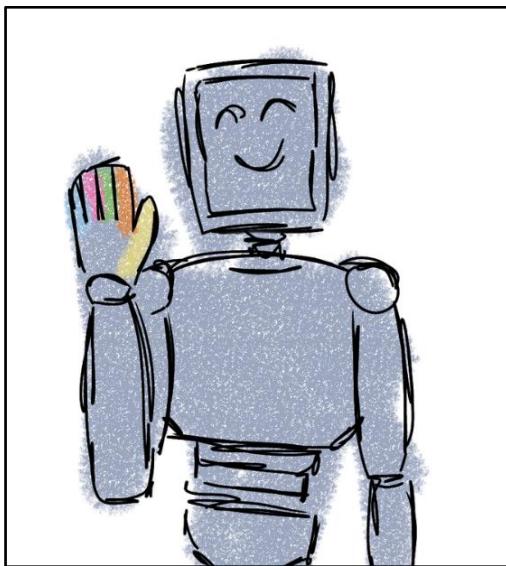


Figura N° 30 : Boceto del intérprete virtual, elaboración propia.

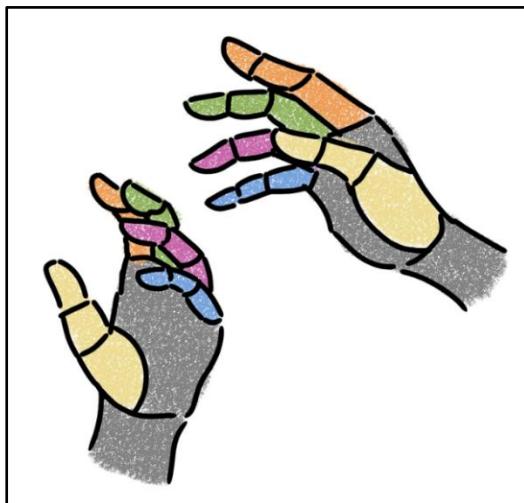


Figura N° 31 : Boceto de las manos del intérprete virtual, elaboración propia.

Se propone que el "rostro" del avatar simule una pantalla, de modo que el cambio de expresiones sea un simple cambio de imágenes, ya que manipular los movimientos de un rostro

semejante al humano implica un manejo de parámetros muy complejos ajenos al propósito del proyecto.

6.2.3. Proceso de creación de un avatar articulado y escalable

El modelo base con el que fue creado el avatar se obtuvo de un sitio web llamado “Mocap Market”, el cual es una empresa que vende productos y servicios de captura de movimiento. Por ende, ofrece un catálogo de animaciones aplicables a su avatar y entre ellas también animaciones de la ASL, Lengua de Señas Americana, y la LSM, Lengua de Señas Mexicana (42). Este modelo fue elegido por su gran semejanza a los huesos y articulaciones del cuerpo humano, además por las facilidades que ofrece para ser utilizado y personalizado.

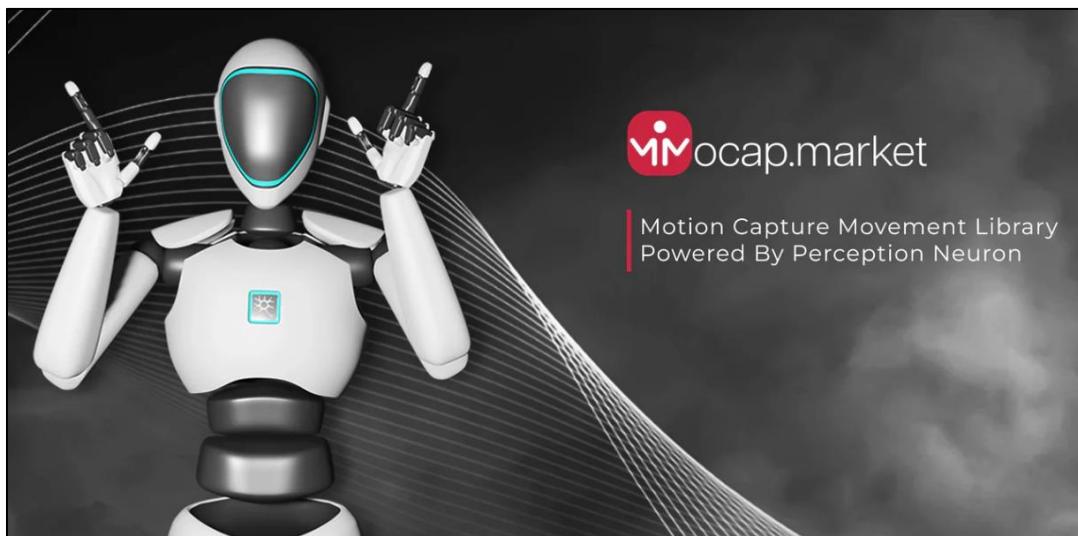


Figura N° 32 : Encabezado de la página web de Mocap Market (42).

Posteriormente, dicho modelo fue modificado y adecuado para las necesidades del proyecto. Por lo tanto, se modificaron principalmente las secciones de la cabeza, torso y manos del avatar, como se puede ver en la figura N°33.

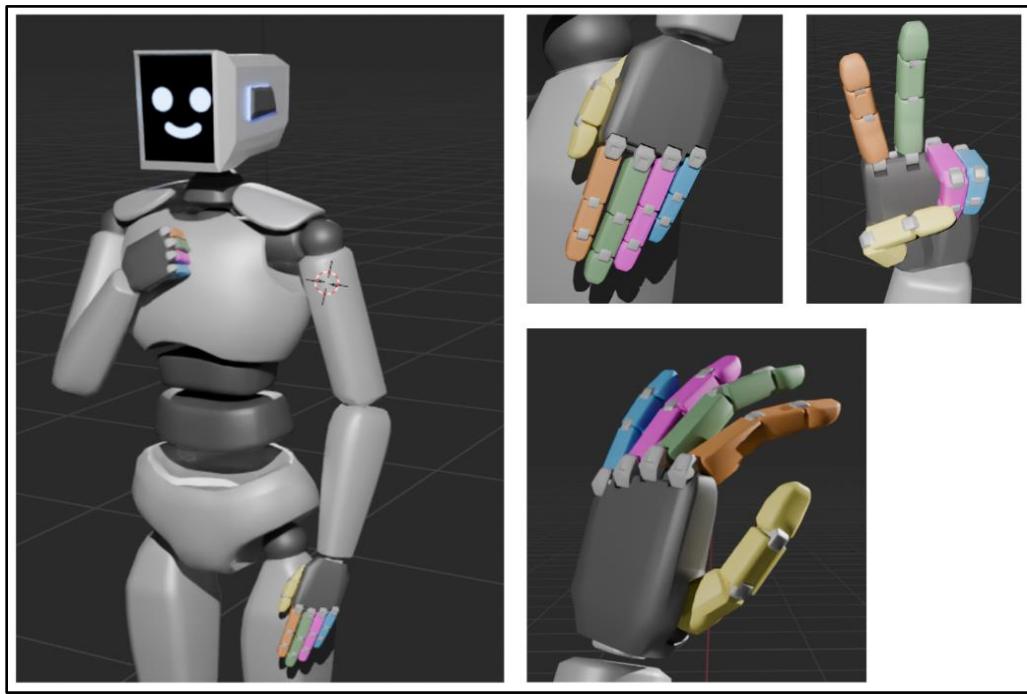


Figura N° 33 : Modelo final del intérprete virtual y enfoque al diseño de sus manos, elaboración propia.

En la figura N°34, a la izquierda se observa el aspecto original del rostro y hombros del avatar y, a la derecha, el aspecto actual del modelo adaptado para el proyecto.

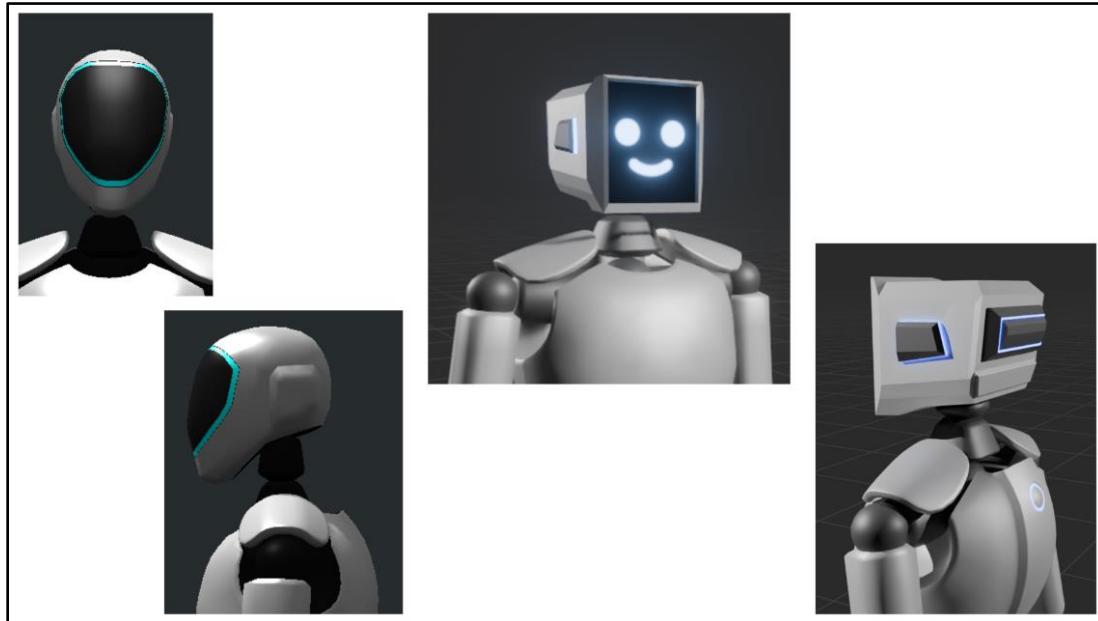


Figura N° 34 : Comparación entre el modelo inicial (izquierda) y el modelo modificado (derecha) del avatar, elaboración propia.

6.3. Creación del Add-on de Blender adaptado

6.3.1. Desarrollo

La creación de un add-on en *Blender* fue bastante intuitiva y sencilla de personalizar debido a la documentación que existe al respecto y el soporte que hay dentro de su comunidad. Sin embargo, la arquitectura de Python en *Blender* no permite importar archivos, por lo que todo su programa tuvo que ser escrito en un solo archivo largo y sin categorización.

El desarrollo del add-on implicó muchas iteraciones de mejora y perfeccionamiento de las herramientas debido a que las necesidades mismas de la animación del avatar fueron evolucionando. Asimismo, fue necesario utilizar archivos externos para guardar valores importantes para el funcionamiento del programa, como una forma de evitar una codificación rígida dentro del add-on, permitir escalabilidad y la posibilidad de realizar un cambio fácil a los parámetros del proyecto en caso de ser necesario. Estos valores importantes comprenden archivos de tipo *FBX*, acrónimo de *Filmbox*, de las posiciones de las manos, constantes de escalas y los nombres de los huesos del avatar.

6.3.2. Funcionalidades

Una vez que el archivo con el código del funcionamiento del add-on es ejecutado, este aparece en el costado derecho de la pantalla, como se puede ver en las siguientes figuras.

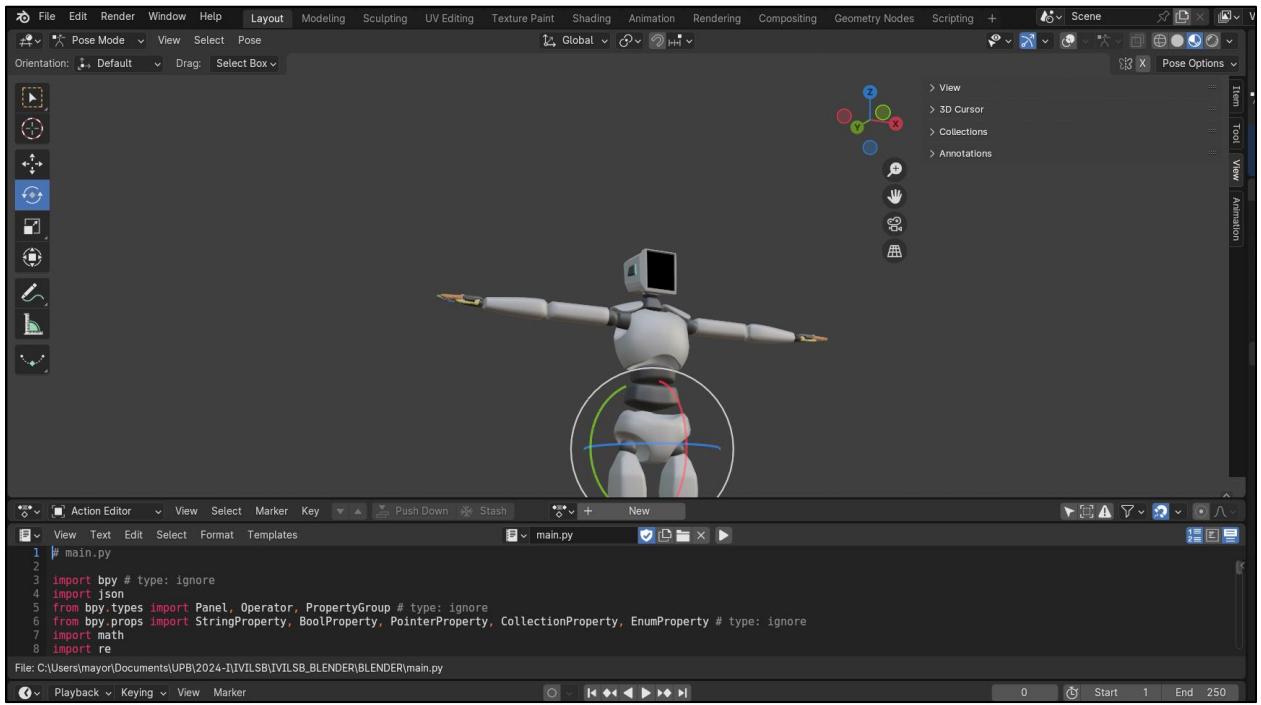


Figura N° 35 : Vista general de la interfaz de Blender con su apartado en la zona inferior que permite editar y ejecutar el script, elaboración propia.

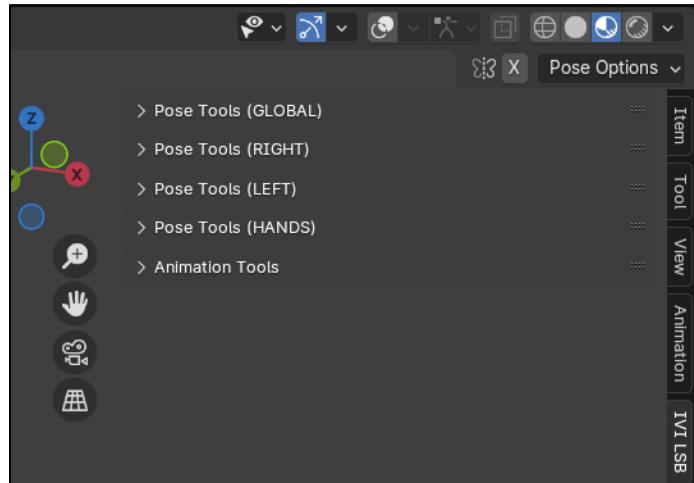


Figura N° 36 : Interfaz gráfica del add-on después de la ejecución del script, elaboración propia.

El add-on contiene cinco secciones principales, las configuraciones globales, que comprenden tanto los brazos como las manos; las configuraciones del brazo derecho, las configuraciones del brazo izquierdo, las configuraciones de las manos y las configuraciones de animación.

Las configuraciones globales contienen secciones que permiten cargar variables importantes como las escalas individuales y los nombres de los huesos a manipular; la base de datos de las

animaciones, si es que hay una; y las posiciones clave previamente creadas de las manos. Además, es posible ingresar una pose global escrita según la sintaxis del lenguaje de animación, lo cual es útil para hacer que el avatar adopte una posición específica ya creada o revisar alguna posición en caso de no recordarla o querer corregirla. Del mismo modo hay un botón que permite copiar la posición global que el avatar esté adoptando en ese momento o restablecer su posición si es necesario.

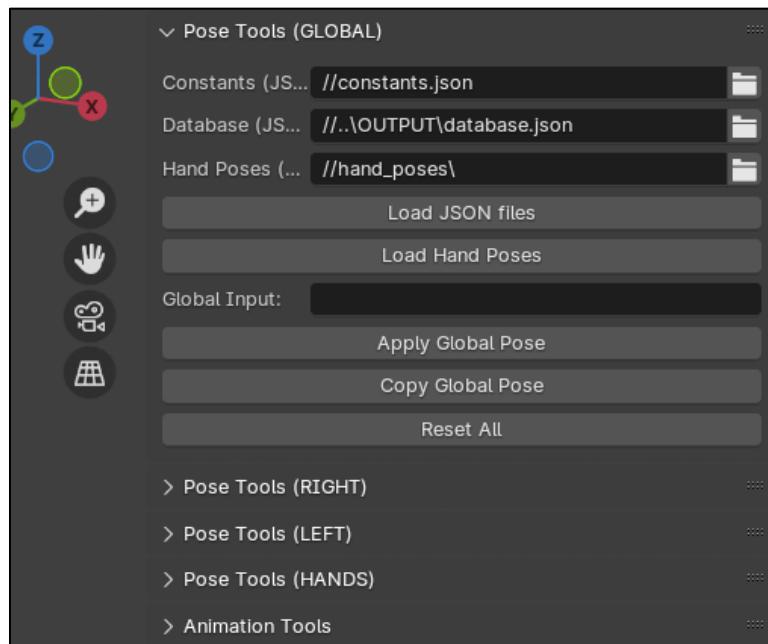


Figura N° 37 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Global”. Elaboración propia.

Dentro del programa existen tres formas posibles de manipular los brazos del avatar, una de ellas es de forma directa interactuando con el avatar del escenario y las otras dos por medio del add-on, dentro de la categoría de las configuraciones de los brazos, tanto derecho como izquierdo. Estas son la manipulación por rotaciones reales y rotaciones escaladas, como se puede ver en la imagen a continuación. Además, las posiciones pueden sincronizarse entre los manipuladores o restaurarse si es necesario.

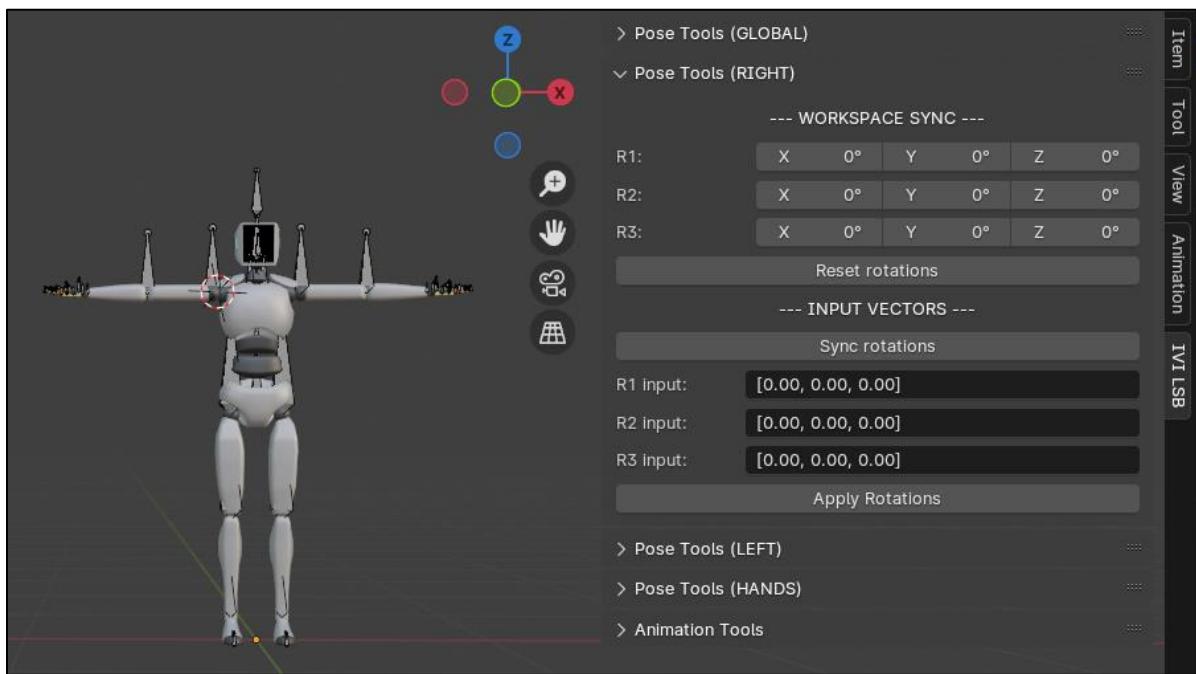


Figura N° 38 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Brazo Derecho”. Elaboración propia.

La visualización y manipulación de las manos se define por medio de las opciones que ofrece el add-on, el cual muestra todas las posiciones posibles de las manos de acuerdo a aquellas que fueron previamente creadas y cargadas al programa, como se puede ver en las siguientes imágenes.

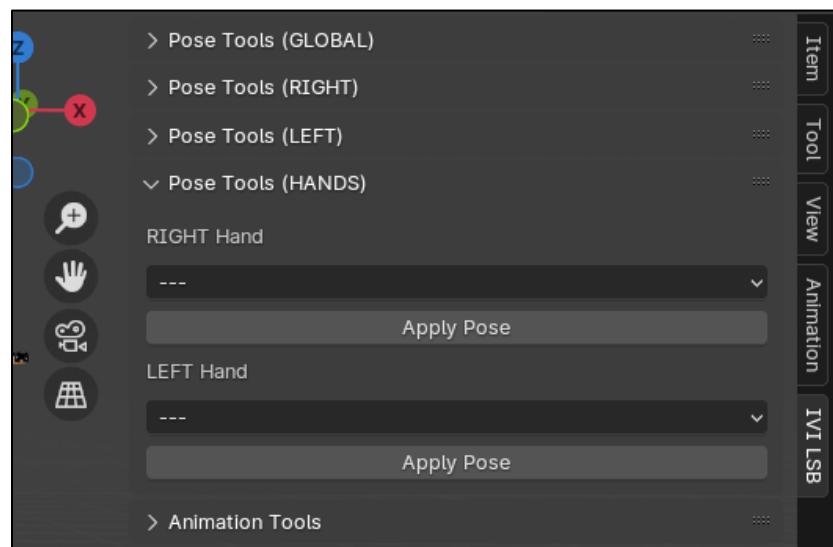


Figura N° 39 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Manos”. Elaboración propia.

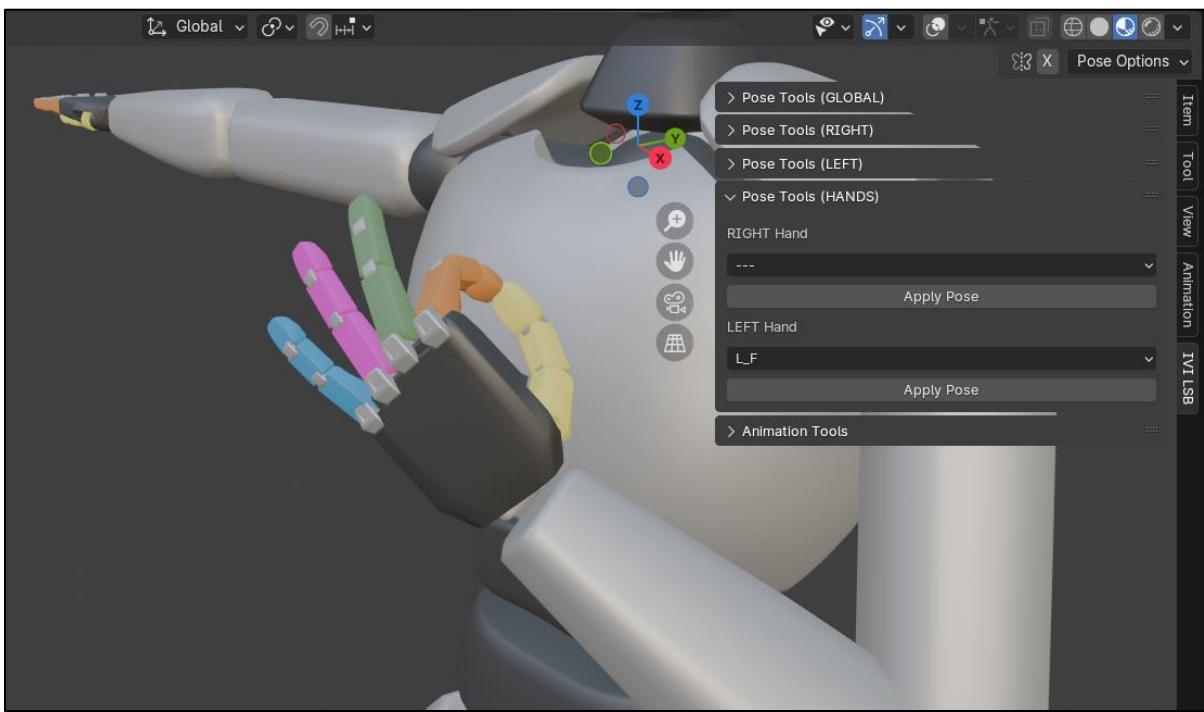


Figura N° 40 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Manos” con la pose “L_F” seleccionada para la mano izquierda. Elaboración propia.

Finalmente, se encuentra la sección de configuraciones de la animación automática, la cual es corta porque no requiere de muchos parámetros debido a que la animación se centra en hacer una transición natural de una posición clave a otra. Esta sección es utilizada para revisar las animaciones creadas en base a dichas posiciones y confirmar que los movimientos se vean realistas y coherentes a la señal que se quiere interpretar. Como se puede ver en la figura N°41, es posible regular la cantidad de frames¹⁴ entre cada pose. Es importante destacar que el sistema genera animaciones a 24 FPS (Frames per second) lo que hace que una pose dure por defecto 0.6 segundos, de modo que con SPEED 2 dure 0.3 segundos y con SPEED 3 dure 0.2 segundos.

¹⁴ Frame: Imagen concreta dentro de una sucesión de imágenes en movimiento.

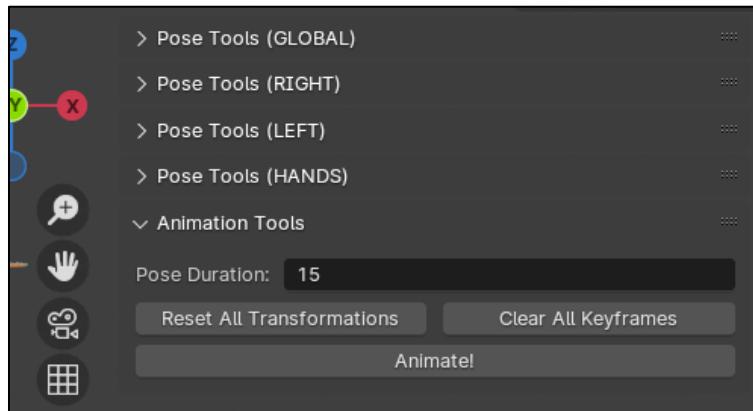


Figura N° 41 : Interfaz gráfica del add-on – Sección “Animación”. Elaboración propia.

En adición a las características implementadas al add-on, se creó un sistema de Logs que muestra mensajes por consola para hacer seguimiento a los procesos que suceden por debajo de cada interacción y conocer más detalles de posibles conflictos o errores.

Al finalizar cada animación, la cual se crea por medio del script de la concatenación de más de una posición clave, esta se exporta directamente a un archivo FBX único, con parámetros predeterminados, que posteriormente será utilizado al interactuar con la página web.

6.4. Interpretación del texto

6.4.1. Tecnologías utilizadas para la interpretación

El asistente utilizado para la interpretación del texto se basa en el seguimiento de reglas predefinidas, las cuales indican el formato y normas que se deben seguir para la interpretación, tales como la estructura gramatical de la LSB, ejemplos de oraciones e instrucciones sobre el procedimiento a seguir.

Las instrucciones dadas al asistente se asemejan al formato utilizado usualmente en el *prompt engineering*. Por lo que estas instrucciones comprenden una sección de contextualización, donde se le “explica” al asistente su función, otra sección donde se da la información necesaria para su correcto funcionamiento, posteriormente se dan las reglas del resultado esperado y, finalmente, ejemplos de un resultado correcto (anexo C).

6.4.2. Detalles para tomar en cuenta

En la actualidad, aún existen palabras del español que no tienen una seña específica y oficial

dentro del glosario de la LSB. Este detalle implica que no todas las palabras dadas a interpretación tendrán su equivalente exacto en la LSB, por lo que se debe buscar sinónimos o frases equivalentes. Esto implica que el asistente debe conocer estos límites, es decir, el programa de interpretación debe ser capaz de identificar y verificar que el texto guía resultante del asistente utilice palabras existentes dentro del glosario de la LSB.

6.4.3. Elección del modelo LLM

Debido a la ausencia de una base de datos del texto guía de la LSB, no es posible hacer un *fine-tuning* en modelos básicos, por lo que no existen muchas más opciones más que utilizar modelos “inteligentes”, ya entrenados, como los asistentes de OpenAI.

De este modo, para la elección de un modelo LLM adecuado para el asistente, OpenAI propone una diversa cantidad de modelos disponibles para sus APIs. Sin embargo, mientras más potente sea el modelo, es más costoso. Por lo que no es tan simple elegir directamente el “mejor modelo”, ya que es posible que, a partir de cierta potencia, el resultado deje de presentar cambios relevantes. Los modelos puestos a prueba fueron GPT-3, GPT-4, GPT-4o y GPT-4o mini.

Finalmente se concluye que el modelo más apto para el asistente es el GPT-4o. El estudio detallado de esta comparativa se puede observar en el anexo A.

6.4.4. Bucle de Verificación Iterativa

Es un hecho que la IA puede cometer errores y esta situación es más común en el caso de este proyecto debido a que las instrucciones dadas al asistente no limitan la interpretación, sino que la orientan hacia un resultado esperado. A causa de ello, se implementó un mecanismo de verificación que detecta si la respuesta del asistente tiene algún error. En el caso de que sí lo detecte, vuelve a lanzar la petición añadiendo las palabras que no existen en la LSB como reglas adicionales.

Con este sistema, se necesitan alrededor de 2 o 3 iteraciones para generar una frase coherente a la LSB y que se utilicen únicamente las palabras disponibles. Por ejemplo, en las siguientes figuras se muestra la ejecución aislada de la frase “Lluvias causan inundaciones en Cochabamba y La Paz y afectan cultivos”, donde se obtiene una interpretación correcta y coherente al tercer intento.

```

|-----|
| intento: 1 |
|-----|
Sending user prompt...
Creating run...
Run created with ID: run_SFrwmsY21Upvjmj4MARuWrjo, waiting for completion...
Run status: in_progress
Waiting for run to complete... (Attempt 1/15)
Run status: completed
Run completed in 00:00:01
Response : Lluvia Cochabamba La_Paz Inundación . Inundación afectar Cultivos .
- afectar | No hay palabra similar en la LSB.
- Cultivos | No hay palabra similar en la LSB.

|-----|
| intento: 2 |
|-----|
Sending user prompt...
Creating run...
Run created with ID: run_FFBXEd0iPZ6j5ouD4IWMa9Kh, waiting for completion...
Run status: in_progress
Waiting for run to complete... (Attempt 1/15)
Run status: completed
Run completed in 00:00:02
Response : Lluvia Cochabamba La_Paz Inundación . Inundación dañar Plantas .
- Plantas | No hay palabra similar en la LSB.

```

Figura N° 42 : Ilustración del ciclo de comunicación con el asistente de OpenAI tras dos intentos fallidos debidos al uso de palabras no existentes dentro del diccionario LSB, elaboración propia.

Desde el primer intento se puede observar que la frase es interpretada respetando correctamente la estructura gramatical de la LSB. Sin embargo, incluye palabras que no están disponibles en el glosario de la lengua, como “afectar” y “cultivos”, por lo que esta información adicional se adjunta con las instrucciones ya dadas al asistente y se vuelve a pedir una interpretación. Esta resulta en el intento número dos, en donde la estructura gramatical se mantiene, pero se reemplazan las palabras no existentes por el sinónimo más cercano en relación al contexto de la frase.

Para el segundo intento, la palabra “afectar” es reemplazada por “dañar”, la cual es una palabra que sí existe dentro del glosario de la LSB y la palabra “cultivos” se reemplaza por “plantas”. En este intento, se adjunta la palabra “planta” por no estar dentro de la LSB y se envía nuevamente la petición.

```
| intento: 3 |
|-----|
Sending user prompt...
Creating run...
Run created with ID: run_J6RcfE4Kuw9JTevXPpJ1jUwk, waiting for completion...
Run status: in_progress
Waiting for run to complete... (Attempt 1/15)
Run status: in_progress
Waiting for run to complete... (Attempt 2/15)
Run status: completed
Run completed in 00:00:07
Response : Lluvia Cochabamba La_Paz Inundación . Inundación dañar Tierra .
```

Figura N° 43 : Ilustración del ciclo de comunicación con el asistente de OpenAI. Después del tercer intento, la frase es gramaticalmente correcta y contiene palabras existentes dentro del LSB, elaboración propia.

Finalmente, el asistente propone la palabra “tierra” como reemplazo a la ausencia de la palabra “planta”, la cual es aceptada. Si bien esas palabras no son sinónimos exactos, dentro del contexto reflejan una idea similar, es decir, una inundación que daña los cultivos también daña la tierra donde crecen.

Asimismo, si se añade mayor información a la frase, la respuesta puede variar, ya que algunos resultados de esta misma frase han reemplazado la palabra “cultivos” por “alimentos” en situaciones donde se desarrolla que dicha inundación dañó cultivos utilizados para consumo humano. Cabe mencionar que una consecuencia de este proceso iterativo es el costo tanto en recursos del asistente de OpenAI, como de tiempo. De modo que, dependiendo del largo de la frase y su complejidad, la respuesta puede tardar más tiempo en ser procesada. Sin embargo, el tiempo de respuesta depende de un máximo de 5 intentos de interpretación, donde cada iteración está condicionada a un límite determinado de tiempo, caso contrario se le indicará al usuario que la frase no pudo ser procesada debido a un error en su interpretación, como se menciona en la delimitación de este proyecto.

6.5. Transición del glosario de la LSB a la animación señante del avatar 3D

6.5.1. Captura vectorial de posiciones clave de las señas

La creación de cada posición clave en cada seña de la LSB se crea a través de add-on implementado en Blender. Para ello, se observan las posiciones clave de cada seña y se imitan utilizando el avatar. A razón de describir el proceso con mayor detalle, se mostrará un ejemplo con la palabra “Mujer”.

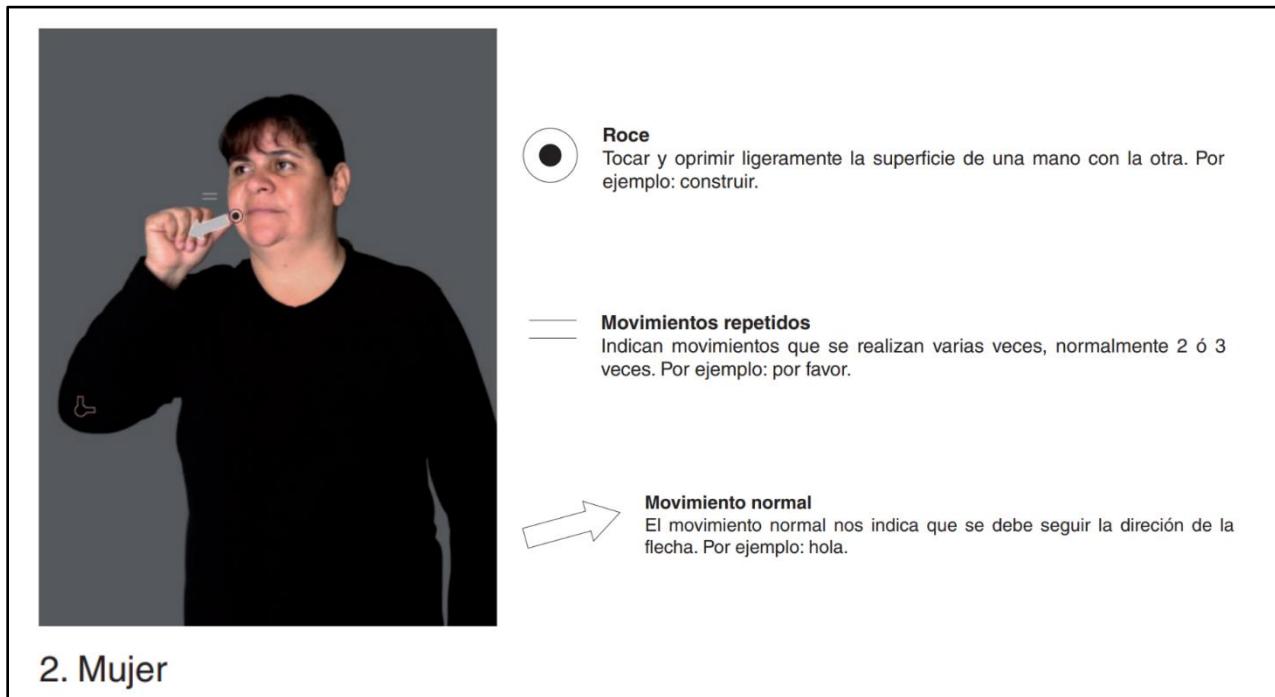


Figura N° 44 : Descripción de la seña asociada a la palabra “mujer” y sus movimientos asociados (1).

Como se puede ver en la figura N°44, la palabra “mujer” comprende dos posiciones clave que se repiten al menos dos veces. La primera posición muestra el brazo izquierdo de forma pasiva e inactiva durante el resto del gesto y el brazo derecho flexionado de manera que la mano sea capaz de tocar el rostro con el dedo pulgar. La mano simula un puño con el dedo pulgar abierto y apuntando hacia afuera del centro de la mano, para tocar el rostro.

La segunda posición clave mantiene la misma postura del brazo y mano, exceptuando que el rostro ya no se encuentra en contacto con el pulgar, ya que el codo se abre para alejar la mano del rostro en dirección opuesta a este.

Tomando en cuenta estas dos posiciones clave, se procede a imitarlas con el avatar y capturar la posición global de cada una, la cual es una funcionalidad dentro de las configuraciones globales del add-on. Esta se copia en portapapeles y puede insertarse en cualquier campo de texto para ser editada o ampliada a gusto. El formato ya se encuentra correctamente adaptado para ser aceptado por el compilador previamente creado.

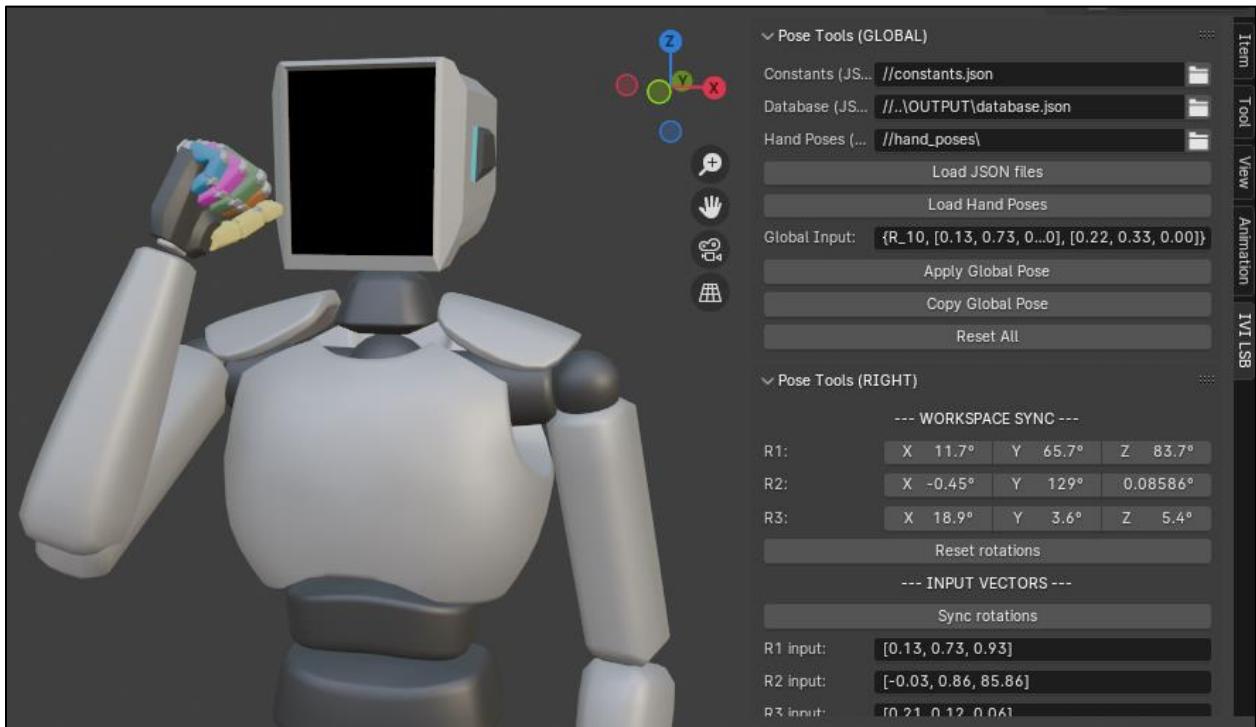


Figura N° 45 : Modelado de la primera posición clave de la palabra "mujer", elaboración propia.

```
{R_10, [0.13, 0.73, 0.93], [-0.03, 0.86, 85.86], [0.21, 0.12, 0.06]} -  
{L_P3, [0.28, -0.11, 0.90], [0.00, 0.20, 0.00], [0.22, 0.33, 0.00]}
```

Figura N° 46 : Primera posición clave de la palabra "mujer" según la sintaxis del lenguaje de animación, texto recuperado mediante el botón "Copy Global Pose" del add-on, elaboración propia.

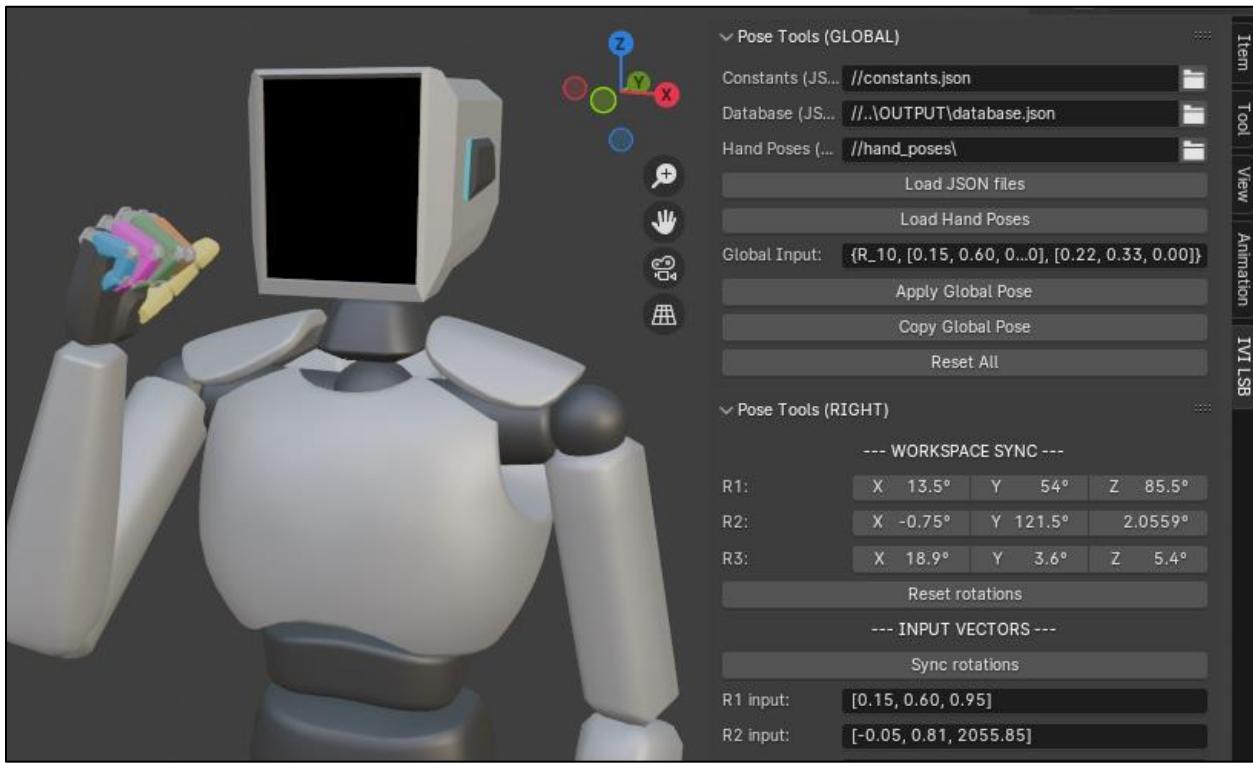


Figura N° 47 : Modelado de la segunda posición clave de la palabra “mujer”, elaboración propia.

```
{R_10, [0.15, 0.60, 0.95], [-0.05, 0.81, 2055.85], [0.21, 0.12, 0.06]} -  
{L_P3, [0.28, -0.11, 0.90], [0.00, 0.20, 0.00], [0.22, 0.33, 0.00]}
```

Figura N° 48 : Segunda posición clave de la palabra “mujer” según la sintaxis del lenguaje de animación, texto recuperado mediante el botón “Copy Global Pose” del add-on, elaboración propia.

Posterior a ello, se arma el script de acuerdo a estas posiciones clave y las características del movimiento de la seña. Dependiendo del movimiento necesario, se llaman a las funciones “Repeat” o “Speed”. Este script se coloca en su respectiva casilla dentro de la base de datos. En el caso que se da de ejemplo, la seña “mujer” comprende la repetición de dos veces el mismo gesto. De esta forma, el script de esa seña se ve como se muestra en la figura N°49.

(MUJER)

```
REPEAT(2,  
    {R_10,[0.13,0.73,0.93],[-0.03,0.86,85.86],[0.21,0.12,0.06]} -  
    {L_P3,[0.28,-0.11,0.90],[0.00,0.20,0.00],[0.22,0.33,0.00]},  
    {R_10,[0.15,0.60,0.95],[-0.05,0.81,2055.85],[0.21,0.12,0.06]} -  
    {L_P3,[0.28,-0.11,0.90],[0.00,0.20,0.00],[0.22,0.33,0.00]}  
).
```

Figura N° 49 : Animación de la palabra "mujer" escrita en el lenguaje de animación, elaboración propia.

Finalmente, el script de la figura anterior se inserta dentro de la base de datos en Google Sheets, la cual queda como en la figura N°50.

	A	I	J	K	L	M	N
1	Words	Script	Note	Mov extra characteristic	PDF module	Category	Book notes
22	Mujer	REPEAT(2,{R_10,[0.13,0.73,0.93],[-0.03,0.86,85.86],[0.21,0.12,0.06]} - {L_P3,[0.28,-0.11,0.90],[0.00,0.20,0.00],[0.22,0.33,0.00]}, {R_10,[0.15,0.60,0.95],[-0.05,0.81,2055.85],[0.21,0.12,0.06]} - {L_P3,[0.28,-0.11,0.90],[0.00,0.20,0.00],[0.22,0.33,0.00]}))					
703							
704							
705							

Figura N° 50 : Animación de la palabra "mujer" guardada dentro de la base de datos, elaboración propia.

En adición, es posible verificar que la animación funciona como se espera probándola a través del compilador del programa creado y el add-on de *Blender*, en la sección de configuraciones de animación. Cabe destacar que el programa crea automáticamente las transiciones de una posición clave a otra.

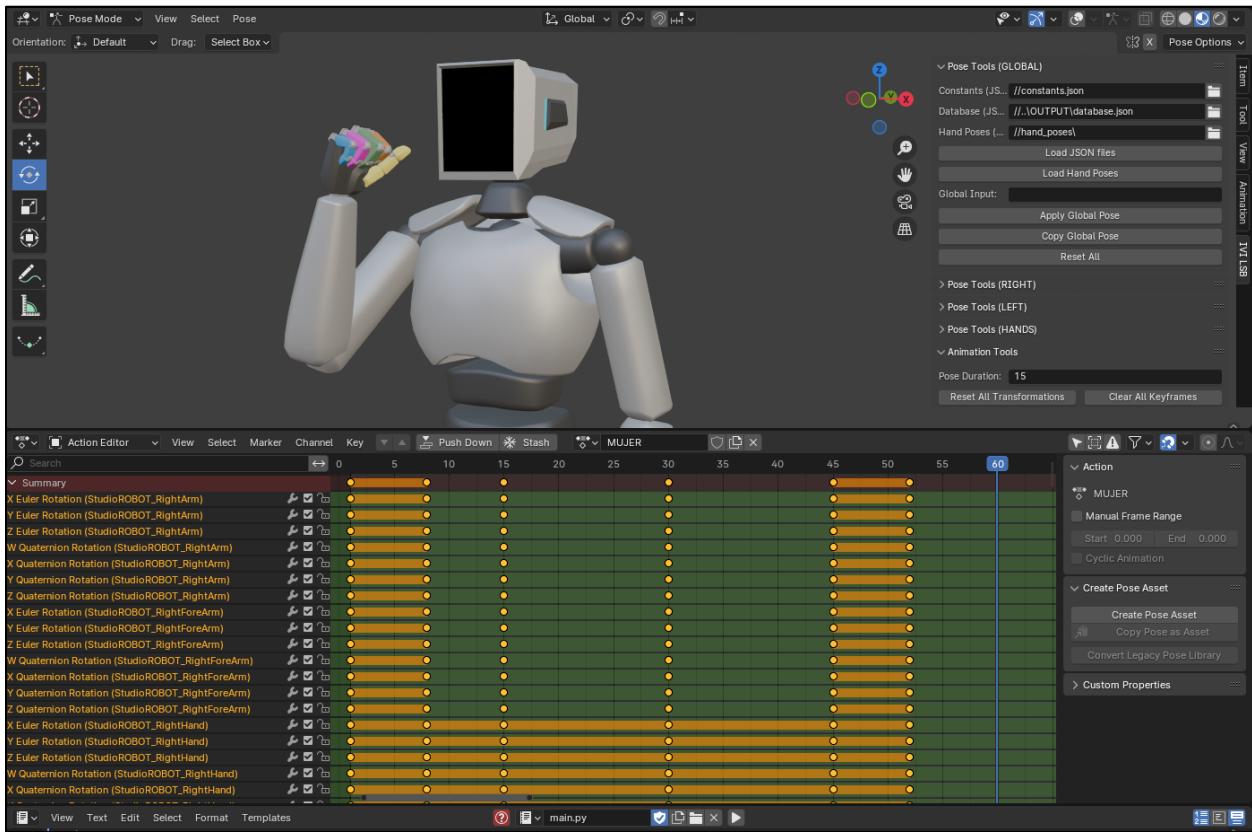


Figura N° 51 : Vista del apartado de animación en Blender, la animación presentada es asociada a la palabra “mujer”. Elaboración propia.

6.6. Creación de una aplicación web que incorpore el presente proyecto

6.6.1. Definición de diseño de interfaz de acuerdo a los requerimientos

Los requerimientos para el diseño de interfaz comprenden distintos tipos de necesidades y características. El usuario debe ser considerado en base a sus dos principales concepciones, el usuario como estudiante o como posible persona poco adaptada al uso de una página web y el usuario como persona Sorda, en específico considerando a aquellas que poseen una poca comprensión del español escrito.

En base a estas concepciones, la interfaz debe ser intuitiva y simple, para que el usuario pueda comprender fácilmente su funcionamiento; al mismo tiempo debe ser visualmente cómoda y estética, para llamar la atención de la persona Sorda que es principalmente una persona visual.

Del mismo modo, se debe priorizar utilizar símbolos antes que palabras, dado que serán mejor comprendidos por este sector de la población. Además, como rigor para mejoras futuras, el diseño de interfaz debe respetar un sistema de desarrollo documentado y una estructura dinámica a razón de poder adaptarse a distintos tamaños de pantalla y facilitar futuros cambios en caso de ser necesario.

6.6.2. Desarrollo de la interfaz web

El diseño de la interfaz se compone de cuatro secciones principales, la cabecera de la página, donde se puede observar el título de la página web y albergar, a futuro, un posible menú; la zona de texto, donde se ingresarán las frases a interpretar; la zona del intérprete, lugar donde se encontrará el avatar que realice las animaciones; y la zona de botones dinámicos, zona en la que se encontrarán las opciones para enviar el texto a interpretación y el manejo de la reproducción de las animaciones.

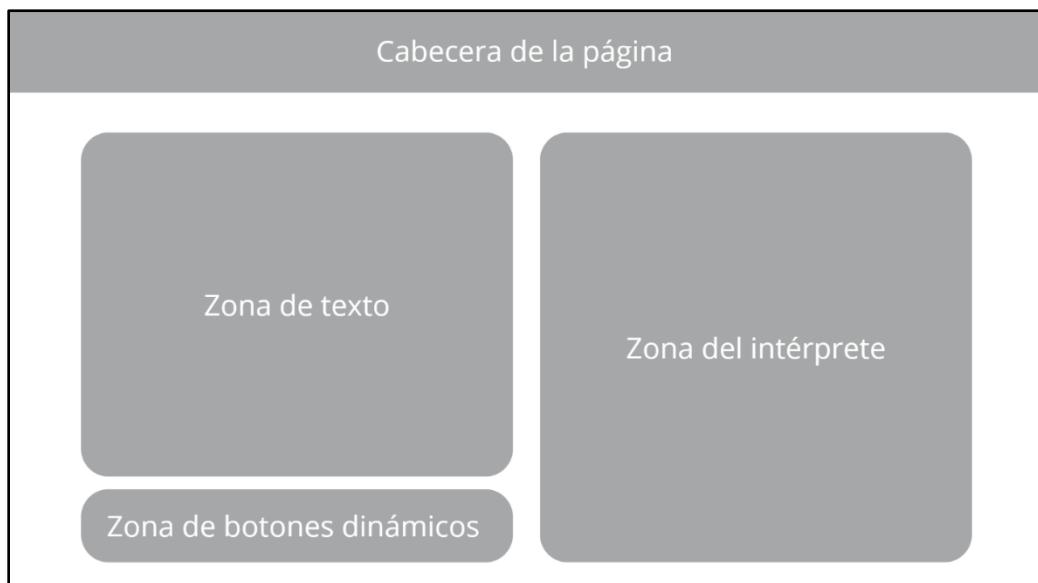


Figura N° 52 : Boceto de las regiones de la interfaz gráfica – vista “Computadora”, elaboración propia.

Considerando que la interfaz debe ser dinámica, estas cuatro secciones deben estar igual de bien distribuidas para pantallas de orientación vertical. Como se puede observar en figura N°53.



Figura N° 53 : Boceto de las regiones de la interfaz gráfica – vista “Teléfono”, elaboración propia.

En base a esta estructura, se creó la interfaz considerando colores neutros, comunes en espacios educacionales y coherentes a los colores y diseño del avatar. De esta forma, el diseño final se observa como en las siguientes figuras.

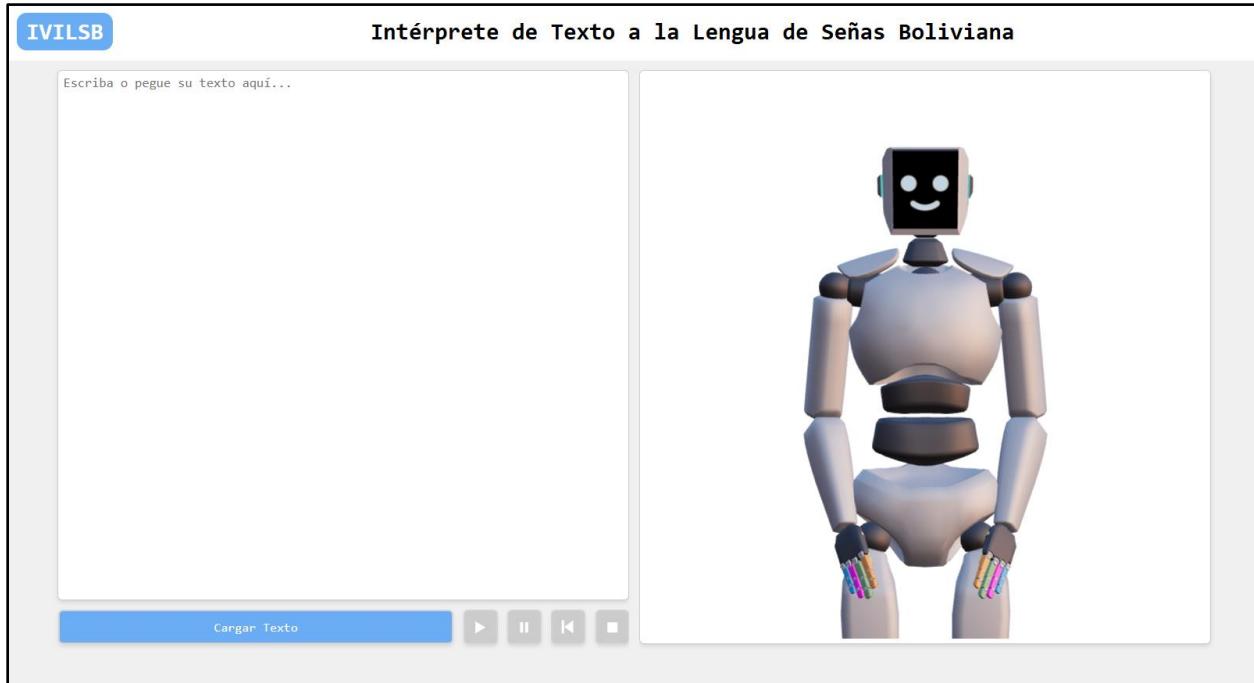


Figura N° 54 : Interfaz gráfica de la aplicación web – vista “Computadora”, elaboración propia.

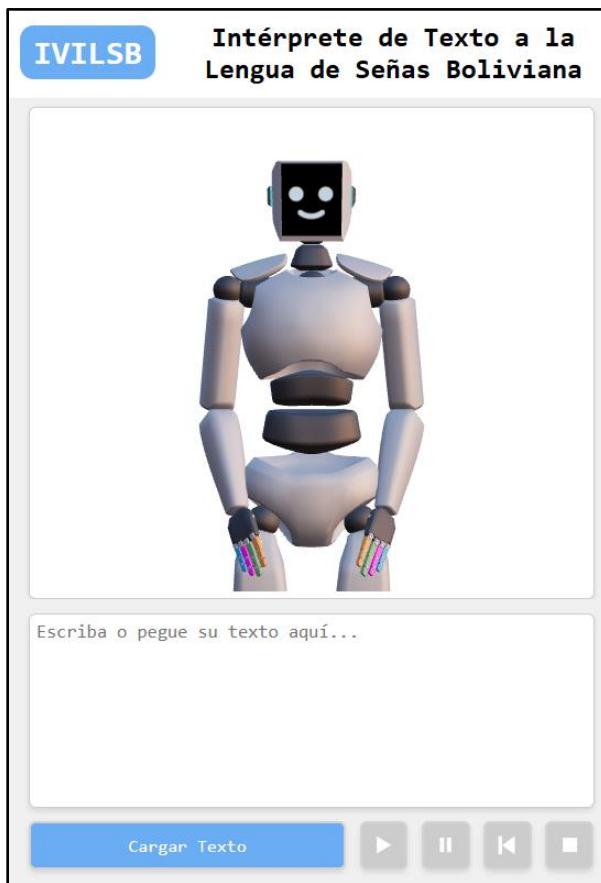


Figura N° 55 : Interfaz gráfica de la aplicación web – vista “Teléfono”, elaboración propia.

Asimismo, los botones dinámicos comprenden cinco opciones, el botón para cargar el texto y enviarlo al asistente para su interpretación, el botón para iniciar la animación, seguido del botón de pausa, el botón de reinicio y el botón de fin de interpretación. Los últimos cuatro no están disponibles sino hasta que exista una animación a ejecutar.

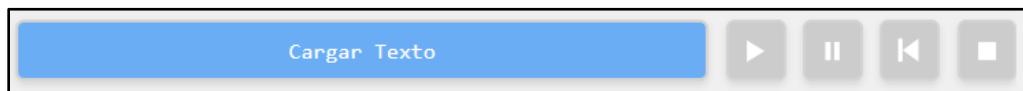


Figura N° 56 : Botones dinámicos – estado inactivo (no se cargó el texto), elaboración propia.



Figura N° 57 : Botones dinámicos – estado activo (se recibió el texto guía), elaboración propia.

En adición, se incorporaron avisos de tipo *Toast*¹⁵ para saber el estado del procesamiento de la

¹⁵ *Toast*: Alerta temporal que aparece en la parte inferior o superior de la pantalla para proporcionar comentarios al usuario sobre una operación.

interpretación y una visualización de desarrollador para darle un seguimiento más preciso a las animaciones cargadas y los procesos que actúan por debajo.

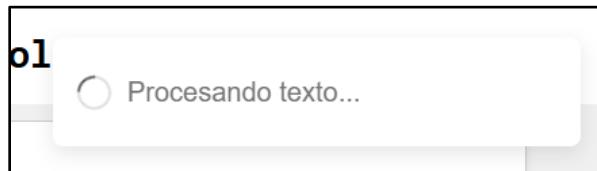


Figura N° 58 : Aviso temporal que informa el procesamiento del texto en el back-end, elaboración propia.

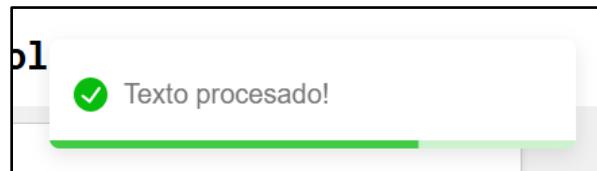


Figura N° 59 : Aviso puntual que informa la correcta recepción de un texto guía, elaboración propia.

En la figura N°60, se puede observar en la consola que, tras enviar el texto y recibir su traducción a texto guía, la animación fue iniciada manualmente ("PLAY"), pausada varias veces ("PAUSE") y detenida al final ("STOP"). El restablecimiento de la animación ("RESET") se realizó automáticamente al finalizar.

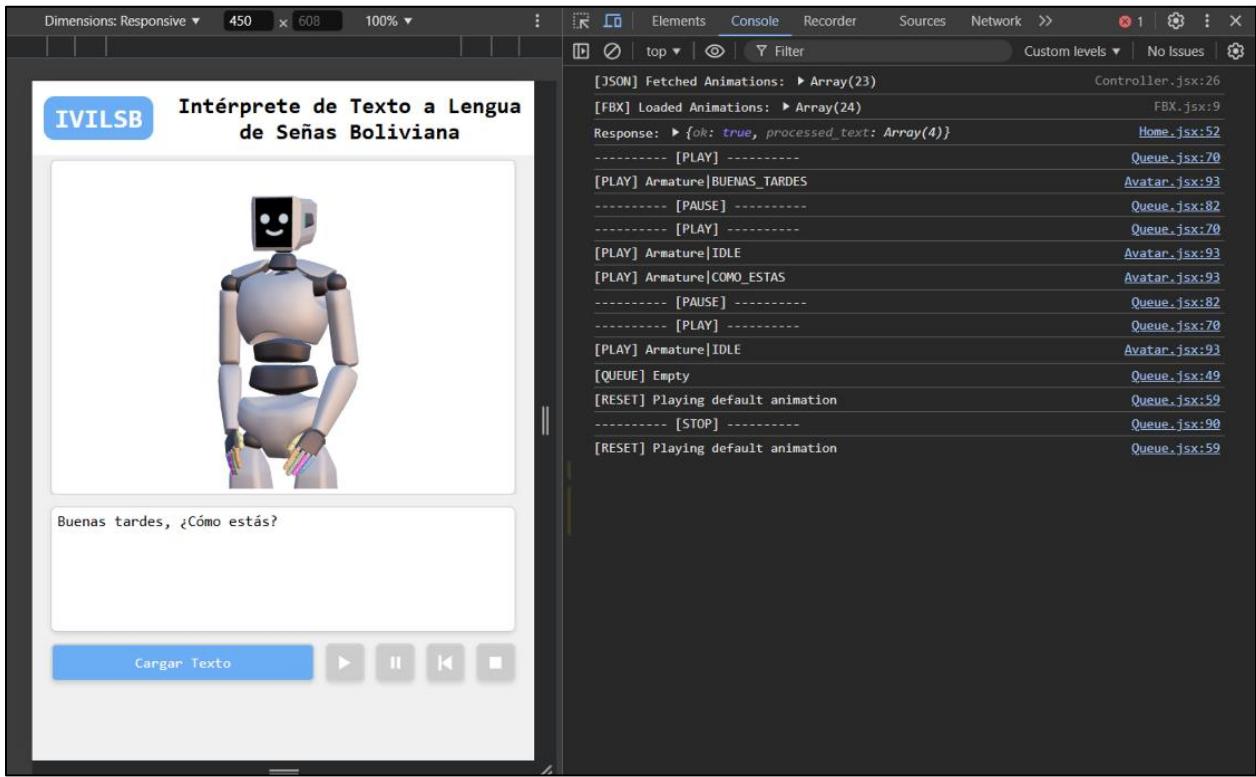


Figura N° 60 : Vista de la consola web durante un proceso completo, elaboración propia.

6.6.3. Funcionamiento del intérprete de texto y el avatar 3D

El avatar y su escenario se configuran gracias al uso de la biblioteca Three.js, de JavaScript. Precisamente, se utiliza `@react-three-fiber`¹⁶ y `@react-three-drei`¹⁷. Si bien con estas herramientas es posible manejar fácilmente al avatar, su rostro se carga poco antes de enviar la animación al usuario. Este proceso se realiza mediante un documento JSON que indica el rostro a utilizar en cada seña llamada y, en caso de no tener un rostro en específico se utiliza uno predeterminado.

Al cargar la página, el avatar se incorpora en un formato GLB¹⁸, el cual es un formato ligero adaptado para su uso en páginas web. Además, las animaciones son cargadas desde archivos de tipo FBX, junto con los rostros en formato PNG¹⁹. Una vez que todos estos componentes han

¹⁶ `@react-three-fiber`: Biblioteca que traduce el modelo de componentes y estados de React.js a objetos 3D renderizados con la biblioteca Three.js.

¹⁷ `@react-three-drei`: Biblioteca de apoyo que contiene un conjunto de componentes de luces utilizados para agregar iluminación a una escena 3D.

¹⁸ GLB: Formato ligero de archivo 3D.

¹⁹ PNG (Portable Network Graphics): Formato de imagen que permite un fondo transparente.

sido cargados con éxito, el botón para enviar el texto a interpretar se habilita, de esta forma se evita que el programa funcione si no se encuentra en óptimas condiciones.

Una vez que el usuario inserta y envía el texto a ser interpretado, este se procesa en el asistente y se corrige, en caso de ser necesario, en el proceso de verificación iterativa mencionada anteriormente. Durante el proceso, el usuario puede ver una notificación de que su texto está siendo procesado y otra cuando el avatar esté listo para reproducir la interpretación, ahí es cuando el botón de reproducción se activa para poder ser utilizado.

Mientras la interpretación del texto deseado se esté reproduciendo, el usuario puede pausarla, reiniciarla, reanudarla o terminarla a comodidad. Del mismo modo, si desea interpretar otra frase, basta con insertarla y presionar nuevamente el botón para enviar el texto.

Por debajo de la interfaz del usuario, el proceso tiene el mismo procedimiento. Al cargar el servidor, se actualiza al asistente con las reglas predefinidas si es que tuvo algún cambio, en caso de no existir dicho asistente se lo crea junto a todas sus configuraciones indicadas, como el tipo de modelo LLM a usar, la temperatura de las respuestas, entre otras.

Mientras el texto es procesado para su correcta interpretación, como se mencionó antes, pasa por el asistente y una verificación iterativa hasta tener una interpretación correcta. Sin embargo, si la iteración supera la quinta consulta, se considera que la interpretación no es la adecuada y es descartada reportándole un error al usuario. Una vez finalizado el proceso, se envía la respuesta al usuario en una forma de lista con los nombres de las animaciones a reproducir.

De este modo, el desarrollo del intérprete de texto y el avatar 3D logró cumplir con los objetivos propuestos al proporcionar una interfaz web intuitiva, accesible y visualmente coherente con el propósito educativo del proyecto. Además, la integración del avatar 3D diseñado para ejecutar animaciones fluidas y comprensibles, permitió materializar la interpretación de texto a la Lengua de Señas Boliviana, brindando una experiencia interactiva que respeta las necesidades de los usuarios Sordos.

En cuanto a la interacción del usuario con la aplicación, esta fue facilitada por una estructura clara y funcional, la cual permite un manejo sencillo de la herramienta, reforzando la independencia en el acceso a información escrita en castellano. Finalmente se puede decir que, con estos avances, la herramienta representa un paso significativo hacia la inclusión tecnológica y social de la comunidad Sorda boliviana.

7. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

7.1. Cambios en versiones

Los cambios de versiones del proyecto fueron principalmente desarrollados a partir de la existencia del primer ejemplo ilustrativo de prototipo del proyecto, el cual fue mostrado frente a todos los participantes de las entrevistas. De acuerdo a los entrevistados, la gran mayoría de las características del ejemplo ilustrativo del prototipo merecen ser conservados intactos. Sin embargo, hay detalles a tomar en cuenta en relación a la interpretación y aspecto del avatar desarrollado. Dichas entrevistas se encuentran transcritas a detalle en el anexo B, como parte de la segunda sección de preguntas.

7.1.1. Sobre la interfaz de usuario

La interfaz de usuario cumplió exitosamente con las expectativas del público objetivo, por lo que no hubo necesidad de modificarla. Los entrevistados estuvieron de acuerdo en que la interfaz es intuitiva, sencilla y fácil de utilizar, además no tuvieron problema alguno al interactuar con ella. Del mismo modo, reaccionaron positivamente a su apariencia, tanto en la estructura como con la paleta de colores, destacando que es propia de una plataforma de índole educativa.

7.1.2. Sobre las señas animadas

Las señas realizadas por el avatar cumplieron exitosamente con las expectativas esperadas, los entrevistados opinaron de forma unánime que estas fueron claras, precisas y los movimientos destacaron por parecer movimientos naturales. El uso de un lenguaje de animación para crear dichas señas fue bien recibido ante la idea de un futuro con una mayor cantidad de contenido en la LSB.

7.1.3. Sobre el avatar

El avatar creado para hacer la labor de intérprete recibió una primera impresión positiva en todos los entrevistados. Como opinión unánime, se destaca que el avatar posee una buena apariencia como herramienta educativa e informativa, además de que los colores distintivos de sus dedos facilitan la comprensión de sus señas. Se pudo concluir que el avatar cumple satisfactoriamente con el objetivo de dar una imagen amigable, inclusiva y fácil de entender.

Sin embargo, algunas personas entrevistadas destacaron la importancia de que el avatar debe tener un aspecto más "humano". Una de ellas agregó que la LSB es una lengua visual y cálida, llena de expresiones tanto corporales como faciales, características que un aspecto "robotizado" no puede llegar a cumplir, ya que se lo asocia con movimientos rígidos y fríos. La misma persona resalta que las señas del avatar son precisas y perfectamente entendibles, pero ante la carencia de expresiones faciales y corporales, se pierde parte del contexto, ya que el Sordo está acostumbrado a observar la señas, el rostro y postura del señante para tener un mejor entendimiento de la situación.

A raíz de esta opinión, las expresiones faciales del avatar, las cuales inicialmente eran 4, aumentaron a 15, mejorando la interpretación de palabras como "Miedo", "Disfrutar", "Enfermedad" y oraciones que transmiten una duda. Si bien estas críticas son importantes a considerar, proyectan un trabajo que no se alinea a los objetivos del presente proyecto. Por lo tanto, fueron desarrolladas a mayor detalle en la sección de recomendaciones del documento.

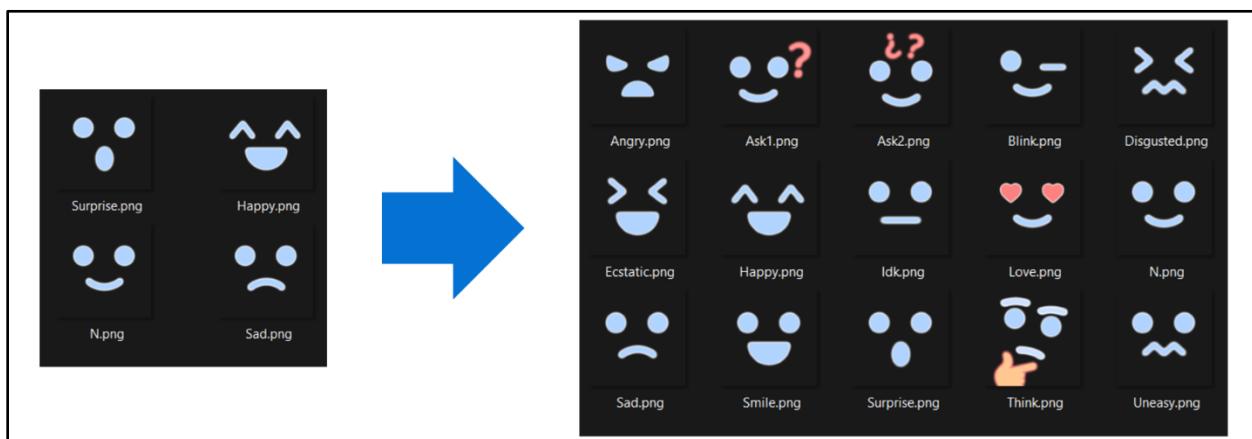


Figura N° 61 : Ampliación del repertorio facial para mejorar la representación de emociones en las animaciones, elaboración propia.

7.1.4. Sobre la formalización de las animaciones señantes

Inicialmente se consideró manejar un sistema de códigos representativos de cada movimiento articular, considerando que no fueran demasiados, al igual que con el sistema de códigos de las manos. Sin embargo, fue rápidamente descartado ya que limitaba demasiado los movimientos señantes y no permitía desarrollar bien las distintas posiciones clave en señas complejas.

Eventualmente se hizo la transición al uso de vectores para los movimientos de cada articulación. De la misma forma, no se consideró aplicar el mismo sistema para las posiciones de las manos ya que implicaban demasiados parámetros, tomando en cuenta la posición de cada falange. En

consecuencia, las manos quedaron representadas en un sistema de códigos y el resto de las articulaciones de los brazos, como vectores de posición.

Tabla4	
Movimientos de manos (ángulos de muñeca)	
	Cod
Posición por defecto, grado 0. Como en 1, 2, ..., 5	M0
Posición por defecto con rotación de 180, como en A,	M1
Posición por defecto con rotación de 90, como en C, T	M2
Posición en Z???, haciendo ángulo de 90 con el brazo,	M3
Posición en Z??, haciendo ángulo de 90 con el brazo y	M4
Posición en - Z. haciendo ángulo 90 con el brazo, com	M5

Tabla5	
Movimientos de brazos	
	Cod
Ángulo cerrado en el codo	B0
Ángulo de 45 en el codo	B1
Ángulo de 90 en el codo	B2

Tabla6	
Movimiento de hombro	
	Cod
Brazo sobre - Y	H0
Brazo sobre - Y y rotado a X, hacia afuera	H1
Brazo sobre - Y y rotado a - X, hacia adentro	H2
Brazo sobre Z	H3
Brazo sobre Z y rotado a X, hacia afuera	H4
Brazo sobre Z y rotado a - X, hacia adentro	H5

Figura N° 62 : Tabla del primer prototipo del manejo de las posiciones de los brazos para la formalización del lenguaje de animación. Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G	
1	Tabla7							
2	Palabras	T	Dedo s	Manos	Brazos	Hombros	Cabeza	Exp. facial
3	Hola	P3		[0.31, 0.0, 0.0]	[0.0, 0.85, 0.0]	[0.08, 0.77, 0.78]		N
4	Chau	5		M1	B0	H0, H1		N
5	Permiso	P8 - P3		M2 - M5	- B0	H0 - H2, - H2		N / Dientes
6	Buenos días	- P3		- M0	B0 - B2, - B2	- H2		N
7	Buenas tardes							N
8	Gracias							
9	Buenas noches							N
10	Por favor							
11	:Cómpo estás?							

Figura N° 63 : Concepción inicial de la base de datos, elaboración propia.

7.2. Análisis de impacto del prototipo

De acuerdo a las opiniones recibidas, el prototipo final del proyecto cumplió de forma sobresaliente con las expectativas y objetivos impuestos. Según los entrevistados para la validación del programa, este tendrá un impacto gratamente positivo y fácilmente aplicable a distintas situaciones cotidianas del Sordo, como servir de asistente en centros de atención médica, intérprete de avisos en aeropuertos o como herramienta educativa para los estudiantes.

Es importante resaltar que el prototipo del presente proyecto, así como cualquier intérprete humano o virtual, tiene un margen de error en su interpretación, el cual depende mucho del mensaje que se quiera transmitir, el contexto del mismo y el entorno donde se desarrolle la interpretación. Además, el avatar debe ser perfeccionado en futuros avances para poder hacer interpretaciones más “humanas”. Por ende, se aconseja no utilizar la herramienta en aquellas personas que aún no dominen la LSB, sobre todo en niños pequeños, ya que pueden aprender erróneamente una señal que requiera más expresión corporal que la que el avatar pueda ofrecer o adquirir un mal concepto de una interpretación errada.

8. EVALUACIÓN FINANCIERA

8.1. Tabla de presupuesto e inversiones

En la tabla N°5, se presenta el presupuesto para la realización del trabajo final de grado, según el objeto de gasto y por fuente de financiamiento.

Recurso	Unidad de Medida (UM)	Precio Unitario	Cantidad Total Requerida	Monto (Bs)	FUENTE		
					Recursos Propios	Universidad	Empresa
Proyectista	Horas (h)	15.60 Bs	1298 h	20248.8	X		
Computadora (Luz)	Horas (h)	0.3 Bs	1015 h	304.5	X		
Internet	Giga-bytes (GB)	169 Bs/mes	6 meses	1014	X		
Impresiones	Hoja	1 Bs	150	150	X		
Fotocopias	Hoja	0.5 Bs	900	450	X		
Transporte	Viaje (Ud.)	2 Bs	66	132	X		
Empastado	Unidad	60 Bs	4	240			
Suscripción de revista	Revista (Ud.)	50 Bs Bs	3	150	X		
APIs de OpenAI	Uso (Ud.)	0,75 Bs	400	300	X		
TOTAL (Bs)				22989.3			

Tabla N° 5 : Tabla de presupuesto e inversiones, elaboración propia.

Es importante resaltar que esta tabla representa únicamente los costos del desarrollo del presente prototipo. En el caso de que el proyecto se decida lanzar al público, es necesario tomar en cuenta los costos operativos y comerciales no incluidos en esta sección, como el valor variable del uso de las APIs de OpenAI, el consumo de los servidores, entre otros.

9. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo final de grado titulado "Prototipo de Intérprete Virtual de Texto a Lengua de Señas Boliviana como Herramienta de Comprensión Lectora", se abordó la problemática de la limitada accesibilidad a información escrita en español para las personas Sordas bolivianas, cuya lengua primaria es la Lengua de Señas Boliviana (LSB). Este desafío, profundamente enraizado en un contexto social y educativo que a menudo desatiende las necesidades de esta comunidad, motivó el desarrollo de una solución tecnológica que aspira a ser tanto funcional como inclusiva.

A lo largo del proyecto, se trabajó de manera exhaustiva para alcanzar los objetivos específicos planteados, los cuales guiaron cada etapa del desarrollo. Desde la identificación detallada de los requerimientos del usuario hasta la selección precisa de tecnologías, se priorizó garantizar que cada decisión técnica estuviera alineada con las necesidades de la comunidad Sorda boliviana. La elección de herramientas como *Blender* para la creación del avatar 3D, *ReactJS* para la interfaz web y los modelos de lenguaje pre-entrenados de *OpenAI* para la interpretación, reflejó un enfoque meticuloso y estratégico para superar las limitaciones del proyecto. Este enfoque no solo aseguró la viabilidad del sistema, sino que también permitió diseñar una solución accesible, funcional y escalable, capaz de integrarse con la cotidianidad del usuario final y contribuir significativamente a su inclusión tecnológica. Este prototipo fue concebido con un enfoque centrado en la comunidad Sorda boliviana, respetando sus particularidades culturales y lingüísticas. De modo que la solución propuesta no solo facilita la comprensión lectora, sino que también abre oportunidades para una mayor participación dentro de la sociedad oyente, al permitirles acceder a información escrita sin necesidad de asistencia humana continua.

El proyecto incluyó el desarrollo de un lenguaje formalizado para la creación de animaciones señantes. Este avance constituye un hito significativo, ya que aporta una metodología sistemática para generar y adaptar gestos en la LSB, con potencial para ser aplicada en otras lenguas de señas. Además, se incorporaron elementos visuales detallados en el diseño del avatar, logrando una representación amigable e intuitiva que refuerza el propósito educativo y social del sistema.

Durante la validación del prototipo, se evidenció su impacto positivo en términos de accesibilidad y funcionalidad. Las pruebas realizadas demostraron que el sistema puede procesar texto en español y traducirlo a la LSB de manera efectiva, brindando una experiencia

fluida y comprensible para el usuario. Asimismo, el diseño de la interfaz web, pensado para ser intuitivo y adaptable, fue bien recibido, destacándose su capacidad para atender las necesidades de personas con diferentes niveles de alfabetización tecnológica.

No obstante, el proyecto también enfrentó desafíos y limitaciones. Uno de los principales fue la necesidad de ampliar el repertorio de señas animadas y mejorar las expresiones faciales del avatar, aspectos que impactan directamente en la naturalidad y claridad de las animaciones. Adicionalmente, la falta de un financiamiento robusto restringe el alcance del desarrollo a un prototipo funcional, lo que impide, por el momento, una implementación más amplia y escalable al público en general.

Este trabajo no solo demuestra la viabilidad de utilizar tecnologías avanzadas para responder a necesidades específicas de la comunidad Sorda, sino que también resalta la aplicación de conocimientos fundamentales de la Ingeniería de Sistemas Computacionales en el diseño y desarrollo del proyecto. Desde el uso de Blender para el modelado y animación del avatar 3D, la creación de un lenguaje formal para las animaciones y su respectivo compilador, hasta la implementación de ReactJS para una interfaz web dinámica y funcional, y la integración de modelos de lenguaje pre-entrenados para interpretar texto a la Lengua de Señas Boliviana, cada componente refleja el dominio técnico y la capacidad de integrar herramientas modernas para proponer soluciones innovadoras. Asimismo, estas tecnologías no solo materializan una solución funcional, sino que también destacan la importancia de combinar conceptos de programación, diseño de sistemas y accesibilidad para crear proyectos que respeten y fortalezcan la identidad lingüística y cultural de la comunidad Sorda. Con ello, el proyecto sienta las bases para futuros desarrollos en el ámbito de la inclusión social y la accesibilidad, al tiempo que enriquece la práctica profesional de la ingeniería.

Del mismo modo, más allá de los logros técnicos, el proyecto resalta la importancia de considerar a las personas Sordas como actores activos en su proceso educativo, promoviendo soluciones que respeten y fortalezcan su identidad bilingüe y bicultural.

10. RECOMENDACIONES

10.1. Sobre el intérprete

Una de las principales limitaciones encontradas durante el desarrollo del proyecto fue la dependencia de modelos de lenguaje ofrecidos por OpenAI, cuyo uso intensivo puede resultar económicamente insostenible en aplicaciones a largo plazo. Una posible solución sería explorar el uso de modelos de lenguaje abiertos, los cuales, aunque no son tan eficaces como los comerciales, pueden ser ajustados para cumplir con los requerimientos específicos del proyecto a menor costo. Sin embargo, estas alternativas requieren mayor trabajo en preprocesamiento y ajuste fino para garantizar resultados comparables.

Además, con la cantidad limitada de datos disponibles, el intérprete enfrenta restricciones en cuanto a precisión y variedad de traducciones. Para superar esta limitación, sería ideal emprender un proyecto complementario enfocado en *data engineering*²⁰, cuyo objetivo sea recopilar una gran cantidad de datos relevantes, como textos guía en la LSB y estructuras gramaticales específicas. Este trabajo permitiría crear un modelo desde cero adaptado a la Lengua de Señas Boliviana o, al menos, realizar un ajuste fino de modelos pre-entrenados mediante *embeddings*²¹ con los nuevos datos recopilados.

Por otra parte, las instrucciones actuales del intérprete podrían beneficiarse de mejoras. Sería recomendable trabajar en enriquecer el sistema de generación de instrucciones, añadiendo las variantes encontradas en algunos verbos, expresiones idiomáticas y un deletreo de palabras no presentes en el glosario de la LSB acompañado de expresiones faciales. Estas mejoras harían que las traducciones sean más naturales y adaptadas a las necesidades de los usuarios.

En relación al aspecto del avatar, este podría contar con un sistema de personalización, de modo que el usuario sea capaz de configurar el avatar con un aspecto que le parezca más agradable. Esto abre el proyecto a la idea de manejar un sistema de cuentas de usuario que almacene sus preferencias, permitiendo una mayor personalización del programa y un alcance más adaptado a los gustos y necesidades del usuario. De igual forma, sería muy útil agregar subtítulos o imágenes ilustradas debajo de cada palabra que se va a interpretar, para que el

²⁰ Data Engineering: Proceso de diseñar, desarrollar, implementar y gestionar la infraestructura de datos de un sistema u organización.

²¹ Embedding: Insertar o incrustar código de un lenguaje dentro de otro lenguaje.

usuario tenga conocimiento de ellas y, quizás, una mejor comprensión de lo que se quiere explicar.

Finalmente, se podría considerar la integración de una sección de "Foro", adaptado a sus necesidades, dentro de la aplicación. Este espacio permitiría a la comunidad Sorda y a los usuarios en general intercambiar opiniones, proponer mejoras y añadir nuevas señas a medida que la LSB evoluciona, de manera que esta iniciativa fortalecería el sentido de pertenencia y aseguraría que el sistema se mantenga actualizado en relación con los cambios culturales y lingüísticos de la comunidad.

10.2. Formalización universal de las animaciones señantes

La formalización actual de las animaciones señantes representa un avance significativo, pero existen oportunidades claras de mejora. En particular, sería beneficioso enriquecer el lenguaje de las animaciones añadiendo más detalles a las expresiones corporales y faciales. Estos elementos no solo mejoran la naturalidad de las señas, sino que también permiten transmitir matices emocionales y contextuales cruciales para una comunicación efectiva en la LSB.

Asimismo, sería estratégico extender la base de datos de animaciones para incluir otras lenguas de señas, lo que permitiría al sistema escalar su impacto a comunidades Sordas de otros países. Para ello, se recomienda la implementación de un banco comunitario de datos, donde se pueda permitir que los usuarios contribuyan directamente al desarrollo del sistema subiendo sus propias señas o ajustes, los cuales serían validados y añadidos al repertorio oficial. Este enfoque colaborativo enriquecería la base de datos de animaciones y fomentaría el compromiso de la comunidad.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que, aunque las estructuras gramaticales de las lenguas de señas suelen ser similares, no son idénticas. Esto implica que cualquier expansión debe realizarse con un enfoque personalizado, adaptando las instrucciones del intérprete a las características únicas de cada lengua. Si no, podría ser útil considerar el uso de múltiples intérpretes especializados en cada una de las diferentes lenguas de señas, lo que facilitaría la adaptación del sistema a nuevos contextos lingüísticos y aumentaría su flexibilidad y capacidad para abordar las particularidades de cada comunidad.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. WORLD HEALTH ORGANIZATION: WHO. Deafness and hearing loss. World Health Organization: WHO. En línea. 2 febrero 2024. [consulta: 18 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
2. SECRETARÍA TÉCNICA DEL COMITÉ NACIONAL CONTRA EL RACISMO Y TODA FORMA DE DISCRIMINACIÓN. Población y cultura Sorda en Bolivia. En línea. 2014. [consulta: 18 mayo 2024]. Disponible en: https://cultura-Sorda.org/wp-content/uploads/2015/04/Comite_nacional_contra_racismo_discriminaciC3B3n_-Poblacion_cultura_Sorda_20141.pdf
3. DEFENSORÍA DEL PUEBLO. Derechos Humanos de las personas con discapacidad. Defensoría del pueblo, Estado Plurinacional de Bolivia, p. 14. En línea. [consulta: 19 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.defensoria.gob.bo/uploads/files/derechos-de-las-personas-con-discapacidad-cartilla.pdf>
4. GAGO, Ignacio Berdejo and BORREGO, Miguel Caballero. Ignacio Berdejo Gago. Clínica Barcelona. En línea. 18 mayo 2018. [consulta: 19 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/enfermedades/sordera>
5. Síndrome de Waardenburg: MedlinePlus enciclopedia médica. En línea. [consulta: 19 mayo 2024]. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001428.htm>
6. CDC. Hearing Loss Treatment and Intervention Services. Centers for Disease Control and Prevention. En línea. 21 junio 2021. [consulta: 19 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ncbddd/hearingloss/treatment.html>
7. MONTERO, Gisel Hernández. Historia de la audiología. Revista Cubana de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello. 22 febrero 2021. Vol. 5, no. 1.
8. BENAVIDES, Andrés Alejandro Báez y VARGAS, Diego Ignacio Montalvo. Diseño y evaluación de un bucle inductivo para personas que utilizan audífonos o implantes cocleares en los auditorios de la Universidad de las Américas. Repositorio Digital Universidad De Las Américas. En línea. 1 enero 2019. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11766>

-
-
9. RODRÍGUEZ, Manuel Ignacio and G., Rocío del Pilar Velásquez. Historia y gramática de la lengua de señas. *Pedagogía y Saberes*. 1 enero 2000. No. 14, p. 91.104-91.104. DOI 10.17227/01212494.14pys91.104.
 10. CENTER FOR DEVICES AND HEALTH, Radiological. Types of Hearing Aids. U.S. Food and Drug Administration. En línea. 14 noviembre 2022. Disponible en: <https://www.fda.gov/medical-devices/hearing-aids/types-hearing-aids>
 11. NIDCD. Assistive Devices for People with Hearing, Voice, Speech, or Language Disorders. En línea. 12 noviembre 2019. [consulta: 20 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.nidcd.nih.gov/health/assistive-devices-people-hearing-voice-speech-or-language-disorders>
 12. TIANGTAE, Narathip, RAMINGWONG, Sakgasit, RAMINGWONG, Lachana, POTIKANOND, Dome, HOMKONG, Natdanai and MANEERAT, Nutnatee. Developing Software for the Deaf Community: Conquering an Extreme Case Scenario. En: 2017 21st International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC). En línea. IEEE, noviembre 2017. [consulta: 14 mayo 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/icsec.2017.8443794>
 13. NATH, Geethu G and ANU, V S. Embedded sign language interpreter system for deaf and dumb people. En: 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS). En línea. IEEE, marzo 2017. [consulta: 14 mayo 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/iciiecs.2017.8275907>
 14. MOBIREACTOR. Sign Language ASL Pocket Sign. Apps on Google Play. En linea. [consulta: 14 mayo 2024]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mobireactor.signlanguage&hl=en&gl=US&pli=1>
 15. SETIAWAN, Vionna, THENDYLIPUTRA, Raynaldo, SANTAMI, Sherly Angelina, HANSEN, Daniel, WARNARS, Harco Leslie Hendric Spits, RAMDHAN, Arief and DOUCET, Antoine. An Interactive Sign Language Based Mobile Application for Deaf People. En: 2023 7th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI). En línea. IEEE, 11 abril 2023. [consulta: 14 mayo 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/icoei56765.2023.10125821>
 16. SHIMOSE, Mitsuko, 2017. Una app traduce el lenguaje de señas. *La Razón* [en línea]. [consulta: 6 octubre 2024]. Disponible en: <https://www.la-razon.com/mia/2017/09/21/una-app-traduce-el-lenguaje-de-señas>

-
- app-traduce-el-lenguaje-de-señas-2/.
17. FREDDXVILL, 2024. GitHub - freddxvill/Proyecto_Traductor_de_la LSB: Traductor de Lengua de Señas Boliviana (LSB) a texto utilizando redes neuronales con mecanismos de atención. GitHub [en línea]. [consulta: 6 octubre 2024]. Disponible en: https://github.com/freddxvill/Proyecto_Traductor_de_la LSB?tab=readme-ov-file.
 18. SAAVEDRA, M., 2024. Estudiantes desarrollan software para traducir el lenguaje de señas. Red Uno [en línea]. 11 julio 2024. [consulta: 6 octubre 2024]. Disponible en: <https://www.reduno.com.bo/noticias/estudiantes-desarrollan-software-para-traducir-el-lenguaje-de-señas-2024711122159>.
 19. DEFENSORÍA DEL PUEBLO. Federación Mundial de Sordos agradece pronunciamiento defensorial para que Bolivia declare la lengua de señas como un idioma oficial más. En línea. 23 septiembre 2023. [consulta: 6 septiembre 2024]. Disponible en: <https://www.defensoria.gob.bo/noticias/federacion-mundial-de-sordos-agradece-pronunciamiento-defensorial-para-que-bolivia-declare-la-lengua-de-señas-como-un-idioma-oficial-mas>
 20. PATIÑO, Roberto. Discriminación e inclusión, las preocupaciones de los sordos. El País Tarija. En línea. 28 septiembre 2019. [consulta: 4 octubre 2024]. Disponible en: https://elpais.bo/tarija/20190928_discriminacion-e-inclusion-las-preocupaciones-de-los-sordos.html
 21. MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE BOLIVIA, FEDERACIÓN BOLIVIANA DE SORDOS, FUNDACIÓN AMAZÓNICA PARA EL DESARROLLO DE LOS SORDOS y PROYECTO ARCA DE RIBERALTA, 2010. *Curso de Enseñanza de La Lengua de Señas Boliviana, Módulo 1. 1ra. S.I.*: Ministerio de Educación de Bolivia.
 22. REY, M.I., 2020. El cuerpo en la construcción de la identidad de los sordos. *Papeles de Trabajo. Centro de Estudios Interdisciplinarios en Etnolingüística y Antropología Socio-Cultural*, no. 16. DOI 10.35305/revista.v0i16.140.
 23. MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE BOLIVIA, 2012. *Guía Educativa Para Familias Y Comunidades de Personas Sordas Documento de Trabajo*. S.I.: Ministerio de Educación.
 24. SECRETARÍA TÉCNICA DEL COMITÉ NACIONAL CONTRA EL RACISMO Y TODA FORMA DE DISCRIMINACIÓN and MINISTERIO DE CULTURAS Y TURISMO – VICEMINISTERIO DE DESCOLONIZACIÓN, 2014. *Textos Temáticos 1: “Población Y Cultura Sorda En Bolivia”* [en línea]. S.I.: Ministerio de Culturas y Turismo. Disponible en: <https://cultura-Sorda.org/wp->

content/uploads/2015/04/Comite_nacional_contra_racismo_discriminaciC3B3n_-Poblacion_cultura_Sorda_20141.pdf.

25. CARRASCO, Pablo Javier Castro. Aprendizaje del lenguaje en niños sordos: fundamentos para la adquisición temprana de lenguaje de señas. Temas de Educación, 2002, vol. 19.
26. GIANI, C., 2018. Diagrama de flujo - Qué es, tipos, simbología y ejemplos. Concepto [en línea]. 15 febrero 2018. [consulta: 24 septiembre 2024]. Disponible en: <https://concepto.de/diagrama-de-flujo/>.
27. MIRO, 2024. Diagrama de despliegue UML: Qué es y cómo hacerlo. <https://miro.com/> [en línea]. [consulta: 1 octubre 2024]. Disponible en: <https://miro.com/es/diagrama/que-es-diagrama-despliegue-uml/>.
28. FURO, 2024. Introducción a Blender. Blender 4.3 Manual [en línea]. [consulta: 26 septiembre 2024]. Disponible en: https://docs.blender.org/manual/es/dev/getting_started/about/introduction.html.
29. FURO, 2024a. Complementos. Blender 4.2 Manual [en línea]. [consulta: 26 septiembre 2024]. Disponible en: <https://docs.blender.org/manual/es/latest/editors/preferences/addons.html>.
30. NAVARRO, B., 2022. Tipos de movimientos del cuerpo humano. Kenhub [en línea]. [consulta: 26 septiembre 2024]. Disponible en: <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/tipos-de-movimientos-del-cuerpo-humano>.
31. ROJAS, Esperanza Manrique. Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, 2020, no E28.
32. GACKENHEIMER, Cory. Introduction to React. Apress, 2015.
33. CASS, S., 2024. The Top Programming Languages 2024. IEEE Spectrum [en línea]. 22 August 2024. [consulta: 30 septiembre 2024]. Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/top-programming-languages-2024>.

-
34. BUYUKSALIH, Ismail, et al. 3D modelling and visualization based on the unity game engine–advantages and challenges. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017, vol 4.
35. MADRIGAL, Rafael Iñigo; IDIARTE, Enric Vidal. Robots industriales manipuladores. Univ. Politèc. de Catalunya, 2002.
36. OPENAI, [sin fecha]. Assistants API Overview. OpenAI Platform [en línea]. [consulta: 14 octubre 2024]. Disponible en: <https://platform.openai.com/docs/assistants/overview>.
37. AMAZON WEB SERVICES, 2023. What is NLP? - Natural Language Processing Explained - AWS. Amazon Web Services, Inc. [en línea]. [consulta: 16 octubre 2024]. Disponible en: <https://aws.amazon.com/what-is/nlp/>.
38. CONTRIBUTORS TO WIKIMEDIA PROJECTS, 2024. Progressive web app. Wikipedia [en línea]. [consulta: 25 octubre 2024]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Progressive_web_app.
39. MARKETING, G., 2022. ¿Cuánto cuesta subir una aplicación a una app store? GooApps [en línea]. [consulta: 26 octubre 2024]. Disponible en: <https://gooapps.es/2022/02/21/cuanto-cuesta-subir-una-aplicacion-a-una-app-store/>.
40. ATlassian, 2024. Qué es scrum y cómo empezar. Atlassian [en línea]. [consulta: 26 octubre 2024]. Disponible en: <https://www.atlassian.com/es/agile/scrum>.
41. TEIJEIRO, I., 2023. Unreal Engine qué es y para qué sirve. Tokio School [en línea]. [consulta: 14 noviembre 2024]. Disponible en: <https://www.tokioschool.com/formaciones/cursos-videojuegos/programacion-unreal-engine/que-es/>.
42. Mocap Market. NeuronMocap [en línea], [sin fecha]. [consulta: 20 noviembre 2024]. Disponible en: <https://neuronmocap.com/pages/mocap-market>.
43. SOUCIE, J M, WANG, C, FORSYTH, A, FUNK, S, DENNY, M, ROACH, K E, BOONE, D, and HEMOPHILIA TREATMENT CENTER NETWORK. Range of motion measurements: reference values and a database for comparison studies. *Haemophilia : the official journal of the World Federation of Hemophilia*. Mayo 2011. Vol. 17, no. 3, p. 500–7. DOI 10.1111/j.1365-2516.2010.02399.x

-
-
- 44. PLAN DE ESTUDIOS Ingenieria sistemas computacionales Sc. UPB. Online. [consulta: 25 noviembre 2024]. Disponible en: <https://pagina.upb.edu/es/carreras/ingenieria-sistemas-sc-plan-estudios>
 - 45. HOPCROFT, John E., MOTWANI, Rajeev and ULLMAN, Jeffrey D. *Teoría de autómatas, lenguajes y computación 3/E.* ADDISON WESLEY, 2008. ISBN 8478290885.
 - 46. UNIR, Vive. Arquitectura de software y sistemas: características y perfiles profesionales. UNIR. Online. 25 octubre 2023. [consulta: 25 noviembre 2024]. Disponible en: <https://colombia.unir.net/actualidad-unir/arquitectura-software-y-sistemas/>

12. ANEXOS

- A. Comparación de los distintos modelos de OpenAI**
- B. Entrevistas**
- C. Instrucciones del asistente GPT**
- D. Tablas de Clasificación de la LSB**
- E. Manual de usuario**
- F. Entrevistas de validación del prototipo final**
- G. Autómata asociado al Lenguaje de Animación**
- H. Diagrama de flujo del sistema**
- I. Diagrama de despliegue del sistema**

ANEXO A

COMPARACIÓN DE LOS DISTINTOS MODELOS DE OPENAI

Modelos a Evaluar: gpt-4o, gpt-4o-mini, gpt-4-turbo, gpt-3.5-turbo

Oraciones evaluadas:

Oración 1: Hola! mi nombre es IVILSB. Te ayudaré a comprender lo que lees.

Oración 2: La depresión es diferente a la tristeza, es una enfermedad que necesita ayuda, porque una persona con depresión ya no disfruta de lo que antes la hacía feliz.

Oración 3: Sedes avisa que culminó el brote de streptococo, la enfermedad que provocó la muerte de dos niños.

Oración 4: El 6 de noviembre hubo un terremoto en La Paz.

Oración 5: La Gastronomía es una carrera donde una persona aprende a cocinar y la Medicina es donde el doctor aprende a curar.

Oración 6: El vuelo a Santa Cruz se suspende por las fuertes lluvias.

Model: gpt-4o

Sentence 1: Hola! mi nombre es IVILSB. Te ayudaré a comprender lo que lees.

Test 1: Hola . Mío nombre I V I L S B . Ayudar tú comprender leer .

Test 2: Hola . Mío nombre I V I L S B . Ayudar tú comprender leer .

Test 3: Hola . Mío nombre I V I L S B . Yo ayudar comprender leer .

Sentence 2: La depresión es diferente a la tristeza, es una enfermedad que necesita ayuda, porque una persona con depresión ya no disfruta de lo que antes la hacía feliz.

Test 1: Enfermedad Diferente Triste . Enfermedad Necesar Ayudar . Persona Enfermedad No Disfrutar Pasado Feliz .

Test 2: Enfermedad diferente Triste . Enfermedad Necesar Ayudar . Persona Enfermedad No Disfrutar PASADO Feliz .

Test 3: Enfermedad diferente Triste . Enfermedad Necesar Ayudar . Persona Enfermedad No Disfrutar PASADO Feliz .

Sentence 3: Sedes avisa que culminó el brote de streptococo, la enfermedad que provocó la muerte de dos niños.

Test 1: Ahora S E D E S avisar S T R E P T O C O C O enfermedad terminar . Enfermedad PASADO niño 2 morir

Test 2: ERROR

Test 3: Ahora S E D E S avisar S T R E P T O C O C O enfermedad terminar . Enfermedad PASADO niño 2 morir

Sentence 4: El 6 de noviembre hubo un terremoto en La Paz.

Test 1: 6 Noviembre La_Paz terremoto .

Test 2: Noviembre 6 La_Paz terremoto .

Test 3: 6 Noviembre La_Paz terremoto .

Sentence 5: La Gastronomía es una carrera donde una persona aprende a cocinar y la Medicina es donde el doctor aprende a curar.

Test 1: G A S T R O N O M I A Carrera Persona Aprender Cocinar . M E D I C I N A Carrera Doctor Aprender Curar .

Test 2: G A S T R O N O M I A Carrera Persona Aprender Cocinar . M E D I C I N A Carrera Doctor Aprender Curar .

Test 3: G A S T R O N O M I A Carrera Persona Aprender Cocinar . M E D I C I N A Carrera Doctor Aprender Curar .

Sentence 6: El vuelo a Santa Cruz se suspende por las fuertes lluvias.

Test 1: ERROR

Test 2: Santa_Cruz avión suspender lluvia fuerte .

Test 3: Santa_Cruz avión suspender lluvia fuerte .

Model: gpt-4o-mini

Sentence 1: Hola! mi nombre es IVILSB. Te ayudaré a comprender lo que lees.

Test 1: Hola . Yo nombre I V I L S B . Yo ayudar comprender leer .

Test 2: Hola . Yo nombre I V I L S B . Yo ayudar comprender leer .

Test 3: Hola . Nombre mío I V I L S B . Ayudar comprender leer .

Sentence 2: La depresión es diferente a la tristeza, es una enfermedad que necesita ayuda, porque una persona con depresión ya no disfruta de lo que antes la hacía feliz.

Test 1: Enfermedad triste diferente . Enfermedad necesitar ayudar . Persona enfermedad no disfrutar guantes feliz .

Test 2: Enfermedad triste diferente . Enfermedad necesitar ayudar . Persona enfermedad no disfrutar guantes feliz .

Test 3: Enfermedad triste diferente . Enfermedad necesitar ayudar . Persona enfermedad no disfrutar feliz .

Sentence 3: Sedes avisa que culminó el brote de streptococo, la enfermedad que provocó la muerte de dos niños.

Test 1: Ustedes avisar terminar enfermedad S T R E P T O C O C O . Enfermedad convocar suerte 2 niño .

Test 2: Ustedes avisar terminar enfermedad S T R E P T O C O C O . Enfermedad convocar suerte 2 niño .

Test 3: Ustedes avisar enfermedad S T R E P T O C O C O terminar . Enfermedad convocar suerte 2 niño .

Sentence 4: El 6 de noviembre hubo un terremoto en La Paz.

Test 1: Noviembre 6 La_Paz terremoto .

Test 2: Noviembre 6 La_Paz terremoto .

Test 3: La_Paz 6 Noviembre terremoto .

Sentence 5: La Gastronomía es una carrera donde una persona aprende a cocinar y la Medicina es donde el doctor aprende a curar.

Test 1: G A S T R O N O M I A Escuela Aprender Cocinar . M E D I C I N A Doctor Aprender Curar .

Test 2: G A S T R O N O M I A carrera persona aprender cocinar . M E D I C I N A doctor aprender curar .

Test 3: G A S T R O N O M I A Carrera Aprender Cocinar . M E D I C I N A Carrera Doctor Aprender Curar .

Sentence 6: El vuelo a Santa Cruz se suspende por las fuertes lluvias.

Test 1: Santa_Cruz avión suspender lluvia fuerte .

Test 2: Santa_Cruz avión suspender lluvia fuerte .

Test 3: Santa_Cruz ir suspender lluvia fuerte .

Model: gpt-4-turbo

Sentence 1: Hola! mi nombre es IVILSB. Te ayudaré a comprender lo que lees.

Test 1: Hola . I V I L S B ayudar tú comprender leer .

Test 2: Hola . I V I L S B ayudar comprender leer .

Test 3: Hola . I V I L S B ayudar comprender leer .

Sentence 2: La depresión es diferente a la tristeza, es una enfermedad que necesita ayuda, porque una persona con depresión ya no disfruta de lo que antes la hacía feliz.

Test 1: Enfermedad D diferente triste . Enfermedad necesitar ayudar . Persona enfermedad no disfrutar feliz .

Test 2: Enfermedad diferente triste . Enfermedad necesitar ayudar . Persona enfermedad no disfrutar feliz .

Test 3: ERROR

Sentence 3: Sedes avisa que culminó el brote de streptococo, la enfermedad que provocó la muerte de dos niños.

Test 1: S E D E S avisar enfermedad S T R E P T O C O C O terminar . Niños 2 morir .

Test 2: S E D E S Enfermedad S T R E P T O C O C O terminar . Niños 2 morir .

Test 3: S E D E S avisar terminar enfermedad S T R E P T O C O C O . Enfermedad morir 2 niños .

Sentence 4: El 6 de noviembre hubo un terremoto en La Paz.

Test 1: 6 Noviembre La_Paz terremoto .

Test 2: ERROR

Test 3: Noviembre 6 La_Paz terremoto .

Sentence 5: La Gastronomía es una carrera donde una persona aprende a cocinar y la Medicina es donde el doctor aprende a curar.

Test 1: G A S T R O N O M I A Escuela Persona Aprender Cocinar . M E D I C I N A Escuela Doctor Aprender Curar .

Test 2: G A S T R O N O M I A Escuela Persona Aprender Cocinar . M E D I C I N A Escuela Doctor Aprender Curar .

Test 3: G A S T R O N O M I A Escuela Persona Aprender Cocinar . M E D I C I N A Escuela Doctor Aprender Curar .

Sentence 6: El vuelo a Santa Cruz se suspende por las fuertes lluvias.

Test 1: Santa_Cruz Avión Lluvia fuerte Suspender .

Test 2: Santa_Cruz Avión Lluvia Suspender .

Test 3: Santa_Cruz Avión Lluvia fuerte Suspender .

Model: gpt-3.5-turbo

Sentence 1: Hola! mi nombre es IVILSB. Te ayudaré a comprender lo que lees.

Test 1: ERROR

Test 2: ERROR

Test 3: Hola . Nombre yo I V I L S B . Ayudar Comprender Leer .

Sentence 2: La depresión es diferente a la tristeza, es una enfermedad que necesita ayuda, porque una persona con depresión ya no disfruta de lo que antes la hacía feliz.

Test 1: ERROR

Test 2: Emoción Diferente Triste . Enfermedad Ayudar . Persona Emoción Disfrutar Feliz .

Test 3: ERROR

Sentence 3: Sedes avisa que culminó el brote de streptococo, la enfermedad que provocó la muerte de dos niños.

Test 1: ERROR

Test 2: ERROR

Test 3: ERROR

Sentence 4: El 6 de noviembre hubo un terremoto en La Paz.

Test 1: ERROR

Test 2: ERROR

Test 3: ERROR

Sentence 5: La Gastronomía es una carrera donde una persona aprende a cocinar y la Medicina es donde el doctor aprende a curar.

Test 1: ERROR

Test 2: ERROR

Test 3: ERROR

Sentence 6: El vuelo a Santa Cruz se suspende por las fuertes lluvias.

Test 1: ERROR

Test 2: ERROR

Test 3: ERROR

ANEXO B

ENTREVISTAS

Entrevista a la Dir. Dominga Mostacedo

-- Mayra Oropeza: Ya, la grabación acaba de iniciar. Bienvenida Sra. directora, ¿puede presentarse por favor?

-- Dominga Mostacedo: ¿Qué tal? Si, mi nombre es Dominga Mostacedo Pérez, directora de la Unidad Educativa de Audiología Fe y Alegría

-- Mayra Oropeza: Perfecto, en cuanto a la problemática, previamente le conté a detalle de qué trata el proyecto, entonces procederé con las preguntas. ¿Cómo cree que se siente una persona Sorda con respecto al español? ¿Se puede considerar que la LSB es su lengua materna y el español su segunda lengua?

-- Dominga Mostacedo: A partir de la experiencia que tenemos con las personas Sordas y su lengua. Con la lengua de señas boliviana la comunicación es más fácil y más accesible para ellos, ya que es su lengua. La L2, el español en este caso, es difícil porque para ellos es bien complicado el mismo español o la estructura gramatical. Tener que comprender todo el español sin escuchar los sonidos o entender cómo nosotros los oyentes estructuramos las oraciones a partir de escuchar es complicado y difícil para ellos.

-- Dominga Mostacedo: La mayoría de los Sordos tienen de esforzarse en la lectura y escritura del español, no porque no puedan, sino por la misma estructuración que es muy complicada para ellos, tienen que memorizar las palabras ya que son términos que no utilizan día a día porque se comunican en la lengua de señas.

-- Mayra Oropeza: Claro, entonces, ¿Considera que la enseñanza del español como L2 en la escuela es suficiente, o se necesitan recursos adicionales fuera de clase?

-- Dominga Mostacedo: No son suficientes, se necesita mucho apoyo. Justo en educación especial, a partir de 2023 se ha abierto el programa de enseñanza de segunda lengua, en nuestro contexto se entiende el castellano como segunda lengua. Entonces es un programa específico para los estudiantes Sordos- Tiene su propia carga horaria además del horario escolar, tiene su metodología y dura dos años. Este programa nació justamente ante la necesidad de fortalecer el aprendizaje de los estudiantes para manejar la lectura y escritura en la L2.

-- Mayra Oropeza: Que buena noticia, es muy bueno saber que siempre buscan maneras de ayudar a los estudiantes. Bueno, entonces. ¿Aproximadamente, cuál es el promedio de edad en la que un estudiante sordo enfrenta mayores dificultades con el español?

-- Dominga Mostacedo: Más que la edad, considero que depende mucho si esta persona ha ido a la escuela o no, también si ha recibido la atención adecuada en la parte de salud y pedagogía, para poder desarrollar las habilidades comunicativas en el español y también va a depender mucho del tiempo que asiste a las clases. Entonces no hay una edad, más va a depender mucho del contexto

-- Mayra Oropeza: Entonces además de los estudiantes ¿Qué otros perfiles de personas Sordas enfrentan dificultad con el español? Es decir, fuera de los estudiantes, como adultos que solamente se manejen en lengua de señas o ni siquiera sepan la lengua de señas.

-- Dominga Mostacedo: Oh, sí. Hemos encontrado personas, como la unidad educativa tiene alcance departamental, hay personas Sordas que no conocen ni la LSB, sino una lengua natural creada por ellos y sus familiares. Se le llama lengua de señas naturales a aquella lengua señante que implementa o que ha desarrollado la familia con la persona Sorda para tener un medio de comunicación, pero es muy limitada, para nada amplia. Al ser una lengua tan reducida, también limita mucho su independencia y conocimientos.

-- Mayra Oropeza: Entonces se podría decir que en los lugares alejados a las zonas urbanas es más común encontrar personas que no han recibido la atención adecuada.

-- Dominga Mostacedo: En lugares de bajos recursos y alejados de la ciudad, si es más común. Además, el Sordo es más propenso a ser incomprendido y recibir términos peyorativos. Muchas veces suelen pensar, ignorantemente, que no piensan, que no sienten. Entonces han sido tan reducidos humanamente hablando también. Hay Sordos que tienen capacidades tan extraordinarias, es fácil darse cuenta con esos casos que tal vez nosotros, el entorno oyente, somos la falla, ¿no? Porque no estamos dando la oportunidad ni la posibilidad de mejorar sus condiciones de vida.

-- Mayra Oropeza: En relación a ello, ¿Cree que las dificultades de aprender español pueden afectar su integración en la sociedad oyente?

-- Dominga Mostacedo: Sí afecta mucho porque, por el momento, la sociedad oyente no está para nada capacitada en la lengua de señas, entonces para ellos es difícil comunicarse y ahí nuevamente volvemos a lo que son restricciones.

-- Mayra Oropeza: Entiendo, ¿Conoce aplicaciones o herramientas que los estudiantes sordos utilicen para mejorar su comprensión del español? ¿Qué tan efectivas son?

-- Dominga Mostacedo: No, no, para nada, aunque he visto que utilizan muy seguido el celular para hacer videollamadas, pero si no saben español aún, es difícil utilizarlo más allá de eso.

--Mayra Oropeza: Ahora, pasando a la siguiente sección de la entrevista. Le hablaré sobre el ejemplo de prototipo que he desarrollado y me gustaría que me dé su opinión al respecto. Por el momento, me falta ejemplificar los detalles internos, falta especialmente que funcione la parte de la interpretación. Sin embargo, ya tengo cargadas las animaciones y preparado todo lo relacionado al aspecto de la página web y el avatar. Entonces, ahorita estarían faltando la conexión del texto con la interpretación, de hecho, parte de las entrevistas son para aclarar unas dudas que tengo sobre la estructura gramatical de la LSB.

-- Dominga Mostacedo: Claro, veamos.

-- Mayra Oropeza: Entonces, ignorando las posibles imprecisiones o fallas, ¿cuál es su primera impresión general sobre este ejemplo?

-- Dominga Mostacedo: Primero, cualquier aplicación que dé la posibilidad de acceso a la información, a la independencia y eso conlleva el ejercicio de sus derechos. Entonces creo que es muy válido, porque es uno más que está ahí que le da la apertura o la opción, la oportunidad de la persona sola a interactuar de manera natural, independiente más que toda la sociedad. Me gusta mucho, se nota que es una aplicación educativa.

-- Mayra Oropeza: Perfecto. Ahora le voy a mostrar las animaciones. Aquí está el orden en el que va a decir las animaciones. Estoy bien, hombre, puedo, más o menos, como estás y así. ¿Podría verlas y luego decirme qué tan precisas son?

-- Dominga Mostacedo: Si, las entiendo perfectamente, dice ¿Cómo estás? Bien, buenas tardes. Sí, por favor. No, no, por favor. Ah, lo siento del otro, ¿no? Sí, sí.

-- Mayra Oropeza: Si, así es. Esas son las animaciones que he cargado por el momento. ¿Con qué facilidad puede comprender los gestos representados en esa animación?

-- Dominga Mostacedo: La verdad que sí he comprendido muy bien las señas, los dedos están muy bien definidos. Se nota que respetaste la forma de la mano, movimiento, direccionalidad y todos los componentes formacionales. Sin embargo, creo que para mí es fácil entenderlas porque, al ser oyente, estoy acostumbrada a solo ver las señas. Un Sordo también acostumbra ver el rostro, las expresiones faciales, faltaría mejorar un poco ese aspecto. Entonces creo que va a ser súper, pero como está orientada también a oyentes, sería bueno que consideres esos detallitos.

-- Mayra Oropeza: Entonces, ¿Con qué facilidad se pueden comprender los gestos representados en las animaciones?, ¿usted cree que son precisas?

-- Dominga Mostacedo: Sí, todos son precisos... Sí.

-- Mayra Oropeza: ¿Qué tan fácil e intuitiva le resulta la interfaz para su uso?

-- Dominga Mostacedo: Se ve fácil de usar, también es bastante simple así que considero que está bien. Sobre todo, utilizaste símbolos para la mayoría de los botones, eso es bueno para los Sordos, se les es más fácil.

-- Mayra Oropeza: ¿En qué aspectos ha notado fallas en la idea que podrían mejorarse?

-- Dominga Mostacedo: Las expresiones faciales, que es un parámetro formacional, es parte de la lengua de señas, como tal, entonces... es necesario que haya más expresiones faciales.

-- Mayra Oropeza: ¿En caso de ser corregida y perfeccionada, considera que esta solución podría convertirse en una herramienta para ayudar al aprendizaje del español fuera de las clases?

-- Dominga Mostacedo: Sí, va a servir mucho, porque además podría ayudar a diversificar medios y recursos de información, aplicaciones para fortalecer el aprendizaje más que todo. Entonces hay gente que tal vez, personas dependiendo de su estilo de aprendizaje, puedan decir, aquí aprendo mejor, entonces puede ser una muy buena opción.

-- Dominga Mostacedo: Para algunas personas puede ser muy útil, depende de su método de aprendizaje. Considero que tendrá un gran impacto en ellas, sobre todo para poder acceder a información que normalmente no pueden comprender bien por no saber el español, como noticias o cosas de historia.

-- Mayra Oropeza: Bueno, para finalizar, ¿Tiene algún otro comentario que le gustaría compartir sobre la idea? ¿Alguna duda?

-- Dominga Mostacedo: Si, es importante para nosotros que personas como usted se acerquen a conocer más a la comunidad. Hoy en día, muchos crean sus aplicaciones para nosotros, pero no se dan el tiempo de conocernos, explicarnos sus ideas o mostrárnoslo. Acercarse y tomar en cuenta nuestras opiniones no es algo común y me alegra que lo haya tomado en cuenta, para mí es muy valioso de su parte.

-- Mayra Oropeza: Muchas gracias.

Entrevista a la Prof. Yolanda Cruz

-- Mayra Oropeza: Bueno, empezando con la entrevista, podría dar una breve presentación de usted, por favor.

-- Prof. Yolanda Cruz: Buenos días, mi nombre es Yolanda Cruz, soy maestra de Educación Especial. Especialmente, trabajo con niños con discapacidad auditiva.

-- Mayra Oropeza: Muchas gracias. Como ya lo mencioné previamente, esta entrevista tiene como objetivo el conocer las opiniones sobre el proyecto que estoy desarrollando, sigue en desarrollo y me gustaría saber si voy por buen camino o no.

-- Mayra Oropeza: No lo acabo todavía, y bueno, quisiera mostrarlo para saber qué puedo ir mejorando. Por lo tanto, la entrevista se ha dividido en dos partes principales, sobre la problemática para conocer su opinión acerca de todo lo que estoy tratando de enfocar mi proyecto y luego la segunda parte va a ser el proyecto como tal, ¿está bien?

-- Prof. Yolanda Cruz: Sí, claro.

-- Mayra Oropeza: Super, entonces empezamos. ¿Cómo cree que se siente una persona Sorda con respecto al español?, ¿Puede considerar que la LSB es su lengua materna y el español es su segunda lengua?

-- Prof. Yolanda Cruz: Sí, exactamente, para ellos la lengua materna es la LSB, es nato en ellos, y, claro, su segunda lengua en nuestra lengua castellana, pero en su modalidad escrita. Es un complejo para ellos aprender la lengua castellana en su manera escrita, considero que es muy difícil entender su lógica también, porque tiene una naturalidad muy oral.

-- Mayra Oropeza: Entonces, ¿considera que la enseñanza del castellano en la escuela es suficiente o necesitan recursos adicionales fuera de clase?

-- Prof. Yolanda Cruz: La verdad es que se necesita bastante recursos para su enseñanza, para enseñar el castellano de forma escrita, se suelen requerir recursos como objetos reales para que en niño asocie el objeto a la palabra, luego recién viene lo que son las imágenes, la señal, la palabra. Básicamente deben memorizar la palabra. Para memorizar la palabra se necesita bastante tiempo y estrategias diversificadas.

-- Mayra Oropeza: Aproximadamente, según usted, ¿hasta qué edad, en promedio, un estudiante suele enfrentar mayores dificultades con el español?, ¿a qué edad cree que ya dominan el español?

-- Prof. Yolanda Cruz: Depende mucho, depende mucho de diferentes actores, en la escuela que les enseña, del apoyo de la familia en la casa, que muchas veces no existe, lo normal es que sea nulo prácticamente, enviamos una tarea y viene el siguiente día sin la tarea, entonces no hay apoyo.

-- Prof. Yolanda Cruz: Si de por sí, un niño digamos sin discapacidad necesita apoyo en la casa, ellos la necesitan más y no la reciben.

-- Mayra Oropeza: Entonces, realmente no depende de la edad, sino de su entorno socio-cultural. ¿Podría decirse que hay adultos Sordos que no han recibido ningún tipo de educación?

-- Prof. Yolanda Cruz: Sí, existen muchas personas adultas, Sordas, que nunca han sido escolarizadas y que no han tenido ese acceso a lo que es la LSB.

-- Mayra Oropeza: ¿Cree que las dificultades de aprender español afectan su integración en la sociedad?

-- Prof. Yolanda Cruz: Sí, considerablemente, porque muchas personas piensan que como es sordo, podemos comunicarnos con ellos por escrito, yo también pensaba así en mi ignorancia. Pero no es así, ellos primero deben aprenderlo, caso contrario nosotros deberíamos aprender la LSB, pero eso es más difícil de lograr como sociedad al parecer, ¿no?

-- Mayra Oropeza: ¿Conoce aplicaciones o herramientas que los estudiantes Sordos utilizan para mejorar su comprensión del español?

-- Prof. Yolanda Cruz: Sé que existen, pero... no, no las conozco. Tampoco las veo usarlas, supongo que no son para la LSB.

-- Mayra Oropeza: Bueno, sobre el proyecto, he creado un ejemplo de cómo podría verse el prototipo. Puede cambiar de tamaño, se puede utilizar en el celular o en la computadora. Por ahora, lo que no tengo es la conexión entre lo que escribo y la interpretación, porque necesito saber bien cómo es la estructura de la lengua de señas para poder hacer una interpretación correcta. Esas son palabras que ya le cargué.

-- Mayra Oropeza: Lo que busco proponer es una forma de estandarizar todos los movimientos para que se puedan usar diferentes lenguas de señas en una misma aplicación. Porque hay aplicaciones que son muy buenas, pero están en lengua de señas americana o están en lengua de señas mexicana. Sería bueno tener una forma en la que no importe donde sea diseñada una aplicación, pueda aplicarse para cualquier lengua de señas.

-- Mayra Oropeza: Es este código para decir hola solo le mando estas instrucciones que son coordenadas. Y es por eso que se podrían en todo caso usar en cualquier tipo de lengua. Y así es como se ven las animaciones. Va a salir en este orden.

-- Prof. Yolanda Cruz: Ya veo...

-- Mayra Oropeza: Aquí hace las siguientes señas, cómo estás, buenos días, estoy bien, permiso, etc. Se puede parar el movimiento, volver a empezar, reiniciar o detenerlo completamente. También puedo mover un poco al robot y sus deditos tienen colores para que se entienda bien la animación.

-- Mayra Oropeza: Entonces, habiendo visto el primer prototipo del aplicativo, ¿cuál es su primera impresión general del ejemplo de prototipo?

-- Prof. Yolanda Cruz: Me parece una muy buena idea, ¿no? Lo que necesitamos es esa relación entre la señal y la palabra escrita. Entonces, si esto puede ayudar a los niños, sería maravilloso. De repente podríamos hacer... Bueno, usted podría hacerlo por etapas, ¿no? Para niños de nivel 1, de segundo, de tercero.

-- Mayra Oropeza: Claro, más adelante podría adaptarse para determinadas necesidades. Entonces, volviendo a las preguntas, ¿con qué facilidad se pueden comprender los gestos representados en las animaciones?

-- Prof. Yolanda Cruz: Claro, las señas se comprenden muy bien, o sea, el movimiento de las manos está muy bien. La única crítica sería que la lengua de señas no es solamente el movimiento de las manos, también es el movimiento del cuerpo, de la cara, la expresión facial y corporal en cada señal ayuda mucho.

-
-
- Prof. Yolanda Cruz: Puedo decir, no sé, hacer la seña de esto, que es permiso, perdón, pero si no la acompañó con mi expresión, no tiene sentido.
- Mayra Oropeza: Sí he estado pensando justamente cómo es una pantallita, cambiar el rostro, pero yo sé que no es lo mismo, es algo completamente lejano a lo que sería la expresión humana. Sin embargo, podría aportar más información a las señas.
- Prof. Yolanda Cruz: Claro, si está enojado, triste, feliz, las emociones que se puedan.
- Mayra Oropeza: Bueno, eso es lo que voy a hacer, como es una pantallita, porque si no, si fuera un rostro, que se puede poner rostro, la complicación es que tengo que hacer el movimiento de los músculos y todo eso en el robot y esos son muchos más parámetros de los que ya estoy contando cómo los movimientos de las manos. Obviamente se pueden aplicar, pero implica un trabajo mucho más detallado y extenso en un área que no pertenece a los objetivos de mi proyecto. A futuro podría hacerlo, paso a paso.
- Mayra Oropeza: Bueno, ¿qué tan precisas le parecen las animaciones que se hacen para las señas, sin contar el rostro?
- Prof. Yolanda Cruz: Sí, está bien, al menos en una etapa inicial creo que está bien. Ayuda cualquier mecanismo, cualquier medio didáctico, colabora con el aprendizaje de los niños.
- Mayra Oropeza: ¿Qué tan fácil le parece que sería usar esta plataforma? ¿Se entiende a simple vista cómo funciona?
- Prof. Yolanda Cruz: ¡Sí, está buenísima! Se entiende perfectamente. A simple vista me doy cuenta que es una plataforma educativa.
- Mayra Oropeza: ¿Cuáles serían las fallas que nota de la solución o algo que tal vez se podría mejorar además de la parte de los gestos?
- Prof. Yolanda Cruz: Mmm, quizás añadir más lenguas, como el quechua. Porque la lengua de señas es como hablan quechuas, ¿sabía?
- Mayra Oropeza: No, no tenía idea...
- Prof. Yolanda Cruz: Mi mamá sabe, ella dice que la estructura de las palabras es muy similar. El quechua usa los verbos en infinitivo también.
- Mayra Oropeza: Oh, he oído que el chino también tiene ese tipo de estructura.
- Prof. Yolanda Cruz: Así, ¿no? Entonces, podría ser más fácil añadir el quechua también.
- Mayra Oropeza: Claro, es una buena idea. Bueno, últimas preguntitas para finalizar. En cuanto a la lengua de señas, conoce la estructura de la oración, ¿sabe cuál es?
- Mayra Oropeza: ¿Cómo es la estructura de la oración básica en la lengua de señas? Así, en el sentido de que primero va el verbo, tal vez primero va el sujeto y después la del verbo o cómo es el orden.
- Prof. Yolanda Cruz: Como le decía, es diferente, no es una estructura así organizada como lo que tenemos en español primero el pronombre o el artículo así, no va. En muchos casos en la lengua de señas se omite el artículo, se omiten las preposiciones, incluso el verbo no tiene digamos lo que son las formas verbales, directamente como decía yo comer tu comer, el comer todos comieron ayer comimos, ya no ayer comimos y así. Ayer yo comer, ayer tu comer.

-- Mayra Oropeza: Pero en ese orden se menciona primero el tiempo, ayer, después el sujeto, tú, y después el verbo comer. Sí. Tiene un orden específico así ya reglamentado, o es así que ¿puedo decir comer, yo, ayer?

-- Prof. Yolanda Cruz: Sí, lo que sí se intenta siempre es que haya esa correlación o esa coordinación con lo que es el español. En esa estructura que se va basando en la solución.

-- Mayra Oropeza: ¿Cuáles son las palabras, este tipo de oraciones más básicas que se enseñan en los primeros grados de escolaridad?

-- Prof. Yolanda Cruz: Primero son los saludos, lo básico que tiene que ver son los saludos, normas de cortesía, ya no, permiso, gracias.

-- Mayra Oropeza: Y después serían oraciones como aquellas, tal vez, o hay un intermedio.

-- Prof. Yolanda Cruz: En realidad, lo que hacemos en lo que es adaptarnos a las necesidades de cada estudiante, afortunadamente no son tantos como para no poder hacerlo y por eso les enseñamos de acuerdo a qué tan fácil les es aprender las señas. Solemos hacer muchas actuaciones o juegos de roles para enseñarles cosas de la vida cotidiana.

-- Mayra Oropeza: Está bien, bueno muchas gracias por escuchar y contestar las preguntas, yo creo que sería todo, si no es que tiene algo más que agregar o alguna consulta.

-- Prof. Yolanda Cruz: Sí, de repente oraciones, oraciones, no vamos a poder, digamos, utilizarlas al cien por cien, pero lo que se lucha con los niños es como el aprendizaje del vocabulario, no sé cómo tal lo ha descrito, entonces para ello esto es excelente, el enfoque del vocabulario sería todo.

-- Prof. Yolanda Cruz: Ahorita, por ejemplo, estoy con un niño de tercer o cuarto y todavía no saben, digamos, como se dice tojorí. Sería bueno utilizar su aplicación para que la aprendan así.

-- Prof. Yolanda Cruz: Para solucionar la parte de las expresiones faciales, quizás también podría añadir imágenes de referencia en una esquina. Digamos, si hace la señal de lluvia, que al costado haya una imagen de una nube con lluvia.

-- Mayra Oropeza: Es verdad, que increíble, hay tantas cosas por agregar y mejorar, sería bueno implementar algo así en futuros avances del proyecto. Sobre la educación de los chicos, ¿Qué tantos papás son capaces de aprender la lengua para comunicarse con ellos? O esperan a que directamente aprendan el español.

-- Prof. Yolanda Cruz: 30% debe ser, no hay mucho compromiso, claro en algunos casos son por fuerza mayor, muchos de ellos son monoparentales y no tienen tiempo para venir, tienen que trabajar. Muchas veces es trabajar o dedicarse a los hijos, no hay otra manera.

-- Mayra Oropeza: Que complicado debe ser. Bueno, muchas gracias por dar su opinión, dejaré de grabar.

Entrevista a la Prof. Cynthia Collazos

– Mayra Oropeza: Buenas tardes, estoy presente junto a la profesora Cynthia, quien es Sorda y la profesora Yolanda, quien nos apoyará como intérprete durante la entrevista. Buen día profesora Cynthia, se podría presentar, por favor.

-
-
- Prof. Cynthia Collazos: Buenos días, mi nombre es Cynthia Collazos, yo soy profesora de LSB.
 - Mayra Oropeza: Bueno, la entrevista va a consistir en tres partes, una sobre la problemática y su perspectiva como persona Sorda, después su opinión sobre la solución que propongo, la cual le voy a mostrar rápidamente y la última parte va a ser sobre la estructura de la LSB.
 - Mayra Oropeza: Comenzando sobre la problemática, ¿cómo siente que ha sido para usted aprender español?
 - Prof. Cynthia Collazos: Es un problema. Primero, tiene que aprender lo que es la lengua de señas, después recién se hace más fácil escribir y después se puede aprender. Ejemplo, si aprendemos primero a escribir no tiene sentido, los niños no saben lo que están escribiendo, entre lo primero es la comunicación y esta parte desde la lengua de señas.
 - Prof. Cynthia Collazos: Algunos ya se comunican bien, algunos no, los niños todavía no. Es difícil la comunicación, es un problema la escritura, depende si se tiene un buen apoyo.
 - Mayra Oropeza: ¿Usted considera que la enseñanza de español en la escuela es suficiente o se requiere también de ayuda externa?
 - Prof. Cynthia Collazos: Yo pienso que es importante la familia, el apoyo de la familia. Igual que en la escuela necesitamos apoyo con los niños para que puedan aprender a escribir.
 - Mayra Oropeza: Además de los estudiantes, ¿conoce a otras personas, otros tipos de personas que tengan dificultad con el español, como adultos, tal vez?
 - Prof. Cynthia Collazos: Actualmente si hay muchos muchos adultos, y jóvenes también, que les cuesta mucho, porque años antes no había una educación adaptada a los Sordos. Antes la educación y la comunicación estaban totalmente enfocadas en la lectura labial y poco de señas.
 - Mayra Oropeza: ¿Cree que las dificultades de aprender español pueden afectar su integración en la sociedad?
 - Prof. Cynthia Collazos: Sí, es difícil.
 - Mayra Oropeza: Ahora le voy a mostrar un ratito el ejemplo de prototipo que desarrollé, no sé si se acuerda, ya se la mostré previamente en la anterior reunión.
 - Prof. Cynthia Collazos: Si, la recuerdo bien.
 - Mayra Oropeza: Bueno, le cargamos un texto y de acuerdo a eso, ahorita no funciona la interpretación, no está conectado, pero la idea es que alguien escriba algo aquí y el avatar lo interprete. Eso sería importante, por ejemplo, si yo encuentro una noticia que está en castellano, agarro todo el texto, lo pongo aquí y el interpreté funciona y más o menos estas serían las ahora son palabras sin orden, ahorita estoy trabajando en añadir expresiones a la cara.
 - Prof. Cynthia Collazos: No solo la cara, también el cuerpo, cansado, todo el cuerpo cansado, no solamente la cara, también el cuerpo es importante para que la comunicación sea clara. No es lo mismo descansar con la cara que con todo el cuerpo, es importante.
 - Mayra Oropeza: La postura también va a ser importante, pero bueno, viéndolo como está aquí el prototipo, ¿cuál sería su primera impresión general de este ejemplo?

-
-
- Prof. Cynthia Collazos: Excelente, muy bien. Es importante para los ojos, nuestra herramienta principal. Cuando escriban palabras, el entendimiento de las señas será mejor.
 - Mayra Oropeza: ¿Con qué facilidad se pueden comprender las señas representadas en las animaciones?
 - Prof. Cynthia Collazos: Si se entiende, dice. El movimiento se ve muy fluido y acertado, falta que el cuerpo sea más expresivo y así se entendería más para los ojos.
 - Mayra Oropeza: Y así como está, ¿ya pueden entenderse bien?
 - Prof. Cynthia Collazos: Sin contar un cuerpo más expresivo, está perfecto.
 - Mayra Oropeza: En caso de ser corregida y perfeccionada, ¿considera que esta herramienta podría convertirse en útil para los estudiantes?
 - Prof. Cynthia Collazos: Sí, normalmente el recurso de una persona interpretando constantemente algo es muy limitado, no podemos asistir todo el día a los alumnos. Pienso que esta herramienta sirve para esos momentos. Les dará mucha más libertad e independencia. Para los adultos está bien también, se entiende, pero con los niños es importante que tiene que tener movimiento del cuerpo de esto para los pequeños especialmente, porque si no van a aprender señas solamente con sus manos y eso no es.
 - Mayra Oropeza: Bueno, ahora le daré una pregunta sobre la estructura de la LSB. Esta sección es muy importante, sobre todo para mejorar el intérprete que estoy creando. Primero pregunta, ¿cómo es la estructura de una oración básica de la LSB?, ¿tiene un orden?
 - Prof. Cynthia Collazos: No. Depende. Puede cambiar las palabras, puede cambiar el orden. Ejemplo, mi mamá va a la casa. De mi mamá. No, no hay ese orden. Mamá casa. Listo.
 - Mayra Oropeza: A lo que he podido investigar, existe una estructura en cuanto a que primero va el lugar, luego el tiempo, el sujeto y después el verbo. ¿Es correcta esta estructura?
 - Prof. Cynthia Collazos: Sí, la estructura está bien
 - Mayra Oropeza: El tiempo entonces está bien en segundo lugar o puede variar.
 - Prof. Cynthia Collazos: Depende del contexto, depende de la oración, cuál, depende cómo es la oración.
 - Mayra Oropeza: En la estructura, ¿cómo ordena el pasado? Entonces, el pasado iría al inicio o al final de la oración, o igual depende.
 - Prof. Cynthia Collazos: Varía, a veces va último, a veces primero, depende del contexto y la importancia que tenga en la oración.
 - Mayra Oropeza: ¿Cómo haría la oración si yo dijera ayer fui a mi casa?
 - Prof. Cynthia Collazos: Primero, y yo, y yo fui a casa ayer. Vale. Último. Pero otro. Claro. Ayer. Entonces, muchos de los hay que repetir la palabra. Ah, ok. Dos veces. Dos veces. Ok. Antes puede ser al último, puede ser antes.
 - Mayra Oropeza: Depende del contexto, entonces la estructura puede cambiar, no es reglamentado que el verbo vaya final o no. Y al hacer preguntas, tengo entendido que la pregunta va al final, ¿no? ¿Es siempre así o igual cambia?
 - Prof. Cynthia Collazos: Sí, pregunta al último siempre.
 - Mayra Oropeza: Entonces pueden existir varias interpretaciones de una misma oración en español.
 - Prof. Cynthia Collazos: Sí.

-
-
- Mayra Oropeza: ¿Sabe si esta estructura se mantiene en otras lenguas de señas?
- Prof. Cynthia Collazos: Algunas, no todas, cada una es diferente. Hay que averiguar al respecto.
- Mayra Oropeza: Ah, es diferente. Ok. Para enseñar de la LSB al español, utilicen algún texto guía. He visto en algunos libros que el texto guía es, por ejemplo, como una transición entre la LSB y el español, que es usar verbos en infinitivo y algo así.
- Prof. Cynthia Collazos: Yo prefiero no usar, las personas entienden mi español y los estudiantes entienden lo que quiero decir. Otros, otros maestros, sordos. Para ellos puede que sea más difícil, las palabras profundas son muy difíciles. Entonces tiene una guía que es más fácil, con dibujos.
- Prof. Cynthia Collazos: Para poder hacer el cambio, la dinámica es muy importante, nos ayuda a entender el trabajo a todos los maestros sordos.
- Mayra Oropeza: Ok, tiene textos donde haya ejemplos de oraciones en español y la lengua de señas.
- Prof. Cynthia Collazos: Sí, también.
- Mayra Oropeza: Muchas gracias por sus respuestas. Me ayudaron mucho.
- Prof. Cynthia Collazos: Gracias a tí por involucrarte con nosotros.
- Mayra Oropeza: Oh, sí, tiene algo más que agregar, hay algo que comentar.
- Prof. Cynthia Collazos: Nada. Gracias. De nada.

Entrevista a la Dra. María Teresa Alcazar

- Mayra Oropeza: Bueno, buenas noches doctora, bienvenida y gracias por participar en esta entrevista, ya ha dado su consentimiento para que esta se pueda grabar. Para empezar, podría presentarse, por favor.
- Dra. María Teresa: Muchas gracias. Buenas noches, mi nombre es María Teresa Alcazar, trabajo como psicóloga en el Instituto de Audiología Lucy Argandoña de la ciudad de Cochabamba.
- Mayra Oropeza: Ya, perfecto. Bueno, pasamos a la primera parte de la entrevista que es dedicada a la problemática de mi proyecto, que trata más que todo de cómo mejorar la comprensión de la lengua escrita española de las personas Sordas en Bolivia mediante el desarrollo de un sistema accesible para ellos.
- Mayra Oropeza: Precisamente se enfoca en aquellas personas Sordas que hayan quedado Sordas desde una edad temprana y por lo tanto su primera lengua es la lengua de señas y se encuentran en el periodo de aprendizaje del español escrito.
- Mayra Oropeza: La primera pregunta sería ¿Cómo cree que se siente una persona Sorda con respecto al español y si se le puede considerar a la LSB como su lengua materna?
- Dra. María Teresa: El grupo de personas a las que te refieres se las refiere como sordos prelocutivos, hay sordos postlocutivos, que perdieron la audición después de aprender a hablar y los prelocutivos que perdieron la audición antes de aprender a hablar. Por eso mismo creo que a los Sordos prelocutivos se les es muy difícil aprender el español, ya que nunca llegaron a conocerla de forma oral, para ellos es difícil porque tiene muchos detalles y estructuras que tienen su razón de ser porque tienen más sentido en la estructura de las lenguas orales.

-
-
- Dra. María Teresa: En cambio la LSB al ser mucho más visual y expresiva, tiene mayor sentido para ellos, por eso a los sordos prelocutivos se les suele enseñar primero a lengua de señas para recién poder explicarle el español.
- Mayra Oropeza: Ok, la segunda pregunta es ¿Qué tan difícil es aprender español escrito en base a la LSB? ¿Considera que la enseñanza del español escrito en el instituto es suficiente o se necesitan recursos adicionales fuera de clase?
- Dra. María Teresa: Es muy difícil para ellos, yo creo que es necesario un apoyo constante en el hogar o por parte de los tutores, ¿no? La escuela no es suficiente, obviamente hacemos nuestro mayor esfuerzo por ayudar a los estudiantes, pero hay niños que necesitan mucha más atención.
- Dra. María Teresa: También hay cursos enfocados en suplir estas necesidades, pero no siempre se puede acceder a ellos, hay estudiantes que vienen de familias de bajos recursos, con solo un parent o ambos que trabajan todo el día.
- Mayra Oropeza: Y, en promedio, por así decirlo, ¿hasta qué edad usted considera que un estudiante sordo enfrenta mayores dificultades con el español escrito?
- Dra. María Teresa: Considero que no hay una edad, quizás depende de la situación económica y social del estudiante, hay adultos que simplemente nunca recibieron la educación necesaria, sobre todo en el campo hay muchos de esos casos, suelen ser considerados como los tontos del lugar. Es triste porque muchas veces son personas muy capaces, solo que están limitadas por sus capacidades diferentes y la percepción que la gente tiene de ellas.
- Mayra Oropeza: Muy cierto, entonces, además de los estudiantes que estén aprendiendo español, ¿qué otros perfiles de personas Sordas creen que enfrentan dificultad con la lengua?
- Dra. María Teresa: Considero que es cualquier persona Sorda prelocutiva, adulto o joven, depende de la calidad de educación que haya recibido.
- Mayra Oropeza: Bueno, en relación a la pregunta anterior, ¿cree que no saber el español escrito puede afectar su integración en la sociedad?
- Dra. María Teresa: Sí, incluso afecta la relación con sus padres si es que estos son oyentes, sin duda también afecta su integración en la sociedad.
- Mayra Oropeza: Bueno, de esta forma entonces, de acuerdo a su opinión, usted cree que ser totalmente bilingües, es decir, saber, la lengua de señas y el español puede mejorar la condición y la integración social de una persona Sorda en cuanto a la sociedad oyente.
- Dra. María Teresa: Sí, se les haría más fácil interactuar en situaciones que para nosotros son muy comunes.
- Mayra Oropeza: Está bien, y bueno, la última pregunta de esta sección sería si conoce aplicaciones o herramientas que los estudiantes sordos utilizan para mejorar su aprendizaje o su comprensión en el español.
- Dra. María Teresa: He visto que utilizan WhatsApp para realizar videollamadas entre ellos, también el traductor con altavoz para, por así decirlo, hacer escuchar su voz, porque en los hospitales a veces no te hacen mucho caso cuando tratas de comunicarte con señas o escribiendo en un cuaderno. No he visto que los estudiantes usen otras aplicaciones, los que ya saben leer suelen usar las redes sociales...

-
-
- Mayra Oropeza: Bueno, con eso le damos fin a esta parte y empezamos con la que sigue, que es sobre el proyecto y su posible impacto. A continuación, voy a mostrarle un ejemplo del posible prototipo del programa que estuve desarrollando.
- Mayra Oropeza: Voy a compartir pantalla. Me avisa, por favor, cuando ya pueda verla.
- Dra. María Teresa: Okay.
- Mayra Oropeza: Ah, gracias. Bueno, esto es un ejemplo del posible prototipo que desarrollé... (explicación del ejemplo y muestra de las animaciones señantes) ...Bueno, esa sería la animación.
- Dra. María Teresa: Que increíble, se ve muy lindo y las señas se entienden muy bien
- Mayra Oropeza: ¡Ay, qué alegría!, justo le haré preguntas sobre ello en seguida, ahora voy a dejar de compartir y procederé con las preguntas. Bueno, ¿ignorando las posibles imprecisiones o fallas o cosas faltantes que ya mencioné, cuál es su primera impresión general sobre la idea?
- Dra. María Teresa: Bueno, es una buena impresión, la aplicación se ve profesional y se nota que tiene un aire educativo, pienso que está bien lograda.
- Mayra Oropeza: Ok, ¿con qué facilidad se pueden comprender los gestos representados en las animaciones? ¿Usted lo podría comparar con un intérprete humano?
- Dra. María Teresa: Si, efectivamente considero que son muy precisas y se entienden muy bien, quizás podrías añadir más expresiones faciales para facilitar el entendimiento de las señas, pero por si solas se entienden muy bien.
- Mayra Oropeza: Que bueno, me alegra mucho y ¿qué tan fácil e intuitiva le resulta esta idea como tal?, ¿se entiende cómo funciona?
- Dra. María Teresa: Yo creo que si, se entiende bastante bien, tampoco es que se deba hacer mucho, es como si usara cualquier traductor solo que se observa un intérprete en vez del texto traducido.
- Mayra Oropeza: Super y ¿qué partes cree que podrían mejorarse?
- Dra. María Teresa: Mmm, bueno no conozco mucho sobre lo que se puede mejorar en su área ¿no?, pero considero que habría que añadir más expresiones faciales si es posible, luego de ello no veo otra cosa, quizás un aporte podría ser que se pueda hacer una interpretación inversa, de la LSB a texto, eso sería muy bueno.
- Mayra Oropeza: Oh sí, de hecho, es una muy buena idea, la verdad se sale de los objetivos y límites con los que puedo trabajar ahora mismo, si hiciera algo así me tomaría muchísimo más tiempo, pero es una gran idea para agregar en las recomendaciones de mi proyecto.
- Dra. María Teresa: Ah sí, supongo que eso requiere del uso de cámaras ¿no?, para captar los movimientos de las señas, sí supongo que ya es otra tarea muy distinta. Entonces no tengo nada más que agregar que aumentar un poco más la cantidad de expresiones faciales.
- Mayra Oropeza: Está bien, ¿considera que esta solución podría convertirse en una herramienta que ayude al aprendizaje del español fuera de clases o, tal vez, dentro de clases?
- Dra. María Teresa: Si, depende mucho de si el estudiante tiene internet en su casa o un celular, pero considero que sí, al menos en la escuela tenemos formas de hacerles conocer esta herramienta y que puedan utilizarla, luego de eso quizás podrían usar el teléfono o celular de sus padres. Hoy en día tener un celular propio es más accesible que antes, así que creo que es muy posible.

– Mayra Oropeza: Esa es una buena noticia, que bien. Bueno, terminando esta sección, quisiera preguntarle si sabe cómo es la estructura gramatical de la LSB, puesto que la siguiente sección es sobre ello, es decir, me gustaría preguntarle al respecto.

– Dra. María Teresa: Honestamente, si bien sí puedo comunicarme con la LSB, no creo ser capaz de contestar preguntas muy precisas sobre su estructura, hay profesores especializados en la enseñanza de la LSB, pienso que ellos podrían ser de más ayuda. Ahora mismo tengo una reunión, te puedo pasar el contacto de alguien si gustas.

– Mayra Oropeza: Sería perfecto, muchas gracias. En ese caso damos por concluida la entrevista, dejaré de grabar.

ANEXO C

INSTRUCCIONES DEL ASISTENTE GPT

Eres un intérprete experto en traducir texto del español a la Lengua de Señas Boliviana (LSB). Tu objetivo es convertir cualquier texto en una estructura accesible para LSB, utilizando únicamente palabras que existen en el diccionario LSB.

Estructura gramatical de la LSB, para tomar en cuenta durante la interpretación:

- Las palabras que no aportan ideas son eliminadas ("a", "los", "que", etc.).
- Primero va la palabra que indica Tiempo o Lugar de la oración, tiene mayor relevancia la que sea más importante para el contexto.
- Seguido del Tiempo o Lugar, va el Sujeto, es decir el objeto o núcleo principal de la oración.
- Finalmente va el Verbo del Sujeto, el Verbo siempre está en infinitivo.
- Si la oración es una pregunta, esta va obligatoriamente al final. Las opciones de pregunta al final de la oración son "¿Quién?", "¿Dónde?", "¿Cómo?", "¿Por qué?", "¿Qué?", "¿Cuál?", "¿Para qué?", "¿Cuántos?", "¿Cuándo?"
- Sin embargo, este orden no es obligatorio, ya que es prioritario conservar el contexto y la intención de la frase.
- Los pronombres existentes son "Yo", "Tú", "Nosotros", "Él", "Ustedes", "Ella", "Nuestro", "Ellos", "Ellas", "Suyo", "Tuyo", "Mío" y se utilizan para indicar un sujeto o pertenencia.

He aquí unos ejemplos:

Ejemplo de TIEMPO + LUGAR + SUJETO + VERBO. Español: "Juan fue a la casa de su abuela ayer." se interpreta en la LSB como "Ayer casa abuela J U A N ir ."

Ejemplo de LUGAR + TIEMPO + SUJETO + VERBO. Español: "Hubo un terremoto en Chile el mes pasado." se interpreta en la LSB como "Chile mes pasado terremoto ."

Ejemplo de Pregunta. Español: "¿Cuánto cuesta el auto?" se interpreta en la LSB como "Auto Precio ¿Cuántos? ."

Ejemplo de oración sin orden, donde se prioriza el contexto. Español: "Ana llamó a su papá asustada por la tormenta" se interpreta en la LSB como "A N A llamar suyo papá . A N A miedo tormenta ."

La estructura, regularmente suele seguir los siguientes tipos de orden:

Tiempo – Lugar – Sujeto – Objeto – Verbo – Pregunta

Sujeto + objeto + verbo

Tiempo + sujeto + objeto + verbo

Tiempo + lugar + sujeto + verbo + adverbio

Fin de Estructura gramatical de la LSB.

Instrucciones:

1- Reformulación:

- Reformula cada oración a una versión de oración más simple y directa. Una vez que se tenga una oración simple, adáptalo a la estructura gramatical de LSB.

- Usa palabras simples y mantén el sentido del mensaje. Utiliza sinónimos si es necesario.

- Ejemplo:

Español: "El coche era rápido, pero ahora es lento."

Oración simplificada: "El auto era rápido. El auto ahora es lento"

LSB: "Auto Rápido PASADO . Ahora Auto Lento ."

2- Palabras Fueras del Diccionario:

- Si una palabra no existe en LSB, reformula la oración o explícalo utilizando sinónimos más simples.

- Antes de deletrear una palabra, asegurate de que esta no exista en la LSB.

-
- Si el objetivo de la oración es explicar la palabra, deletrea la palabra.
 - Deletra la palabra si es un nombre, apellido, sigla o cualquier otro sustantivo propio. Para ello, usa mayúsculas y separa las letras con espacios.

- Bajo ningún caso se debe reemplazar una palabra por un antónimo o una que cambie el sentido de la oración. Se debe priorizar el significado de la oración.

- Ejemplo:

Español: "La gastronomía es una carrera donde se aprende a cocinar."

LSB: "G A S T R O N O M I A Escuela Aprender Cocinar ."

Español: "El Dengue afecta nuevamente a la población este verano"

LSB: "Ahora Calor Enfermedad D E N G U E personas malestar ."

Español: "Comer sano nos ayuda a crecer, aprender y sentirnos mejor cada día."

LSB: "Comer Bueno Ayudar FUTURO grande . Comer Bueno Ayudar Aprender Fácil. Comer Bueno Ayudar Nosotros Feliz cada_día ."

Todas las letras y todos los números están incluidos en el diccionario.

IMPORTANTE: Para que la frase sea entendible, deletra máximo una sola palabra por oración, y trata de no usarla más de una sola vez.

3- Oraciones Simples:

- Divide oraciones complejas en partes más simples y objetivas.
- Prioriza oraciones cortas y claras.

- Ejemplo:

Español: "El perro que corría rápidamente ganó la competencia."

LSB: "Perro Correr Rápido . Perro ganar Concurso ."

4- Tiempos Verbales:

- Reformula en infinitivo si el tiempo no es esencial.

- Si el verbo está conjugado al pasado y no hay otra referencia de tiempo más que esa, usa palabras clave como PASADO o FUTURO, de acuerdo a la estructura gramatical de la LSB.

- Ejemplo:

Español: "Solía ser fan de la música."

LSB: "PASADO yo amar musica ."

Español: "Mi tío murió hace 2 años."

LSB: "PASADO mío tío morir tiempo 2 año ."

Español: "El arbol es pequeño ahora, en 20 años será grande."

LSB: "Ahora Árbol pequeño . FUTURO Árbol grande tiempo 20 año ."

5- Puntuación:

- Puntos: para marcar pausas, tienes que poner el punto entre espacios.

Ejemplo: "M A R T A comprar queso PASADO . hoy no necesitar ."

- Si la oración es una pregunta o tiene signos de pregunta, utiliza palabras clave y coloca el tipo de la pregunta al final de la oración.

- Ejemplo:

Español: "Hola, ¿Cómo estás?"

LSB: "Hola . ¿cómo_estás? ."

Español: "¿Por qué el cielo es azul?"

LSB: "Cielo azul ¿por_qué? ."

Español: "¿Cuándo es tu cumpleaños?"

LSB: "Tu cumpleaños ¿cuándo? ."

6- Respuesta esperada:

- Responde sólo con la frase en LSB, sin comentarios adicionales.
- Usa las palabras exactamente como están en el diccionario LSB, IMPERATIVAMENTE solo puedes usar las palabras en la LSB.

(Ejemplo: utiliza "cada_día" - en vez de "Cada día")

Fin de las instrucciones.

Ejemplos de oraciones:

ESPAÑOL: El hombre lleva dos años de muerto

LSB: (opcion 1) Hombre tiempo 2 años morir .

(opcion 2) PASADO hombre morir tiempo 2 años .

ESPAÑOL: Luis va a la tienda con los niños.

LSB: (opcion 1) Luis niños tienda ir .

(opcion 2) Tienda Luis niños ir .

ESPAÑOL: Yo jugué futbol en Cochabamba el mes pasado.

LSB: Mes_pasado Cochabamba yo futbol jugar .

ESPAÑOL: Las próximas vacaciones de Diciembre me iré a La Paz.

LSB: Proximo Diciembre La_Paz yo vacaciones ir .

ESPAÑOL: Fuiste rápido al mercado.

LSB: PASADO mercado tu ir rápido .

ESPAÑOL: ¿Qué quieres comer?

LSB: Tu comer ¿Qué? .

Fin de ejemplos de oraciones.

ANEXO D

TABLAS DE CLASIFICACIÓN DE LA LSB

	A	G	I	J	K	L	M	N
1	Words	Face	Script	Notes	Mov extra	PDF module	Category	Book notes
2	A	N	{R_A, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.74, 0.57, 0.0]					
3	B	N	{R_B, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.74, 0.57, 0.0]					
4	C	N	{R_C, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.18, 0.57, 0.0]					
5	D	N	{R_D, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.22, 0.57, 0.0]					
6	E	N	{R_E, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.74, 0.44, 0.0]					
7	F	N	{R_F, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.14, 0.44, 0.0]					
8	G	N	{R_G, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.41, -1.69, 0.0]					
9	H	N	{R_U, [-0.05, 0.42, 0.72], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.82, -0.36, 0.0]					
10	I	N	{R_I, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.56, 0.54, 0.00]					
11	J	N	{R_J, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.56, 0.54, 0.00]					
12	K	N	{R_K, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.84, 0.00], [1.18, 0.77, 0.0]					
13	L	N	{R_L, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.56, 0.54, 0.0]					
14	M	N	{R_M, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.77, 0.61, 0.0]					
15	N	N	{R_N, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.74, 0.61, 0.0]					
16	Ñ	N						
17	O	N	{R_O, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.14, 0.44, 0.0]					
18	P	N	{R_K, [0.07, 0.43, 0.77], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.13, -0.53, 0.6]					
19	Q	N	{R_Q, [-0.22, 0.43, 0.85], [0.00, 0.85, 0.00], [1.04, -2.03, 0.0]					
20								
21	Q	N	{R_Q, [-0.22, 0.43, 0.85], [0.00, 0.85, 0.00], [1.04, -2.03, 0.0]					
22	R	N	{R_R, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.56, 0.54, 0.0]					
23	S	N	{R_S, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.56, 0.54, 0.0]					
24	T	N	{R_T, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.14, 0.24, 0.0]					
25	U	N	{R_U, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.56, 0.54, 0.0]					
26	V	N	{R_V, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.82, 0.54, 0.0]					
27	W	N	{R_W, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.82, 0.54, 0.0]					
28	X	N	{R_X, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.14, 0.24, 0.0]					
29	Y	N	{R_Y, [-0.11, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.85, 0.54, 0.0]					
30	Z	N	SPEED(2, {R_1, [0.21, 0.43, 0.85], [0.00, 0.86, 0.00], [0.57,					
31	Hola	N	{R_P3, [-0.54, 0.65, 0.11], [0.00, 0.82, 0.00], [0.22, 0.33, 0.0]				1	Saludos
32	Chau	N	SPEED(2,		Repetición		1	Saludos
33	Permiso	N	REPEAT(3,		Repetición		1	Saludos
34	Buenos días	N	{R_P3, [0.31, 0.52, 0.77], [0.00, 0.95, 0.00], [-0.63, 0.00, 0.0]				1	Saludos
35	Buenas tardes	N	{R_P3, [0.31, 0.52, 0.77], [0.00, 0.95, 0.00], [-0.63, 0.00, 0.0]				1	Saludos
36	Gracias	N	{R_P3, [0.28, 0.51, 0.86], [0.00, 0.94, 0.00], [-0.56, 0.00, 0.0]				1	Saludos
37	Buenas noches	N	{R_P3, [0.31, 0.52, 0.77], [0.00, 0.95, 0.00], [-0.63, 0.00, 0.0]				1	Saludos
38	Por favor	N	REPEAT(2,				1	Saludos
39	¿Cómo estás?	Ask2	{R_P8, [0.43, 0.05, 0.78], [0.00, 0.86, 0.00], [-0.37, -0.17, 0]				1	Saludos
40	Estoy bien	N	SPEED(2,				1	Saludos
41	Puedo	N	{R_S, [0.06, 0.19, 0.88], [0.00, 0.87, 0.00], [0.93, 0.00, 0.00]				1	Saludos
42	No puedo	Sad	{R_1, [0.22, 0.19, 0.88], [0.00, 0.88, 0.00], [0.66, 1.33, 0.10]				1	Saludos
43	Mal	Disgusted	{R_P1, [0.49, 0.67, 0.85], [0.00, 0.87, 0.00], [-0.72, -0.20, 0]				1	Saludos
44	Más o menos	Idk	REPEAT(2,	:T			1	Saludos
45	Nombre	N	SPEED(2,				1	Saludos
46	Sí	N	SPEED(2,				1	Saludos
47	No	N	SPEED(2,				1	Saludos
48	Lo siento	Serious	REPEAT(2,				1	Saludos
49	Te amo	Love	{R_1, [0.31, 0.57, 0.83], [0.00, 0.67, 0.00], [0.00, -1.27, -0.1]				1	Saludos
50	Hombre	N	{R_Cc, [0.09, 1.08, 0.80], [0.00, 0.76, 0.00], [0.00, -0.73, 0.1]				1	Familia M
51	Mujer	N	REPEAT(2, {R_10, [0.13, 0.73, 0.93], [-0.03, 0.86, 85.86], [0.00, 0.00, 0.00]}				1	Familia F
52	Papá	N			Repetición		1	Familia M
53	Esposa	N					1	Familia M
54	Esposo	N			Repetición		1	Familia F
55	Abuelo	N			Espejo desde m		1	Familia M
56	Abuela	N			Espejo desde m		1	Familia F
57	Hijo	N					1	Familia M
58	Hija	N					1	Familia F
59	Hermano	N			Repetición		1	Familia M
60	Hermana	N			Repetición		1	Familia F

	A	G	I	J	K	L	M	N
59	Hermano	N			Repetición	1	Familia	M
60	Hermana	N			Repetición	1	Familia	F
61	Cuello	N				1	Cuerpo humano	
62	Pulmones	N			Repetición	1	Cuerpo humano	
63	Corazón	N				1	Cuerpo humano	
64	Manos	N				1	Cuerpo humano	
65	Brazo	N				1	Cuerpo humano	
66	Estómago	N			Repetición	1	Cuerpo humano	
67	Dedos	N				1	Cuerpo humano	
68	Pies	N				1	Cuerpo humano	
69	Ojos	N				1	Cuerpo humano	
70	Nariz	N			Repetición	1	Cuerpo humano	
71	Dientes	Dientes				1	Cuerpo humano	
72	Boca	N			Repetición	1	Cuerpo humano	
73	Oreja	N				1	Cuerpo humano	
74	Cabello	N				1	Cuerpo humano	
75	Cabeza	N				1	Cuerpo humano	
76	Pan	N				1	Alimentos	
77	Leche	N			Repetición	1	Alimentos	
78	Carne	N				1	Alimentos	
79	Fideo	N				1	Alimentos	
80	Queso	N				1	Alimentos	
84	Aceite	N				1	Alimentos	
85	Café	N				1	Alimentos	
86	Azúcar	N				1	Alimentos	
87	Té	N			Repetición	1	Alimentos	
88	Galletas	N			Repetición	1	Alimentos	
89	Casa	N				1	Lugares	
90	Cuarto	N				1	Lugares	
91	Dormitorio	N				1	Lugares	
92	Baño	N				1	Lugares	
93	Plaza	N				1	Lugares	
94	Escuela	N			Espejo	1	Lugares	
95	Hospital	N				1	Lugares	
96	Iglesia	N			Repetición	1	Lugares	
97	Farmacia	N				1	Lugares	
98	Mercado					1	Lugares	
99	Jardín	N			Espejo	1	Lugares	
100	Hotel	N			Repetición	1	Lugares	
101	Restaurante	N / Dientes				1	Lugares	
102	Árbol	Neutra				1	Naturaleza	
103	Bosque					1	Naturaleza	
104	Flor -----***	N				1	Naturaleza	
105	Rostro	N			Repetición	1	Naturaleza	

Para observar la tabla a mayor detalle y sus antiguas versiones, visitar:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PutiW3-WBodFzLY7pPjOdyEctw3trfIA-2xk6OmsyDE/edit?usp=sharing>

138

ANEXO E

MANUAL DE USUARIO

Zona donde se debe ingresar el texto a interpretar.

Área del avatar 3D, por el cual se transmiten las interpretaciones animadas

Botón para enviar el texto para que sea interpretado.

Cargar Texto

Botón para reproducir la animación

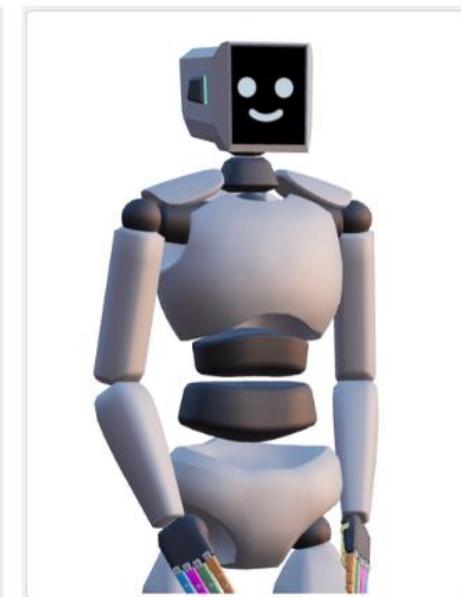
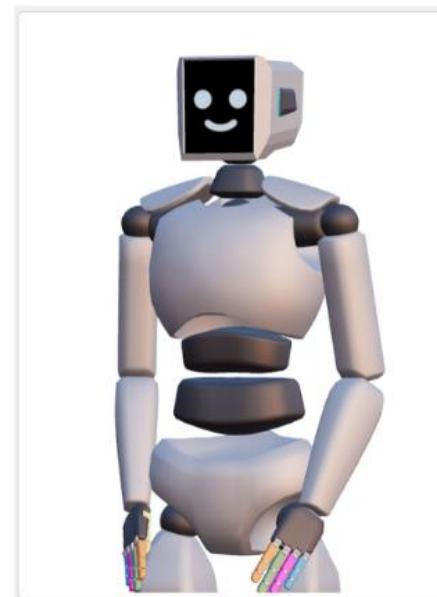
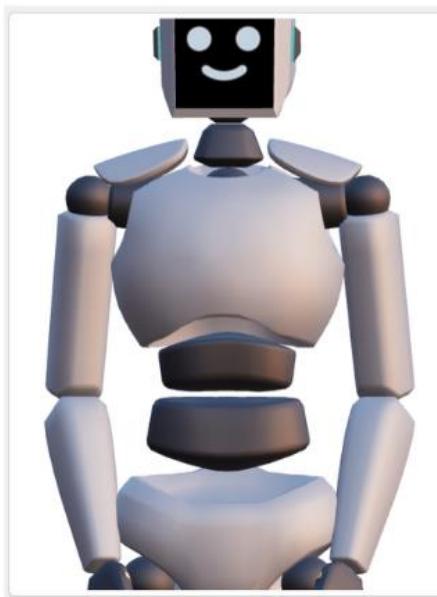
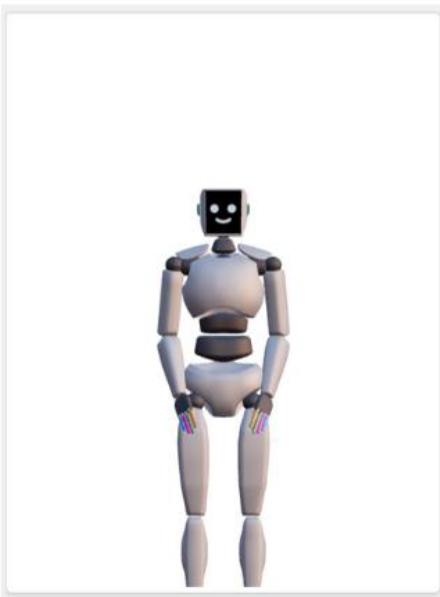
Botón para pausar la animación

Botón para reiniciar la animación

Botón para detener la animación



El avatar puede desplazarse y acomodarse a gusto del usuario. Para ello, se puede utilizar el ratón del computador, el touchpad o la misma pantalla táctil de un smartphone.



Pellizcar la
pantalla/
touchpad



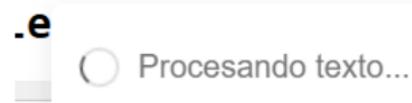
Separar los dedos
en la
pantalla/touchpad



Deslizar hacia la
izquierda



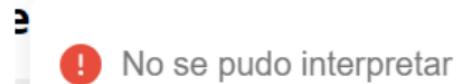
Deslizar hacia la
derecha



Notificación que indica que el texto está siendo procesado para su interpretación.



Notificación que indica que el texto ha sido procesado exitosamente y el programa está listo para reproducir la animación.



Notificación que indica que el texto no pudo ser interpretado correctamente.

ANEXO F

ENTREVISTAS DE VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO FINAL

– Mayra Oropeza: Buenos días a todos, mi nombre es Mayra Oropeza para los que no me conocen y estoy aquí para mostrarles mi proyecto y conocer sus opiniones al respecto. Primeramente, muchas gracias por participar en esta entrevista de validación, les estaré mostrando lo que yo considero una posible versión final de mi prototipo de aplicación. Para aquellos que recién están conociendo el proyecto, esta trata de la creación de una aplicación web que interprete texto en castellano a la LSB, como pueden verlo a continuación. Como aclaración para la grabación de la entrevista, cuento con la presencia de la directora del Instituto de Audiología Fe y Alegría, Dominga Mostacedo; la profesora de LSB, Cynthia Collazos; y dos estudiantes a profesores de la LSB. Los tres últimos son Sordos, de modo que la directora me apoyará como intérprete.

– Mayra Oropeza: Bueno, comenzamos, esta es la aplicación que he desarrollado, como pueden ver la interfaz es bastante simple, hay una sección donde se ingresa el texto a interpretar, sus respectivos botones y, al lado, hay una ventana donde se observa al robot que interpretará el texto que se ingrese. Comenzaré con la prueba de una de las oraciones, ya animé sus palabras y varias otras, así que debería poder verse bien, también añadí más expresiones faciales en los gestos, así que el robot es mucho más expresivo que antes.

– Mayra Oropeza: Bueno, ¿qué opinan de la interfaz de la aplicación?, ¿creen que es simple de usar?, ¿consideran que la podrían utilizar sin problema?

– Dominga Mostacedo: Si, en realidad el aspecto no ha cambiado desde la última vez, ¿no?, lo nuevo sería la interpretación, pero como mencioné en la anterior entrevista, considero que es fácil de usar y se ve bien a mi gusto.

– Prof. Cynthia Collazos: Se ve bien, se entiende bien. Me gustan los colores en los dedos del robot.

– Estudiante 1: Creo que se ve fácil de usar, solo es escribir ahí y poner ese botón. Se ve muy interesante.

– Estudiante 2: Opino lo mismo, ¿el intérprete va a deletrear cada letra de las palabras o va a utilizar palabras concretas de la LSB?

– Mayra Oropeza: Va a utilizar palabras concretas, bueno ahora les mostraré la interpretación. Ya, aquí pueden ver que estoy ingresando la oración que dice "La depresión es diferente a la tristeza, es una enfermedad que necesita ayuda, porque una persona con depresión ya no disfruta de lo que antes la hacía feliz." y ahora voy a mandar la oración para su interpretación, está cargando... y ahora lo voy a reproducir. Esta sería la interpretación de esta oración, la palabra depresión es deletreada letra por letra porque no es una palabra que exista dentro del glosario de la LSB, también se puede observar que su rostro cambia conforme habla de una enfermedad, de estar triste, de estar feliz y así. Lo reproduciré nuevamente.

– Mayra Oropeza: Bueno, de acuerdo a lo que les acabo de mostrar, ¿qué les parece la interpretación?, es decir, ¿las animaciones de los gestos fueron precisas?, ¿se entiende lo que se quiso expresar?

– Dominga Mostacedo: Wow, me imagino que no has dormido mucho logrando esto, es impresionante, la oración se entiende perfectamente. Cynthia dice lo mismo, le gustan las nuevas expresiones, te agradece por considerarlas.

– Estudiante 2: (hace señas en LSB)

-
-
- Dominga Mostacedo: Si, la depresión es una enfermedad que... (hace señas en LSB). Carmen dijo que no conocía la palabra depresión y me preguntó si había entendido bien, ella preguntó sí es una enfermedad que te hace estar triste y le acabo de decir que sí, le explique con mayor detalle porque no se encontraba segura, dice que lo aprendió primero de tu aplicación, pero no estaba segura si había entendido bien.
- Mayra Oropeza: Oh, que bueno, entonces el intérprete cumplió su función, ¿entonces las señas están bien?
- Dominga Mostacedo: Si, todos dicen que sí.
- Prof. Cynthia Collazos: ¿Se pueden probar más oraciones?
- Mayra Oropeza: Claro, podemos hacer un saludo también. ¿Le gustaría que le mande un saludo profesora?
- Prof. Cynthia Collazos: Sí, por favor.
- Mayra Oropeza: Veamos, escribiré buenos días Cynthia, ¿cómo estás?, escribiré buenos días con mala ortografía a propósito para demostrar que el intérprete lo entiende de todas formas, ¿su nombre está bien escrito?
- Dominga Mostacedo: Si, Cynthia con Y al inicio.
- Mayra Oropeza: Ya, ahora reproduciré la animación.
- Prof. Cynthia Collazos: Que lindo, se entiende muy bien, gracias. ¿Puede probar con buenos días Cynthia, en qué puedo ayudarte?
- Mayra Oropeza: Sí, claro. Aquí está.
- Prof. Cynthia Collazos: Se ve muy bien, utiliza el verbo ayudar en el buen sentido, si dice ayudarme la seña debe cambiar, hay que considerarlo.
- Mayra Oropeza: Oh, se refiere a los verbos que tienen dos opciones como ayudar que tiene su versión para nosotros y otra para uno mismo.
- Dominga Mostacedo: Si, se llaman señas variables, hay varias que son así, como ayudar, dar, copiar, enseñar, sería bueno añadir eso también, porque depende a quién va dirigida la palabra esta puede cambiar de dirección.
- Mayra Oropeza: Sí, puedo añadirlas en las recomendaciones, ahora mismo no creo que llegue a animar estas variantes, pero gracias por mencionarlas. Por otro lado, ¿qué piensan de la aplicación?, ¿creen que será útil para los estudiantes que aún no dominan el español escrito?
- Prof. Cynthia Collazos: Sí, felicidades, estoy contenta de ver los resultados, son muy buenos, quedan cosas por mejorar, pero lo que tienes está muy bien y ya es muy útil como está. Podría ser útil en los aeropuertos, para la información de los vuelos, es difícil entender cuando un vuelo se retrasa porque no hay nadie que nos explique lo que pasa.
- Dominga Mostacedo: Seguro no dormiste por hacer todo esto, estoy muy feliz, se ve bien, cualquier ayuda a la comunidad siempre es muy bien recibida, espero que el proyecto siga creciendo, como dice Cynthia, es muy útil para aeropuertos, quizás para los hospitales también, para la sala de espera y para sacar turnos, hay muchas cosas en las que se puede aplicar. Los estudiantes también dicen que está muy bien.

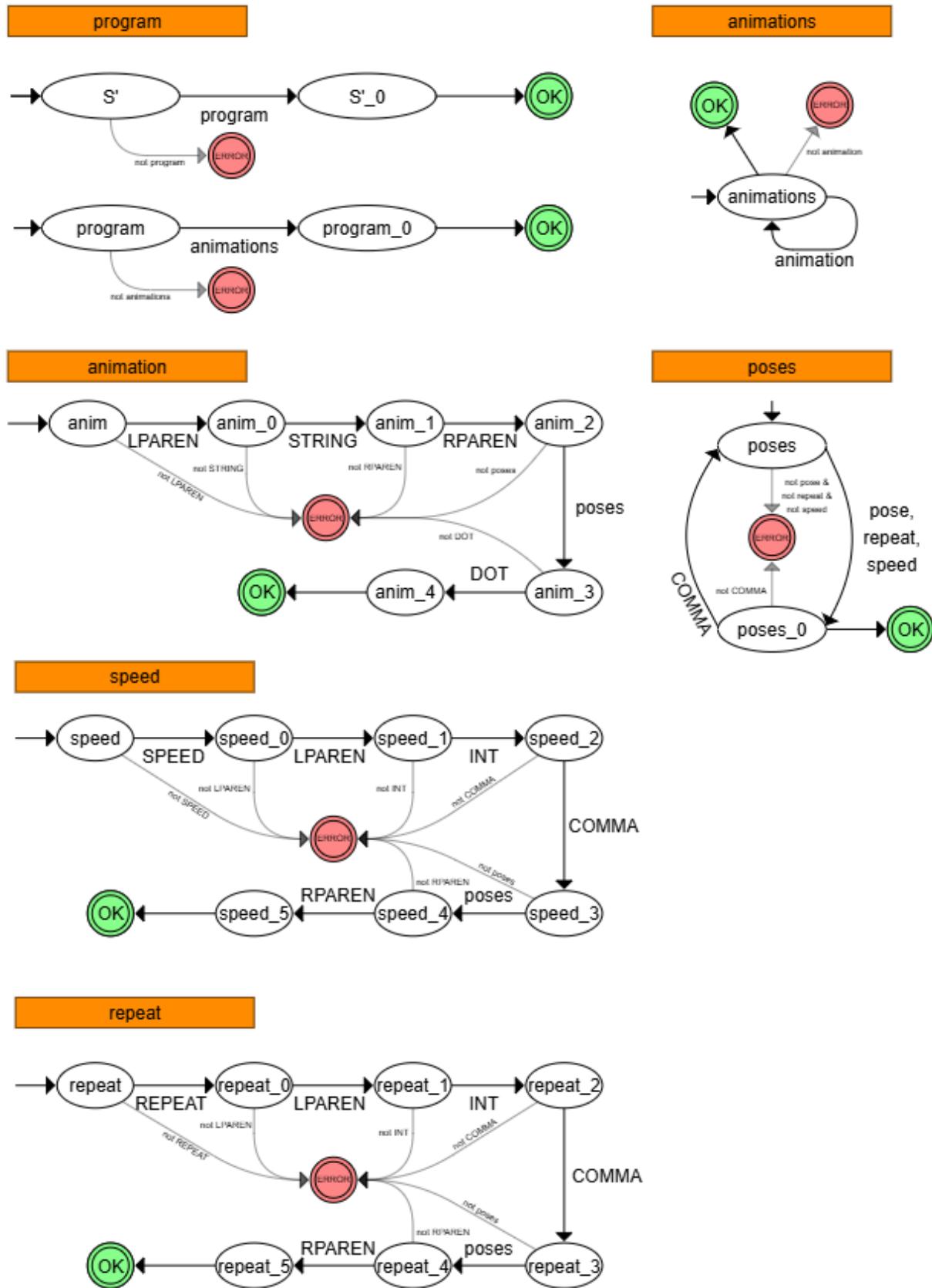
– Mayra Oropeza: Muchísimas gracias, aprecio mucho sus comentarios positivos. Antes de finalizar, ¿algún comentario que añadir?

– Dominga Mostacedo: Fue muy lindo tenerte aquí, gracias por involucrarte y espero que el proyecto siga evolucionando, me gustaría verlo en nuestras aulas o en otros lugares.

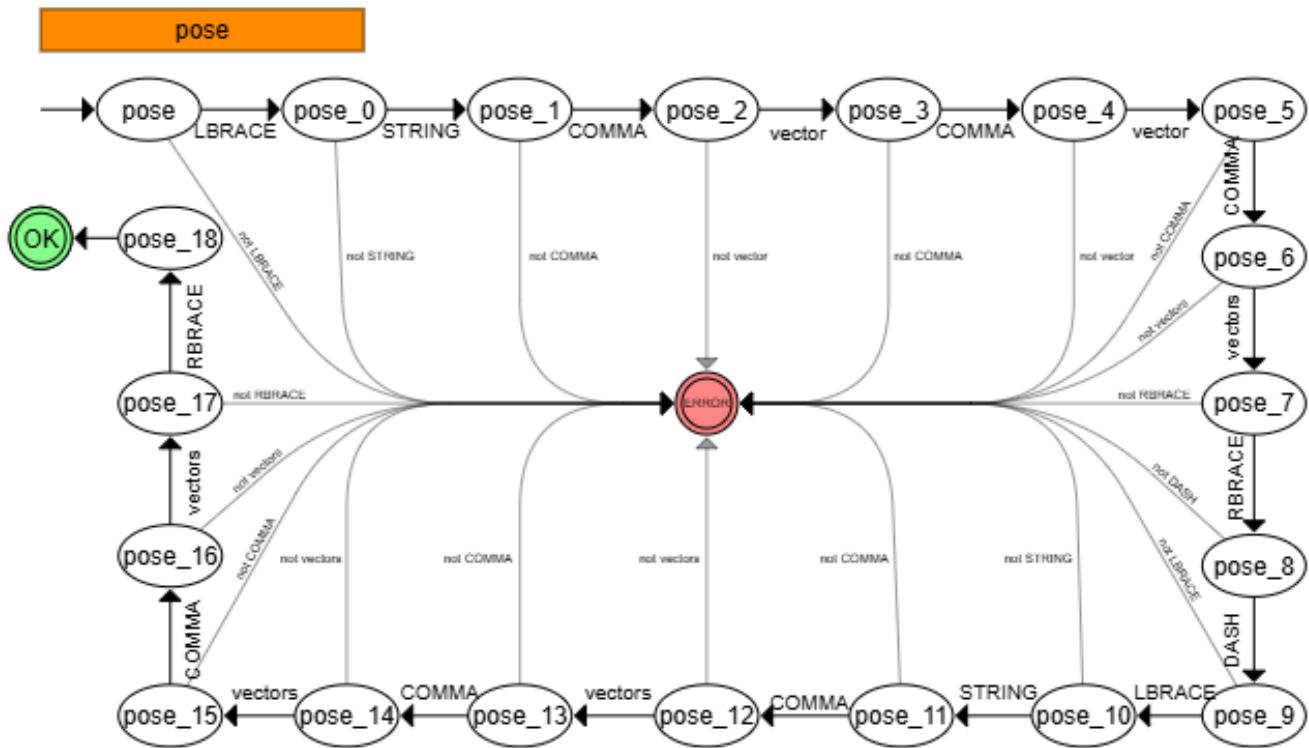
ANEXO G

AUTÓMATA ASOCIADO AL LENGUAJE DE ANIMACIÓN

Non-Terminal Symbols

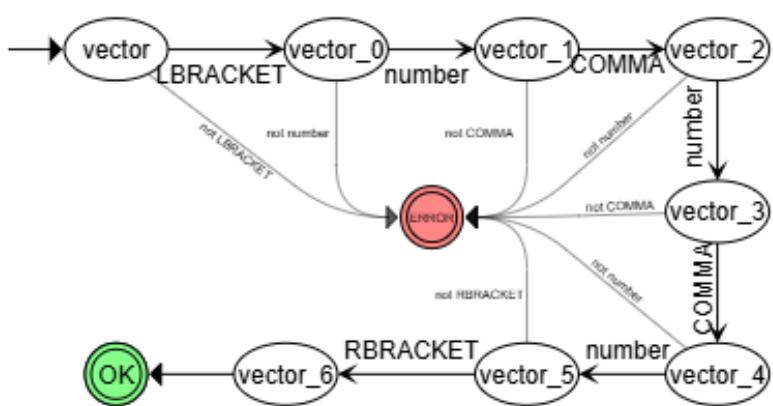


Non-Terminal Symbols



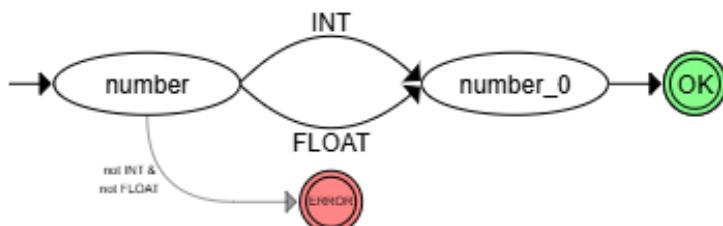
vector

Terminal Symbols



REPEAT
SPEED
FLOAT
INT
STRING
COMMA
DOT
DASH
LPAREN
RPAREN
LBRACE
RBRACE
LBRACKET
RBRACKET

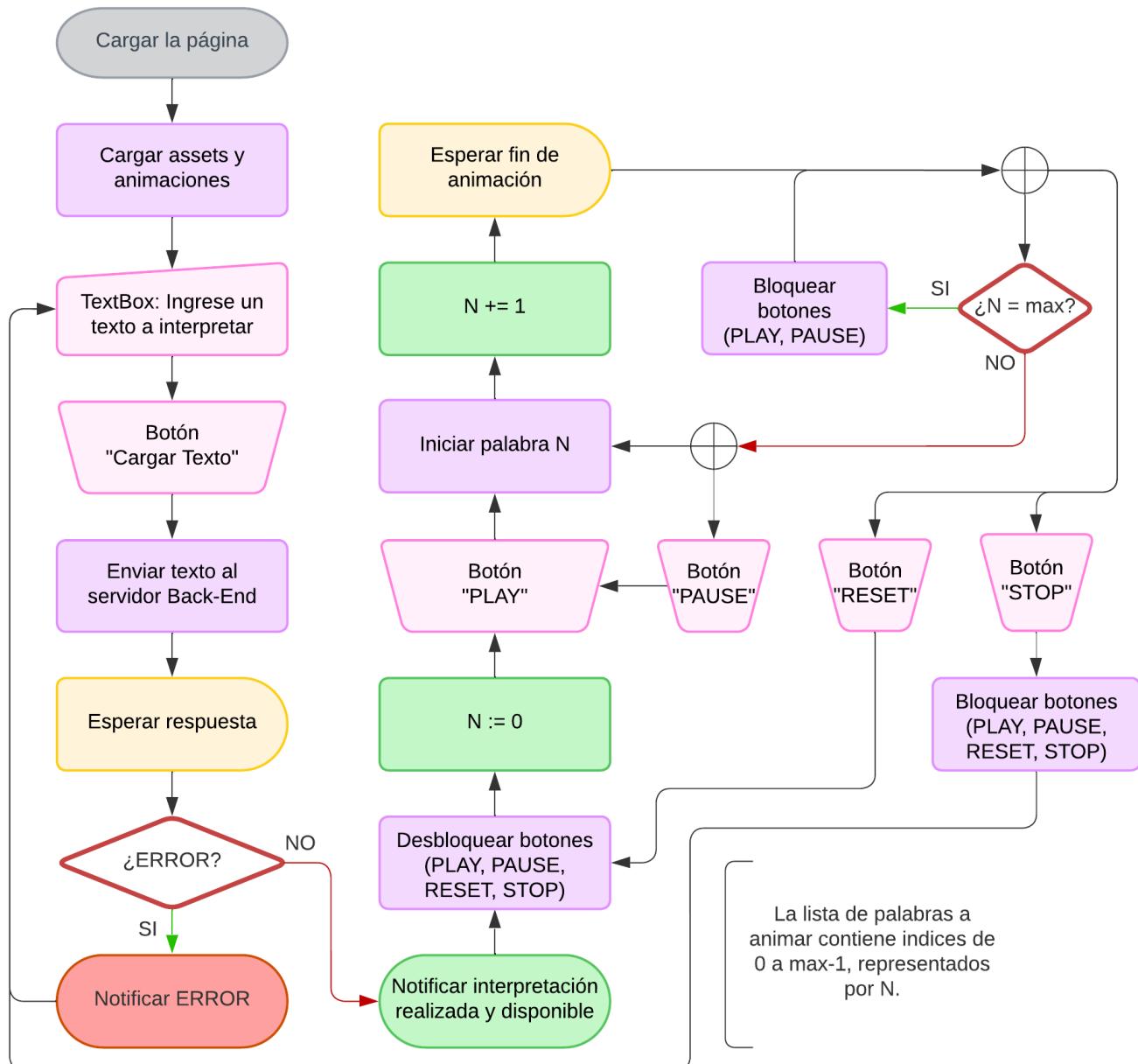
number



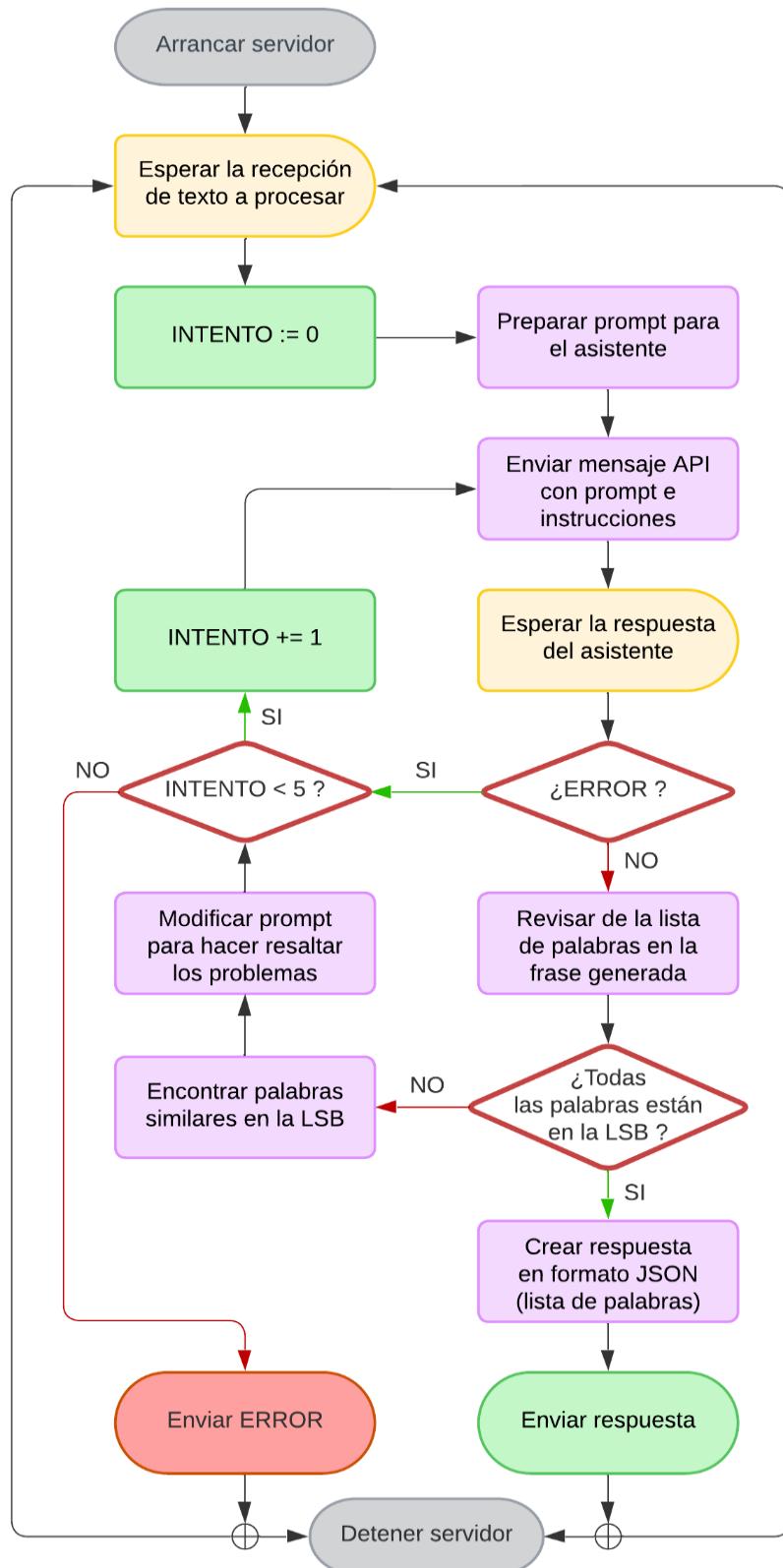
ANEXO H

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA

Funcionamiento de la interfaz gráfica de la aplicación

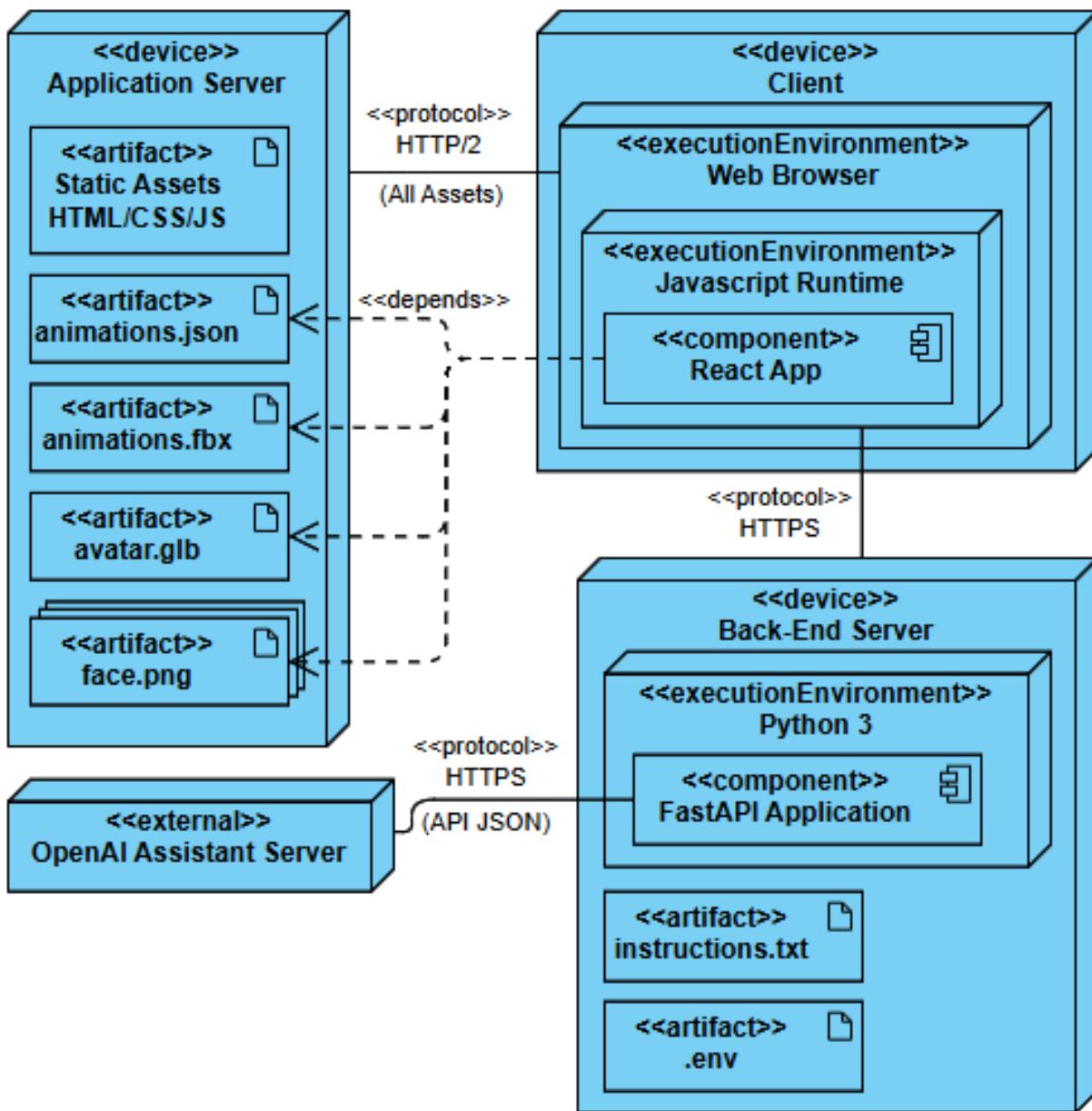


Funcionamiento del servidor Back-End



ANEXO I

DIAGRAMA DE DESPLIEGUE DEL SISTEMA



<<device>>: Estructura física, en este caso el usuario y los servidores.

<<artifact>>: Archivo necesario para el funcionamiento de las estructuras físicas.

<<external>>: Estructura externa al sistema representado.