



# **Desarrollo de un teclado en pantalla de Lengua de Señas Colombiana.**

**Cristian Camilo García Agudelo**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Administración, Departamento de Informática y Computación  
Manizales, Colombia  
2024

# **Desarrollo de un teclado en pantalla de Lengua de Señas Colombiana.**

**Cristian Camilo García Agudelo**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Administrador(a) de Sistemas Informáticos**

Director (a):

PhD, Ingeniería Néstor Darío Duque Méndez

Codirector (a):

Luis Felipe Londoño Rojas

Modalidad del trabajo de grado:

Proyecto Final

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Administración, Departamento de Informática y Computación

Manizales, Colombia

2024

## *Dedicatoria*

*A todas las personas que piensan en el bienestar de los demás y aprovechan sus habilidades para brindarles herramientas para mejorar sus limitaciones, a todas las personas con discapacidad auditiva, su fortaleza y determinación son un recordatorio constante de la importancia de crear un entorno accesible para todos.*

*A mis padres por brindarme todo lo necesario para yo poder salir adelante y enseñarme día a día a ser una persona implacable con un corazón tan gigante como el de ellos.*

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis directores, Néstor Darío Duque Méndez y Luis Felipe Londoño Rojas, por su invaluable apoyo y guía a lo largo de este proceso de investigación. Su paciencia, dedicación y disponibilidad, a pesar de sus limitadas agendas, han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Aprecio profundamente las oportunidades que me han brindado y su compromiso como grandes profesionales en el campo. Gracias por inspirarme a seguir adelante y por ayudarme a alcanzar mis metas.

A mis padres, quienes desde mi niñez han luchado incansablemente por mi bienestar, dejando de lado muchas cosas por mi estabilidad y crecimiento. Gracias por enseñarme a ser la persona que soy y por inspirarme a convertirme en el buen profesional que aspiro a ser. Su amor y apoyo han sido fundamentales en cada paso de mi vida.

A mis amigos y compañeros, que han estado presentes en mis momentos de mayor frustración. Agradezco sinceramente su compañía y apoyo, que me ayudaron a dejar atrás los malos ratos y a ver las cosas desde una perspectiva más positiva. Su amistad ha sido un pilar esencial en este camino.

## Resumen

### **“Desarrollo de Tecnología Asistiva para Mejorar la Comunicación de Personas con Discapacidad Auditiva en Entornos Digitales”.**

En la actualidad a pesar de los significativos avances tecnológicos, sigue existiendo una barrera de accesibilidad muy importante que impide que las personas con discapacidad auditiva puedan navegar y comunicarse de manera independiente. Esto se debe, en gran medida, a que muchas de estas personas no conocen el abecedario convencional que utilizamos, ya que tienen su propio lenguaje de señas para comunicarse.

Esta situación resalta la importancia de considerar las necesidades de estas personas y promover un desarrollo tecnológico inclusivo. Es fundamental que las tecnologías, especialmente aquellas que involucran la entrada de datos, ofrezcan servicios accesibles para todos, permitiendo que las personas con discapacidad auditiva puedan alcanzar una mayor independencia.

Ante esta situación hasta el momento, se han desarrollado pocos enfoques que ofrezcan una solución adecuada y de fácil acceso para las personas con discapacidad auditiva, permitiéndoles navegar de manera independiente sin necesitar la asistencia de alguien para diligenciar o realizar las entradas necesarias durante su navegación. Esto genera la necesidad de desarrollar una herramienta que se adapte a las necesidades de estas personas, facilitando su comunicación y haciendo que se sientan incluidos y libres para manejar las diversas tecnologías disponibles hoy en día.

En este trabajo de grado se propone el diseño y la implementación de una herramienta tecnológica asistiva destinada a facilitar la comunicación en línea de personas con discapacidad auditiva que utilizan la Lengua de Señas Colombiana. Ante los desafíos comunicativos y de accesibilidad que enfrentan más de 500,000 personas con discapacidad auditiva en Colombia, se propone un teclado virtual adaptativo que incorpora el alfabeto manual de la lengua de señas colombiano. Esta innovación permite la interacción intuitiva en diversos entornos digitales, mejorando significativamente la independencia y eficiencia de los usuarios al navegar en internet, completar formularios o realizar búsquedas. A través de un enfoque metodológico que abarca el desarrollo tecnológico y su aplicación práctica, se evalúa la efectividad de la herramienta en mejorar la accesibilidad web. Los resultados preliminares indican un avance significativo en la inclusión digital y la participación social de las personas con discapacidad auditiva, abogando por una mayor atención a la adaptabilidad de las tecnologías asistidas.

**Palabras clave: Discapacidad auditiva, Tecnología asistiva, Lengua de Señas Colombiana, Accesibilidad web, Inclusión digital**

## **Abstract**

### **“Development of Assistive Technology to Enhance Communication for People with Hearing Disabilities in Digital Environments”**

Currently, despite significant technological advances, there is still a very important accessibility barrier that prevents people with hearing disabilities from navigating and communicating independently. This is largely because a lot of these people do not know the conventional alphabet that we use, as they have their own sign language to communicate.

This situation highlights the importance of considering the needs of these people and promoting inclusive technological development. It is essential that technologies, especially those involving data entry, offer accessible services for all those who wish to access them, allowing people with hearing disabilities to achieve greater independence.

So far, few approaches have been developed to offer a solution that is adequate and easily accessible for people with hearing disabilities, allowing them to navigate independently without needing someone to assist them in filling out or making the entries required for what they are navigating. This creates the need to develop a tool that allows adaptation for these people and gives them that ease of communication and makes them feel included and free to handle the various technologies that we have available today.

In this thesis, the design and implementation of an assistive technological tool is proposed to facilitate online communication for people with hearing disabilities who use Colombian Sign Language. Faced with the communicative and accessibility challenges faced by more than 500,000 people with hearing disabilities in Colombia, an adaptive virtual keyboard that incorporates the manual alphabet of Colombian Sign Language is proposed. This innovation allows for intuitive interaction in various digital environments, significantly improving the independence and efficiency of users when browsing the internet, completing forms, or performing searches. Through a methodological approach that encompasses technological development and its practical application, the effectiveness of the tool in improving web accessibility is evaluated. Preliminary results indicate a significant advancement in digital inclusion and social participation for people with hearing disabilities, advocating for greater attention to the adaptability of assistive technologies.

### **Keywords:**

Hearing disability, assistive technology, Colombian Sign Language, web accessibility digital inclusion  
Accessible technology for hearing-impaired users

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen.....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Lista de tablas</b>	
.....	<b>9</b>
<b>Lista de símbolos y abreviaturas .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>11</b>
1.1 Problemática .....	11
1.2 Justificación .....	12
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo general .....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Alcance .....	13
1.5 Metodología .....	14
1.6 Organización del documento.....	15
<b>2.Marco teórico.....</b>	<b>16</b>
<b>3.Revisión sistemática de literatura.....</b>	<b>17</b>
3.1 Metodología empleada en la revisión sistemática de literatura.....	17
3.2 Discusión de resultados encontrados.....	19
3.3 Teclados de lengua de señas .....	22
3.4 Conclusiones del capítulo .....	24
<b>4.Herramientas para convertir texto en LSC y viceversa. ....</b>	<b>24</b>
4.1 Investigación Inicial.....	24
4.2 Herramientas Evaluadas.....	25
4.2.1 Comparación de Opciones .....	25
4.3 Selección de Tkinter .....	27
<b>5.Diseño del del teclado en pantalla de LSC .....</b>	<b>28</b>
5.1 Fase de Conceptualización .....	28
5.2 Estructura y disposición del teclado .....	29
5.3 Conclusiones .....	32
<b>6.Implementacion y validación del teclado en pantalla de LSC.....</b>	<b>32</b>
6.1 Implementación.....	32
6.1.1 Bibliotecas Utilizadas.....	32
6.2 Estructura del Código.....	33
6.2.1 Clases Principales .....	33

6.3 Proceso de Desarrollo.....	33
6.3.1 Diseño Inicial del Teclado.....	33
6.3.2 Evolución hacia un Teclado Visual .....	34
6.3.3 Creación de la Interfaz Gráfica .....	34
6.4. Manejo de Eventos y Funcionalidades.....	34
6.4.1 Gestión de Eventos .....	34
6.5. Desafíos y Soluciones.....	35
6.5.1 Interacción .....	35
6.5.2 Manejo de Rutas de Recursos.....	35
6.6 Optimización de la Interfaz.....	35
6.7. Creación del Archivo Ejecutable .....	38
6.7.1 Pasos para Crear el Ejecutable .....	38
6.8 Validación .....	38
6.9. Conclusiones del capítulo .....	39
<b>7. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>40</b>
7.1 Conclusiones .....	40
7.2 Recomendaciones .....	41



## Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1-1: Mockup de interfaz de usuario.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 2-1: Diagrama de flujo .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3-1 : Estructura del teclado .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4-1: Acción de tecla.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5-1 : Estado de Caps Lock. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6-1: Profundidad de las teclas. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7-1 : Cursor del teclado .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8-1: Interfaz final.....</i>	<i>37</i>

## Lista de tablas

	Pág.
<i>Tabla 1-1: Metodología.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2-1: Componentes y cadena de búsqueda .....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3-1 Cuadro comparativo de teclados .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 4-1 : Cuadro comparativo de herramientas .....</i>	<i>26</i>

## Lista de abreviaturas

### Abreviaturas

Abreviatura	Término
LSC	Lenguaje de Señas Colombiano
LSA	Lenguaje de Señas Americano
OMS	Organización Mundial de la Salud
INSOR	Instituto Nacional para Sordos
FENASCOL	Federación Nacional de Sordos de Colombia
CAA	Comunicación aumentativa y alternativa
RIPS	Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud
SIMAT	Sistema Integrado de Matricula
RNN	Redes neuronales recurrentes
CNN	Redes neuronales convolucionales

# 1. Introducción

En este capítulo se presenta el problema de investigación abordado en este trabajo de grado, los objetivos, alcance y metodología empleada para su desarrollo. Finalmente se presenta la forma como se organiza el documento.

## 1.1 Problemática

La integración plena de personas con discapacidad auditiva en la sociedad se ve obstaculizada por barreras significativas en la comunicación y el acceso a la información, especialmente en un entorno cada vez más digitalizado. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), más de 466 millones de personas en todo el mundo viven con alguna forma de discapacidad auditiva, lo que les impone desafíos en la comunicación, el acceso a la información y la participación en la sociedad. Estos desafíos son particularmente agudos en entornos digitales, donde las herramientas y plataformas no siempre están diseñadas teniendo en cuenta las necesidades de accesibilidad (World Wide Web Consortium, 2018).

A pesar de los avances en tecnologías asistidas, que incluyen desde sistemas de traducción de lenguaje de señas hasta aplicaciones móviles accesibles, persisten lagunas significativas en la accesibilidad y usabilidad para la comunidad sorda (Lin, 2019). Un ejemplo de estas limitaciones se encuentra en el Centro de Relevo en Colombia, donde, aunque se ofrecen herramientas para personas con discapacidad auditiva, la falta de tecnología que permita una comunicación verdaderamente eficaz puede llevar a la exclusión de estas personas (Centro de Relevo Colombia, 2023). La accesibilidad digital es un aspecto crítico que debe ser abordado, como lo destaca el World Wide Web Consortium (W3C) en sus pautas de accesibilidad para el contenido web, que subraya la importancia de diseñar para todos los usuarios, independientemente de sus discapacidades (W3C, 2018).

Los principios de accesibilidad aplicados a plataformas educativas, como los Learning Management Systems (LMS), son especialmente importantes dado el creciente uso de estas herramientas en contextos educativos. Pese a esto, existen numerosas barreras en plataformas como Moodle y MOOCs que impiden el acceso adecuado para personas con discapacidades, lo que pone en evidencia la necesidad de un diseño más inclusivo y adaptativo (Iniesto & Rodrigo, 2014; Iglesias & Moreno, 2014). Además, los repositorios de recursos educativos digitales, fundamentales para el aprendizaje, también enfrentan desafíos significativos en términos de accesibilidad (Londoño, Tabares, & Duque, 2015).

Para abordar estos problemas, surgieron las Web Content Accessibility Guidelines (WCAG), un conjunto de recomendaciones para promover el desarrollo de sitios web accesibles. Estas guías han influido en la creación de normativas y leyes de accesibilidad en varios países, como la Section 508 en Estados Unidos y la NTC 5854

en Colombia, aunque el cumplimiento de estas normativas aún es limitado (Jaeger, 2004; W3C, 2013; “Norma Técnica Colombiana - NTC 5854,” 2011).

## 1.2 Justificación

Estas deficiencias tecnológicas subrayan la importancia de desarrollar soluciones inclusivas que aborden directamente las necesidades de accesibilidad de la comunidad sorda. Tal es el caso del trabajo de grado aquí propuesto, que se enfoca en el diseño e implementación de un teclado en pantalla basado en la Lengua de Señas Colombiana (LSC). Esta herramienta tiene el potencial de mejorar significativamente la interacción de personas con discapacidad auditiva con sistemas informáticos, al proporcionar un acceso directo y adaptado a sus necesidades comunicativas específicas (Tanure Alves et al., 2021).

El impacto de las tecnologías asistivas en la calidad de vida de las personas con discapacidad ha sido ampliamente documentado. Por ejemplo, estudios han demostrado que el uso de tecnologías adaptativas puede mejorar la participación en actividades cotidianas, aumentar la independencia y reducir el aislamiento social (Hersh & Johnson, 2008). Este teclado en pantalla no solo contribuirá a llenar un vacío crítico en las tecnologías disponibles para la comunidad sorda, sino que también representará un avance hacia una mayor inclusión digital, promoviendo así la autonomía y participación social de las personas sordas.

La metodología Scrum, seleccionada para guiar el desarrollo de este proyecto, es particularmente adecuada para abordar los desafíos adaptativos que implica la creación de una tecnología tan especializada. Scrum permite una iteración rápida y flexible, lo que es esencial en el desarrollo de herramientas que deben adaptarse continuamente a las necesidades de los usuarios (Schwaber & Sutherland, 2020).

El diseño e implementación de un teclado en pantalla de la Lengua de Señas Colombiana (LSC) responde a la necesidad de mejorar la accesibilidad en entornos digitales para personas con discapacidad auditiva. La accesibilidad web, entendida como el conjunto de elementos que permiten a una persona, sin importar sus condiciones, acceder a los contenidos ofrecidos en la web (Lara & Martínez, 2006), es un aspecto crucial para garantizar que todos los usuarios, independientemente de sus habilidades, puedan interactuar con las tecnologías actuales. Sin embargo, la realidad es que muchas personas se enfrentan a barreras que dificultan la navegación y uso de sitios web, tanto para aquellas que presentan algún tipo de discapacidad como para las que no (Miñón, Moreno, Martínez, & Abascal, 2014).

El desarrollo de un teclado en pantalla que integre la LSC no solo busca cumplir con estos estándares de accesibilidad, sino también ofrecer una solución práctica y efectiva para personas con discapacidad auditiva, ayudando a cerrar la brecha digital que persiste en muchos entornos digitales (Alexandraki, Paramythis, Maou, & Stephanidis, 2004). Sin embargo, aunque existen guías como la GPCA (Guías Prácticas de Código

Accesible) para facilitar el desarrollo de sitios web accesibles, el reto sigue siendo grande debido a la complejidad de aplicar estas recomendaciones en la práctica (Londoño, Tabares, Bez, & Duque, 2017).

Finalmente, es crucial reconocer que la exclusión y la invisibilidad que enfrentan las personas con discapacidad auditiva en diversas esferas, como se evidencia en el estudio de Tanure Alves et al. (2021), subrayan la urgencia de implementar soluciones tecnológicas que promuevan una verdadera inclusión. Este trabajo no solo facilitará la comunicación digital, sino que también sentará un precedente para el desarrollo futuro de tecnologías asistivas que aboguen por una sociedad más equitativa e inclusiva.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar un teclado virtual de Lengua de Señas Colombiana para apoyar a personas con discapacidad auditiva en la interacción con sistemas informáticos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar las tecnologías asistivas para personas con discapacidad auditiva.
- Explorar las herramientas para convertir texto en Lengua de Señas Colombiana y viceversa.
- Diseñar el teclado virtual de Lengua de Señas Colombiana.
- Implementar el teclado virtual de Lengua de Señas Colombiana.
- Validar el teclado virtual de Lengua de Señas Colombiana.

## **1.4 Alcance**

El teclado en pantalla de LSC tiene el potencial de impactar positivamente la comunicación digital de personas con discapacidad auditiva al ofrecer una herramienta accesible y funcional que facilita la escritura en su lengua nativa. La evaluación continua y la incorporación de mejoras basadas en la retroalimentación de los usuarios serán fundamentales para ampliar su alcance y efectividad.

## 1.5 Metodología

Se seleccionó Scrum como enfoque metodológico para realizar esta investigación, ya que su enfoque de metodología ágil permite ir realizando todo el proceso de planeación, desarrollo y validación de cada uno de los objetivos definidos en esta propuesta de trabajo de grado, dado que en cada objetivo se realizan un conjunto de tareas agrupada entonces trabajaremos con epics. Para cumplir con el objetivo de esta investigación se definieron los siguientes sprints y actividades de la metodología que se muestran en la Tabla 1-1.

**Tabla 1-1: Metodología**

SPRINT	OBJETIVO ASOCIADO	ACTIVIDADES
<b>Sprint 1:</b> Investigación de Tecnologías Asistivas	Búsqueda de tecnologías asistivas para personas con discapacidad auditiva, enfocándose en herramientas que trabajen con lengua de señas.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Investigación de tecnologías asistivas existentes.</li><li>2. Compilación de una lista de tecnologías relevantes.</li><li>3. Documentación de los hallazgos en un informe.</li></ol>
<b>Sprint 2:</b> Exploración de Herramientas de Conversión	Exploración de herramientas para convertir lengua de señas a texto y viceversa en el contexto colombiano.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Búsqueda de herramientas de conversión de lengua de señas a texto y viceversa.</li><li>2. Evaluación de la aplicabilidad de estas herramientas en Colombia.</li><li>3. Creación de un documento que liste las herramientas encontradas.</li></ol>
<b>Sprint 3:</b> Diseño del Teclado Virtual en LSC	Análisis y diseño del teclado virtual de lengua de señas colombiana.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Análisis de requerimientos para el teclado virtual.</li><li>2. Diseño de la interfaz y funcionalidad del teclado.</li><li>3. Creación de un documento que contenga el diseño detallado del teclado.</li></ol>
<b>Sprint 4:</b> Desarrollo del Teclado Virtual en LSC	Desarrollo del teclado virtual de lengua de señas colombiana según el diseño del sprint 3.	

		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Implementación del teclado virtual siguiendo el diseño aprobado.</li> <li>2. Desarrollo del código fuente del teclado.</li> <li>3. Pruebas iniciales del teclado para asegurar su</li> <li>4. funcionalidad.</li> </ol>
<b>Sprint 5:</b> Pruebas y Validación del Teclado Virtual	Pruebas del teclado virtual de lengua de señas colombiana para verificar su funcionalidad en una plataforma educativa.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Definición de casos de prueba específicos.</li> <li>2. Ejecución de pruebas funcionales y de usuario en la plataforma educativa.</li> <li>3. Documentación de los resultados y ajustes necesarios.</li> </ol>

Fuente: Elaboración propia.

## 1.6 Organización del documento

Este documento está organizado de la siguiente forma: en el siguiente capítulo se presenta el marco teórico con los conceptos base para el desarrollo del trabajo de grado y que dan soporte a la propuesta. En el capítulo 3 se presenta la revisión de literatura identificando el vacío del conocimiento que fue abordado. En el capítulo 4, se aborda a detalle la revisión de herramientas que permiten convertir de imágenes a texto y viceversa entiendo que esta es una de las necesidades principales para el desarrollo del teclado. En el capítulo 5 es presentada toda la parte del diseño del teclado. En el capítulo 6 se muestran la implementación y validación respectiva del teclado. Finalmente, en el capítulo 7 son referidas las conclusiones y trabajos futuros que pueden ser realizados con base en este proyecto.

## 2.Marco teórico

En esta sección se definen los conceptos relevantes para este documento de trabajo de grado.

**Accesibilidad:** a accesibilidad se refiere a la capacidad de todas las personas para acceder y utilizar espacios, servicios, productos y tecnologías, independientemente de sus capacidades o limitaciones (Acosta-Vargas et al., 2022; Duarte & Fonseca, 2019). Esto incluye a personas con discapacidades físicas, sensoriales, cognitivas o cualquier otra condición que pueda dificultar su interacción con el entorno.

**Accesibilidad Web:** La accesibilidad web se refiere a la práctica de diseñar y desarrollar sitios web y aplicaciones de manera que sean utilizables por todas las personas, incluidas aquellas con discapacidades (Sodhar et al., 2019). Esto implica garantizar que cualquier usuario, sin importar sus capacidades físicas, visuales, auditivas o cognitivas, pueda acceder a la información y los servicios en línea. La accesibilidad web no solo beneficia a las personas con discapacidades, sino que también mejora la experiencia de usuario en general y puede aumentar el alcance de un sitio web. Además, es un requisito legal en muchos países.

**Normativas de Accesibilidad Web:** la accesibilidad es una característica muy importante en la web por lo que el consorcio de la World Wide Web (WWW), desde el año 2008 creó las guías prácticas de contenido accesibles WCAG, en las cuales se definen las directrices de las características mínimas que debe tener un sitio web para ser accesible, estas guías se van actualizando en periodos de aproximadamente 4 años, la última versión 2.2 se publicó en octubre del 2023.

A partir de las WCAG, la gran mayoría de países de todo el mundo las utilizan como referencia para generar normativas o regulaciones internas para garantizar la accesibilidad de los sitios web, en Colombia se cuenta con la Norma Técnica Colombiana NTC 5854 la cual establece los requisitos de accesibilidad que son aplicables a las páginas web, que se presentan agrupados en los tres niveles de conformidad definidos en las WCAG.



### 3.Revisión sistemática de literatura

En este capítulo se llevó a cabo una identificación exhaustiva de la literatura existente sobre tecnologías asistivas para personas con discapacidad auditiva. Este análisis es fundamental para finalmente mostrar algunas conclusiones que llevan a la declaración del vacío del conocimiento.

#### 3.1 Metodología empleada en la revisión sistemática de literatura

Para el proceso de revisión de literatura el primer paso fue definir con claridad el objetivo de la revisión, el cual consiste en identificar las herramientas tecnológicas, software y metodologías existentes que pudieran facilitar la accesibilidad y comunicación de las personas con discapacidad auditiva

Una vez definido lo que se quería alcanzar en la revisión sistemática, se siguió con la identificación de componentes y palabras clave para saber cómo se conforma la cadena de búsqueda. Las palabras clave se establecieron en inglés dado que la mayoría de las publicaciones científicas o sus metadatos se encuentran en este idioma.

**Tabla 2-1: Componentes y cadena de búsqueda**

	Accesibilidad Tecnológica	Lengua de señas	Teclado Virtual	Discapacidad Auditiva
<b>Palabras Clave (OR)</b>	"assistive technology" OR "inclusive technology" OR "accessible technology"	"sign language" OR "Colombian Sign Language" OR "LSC" OR "Lengua de Señas"	"virtual keyboard" OR "on-screen keyboard" OR "teclado virtual"	"hearing impairment" OR "deaf community" OR "discapacidad auditiva"
<b>Componentes (AND)</b>	"assistive technology"	"sign language"	"virtual keyboard"	"hearing impairment"
<b>ECUACIÓN DE BÚSQUEDA</b>				
("sign language" OR "Colombian Sign Language" OR "LSC" OR "Lengua de Señas") AND ("assistive technology" OR "inclusive technology" OR "accessible technology") AND ("virtual keyboard" OR "on-screen keyboard" OR "teclado virtual") AND ("hearing impairment" OR "deaf community" OR "discapacidad auditiva")				

Fuente: elaboración propia

Además de la cadena de búsqueda para aumentar la relevancia de los resultados se establecieron criterios para determinar qué estudios y artículos debían incluirse en la revisión. Esto ayudó a filtrar la información más relevante y evitar la sobrecarga de datos.

#### **Criterios de inclusión:**

- Estudios publicados entre 2010 y la actualidad.
- Artículos relacionados con el desarrollo de tecnologías asistivas y teclados virtuales.
- Investigaciones que mencionan la integración de lenguas de señas en herramientas digitales.

Se eligieron diversas **fuentes de información** y bases de datos confiables, tanto académicas como tecnológicas, para obtener artículos y estudios relevantes. Entre las más importantes se encuentran:

**Bases de datos académicas:** Scopus, Web of Science, Google Scholar, IEEE Xplore, Ebsco.

Después de realizar las búsquedas, se llevó a cabo un filtrado de los resultados obtenidos. Los artículos fueron seleccionados en función de su título y resumen (abstract). Los estudios que parecían más prometedores fueron analizados en mayor profundidad, considerando factores como:

- Relevancia para el desarrollo de herramientas accesibles.
- Aplicabilidad al contexto colombiano y de la Lengua de Señas Colombiana (LSC).
- Innovaciones en softwares para personas con discapacidad auditiva.

Se identificaron artículos relevantes que describen desarrollos recientes en el campo de la tecnología asistiva. Se prestó especial atención a aquellos que ofrecen soluciones prácticas, como aplicaciones móviles, dispositivos portátiles, sistemas de reconocimiento de voz y gestos, y traducción de lenguaje de señas. Cada artículo fue cuidadosamente leído para extraer las ideas principales, enfocándose en la descripción de las tecnologías, sus características distintivas, la población objetivo, y los beneficios potenciales para usuarios con discapacidades auditivas.

Para esto se documentó el proceso de identificación, destacando cómo cada tecnología identificada se alinea con las necesidades de la comunidad sorda o con discapacidad auditiva. Se clasificaron las herramientas basadas en varios criterios, incluyendo su accesibilidad, tipo de interfaz, gratuidad, y compatibilidad con sistemas operativos.

Los resultados obtenidos demuestran una tendencia creciente hacia la integración de inteligencia artificial y análisis de gestos en soluciones asistivas, resaltando la importancia de la personalización y accesibilidad en el diseño de estas tecnologías. Este análisis detallado no solo justifica la relevancia del trabajo de grado, sino que también subraya el potencial impacto positivo de estas innovaciones en la inclusión social y comunicativa de personas con discapacidad auditiva.

Finalmente, la información obtenida de los estudios seleccionados fue sintetizada y organizada en un cuadro comparativo realizado a través de Excel en donde se incluyen categorías, como tecnologías asistivas, teclados virtuales, interfaces accesibles, predicción de palabras, y uso de lenguas de señas.

### 3.2 Discusión de resultados encontrados

La tecnología ha permitido nuevas formas de asistencia para personas con discapacidades auditivas, entre ellas da a lugar **BridgeApp** (ICTC, 2019) una aplicación móvil diseñada para facilitar la comunicación entre personas sordas y oyentes mediante la traducción en tiempo real de lenguaje de señas a texto y audio. Este trabajo se enfoca en eliminar las barreras comunicativas que enfrentan las personas sordas, brindándoles una herramienta accesible desde sus teléfonos móviles. La aplicación surge en un contexto donde la comunicación entre personas sordas y oyentes sigue siendo un desafío importante, especialmente en situaciones cotidianas.

- **Fortalezas:** BridgeApp es pionera en ofrecer una traducción en tiempo real del lenguaje de señas a texto, lo que permite una integración fluida de las personas sordas en interacciones sociales sin la necesidad de intérpretes humanos. Además, su accesibilidad en dispositivos móviles la hace fácil de usar en diferentes entornos.
- **Debilidades:** A pesar de su funcionalidad, la aplicación enfrenta limitaciones técnicas, especialmente en el reconocimiento de gestos complejos o en condiciones de baja iluminación. Esto puede afectar la precisión de la traducción y reducir su efectividad en algunas situaciones.

El reconocimiento de voz en tiempo real sigue siendo una herramienta prometedora para la inclusión de personas sordas. En la búsqueda de herramientas que existen se encontró (Yağanoğlu, 2021) El **sistema de reconocimiento de voz en tiempo real** descrito en este artículo es una innovación diseñada para ayudar a las personas sordas a participar en conversaciones cotidianas al convertir el habla en texto instantáneamente. La implementación de este sistema tiene como objetivo eliminar las barreras comunicativas, permitiendo que las personas sordas se integren plenamente en interacciones sociales y laborales.

- **Fortalezas:** La integración de redes neuronales recurrentes (RNN) y redes neuronales convolucionales (CNN) permite un alto nivel de precisión y adaptabilidad en la transcripción de voz a texto. Esto es crucial para las personas sordas, ya que les permite interactuar en tiempo real en entornos cotidianos.
- **Debilidades:** A pesar de su potencial, el artículo no menciona una implementación práctica de la herramienta, lo que deja en duda su accesibilidad para los usuarios. Además, su eficacia en diferentes idiomas o dialectos no ha sido probada, lo que podría limitar su uso en contextos multiculturales.

El reconocimiento de gestos en el lenguaje de señas ha sido uno de los desarrollos más importantes en las tecnologías asistivas. El artículo(S. Upendran and A. Thamizharasi, 2014) se detalla un sistema que utiliza reconocimiento de imágenes

para traducir gestos en ASL (Lenguaje de Señas Americano) a texto y voz, facilitando la comunicación para personas sordas y mudas.

- **Fortalezas:** El enfoque en el reconocimiento de gestos estáticos permite una traducción rápida y eficaz, lo que es útil para las interacciones diarias. La conversión de ASL a texto y voz es una herramienta esencial para la inclusión de personas sordas en entornos laborales y sociales.
- **Debilidades:** El sistema aún enfrenta limitaciones al reconocer gestos más dinámicos o complejos, lo que restringe su utilidad a un conjunto limitado de señas. Además, no se menciona información sobre su disponibilidad para el público general.

La creación de diccionarios colaborativos ha sido una solución eficaz que también se ha implementado para la expansión del lenguaje de señas. En el artículo (Da Costa et al., 2019) se presenta **iLibras** la cual es una herramienta colaborativa que permite a la comunidad sorda brasileña contribuir y expandir el vocabulario en Libras. Este enfoque busca no solo facilitar la comunicación, sino también empoderar a la comunidad sorda a través de la creación de contenido compartido.

- **Fortalezas:** iLibras no solo actúa como un diccionario de términos en Libras, sino que también es una plataforma colaborativa, permitiendo la creación de contenidos por parte de la comunidad. Esto fomenta el crecimiento y la expansión del vocabulario en lenguaje de señas.
- **Debilidades:** A pesar de sus ventajas, iLibras aún no es accesible en múltiples idiomas o regiones fuera de Brasil, lo que limita su impacto global. Además, no se menciona si existen versiones para otras plataformas fuera de Android.

El uso de avatares 3D y aprendizaje adaptativo ha ganado terreno en la tecnología educativa. Para la comunidad sorda en Sri Lanka (Gamage et al., 2024), se presenta una solución innovadora que utiliza avatares 3D y aprendizaje adaptativo para traducir el lenguaje de señas en Sinhala, lo que abre nuevas posibilidades para la enseñanza y la comunicación asistida.

- **Fortalezas:** La integración de avatares 3D inmersivos mejora la experiencia de aprendizaje, permitiendo una representación más clara de las señas. Además, el uso de IA para reconocer emociones añade una capa de interacción más rica.
- **Debilidades:** Aunque la propuesta es innovadora, no se especifican detalles sobre su implementación práctica. La disponibilidad y accesibilidad de esta tecnología también siguen siendo puntos críticos por abordar.

Las aplicaciones móviles han jugado un papel crucial en el apoyo a la comunidad sorda, por lo que en (N. Noordin and F. Hanis Abdul Razak et al., 2015) ,se destaca una aplicación que incluye funciones como chat grupal y geolocalización para ayudar a las personas sordas y sus cuidadores a mantenerse conectados.

- **Fortalezas:** La inclusión de funciones como geolocalización y chat grupal ofrece un enfoque completo para mejorar la interacción social dentro de la comunidad sorda. Su enfoque en la facilidad de uso también es una ventaja destacada.
- **Debilidades:** A pesar de su utilidad, la aplicación no está completamente optimizada para el uso internacional, ya que parece centrarse en un contexto local específico. Además, no se menciona si es compatible con múltiples idiomas.

Los biosensores y los dispositivos portátiles han abierto nuevas vías para mejorar la vida de personas con discapacidades auditivas. Como se puede evidenciar en (Padmanandam et al., 2022) dónde se ofrece una revisión sobre el uso de biosensores en tiempo real para monitorear la salud y mejorar la comunicación. La IA aplicada a estos dispositivos permite la detección precisa de estímulos fisiológicos, proporcionando asistencia personalizada.

- **Fortalezas:** El uso de biosensores con IA para la detección en tiempo real de estímulos fisiológicos es un avance importante. Estos dispositivos pueden mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad auditiva, al proporcionar información personalizada y en tiempo real sobre su entorno.
- **Debilidades:** A pesar del potencial de los biosensores, muchos de estos dispositivos aún están en fase experimental y no están disponibles comercialmente. Además, no se mencionan detalles específicos sobre su accesibilidad o implementación en aplicaciones reales.

La inteligencia artificial y el aprendizaje profundo continúan siendo un pilar en el desarrollo de tecnologías para la discapacidad auditiva. En el artículo (Papastratis et al., 2021) sobre el reconocimiento de gestos mediante aprendizaje adaptativo y avatares 3D, se aborda cómo estas tecnologías pueden mejorar la enseñanza del lenguaje de señas.

- **Fortalezas:** El uso de IA para capturar emociones y la aplicación de avatares 3D inmersivos hacen que el aprendizaje sea interactivo y más efectivo. Esto permite que los usuarios adquieran habilidades de lenguaje de señas de manera más intuitiva.
- **Debilidades:** El artículo no presenta un sistema implementado y accesible para su uso masivo. Además, no se menciona si el sistema es multilingüe, lo cual podría limitar su adopción en otros países o contextos.

El reconocimiento de gestos en el lenguaje de señas ha sido uno de los desarrollos más importantes en las tecnologías asistivas. En la conferencia (S. Upendran and A. Thamizharasi, 2014) se detalla un sistema que utiliza reconocimiento de imágenes para traducir gestos en ASL (Lenguaje de Señas Americano) a texto y voz, facilitando la comunicación para personas sordas y mudas.

- **Fortalezas:** El enfoque en el reconocimiento de gestos estáticos permite una traducción rápida y eficaz, lo que es útil para las interacciones diarias. La conversión de ASL a texto y voz es una herramienta esencial para la inclusión de personas sordas en entornos laborales y sociales.
- **Debilidades:** El sistema aún enfrenta limitaciones al reconocer gestos más dinámicos o complejos, lo que restringe su utilidad a un conjunto limitado de señas. Además, no se menciona información sobre su disponibilidad para el público general.

### **Feedback and Communication Systems for the Deaf (ISEMANTIC, 2019)**

Este artículo explora un sistema de **retroalimentación** que utiliza señales visuales y táctiles para mejorar la comunicación de las personas sordas. La tecnología busca proporcionar información en tiempo real en situaciones donde el lenguaje verbal o gestual no es posible.

- **Fortalezas:** La integración de retroalimentación táctil y visual mejora la accesibilidad, permitiendo que las personas sordas reciban información de manera inmediata. Esto puede ser fundamental en entornos donde las herramientas convencionales no son prácticas.
- **Debilidades:** Aún en desarrollo, el sistema no ha sido implementado para un uso masivo. La falta de detalles sobre su compatibilidad con dispositivos también podría limitar su adopción.

### **Learning Sign Language Basics Supported by Assistive Technology**

Este artículo describe una plataforma educativa que utiliza tecnologías asistivas para enseñar los fundamentos del lenguaje de señas. El objetivo es hacer que el aprendizaje sea accesible y efectivo para los nuevos aprendices.

- **Fortalezas:** La plataforma ofrece un enfoque interactivo que facilita la enseñanza y la retención de los conceptos básicos del lenguaje de señas, haciendo que el aprendizaje sea más atractivo para los usuarios.
- **Debilidades:** A pesar de su enfoque prometedor, no está claro si la herramienta está disponible para el uso general. La falta de validación en entornos educativos también limita su credibilidad como recurso de aprendizaje.

## **3.3 Teclados de lengua de señas**

Durante la investigación previa al desarrollo del teclado en pantalla de Lengua de Señas Colombiana, se identificaron varias soluciones tecnológicas que ya abordaban la necesidad de inclusión digital para personas sordas a través de teclados que

representan la lengua de señas. Sin embargo, estos teclados presentaban ciertas limitaciones y características que diferenciaban al proyecto aquí presentado.

**ASL SwipeKeys** : Teclado que ayuda a aprender y comunicarse usando el alfabeto de signos americano con deletreo manual.

**SingChat**: Aplicación móvil que cuenta, entre otras cosas, con un teclado específico que contiene todo el alfabeto del lenguaje de señas colombiano.(Jorge Saad y Oscar Erazo, 2020)

**Tabla 3-1 Cuadro comparativo de teclados**

Características	Teclado en pantalla de LSC	ASL Swipe Keys	SingChat
Gratuito	✓	✗	✓
Tipo de sistema	Escritorio	Móvil(iOS)	Móvil(Android)
Lengua de señas	Lengua de señas Colombiana	Lengua de señas Americana	Lengua de señas Colombiana
Funcionalidad principal	Escritura en LSC	Escritura en ASL	Escritura en LSC ó normal de acuerdo a las características necesarias

Fuente: Elaboración propia.

Estos teclados de lengua de señas ya existentes como se puede observar en la tabla están diseñados para dispositivos móviles y se distribuyen como aplicaciones de pago. Estas herramientas, aunque útiles en entornos móviles, no están adaptadas para su uso en computadores de escritorio, lo que restringe su aplicabilidad en entornos laborales o educativos, donde el uso de equipos de escritorio es predominante. Esta es una de las principales diferencias del teclado desarrollado en este trabajo, el cual se ha enfocado en ofrecer una solución gratuita y accesible para computadoras de escritorio.

Otra limitación observada en los teclados existentes es que algunos no están orientados a personas que utilizan la lengua de señas como su principal medio de comunicación. En cambio, el teclado en pantalla de LSC desarrollado en este proyecto tiene como objetivo mejorar la experiencia de personas que son usuarias nativas de la lengua de señas, facilitando la comunicación en entornos digitales mediante una interfaz visual que representa fielmente las señas del alfabeto.

Este proyecto se diferencia por su enfoque en la accesibilidad gratuita, su adaptabilidad a entornos de escritorio y su alineación con las necesidades específicas de las personas sordas que utilizan la Lengua de Señas Colombiana como su principal medio de comunicación.

### **3.4 Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se presentó una revisión de literatura centrada en la identificación de tecnologías asistivas diseñadas para personas con discapacidad auditiva. A través de este proceso, se analizaron diversas herramientas, los resultados muestran un avance significativo en la implementación de aplicaciones móviles, dispositivos portátiles, sistemas de reconocimiento de voz y gestos, y plataformas educativas.

Entre los principales hallazgos, se destaca la creciente relevancia de herramientas colaborativas como iLibras y la evolución de dispositivos de reconocimiento de gestos, como se muestra en el American Sign Language Interpreter System y BridgeApp. A su vez, los biosensores y dispositivos portátiles, como los revisados en Artificial Intelligence Biosensing System, presentan un potencial de personalización y monitorización en tiempo real.

Estos hallazgos revelan que, aunque existen múltiples soluciones tecnológicas, muchas de estas tecnologías aún enfrentan limitaciones en su disponibilidad y en la capacidad de reconocer gestos complejos o realizar adaptaciones automáticas para distintos contextos lingüísticos y muchas aún están en fase experimental. Asimismo, se observó que la mayoría de estas tecnologías se enfocan en contextos específicos, limitando su adopción a nivel global.

## **4.Herramientas para convertir texto en LSC y viceversa.**

Este capítulo aborda la selección de herramientas para desarrollar un teclado en pantalla basado en la Lengua de Señas Colombiana (LSC). Se analizarán diferentes bibliotecas y frameworks de Python, evaluando su capacidad para convertir imágenes de señas a caracteres alfanuméricos en un teclado virtual. Finalmente, se justificará la elección de tkinter como la opción más adecuada para este proyecto, destacando cómo facilitó la creación de un entorno interactivo y funcional.

### **4.1 Investigación Inicial**

En la fase inicial de investigación, se exploraron diversas bibliotecas y frameworks para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (GUI) en Python, con un enfoque especial en aquellas que pudieran manejar imágenes y eventos de usuario de manera eficiente. A continuación, se detallan las principales herramientas consideradas durante esta etapa:



## 4.2 Herramientas Evaluadas

### 1. Tkinter

Tkinter es la biblioteca estándar de Python para la creación de interfaces gráficas. Ofrece una amplia gama de widgets y funcionalidades que facilitan el desarrollo de aplicaciones interactivas. Su compatibilidad con la biblioteca PIL (Pillow) permite cargar y manipular imágenes, lo cual es esencial para representar las señas de LSC en el teclado virtual. Además, tkinter maneja eventos de usuario como clics y pulsaciones de teclas de manera eficiente.

### 2. PyQt/PySide

Estas bibliotecas son interfaces para el framework Qt, ampliamente utilizado para el desarrollo de aplicaciones de escritorio. Ofrecen una gran flexibilidad y control sobre la interfaz gráfica y permiten la manipulación avanzada de imágenes. Sin embargo, su curva de aprendizaje es más pronunciada y la configuración inicial puede ser más compleja comparada con tkinter.

### 3. Kivy

Kivy es una biblioteca de Python que permite la creación de aplicaciones multi-touch con soporte para una amplia gama de dispositivos, incluidas pantallas táctiles. Su diseño moderno y capacidad para manejar gráficos avanzados lo hacen una opción viable para aplicaciones interactivas. No obstante, puede ser excesivo para un proyecto sencillo y tiene una integración más limitada con las bibliotecas estándar de Python.

### 4. Pygame

Aunque Pygame se utiliza principalmente para el desarrollo de videojuegos, también es útil para crear interfaces gráficas que requieran manipulación avanzada de imágenes y eventos de usuario. Su enfoque en gráficos y animaciones lo hace adecuado para aplicaciones interactivas, pero carece de la estructura de widget formal que ofrecen tkinter o PyQt.

### 5. wxPython

Es un wrapper para la biblioteca GUI wxWidgets, que proporciona una serie de controles similares a los de tkinter con soporte para más estilos de interfaz nativa en diversas plataformas. Ofrece mayor control sobre el diseño y apariencia de los widgets, pero su configuración inicial es más compleja y su comunidad de soporte es más reducida.

### 4.2.1 Comparación de Opciones

Durante la evaluación de estas herramientas, se utilizaron los siguientes criterios:

- **Facilidad de Uso:** Curva de aprendizaje y simplicidad en la implementación.
- **Integración con Python:** Compatibilidad y facilidad de integración con otros módulos de Python.

- **Capacidad para Manejar Imágenes:** Eficiencia en la carga, manipulación y presentación de imágenes.
- **Soporte para Eventos de Usuario:** Capacidad para manejar interacciones del usuario como clics y pulsaciones.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo con las principales características de cada herramienta:

**Tabla 4-1 : Cuadro comparativo de herramientas**

Herramienta	Facilidad de Uso	Integración con Python	Manejo de Imágenes	Soporte de Eventos	Ventajas	Desventajas
<b>Tkinter</b>	Alta	Directa	Buena (con PIL)	Excelente	Simplicidad, integración con Python, soporte robusto para eventos	Interfaz menos moderna, diseño limitado
<b>PyQt/PySide</b>	Media	Completa	Excelente	Excelente	Flexibilidad, gráficos avanzados, multiplataforma	Curva de aprendizaje alta, configuración compleja
<b>Kivy</b>	Media	Completa	Excelente	Excelente	Soporte para pantallas táctiles, diseño moderno	Sobrecarga para aplicaciones sencillas, integración compleja
<b>Pygame</b>	Baja	Buena	Excelente	Buena	Control avanzado de gráficos, adecuado para animaciones	No tiene estructura de widget, difícil manejo de eventos complejos
<b>wxPython</b>	Media	Buena	Buena	Buena	Estilo nativo,	Configuración inicial

					control avanzado de widgets	compleja, comunidad pequeña
--	--	--	--	--	-----------------------------------	-----------------------------------

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Selección de Tkinter

Después de evaluar estas opciones, se decidió utilizar tkinter debido a las siguientes razones:

- **Integración Directa con Python:** Al ser la biblioteca estándar para GUI en Python, tkinter facilitó una implementación rápida y sin complicaciones de compatibilidad.
- **Versatilidad y Simplicidad:** Ofrece una gama completa de widgets que permiten diseñar interfaces gráficas funcionales y eficaces con una sintaxis simple.
- **Capacidad para Manejar Imágenes:** Con el soporte de la biblioteca PIL, tkinter permite cargar y manipular imágenes fácilmente, cumpliendo con los requisitos del teclado en pantalla.
- **Soporte Robusto para Eventos:** tkinter maneja de manera eficiente los eventos de usuario, lo cual es crucial para la interacción con el teclado virtual.

#### Beneficios de Tkinter en el Proceso de Desarrollo

La elección de tkinter no solo facilitó el desarrollo inicial del teclado virtual, sino que también permitió la rápida implementación de funcionalidades adicionales, como:

- **Interfaz Intuitiva:** La estructura de widgets de tkinter permitió crear una disposición clara y ordenada del teclado, haciendo que las señas en LSC fueran fácilmente identificables y accesibles para el usuario.
- **Gestión de Eventos de Usuario:** Se implementó un sistema eficiente para manejar clics y pulsaciones de teclas, garantizando que cada interacción con el teclado fuera registrada y procesada correctamente.
- **Flexibilidad en el Diseño:** La combinación de tkinter con PIL permitió ajustar y redimensionar las imágenes de las señas de LSC según las necesidades del diseño, asegurando que el teclado mantuviera una apariencia coherente y profesional.

En conclusión, tkinter resultó ser la mejor opción para el desarrollo del teclado en pantalla de Lengua de Señas Colombiana debido a su facilidad de uso, integración con Python y soporte robusto para la manipulación de imágenes y eventos de usuario.

Aunque otras herramientas podrían haber ofrecido ventajas adicionales, su complejidad y curva de aprendizaje las hicieron menos adecuadas para este proyecto.

## 5. Diseño del del teclado en pantalla de LSC

Este capítulo describe el proceso de diseño del teclado virtual, centrándose en la conceptualización y las decisiones que guiarán su desarrollo. A lo largo de este proceso, se abordarán diversas consideraciones técnicas y de diseño, con el objetivo de crear una herramienta funcional que permita a los usuarios escribir texto en un entorno controlado. Se detallarán las fases de desarrollo, los requisitos identificados, los retos superados y las mejoras implementadas para optimizar la experiencia de uso.

### 5.1 Fase de Conceptualización

En esta fase, se definieron los objetivos y características esenciales del teclado, destacando los siguientes requerimientos:

#### Requerimientos Funcionales:

- **Interacción con Teclas:** Cada tecla debe responder a clics y mostrar la letra correspondiente a la imagen del gesto determinado del diccionario dactilológico colombiano.
- **Barra Espaciadora:** Debe permitir la inserción de espacios entre palabras.
- **Tecla de Retroceso:** Debe permitir borrar caracteres bien sea seguido dejando la tecla oprimida o uno a uno según lo determine la forma o clics en que el usuario interactúe con el teclado.
- **Tecla enter:** Debe permitir generar un salto de línea donde se pueda correr el curso que indica donde se está escribiendo y justo allí se siga con la redacción que este realizando el usuario.
- **Predicción de Palabras:** Se implementará una función que sugiera palabras mientras el usuario escribe. Esto surge de la necesidad de acelerar la redacción, ya que escribir con el teclado virtual es más lento que en uno tradicional, donde las teclas se presionan directamente. Al ofrecer sugerencias de palabras comunes, se facilitará una escritura más ágil y eficiente. (en desarrollo)

#### Requerimientos no funcionales:

- **Accesibilidad:** El teclado debía estar diseñado específicamente para personas con discapacidad auditiva, utilizando imágenes de los gestos en LSC que representan el abecedario dactilológico colombiano.
- **Simplicidad y usabilidad:** La interfaz gráfica debía ser clara y de fácil navegación, eliminando elementos innecesarios que particularmente no usan las personas con discapacidad auditiva o al menos no aquellas que no

entienden la lengua castellana o están en etapas tempranas de la discapacidad, maximizando así la experiencia del usuario.

- **Foco en un entorno controlado:** El teclado funcionaría dentro de su propia ventana, teniendo un cuadro de escritura donde se pudiera evidenciar todo lo que el usuario haya escrito por medio de este.
- **Rendimiento:** El teclado debe operar sin retrasos en la respuesta al usuario, entregando con este un rendimiento constante el cual le permita identificar exactamente las teclas que

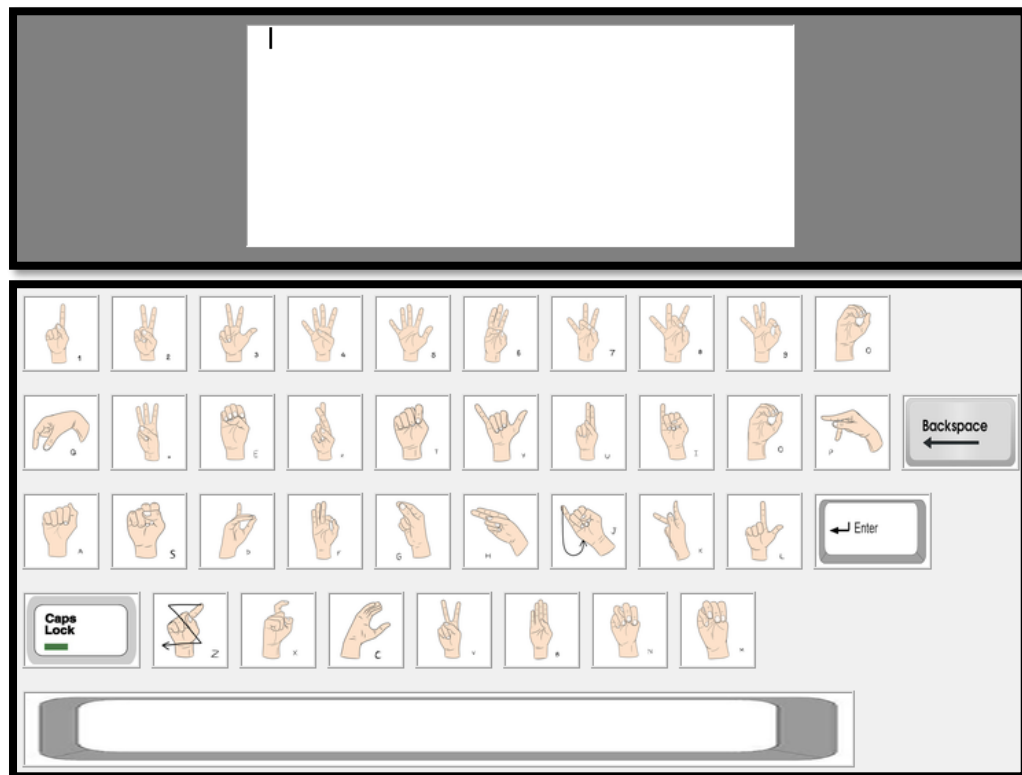
## 5.2 Estructura y disposición del teclado

El diseño del teclado se basó en una disposición similar a la del teclado QWERTY tradicional, pero adaptada para incluir imágenes en lugar de letras. Cada tecla del teclado representa una letra del alfabeto mediante un gesto en LSC (Abecedario dactilológico colombiano). Las decisiones clave en cuanto a la disposición de las teclas incluyen:

- **Teclas con imágenes:** Cada tecla está asociada con una imagen que representa el gesto correspondiente a una letra del alfabeto en LSC. Estas imágenes fueron seleccionadas cuidadosamente para asegurar que fueran claras, reconocibles y la adecuada debido a que en cuestión de los abecedarios dactilológicos de los países varían mucho entre ellos, por consiguiente, era necesario saber seleccionar las imágenes correctas.
- **Distribución simplificada:** Algunas teclas del teclado convencional, se eliminaron para simplificar la interfaz y evitar tener carga de teclas que quizás representen un desafío al usuario con discapacidad auditiva. Además, se reorganizaron algunas teclas, como la barra espaciadora, para mejorar la presentación visual.
- **Filas de Caracteres:** El teclado incluye filas específicas para números y letras, así como teclas de acción como "Backspace", "Enter" y "Espacio". Esta organización permite a los usuarios acceder rápidamente a los caracteres que necesitan.
- **Teclas Especiales:** Se incorporan teclas como "Caps Lock" para alternar entre mayúsculas y minúsculas, lo que es esencial para la escritura en español. Además, la tecla "Backspace" permite corregir errores de manera eficiente.
- **Distribución tradicional:** La disposición de las teclas se diseñaron para que su presentación sea similar a la de un teclado tradicional esto con el fin de aumentar la curva de aprendizaje, con la idea que los usuarios puedan a largo plazo teniendo más afinidad y conocimiento de la disposición de las teclas, para que así puedan interactuar en ocasiones futuras con teclados tradicionales y no se les represente un reto muy difícil de superar si no que por lo contrario les ayude a darle una usabilidad normal, eliminando así dicha barrera.

### Figura 1-1: Mockup de interfaz de usuario

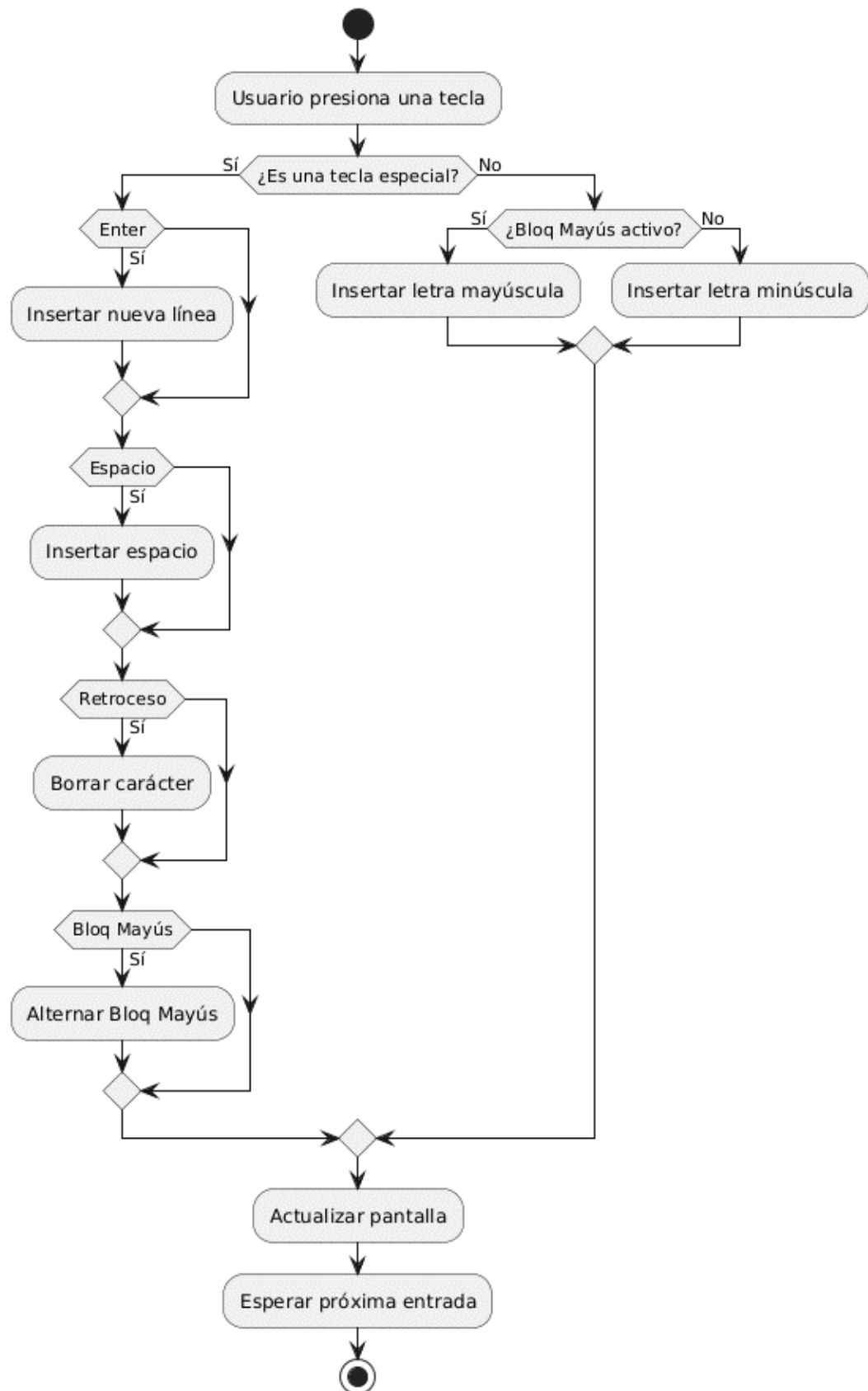
Este mockup ilustra el diseño visual del teclado virtual para la Lengua de Señas Colombiana. Presenta una interfaz intuitiva y accesible, con un diseño limpio y centrado en la usabilidad. Las teclas están organizadas de manera clara, destacando las imágenes que representan cada letra en LSC. La disposición de las teclas permite una fácil identificación y selección, optimizando la experiencia del usuario y facilitando la redacción para personas con discapacidad auditiva.



Fuente: Elaboración propia

### Figura 2-1: Diagrama de flujo

Este diagrama de flujo detalla los diferentes pasos y decisiones en el procesamiento de las entradas del teclado, desde que el usuario presiona una tecla hasta que el texto se actualiza en el área de texto. Este diagrama ayuda a visualizar la lógica detrás del manejo de eventos y teclas.



Fuente: Elaboración propia

## 5.3 Conclusiones

Este capítulo destaca la importancia de un diseño reflexivo y centrado en el usuario en la creación de herramientas digitales inclusivas. El enfoque en la accesibilidad y la simplicidad son fundamentales para desarrollar un teclado en pantalla que satisfaga las necesidades específicas de las personas con discapacidad auditiva.

El diseño del teclado se llevará cabo mediante un proceso iterativo, basado en pruebas y retroalimentación. Este enfoque permitirá:

Simplificación Continua: Ajustar la interfaz según la retroalimentación.

Reorganización Basada en Usabilidad: Hacer cambios en la distribución de las teclas.

## 6. Implementación y validación del teclado en pantalla de LSC

Este capítulo detalla la implementación del teclado en pantalla de Lengua de Señas Colombiana. La implementación se realizó utilizando Python, un lenguaje de programación versátil y de fácil acceso, junto con la biblioteca Tkinter para la creación de interfaces gráficas. Este proceso incluyó diversas fases, desde el desarrollo inicial de un teclado tradicional hasta la integración de imágenes representativas del abecedario dactilológico colombiano. Además del apartado donde se habla de la validación del teclado con respecto a su funcionamiento correcto y aparte la retroalimentación de un usuario con discapacidad auditiva en caso de ser posible.

### 6.1 Implementación

Para la implementación de teclado en pantalla de LSC se eligió en lenguaje de programación Python debido a su simplicidad y flexibilidad, lo que permite un rápido desarrollo de aplicaciones, además de todos los recursos que trae consigo los cuales permiten un trabajo con mayor eficacia. La biblioteca Tkinter, incluida en la instalación estándar de Python, proporciona herramientas eficientes para construir interfaces gráficas intuitivas y atractivas.

#### 6.1.1 Bibliotecas Utilizadas

Las principales bibliotecas utilizadas en el desarrollo fueron:

- Tkinter: Para la creación de la interfaz gráfica de usuario.
- Pillow (PIL): Para la manipulación de imágenes, permitiendo la carga y redimensión de las imágenes de las teclas.
- sys y os: Para gestionar rutas de archivos, asegurando que los recursos sean accesibles tanto en el entorno de desarrollo como en el ejecutable.



## 6.2 Estructura del Código

El código del teclado en pantalla de LSC fue organizado en varias clases, lo que permitió una mejor modularidad y mantenimiento. Se eligió el inglés como idioma principal para los nombres de las clases y funciones. Esta decisión se basa en varias consideraciones:

- **Estándar de la Industria:** El inglés es el idioma predominante en la programación y el desarrollo de software. Usar nombres en inglés facilita la comprensión del código para otros programadores que podrían trabajar en el proyecto en el futuro.
- **Accesibilidad Global:** Al tener un código en inglés, se hace más accesible para desarrolladores de diferentes países, lo que fomenta la colaboración internacional. Esto es especialmente importante si en el futuro se desea replicar el proyecto para otras lenguas de señas.
- **Facilidad de Documentación:** Al seguir este estándar, la documentación y los tutoriales asociados al código serán más fáciles de redactar y seguir, dado que muchos recursos y ejemplos de programación están disponibles en inglés.

Nota: Es importante señalar que, aunque el proyecto está orientado hacia la Lengua de Señas Colombiana, el uso del inglés en la programación se considera una práctica común que busca ampliar el alcance y facilitar la colaboración en un contexto global.

### 6.2.1 Clases Principales

- **KeyManager:** Gestiona el estado de las teclas especiales, como Caps Lock. Incluye métodos para alternar su estado.
- **ImageLoader:** Encargada de cargar y redimensionar las imágenes de las teclas, almacenando en caché las imágenes ya cargadas para mejorar la eficiencia.
- **SignLanguageKeyboard:** Clase principal que contiene la lógica para crear la interfaz del teclado, manejar los eventos de las teclas y actualizar el área de texto con la entrada del usuario.

## 6.3 Proceso de Desarrollo

### 6.3.1 Diseño Inicial del Teclado

El desarrollo comenzó con la creación de un teclado tradicional, que sirvió como prototipo para probar la funcionalidad básica. Esta fase fue crucial para asegurar que las interacciones y eventos se manejaran correctamente. Se implementaron las teclas convencionales, permitiendo una evaluación temprana de la interfaz y la lógica de entrada.

### 6.3.2 Evolución hacia un Teclado Visual

Tras validar el funcionamiento del teclado tradicional, se decidió evolucionar el diseño hacia un teclado que utilizara imágenes representativas en lugar de teclas convencionales. Esto significó una reestructuración considerable del código, ya que se requería la integración de imágenes del abecedario dactilológico colombiano.

Para facilitar la interacción, se implementó un área de texto en la interfaz, donde se reflejaría la entrada del usuario en tiempo real. Este diseño no solo mejoró la usabilidad, sino que también permitió a los usuarios visualizar lo que estaban escribiendo, brindando una experiencia más interactiva.

### 6.3.3 Creación de la Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica se creó mediante la clase `SignLanguageKeyboard`, donde se configuraron los diferentes elementos visuales. Las filas del teclado se definieron con las teclas correspondientes:

**Figura 3-1 : Estructura del teclado**

```
rows = [
    ['1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '0'],
    ['q', 'w', 'e', 'r', 't', 'y', 'u', 'i', 'o', 'p', 'backspace'],
    ['a', 's', 'd', 'f', 'g', 'h', 'j', 'k', 'l', 'ñ', 'enter'],
    ['capslock', 'z', 'x', 'c', 'v', 'b', 'n', 'm'],
    ['space']
]
```

Fuente: Código-elaboración propia.

Cada fila se representó en un marco (frame) dentro de la ventana principal, asignando un botón a cada tecla utilizando imágenes representativas del abecedario dactilológico colombiano.

## 6.4. Manejo de Eventos y Funcionalidades

En esta parte de la implementación se trabajó todo lo relacionado con los eventos de cada tecla y las respectivas funciones que debían cumplir las mismas.

### 6.4.1 Gestión de Eventos

Los eventos de las teclas se manejaron a través de métodos que se activan al presionar o soltar las teclas. Por ejemplo, al presionar una tecla se llama al método `press_key`, que inserta el carácter correspondiente en el área de texto:

**Figura 4-1: Acción de tecla**

```
def press_key(self, key):  
    """Maneja la acción correspondiente a cada tecla presionada."""  
    if key == 'enter':  
        self.text_area.insert(tk.END, '\n')  
    elif key == 'space':  
        self.text_area.insert(tk.END, ' ')  
    elif key == 'capslock':  
        self.toggle_caps_lock()  
    elif key == 'backspace':  
        # El manejo de borrado continuo está en start_press.  
        pass  
    else:  
        #Inserta el carácter en el área de texto considerando el estado de Caps Lock.  
        text = key.upper() if self.key_manager.caps_lock_active else key  
        self.text_area.insert(tk.END, text)
```

Fuente: Código-elaboración propia.

Este enfoque modular asegura que cada función esté bien definida y sea fácil de seguir.

## 6.5. Desafíos y Soluciones

A medida que avanzaba el desarrollo, surgieron varios desafíos. Uno de los más significativos fue lograr que el teclado funcionara en diferentes entornos y aplicaciones.

### 6.5.1 Interacción en otros ambientes

La interacción con otras aplicaciones puede ser compleja, especialmente cuando se busca que un teclado en pantalla envíe entradas a aplicaciones externas. Esto requería un entendimiento más profundo de cómo funcionan los eventos del sistema operativo y las limitaciones de acceso a nivel de aplicación.

La decisión de implementar una ventana de texto que reflejara la entrada del usuario fue estratégica, ya que permitió que el desarrollador y los usuarios observen en tiempo real cómo se integraban las funciones del teclado con la entrada de texto. Esto no solo mejoró la experiencia del usuario, sino que también facilitó la detección de errores y la optimización de la funcionalidad.

### 6.5.2 Manejo de Rutas de Recursos

Otro desafío importante fue el manejo de rutas para las imágenes de las teclas, que debían ser accesibles tanto en el entorno de desarrollo como en el ejecutable. Para resolver esto, se implementó la función `resource_path`, que determina la ubicación de los recursos según el entorno en el que se esté ejecutando el código.

## 6.6 Optimización de la Interfaz

Durante las pruebas, se realizaron ajustes en el tamaño de los botones y el espaciado entre ellos para garantizar que la interfaz fuera intuitiva y accesible. Se reubicaron teclas especiales y se mejoró la estética general del teclado.

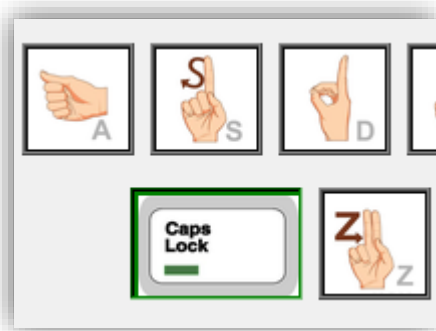
Una de las dinámicas implementadas fue el cambio en la apariencia del cursor, que se transforma en una mano señalando con un dedo, evocando el gesto que hacemos al escribir en teclados tradicionales. Además, se diseñaron botones que, al ser

presionados, modifican su borde para simular que se hunden, enriqueciendo así la presentación visual y haciendo la experiencia más agradable para el usuario.

Se incorporaron colores específicos que se activan al presionar teclas como "Caps Lock", permitiendo que el botón permanezca de un color determinado para indicar su estado (activado o desactivado). Esto también ayuda a visualizar el cambio en el estado de las letras, proporcionando una retroalimentación clara y efectiva al usuario.

A continuación, se incluyen unas imágenes de la interfaz final del teclado, en la que se resaltan cada uno de estos elementos mencionados, mostrando cómo se integran para mejorar la experiencia del usuario.

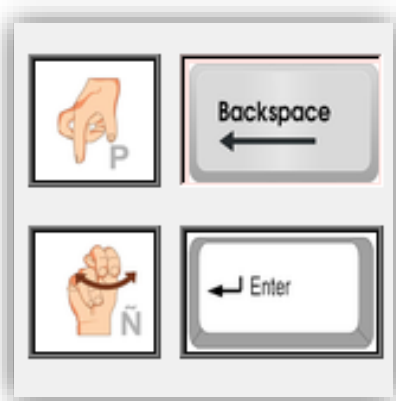
**Figura 5-1 : Estado de Caps Lock.**



**Indicador de Estado de Caps Lock:** Una de las características más importantes es la retroalimentación visual del estado de la tecla "Caps Lock". Cuando se activa, el botón cambia a un color específico, lo que permite al usuario identificar fácilmente si la función está habilitada o no.

Fuente: Screenshot del teclado ejecutable.

**Figura 6-1: Profundidad de las teclas.**



**Efecto Visual de Profundidad en las Teclas:** Al presionar las teclas, se genera un efecto visual que simula la profundidad, haciendo que parezca que los botones se hunden. Este detalle mejora la interacción, proporcionando una experiencia más realista y atractiva para el usuario.

Fuente: Screenshot del teclado ejecutable.

**Figura 7-1 : Cursor del teclado**

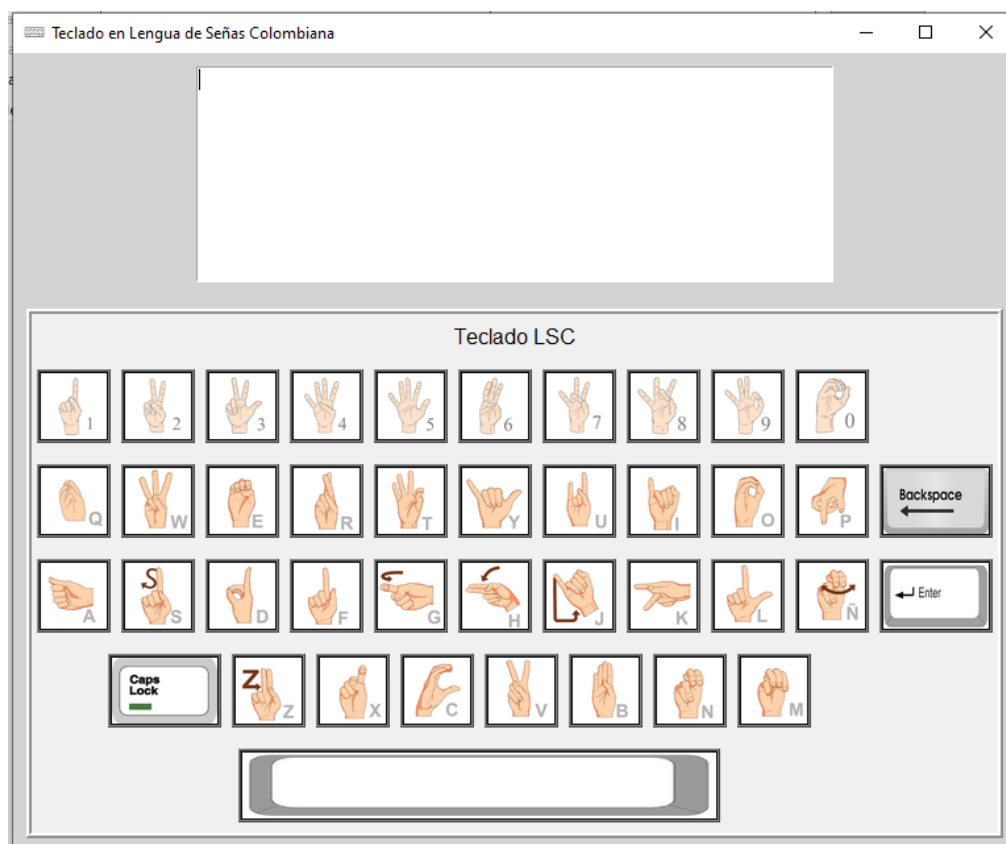


**Indicador de presionar tecla:** la apariencia del cursor se transforma en una mano señalando con un dedo, evocando el gesto que hacemos al escribir en teclados tradicionales, lo cual es una experiencia visual más realista y amigable para el usuario.

Fuente: Screenshot del teclado ejecutable.

**Figura 8-1: Interfaz final.**

Finalmente, se presenta una vista completa del teclado en pantalla junto con el área de texto. Esta imagen resume la integración de todas las características mencionadas, mostrando cómo cada elemento contribuye a una experiencia de usuario más intuitiva y funcional.



Fuente: Screenshot del teclado ejecutable.

## 6.7. Creación del Archivo Ejecutable

Al finalizar el desarrollo, se buscó empaquetar la aplicación en un archivo ejecutable para facilitar su distribución. Este proceso se realizó utilizando PyInstaller, lo que permite crear un ejecutable autónomo a partir del script de Python.

### 6.7.1 Pasos para Crear el Ejecutable

#### Paso 1:




*Instalación de PyInstaller:* Se instala utilizando el siguiente comando en la terminal:

→ `pip install pyinstaller`

#### Paso 2:

*Generar ejecutable:* Una vez instalado, se puede generar el ejecutable desde la línea de comandos. Para ello, se ejecuta el siguiente comando, que incluye la opción para establecer un icono personalizado:

→ `pyinstaller --onefile --windowed --icon=icono.ico nombre_del_archivo.py`

-  `onefile`: Genera un único archivo ejecutable.
-  `windowed`: Evita que se abra una consola de comandos al ejecutar la aplicación.
-  `icon=icono.ico`: Esta opción permite especificar un icono personalizado para el ejecutable, lo que mejora la apariencia de la aplicación.

#### Paso 3:

*Ubicación del Ejecutable:* Después de ejecutar PyInstaller, el archivo ejecutable se encontrará en la carpeta `dist`. Desde allí, estará listo para ser utilizado y distribuido.

## 6.8 Validación

Para garantizar el correcto funcionamiento del teclado en pantalla de Lengua de Señas Colombiana, se llevó a cabo una validación exhaustiva en el entorno ejecutable. Durante este proceso, se comprobó que la herramienta cumplía con todos los requisitos planteados en el diseño, asegurando una experiencia de usuario fluida y efectiva.

En cuanto a la validación con usuarios externos, se estableció contacto con el Instituto Nacional para Sordos. Durante la reunión, se presentó el proyecto y se discutió el alcance de la población sorda que se esperaba abordar con la herramienta. Sin embargo, los representantes del INSOR señalaron que nuestra interpretación era incorrecta; la herramienta está más adecuada para personas en las primeras etapas de la discapacidad auditiva, quienes se beneficiarían en su proceso de alfabetización en español. Esta retroalimentación es crucial, ya que implica que la validación debe realizarse principalmente con niños sordos.

Es importante tener en cuenta que hay personas que son usuarias exclusivas de la Lengua de Señas. Según el Boletín del Observatorio Social de la Población Sorda en

Colombia, para el 2020, un 2 % de los niños menores de cinco años presentan algún tipo de discapacidad auditiva. Por lo tanto, el enfoque de la validación debe considerar la diversidad de necesidades dentro de esta población.

A pesar de que se espera realizar esta validación con niños sordos, hasta el momento, ha sido un proceso complejo debido a la necesidad de obtener ciertos permisos legales y consentimientos informados por parte de los acudientes de los menores. Este requisito añade una capa adicional de desafío, pero también garantiza que el uso de la herramienta se realice de manera ética y responsable, priorizando el bienestar de los participantes.

## **6.9. Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se ha detallado el proceso de implementación del teclado en pantalla de Lengua de Señas Colombiana, abarcando desde el desarrollo inicial hasta los desafíos enfrentados y las soluciones adoptadas. A través de un enfoque práctico e iterativo, se buscó crear una herramienta accesible que responda a las necesidades de comunicación de las personas con discapacidad auditiva. A continuación, se presentan las conclusiones que sintetizan los principales hallazgos y aprendizajes adquiridos a lo largo de este proceso.

La implementación del teclado en pantalla demostró ser un proceso adaptativo, donde las pruebas iniciales con un teclado tradicional permitieron ajustar la funcionalidad y el diseño para satisfacer mejor las necesidades de los usuarios con discapacidad auditiva. Este enfoque iterativo fue fundamental para crear una herramienta accesible y efectiva.

A lo largo del desarrollo, se enfatizó la creación de una interfaz intuitiva. Las mejoras estéticas, como el cambio de color en las teclas y la animación visual al presionar, no solo enriquecieron la experiencia del usuario, sino que también facilitaron la comprensión de la funcionalidad del teclado. Estos elementos visuales son cruciales para asegurar que los usuarios se sientan cómodos y seguros al interactuar con la herramienta.

La implementación presentó varios desafíos técnicos, especialmente en la integración de la funcionalidad del teclado en otros entornos y la creación de un ejecutable. La decisión de utilizar Python y Tkinter fue acertada, aunque se encontró con obstáculos que requirieron investigación y ajustes. Estos desafíos resaltan la complejidad del desarrollo de aplicaciones accesibles y la importancia de una planificación cuidadosa.

La creación de un área de texto integrada en el teclado permitió a los usuarios ver de inmediato el texto que estaban ingresando. Esta característica no solo mejora la usabilidad, sino que también fomenta una interacción más rica y directa, acercando la experiencia a la de un teclado físico convencional.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

En este trabajo de grado se muestra que el desarrollo de un teclado en pantalla de lengua de señas colombiana es una herramienta que puede aportar significativamente en la disminución de las barreras de accesibilidad en entornos digitales a las que se enfrentan las personas con discapacidad auditiva en su día a día, en este caso en específico cuando en dichos entornos necesitan hacer el ingreso de datos o procesos de búsqueda en donde se debe hacer una interacción directa con un teclado, donde es esencial brindarle a estas personas una experiencia visual accesible. Por medio del cual buscamos proporcionar a las personas con discapacidad auditiva una herramienta que no solo les permite comunicarse con facilidad, sino también **potenciar su independencia y participación** en entornos digitales, asegurando una mayor inclusión y accesibilidad en su vida cotidiana.

La importancia de este desarrollo radica en el derecho de todas las personas a interactuar con entornos digitales, independientemente de sus condiciones. Permitir la comunicación escrita en estos espacios se convierte en una necesidad, y el teclado propuesto actúa como una herramienta inclusiva que posibilita una interacción directa con las interfaces digitales. Siendo una herramienta inclusiva que les permita esa interacción directa con las interfaces entendiendo que hay personas con discapacidad auditiva que solo son usuarias del Lengua de Señas, una lengua de tipo visual y gestual.

Este proyecto también se alinea con las Web Content Accessibility Guidelines (WCAG), que son directrices diseñadas para garantizar que los sitios web sean accesibles para todos. La herramienta propuesta busca mejorar la accesibilidad digital, evidenciando su conformidad con los criterios de las WCAG que atienden a las necesidades de las personas con discapacidad auditiva.

Además, la implementación de esta solución destaca la importancia de la tecnología como un medio para empoderar a las personas con discapacidad, brindándoles no solo un recurso práctico, sino también la oportunidad de participar plenamente en la sociedad digital. Al fomentar la inclusión, se contribuye a crear un entorno más equitativo y accesible para todos.

Dentro de la exploración para el desarrollo de este proyecto, se evidenció la existencia de algunos teclados en lengua de señas en el mercado. Sin embargo, el teclado desarrollado en este trabajo presenta un valor diferencial significativo. A diferencia de los teclados identificados, que están diseñados principalmente para entornos móviles y generalmente requieren un costo, este proyecto se enfoca en ofrecer una solución para entornos de escritorio y sin ningún costo.

Esta característica es especialmente relevante en contextos laborales, educativos y otros entornos donde el uso de escritorio es predominante. Al proporcionar un teclado accesible y gratuito, se facilita la inclusión de personas con discapacidad auditiva, mejorando su comodidad y experiencia en sus interacciones sociales y laborales.



Este enfoque no solo optimiza la accesibilidad, sino que también promueve un entorno más equitativo y favorable para la participación de todos en la sociedad.

El desarrollo del teclado en pantalla de Lengua de Señas Colombiana ilustra el poderoso impacto que la tecnología puede tener en la inclusión y la comunicación. Este proyecto representa un avance significativo en la creación de soluciones tecnológicas adaptadas a las necesidades específicas de las personas con discapacidad auditiva, demostrando cómo la innovación puede abrir nuevas oportunidades para la interacción efectiva en entornos digitales. Al personalizar herramientas tecnológicas para fomentar la inclusión, se sienta un precedente para futuras iniciativas que busquen derribar barreras y mejorar la calidad de vida de diversas comunidades.

En conclusión, el desarrollo del teclado en pantalla de LSC representa un paso significativo hacia la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidad auditiva. Este proyecto no solo aborda una necesidad técnica, sino que también refuerza el compromiso con la inclusión y la igualdad de oportunidades en la comunicación y la interacción digital.

## 7.2 Recomendaciones

Como trabajo futuro se propone el expandir la funcionalidad del teclado para que funcione en cualquier aplicación del sistema operativo, permitiendo su uso en navegadores, editores de texto y otras plataformas de software.

También se recomienda el implementar un sistema de aprendizaje automático que permita al teclado aprender del usuario y ofrecer sugerencias más precisas basadas en la escritura previa, mejorando la velocidad y eficiencia del teclado.

Es importante ver que se podría desarrollar una base de datos dinámica y en crecimiento de palabras y frases en LSC que permita autocompletar no solo letras, sino también frases enteras o signos compuestos.

Ampliar el proyecto para que el teclado pueda ser utilizado en dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes y tabletas, lo que lo haría más accesible a una mayor cantidad de personas.

Para mejorar la comprensión de los signos, se podrían integrar modelos 3D interactivos o animaciones que representen los gestos en movimiento, lo cual enriquecería la experiencia del usuario y facilitaría el aprendizaje de la LSC. Como trabajo futuro también está el incluir **técnicas de análisis de imagen**, permitiendo otro canal de entrada, así la persona sorda puede interactuar con el teclado por medio de señas, y no se descarta la posibilidad de usar machine learning que permita ajustar el análisis de imagen de la persona de acuerdo con la gesticulación, velocidad y precisión con las que hace la seña, ya que ese es el mayor problema de usar reconocimiento de imagen.

Por último, es importante también establecer alianzas con instituciones educativas para integrar el uso del teclado en pantalla en entornos de aprendizaje, garantizando que los estudiantes con discapacidad auditiva tengan acceso a herramientas que faciliten su comunicación y participación.

## Bibliografía:

- Acosta-Vargas, P., Salvador-Acosta, B., Salvador-Ullauri, L., & Jadán-Guerrero, J. (2022). Accessibility challenges of e-commerce websites. *PeerJ Computer Science*, 8, 1–21. <https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.891>
- Centro de Relevo Colombia. (2023). Servicios para personas con discapacidad auditiva. Disponible en: Centro de Relevo
- Duarte, C., & Fonseca, M. J. (2019). Multimedia Accessibility. In *Web Accessibility, Human–Computer Interaction Serie* (pp. 461–475). [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7440-0\\_25](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7440-0_25)
- Hersh, M., & Johnson, M. A. (2008). *Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People*. Springer.
- Lin, Y. (2019). Web Accessibility: A Study on the Adoption of W3C's Web Content Accessibility Guidelines. *Journal of Accessibility and Design for All*.
- OMS-Organización Mundial de la Salud. (2023). World report on hearing. Disponible en: OMS
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide*. Scrum.org.
- Tanure Alves, R., et al. (2021). Inclusión de estudiantes sordos en entornos educativos. *Journal of Physical Education and Sport*.
- World Wide Web Consortium (W3C). (2018). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. Disponible en: W3C
- P. Pryandi, M. Bayu Dewantara, H. L. Hendric Spits Warnars, A. Ramadhan, N. Noordin and F. Hanis Abdul Razak, "Smartphone Application for the Deaf and the Deaf Caring Community," *2023 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, Lalitpur, Nepal, 2023, pp. 767-773, doi: 10.1109/ICICT57646.2023.10134458.
- M. Sobhan, M. Z. Chowdhury, I. Ahsan, H. Mahmud and M. K. Hasan, "A Communication Aid System for Deaf and Mute using Vibrotactile and Visual Feedback," *2019 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, Semarang, Indonesia, 2019, pp. 184-190, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2019.8884323.
- S. Upendran and A. Thamizharasi, "American Sign Language interpreter system for deaf and dumb individuals," *2014 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*, Kanyakumari, India, 2014, pp. 1477-1481, doi: 10.1109/ICCICCT.2014.6993193.
- P. Escudeiro, N. Escudeiro and M. C. Gouveia, "Learning sign language basics supported by assistive technology," *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Tunis, Tunisia, 2022, pp. 780-784, doi: 10.1109/EDUCON52537.2022.9766537.
- 2014 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT 2014) : 10 & 11 July 2014*. (2014). IEEE.
- Da Costa, S. E., Berkenbrock, C. D. M., Rosa De Freitas, L. E., & Sell, F. F. S. (2019). iLibras: Using Assistive and Collaborative Technology to Support the Communication

- of Deaf People. *Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, 14(1), 11–21. <https://doi.org/10.1109/RITA.2019.2909849>
- G, A. P., & k, A. P. (2022). Design of an integrated learning approach to assist real-time deaf application using voice recognition system ☆. *Computers and Electrical Engineering*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108145>
- Gamage, B. G. J., Paranagama, R. P. S. D., Ranaweera, R. M. S. H., Dilshan, A. V. R., Weerathunga, I., & Kasthurirathna, D. (2024). *Sinhala Sign Language Translation through Immersive 3D Avatars and Adaptive Learning*. 1–6. <https://doi.org/10.1109/icac60630.2023.10417474>
- ICTC 2019 : the 10th International Conference on ICT Convergence : “ICT Convergence Leading the Autonomous Future” : October 16-18, 2019, Ramada Plaza Hotel, Jeju Island, Korea. (2019). IEEE.
- IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, IEEE International Conference on Control, I., & ICCICCT 2014.07.10-11 Kumaracoil, K. D. (n.d.). *International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT), 2014 10-11 July 2014, Kumaracoil, Thuckalay, Kanyakumari Dist., Tamil Nadu, India*.
- Padmanandam, K., Rajesh, M. V., Upadhyaya, A. N., Ramesh Chandra, K., Chandrashekar, B., & Sah, S. (2022). Artificial Intelligence Biosensing System on Hand Gesture Recognition for the Hearing Impaired. *International Journal of Operations Research and Information Systems*, 13(2). <https://doi.org/10.4018/IJORIS.306194>
- Papastratis, I., Chatzikonstantinou, C., Konstantinidis, D., Dimitropoulos, K., & Daras, P. (2021). Artificial intelligence technologies for sign language. *Sensors*, 21(17). <https://doi.org/10.3390/s21175843>
- Sodhar, I. N., Bhanbhro, H., & Amur, Z. H. (2019). Evaluation of Web Accessibility of Engineering University Websites of Pakistan through Online Tools. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 19(12), 85–90. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12124.54403>
- Yağanoğlu, M. (2021). Real time wearable speech recognition system for deaf persons. *Computers and Electrical Engineering*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107026>