
Desarrollo de software accesible SIEL para la inclusión educativa y laboral de personas sin miembros superiores

Development of Accessible Software for the Educational and Occupational Inclusion of People without Upper Limbs

Ademir Bermúdez Aguilar
Universidad Francisco Gavidia

Enviado: 15 de febrero de 2025
Aceptado: 28 de julio de 2025

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1204>

adbermudez@ufg.edu.sv



Este contenido está protegido bajo la licencia CC BY
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

Resumen

El presente artículo se basa en el desarrollo de un software accesible para personas sin miembros superiores, permitiéndoles interactuar con una computadora mediante comandos de voz y gestos visuales. El objetivo de la investigación consistía en fomentar la inclusión social y laboral a través de tecnologías abiertas Python, OpenCV y sistemas de reconocimiento de voz. El estudio adoptó un enfoque mixto, con validación en ambiente controlado y desarrollo iterativo del prototipo. Los resultados evidencian que el sistema permite realizar tareas básicas como abrir documentos, navegar en internet y comunicarse a través de plataformas digitales. Se concluye que este tipo de soluciones puede reducir barreras tecnológicas, mejorando la calidad de vida y autonomía de las personas con discapacidad motora, el software esta desarrollado para Windows, pero es adaptable a Linux, si bien la primera parte de la investigación se concentró en el desarrollo del software y pruebas controladas, se desea continuar con la segunda parte de la investigación que consiste en hacer pruebas con un grupo experimental y medición de resultados a través de la creación de indicadores para determinar si el software cumple con los objetivos de la investigación.

Palabras clave

Tecnologías de la información y la comunicación, Accesibilidad digital, Tecnología asistiva, Visión por computador, Inclusión social y laboral.

Abstract

This article is based on the development of accessible software for individuals without upper limbs, enabling them to interact with a computer through voice commands and visual gestures. The aim of the research was to promote social and labor inclusion through open technologies such as Python, OpenCV, and voice recognition systems. The study adopted a mixed-methods approach, with validation in a controlled environment and iterative development of the prototype. The results show that the system allows users to perform basic tasks such as opening documents, browsing the internet, and communicating through digital platforms. It is concluded that this type of solution can reduce technological barriers, improving the quality of life and autonomy of people with motor disabilities. The software has been developed for Windows but is adaptable to Linux. While the first phase of the research focused on software development and controlled testing, the second phase will continue with experimental trials and result measurement through the creation of indicators to determine whether the software meets the research objectives.

Keywords

Information and communication technologies (ICT); Digital accessibility; Assistive technology; Computer vision; Social and occupational inclusion.

Introducción

En los últimos años, los avances tecnológicos han generado aportes significativos en múltiples áreas del conocimiento, especialmente en los países industrializados y de manera gradual en aquellos en vías de desarrollo. Herramientas como las computadoras, los teléfonos inteligentes, internet, la robótica y, más recientemente, la inteligencia artificial (IA), se han integrado progresivamente en la vida cotidiana, siendo adoptadas con mayor rapidez por las nuevas generaciones (Alas, 2022). Esta integración no solo ha transformado los modos de comunicación y acceso a la información, sino que también ha modificado las formas de inserción social, educativa y laboral, configurando un nuevo escenario en el que la brecha digital adquiere matices más complejos.

En este contexto, la IA se constituye en uno de los principales motores de transformación social y económica. Lane y Saint-Martin (2021) destacan que sus aplicaciones se extienden desde la gestión del talento humano hasta la optimización de procesos productivos y la toma de decisiones estratégicas. Este planteamiento cobra relevancia cuando se contrasta con los avances en visión por computador y aprendizaje automático, los cuales, al ser liberados bajo licencias de código abierto, permiten la creación de soluciones adaptadas a necesidades específicas. Sin embargo, como señalan Ferrín-Bolaños et al. (2021), tales avances deben contextualizarse en función de grupos sociales que enfrentan severas limitaciones para interactuar con tecnologías convencionales, como lo son las personas sin miembros superiores.

Precisamente, el estudio de Ferrín-Bolaños et al. (2021) evidencia que la interacción humano-computador mediada por gestos faciales y comandos de voz constituye una vía prometedora para superar las barreras de accesibilidad de este colectivo. Este argumento se enlaza con el World Report on Disability de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2011), el cual subraya que la discapacidad motriz no debe ser entendida únicamente como una condición física, sino como una interacción entre limitaciones funcionales y barreras del entorno. Desde esta perspectiva, la falta de soluciones tecnológicas accesibles perpetúa la exclusión y restringe el ejercicio pleno de derechos fundamentales, entre ellos la educación y el trabajo.

En el caso salvadoreño, las políticas públicas han promovido la distribución de dispositivos digitales como estrategia de inclusión educativa (Alas, 2022), y recientemente se han delineado iniciativas orientadas a fortalecer la inteligencia artificial como área estratégica nacional (Abarca, 2025). No obstante, cuando se observa este panorama desde la óptica de la inclusión, resulta evidente que dichas políticas carecen de un enfoque diferenciado hacia las personas con discapacidades motoras severas. La UNESCO (2019) advierte que garantizar el acceso equitativo y efectivo a las TIC para personas con discapacidad es un componente esencial para hacer efectivo el derecho a la educación, el trabajo y la participación ciudadana. El desafío, entonces, no radica únicamente en proveer dispositivos, sino en generar software accesible que posibilite su uso autónomo por parte de quienes enfrentan mayores barreras físicas.

En este marco surge la propuesta del Software de Inserción Educativa y Laboral (SIEL), concebido como un sistema diseñado para que las personas sin miembros superiores interactúen con la computadora mediante comandos de voz, reconocimiento facial y control por gestos. A diferencia de otras iniciativas que se centran en la usabilidad general, SIEL se orienta hacia una población con necesidades muy específicas, lo cual responde a la llamada de la OMS (2011) a diseñar tecnologías adaptadas que permitan reducir las brechas de participación. Su desarrollo no solo facilita tareas cotidianas como la creación de documentos o la navegación en internet, sino que también sienta las bases para un modelo de inclusión educativa y laboral sostenible.

Finalmente, el alcance del proyecto trasciende el plano individual, pues posee un componente institucional y gubernamental. La Universidad de Sonsonate lo concibe como un aporte articulado con las políticas nacionales de inclusión y accesibilidad, con potencial de apoyo al Ministerio de Salud, al Ministerio de Trabajo y al Ministerio de Educación. De esta manera, SIEL se integra en la agenda internacional sobre accesibilidad digital y equidad social (United Nations, 2018; Yuan et al., 2023), consolidando el papel de la tecnología como un instrumento de justicia social y reducción de brechas estructurales.

Metodología

La presente investigación se diseñó como un estudio aplicado de carácter tecnológico, orientado al desarrollo de un software específico denominado SIEL (Software de Inserción Educativa y Laboral). Se adoptó un diseño

cuasiexperimental, con pruebas controladas de interacción computadora–persona, lo que permitió evaluar la efectividad del sistema sin recurrir a procesos de aleatorización. Este enfoque resulta adecuado para la validación de tecnologías asistivas en fases iniciales de desarrollo (López, 2016).

El proceso de validación se estructuró en dos momentos de prueba:

1. Interacción entre el investigador y la computadora en un espacio libre de ruidos externos.
2. Interacción entre una persona sin miembros superiores y la computadora, también en condiciones libres de ruido.

Asimismo, se adoptó un enfoque mixto. La dimensión cualitativa permitió identificar y analizar las necesidades de los usuarios objetivo, mientras que la dimensión cuantitativa se centró en medir la eficacia y precisión del sistema, principalmente en términos de reconocimiento de voz, detección de gestos y adaptabilidad de la interfaz. El desarrollo del prototipo se dividió en dos etapas y cuatro fases iterativas.

- **Etapas 1: Creación y validación inicial con el investigador.**

Incluyó cuatro fases: (a) análisis de requerimientos, (b) diseño del software, (c) validación en ambiente controlado y (d) mejoras iterativas (ajustes de audio, reconocimiento de gestos sin uso de manos y adaptación a diferentes entornos de voz). En esta etapa se utilizó el lenguaje de programación Python, junto con librerías de código abierto como OpenCV, pyttsx3, Selenium, pptx y speech_recognition.

- **Etapas 2: Validación con usuarios finales.**

Tras finalizar la etapa inicial, se planificó la aplicación de pruebas con dos personas sin miembros superiores. Se establecieron parámetros de caracterización como edad, género y nivel educativo, con el fin de evaluar la usabilidad en condiciones reales. Esta etapa corresponde al segundo año de investigación y tiene como objetivo generar indicadores para valorar la funcionalidad del software en cuanto a facilidad de uso, autonomía y adaptabilidad.

Durante el primer año de investigación, el trabajo se centró en la construcción y validación preliminar del

software. Esta fase se orientó bajo el enfoque de inclusión digital, entendida como el acceso equitativo y efectivo a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) por parte de todos los sectores de la sociedad, en especial aquellos históricamente excluidos. En concordancia con lo planteado por la UNESCO (2019) y el Global Education Monitoring Report (Team, 2018), la accesibilidad tecnológica se reconoce como un componente esencial del derecho a la educación, el trabajo y la participación ciudadana.

El sistema se diseñó para ejecutarse en entornos Windows y Linux, requiriendo una cámara integrada o USB y un micrófono interno o externo, ambos previamente reconocidos por el sistema operativo. Esta decisión técnica responde a la necesidad de garantizar la adaptabilidad del software a diferentes configuraciones de hardware, ampliando así sus posibilidades de uso.

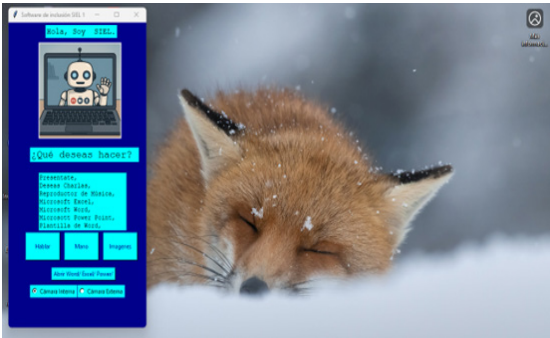
La validación de la etapa 1 fue realizada directamente por el investigador en un ambiente controlado, lo que permitió identificar fortalezas y áreas de mejora antes de su implementación con usuarios finales. El sistema quedó listo para avanzar hacia la etapa 2, en la cual se prevé trabajar con dos personas sin miembros superiores. En esta fase se establecerán indicadores para evaluar la funcionalidad del software en términos de facilidad de uso, nivel de autonomía, adaptabilidad y satisfacción del usuario.

Etapas 1: Obtención del software e interfaz inicial.

El software SIEL se carga de manera automática al iniciar el sistema operativo, quedando en espera de órdenes por voz o detección de rostro. Como se observa en la Figura 1, la interfaz incluye un menú de interacción con botones de control por voz y gestos, así como accesos directos a archivos y opciones de configuración de cámara. Una vez activado, el sistema inicia un proceso de diálogo con el usuario, guiando paso a paso las acciones solicitadas. Por ejemplo, si el usuario pronuncia el comando “Word”, el asistente abre automáticamente un documento en Microsoft Word, permite dictar texto y finalmente guarda el archivo con un nombre predefinido que incluye la fecha y hora de creación.

Figura 1.

Interfaz del software SIEL v1. El sistema se carga con el inicio del sistema operativo y queda a la espera de órdenes por voz o gestos visuales.



Entre las tecnologías más relevantes empleadas destacan:

- Reconocimiento de voz, encargado de convertir comandos hablados en acciones digitales.
- Visión por computador, que interpreta movimientos y gestos faciales a través de la cámara.
- Interacción multimodal, que combina diversas formas de entrada (voz, imagen, tacto) para ampliar las posibilidades de accesibilidad (Yuan et al., 2023).

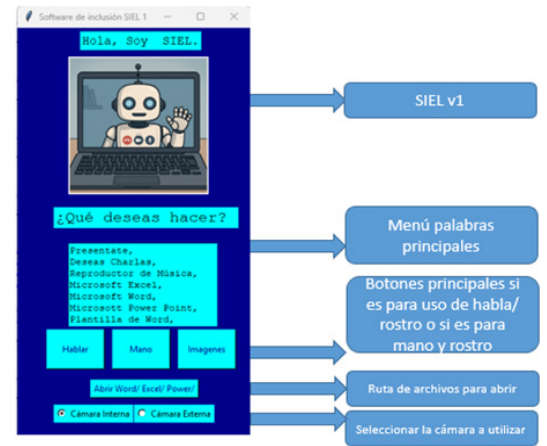
Resultados

El prototipo del software SIEL demostró ser funcional en ambientes controlados, permitiendo la interacción con la computadora mediante comandos de voz y gestos faciales o manuales. El sistema ejecutó satisfactoriamente acciones básicas como abrir documentos de Word y Excel, activar el navegador, reproducir música o video, utilizar la cámara y realizar búsquedas por voz. Las órdenes fueron reconocidas con una tasa de precisión aceptable bajo condiciones óptimas de iluminación y sonido. Asimismo, la interfaz evidenció buena adaptabilidad para usuarios sin experiencia tecnológica.

Como se observa en la Figura 2, el programa incluye un avatar de SIEL, un cuadro de diálogo con las palabras reservadas, y botones de control por voz y mano. Además, dispone de accesos para abrir archivos creados (Word, Excel, PowerPoint), imágenes, audios y videos, así como la configuración de cámara interna o USB.

Figura 2.

Estructura visual del software SIEL, mostrando avatar, cuadro de diálogo y accesos principales.



Para su óptimo funcionamiento mediante micrófono, el software SIEL reconoce palabras en español de manera general. No obstante, en su algoritmo se estableció una regla fundamental: al mencionar la palabra clave “SIEL”, el sistema queda en espera durante 30 segundos para recibir una orden específica. Por ejemplo:

- Usuario: “SIEL, preséntate”.
- SIEL: “Hola, soy SIEL, tu asistente. Conmigo puedes interactuar con tu computadora...”.

En su versión de la Etapa 1, el prototipo incorporó un conjunto de comandos predeterminados que facilitaron la interacción autónoma. Estos se clasifican en cuatro categorías principales:

1. Comandos informativos y de inicio de interacción

- “Preséntate”: permite que SIEL informe sobre su versión y capacidades.
- “Hola” y “Adiós”: reinician o finalizan la sesión de interacción.
- “Hora” y “Fecha”: notifican en audio la hora y fecha actuales.

2. Ofimática y plantillas

- “Word”: abre un documento en Microsoft Word, dicta el texto y guarda el archivo automáticamente.
- “Excel”: abre una hoja de cálculo y ofrece cuatro plantillas predefinidas (oficina, columnas arbitrarias, estadísticas simples y estadísticas con gráficos).
- “PowerPoint”: activa una presentación con tres plantillas disponibles.
- “Plantilla de Word”: habilita modelos predeterminados y guía el llenado paso a paso por dictado.

3. Multimedia y captura de datos

- “Música” y “Video”: abren los reproductores principales del sistema.
- “Cámara”: activa la cámara del equipo (interna o USB), con opción de tomar fotografías o grabar videos.
- “Imagen”: abre la carpeta de imágenes del sistema operativo.
- “Juegos”: inicia el juego predeterminado instalado en la computadora.
- “Calculadora”: abre la calculadora del sistema operativo.

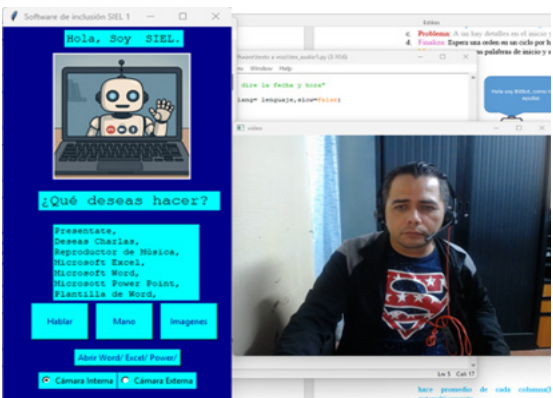
4. Navegación en internet y redes sociales

- “Internet” y “Buscar”: activan el navegador predeterminado (Microsoft Edge), permitiendo búsquedas por voz.
- “Facebook”, “YouTube” y “TikTok”: acceden directamente a estas plataformas, siempre que las credenciales hayan sido registradas previamente en el equipo.
- “Charlas”: abre WhatsApp Web, donde SIEL solicita el contacto, mensaje y tiempo de envío, aunque la vinculación inicial debe realizarse manualmente.
- “Otros”: permite añadir palabras personalizadas según las necesidades del usuario.

En cuanto a la activación de dispositivos externos, la Figura 3 muestra la cámara encendida a través de comandos de voz. El sistema admite múltiples cámaras (integradas o externas), siempre que hayan sido configuradas previamente. Para el reconocimiento de gestos, la cámara se activa automáticamente al deshabilitar la opción de control por mano, interpretando el rostro como un sustituto del teclado.

Figura 3.

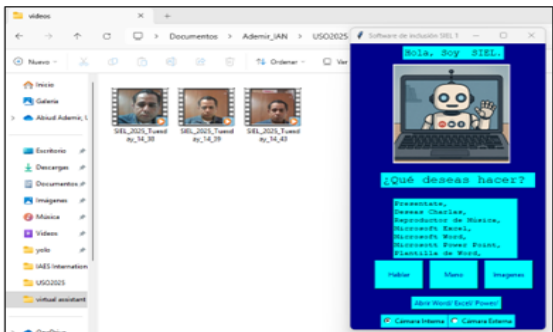
Cámara activada por medio de comando de voz en el software SIEL. El sistema admite varias cámaras, aunque requiere configuración previa para su uso correcto.



En relación con la captura de imágenes y video, el software permitió grabar en tiempo real mediante comandos de voz. Como se observa en la Figura 4, los archivos generados fueron almacenados automáticamente en rutas predefinidas, con nombres que incluían la fecha y hora de creación, lo que asegura la trazabilidad de los registros.

Figura 4.

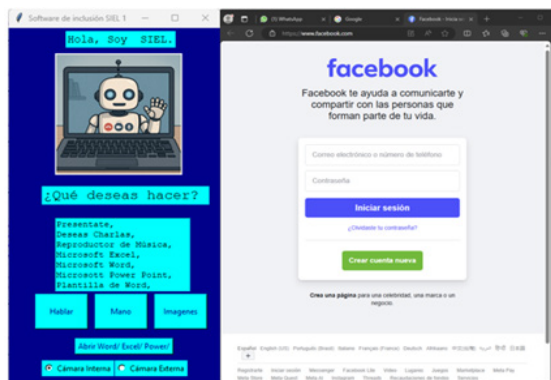
Captura de videos en tiempo real por medio de voz.



La navegación y conectividad digital también fueron validadas. Como muestra la Figura 9, el sistema permitió el acceso a plataformas sociales como Facebook, TikTok, YouTube, Telegram, Instagram y WhatsApp, ya sea por gestos o comandos de voz. Cabe señalar que, por motivos de seguridad, las credenciales de usuario deben registrarse previamente en el equipo.

Figura 9.

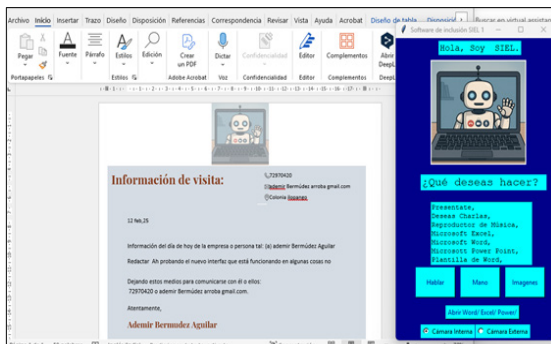
Acceso a redes sociales mediante comandos de voz o gestos. Requiere registro previo de credenciales.



El asistente integró además plantillas predeterminadas de Word para uso en oficina. En la Figura 10 se observa cómo el sistema guía al usuario en el llenado de documentos, línea por línea, mediante dictado por voz. Esta opción resultó especialmente valiosa para la creación de informes estructurados sin necesidad de teclado.

Figura 10.

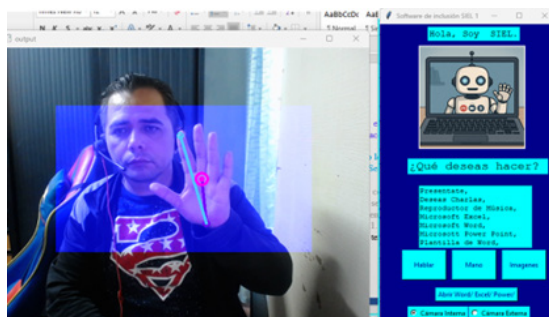
Plantilla de Word completada mediante dictado por voz, con orientación paso a paso del asistente.



Finalmente, el software incorporó una funcionalidad alternativa para personas con movilidad parcial de extremidades. Como se aprecia en la Figura 11, el control por mano permite mover el cursor y manipular la computadora mediante movimientos de brazo o mano, aun cuando no exista movilidad en los dedos. Esta característica amplía las posibilidades de accesibilidad, ofreciendo una opción complementaria al control por voz y gestos faciales.

Figura 11.

Control por mano implementado como alternativa de accesibilidad para usuarios con movilidad parcial de extremidades.



Discusión

La investigación presentada se centró en la Etapa 1 del desarrollo del software SIEL, en la cual se diseñó y validó el prototipo en condiciones controladas, sin la participación directa de usuarios finales sin miembros superiores. A pesar de esta limitación, los resultados preliminares ofrecen evidencia relevante sobre la viabilidad técnica del sistema y su potencial como herramienta de inclusión digital.

En primer lugar, los hallazgos sugieren que el uso combinado de visión por computador y reconocimiento de voz constituye una alternativa eficaz para superar barreras de accesibilidad tecnológica en personas con discapacidades motoras severas. Esta conclusión coincide con estudios previos que demuestran el valor de las interfaces multimodales en la interacción humano-computadora, particularmente en usuarios con ausencia de miembros superiores (Ferrín-Bolaños et al., 2021; Yuan et al., 2023). Dichas tecnologías no solo facilitan la ejecución de tareas cotidianas, sino que también amplían las posibilidades de autonomía en entornos académicos y laborales.

La investigación presentada se centró en la Etapa 1 del desarrollo del software SIEL, en la cual se diseñó y validó el prototipo en condiciones controladas, sin la participación directa de usuarios finales sin miembros superiores. A pesar de esta limitación, los resultados preliminares ofrecen evidencia relevante sobre la viabilidad técnica del sistema y su potencial como herramienta de inclusión digital.

En segundo lugar, la elección de Python como lenguaje de programación, junto con el uso de bibliotecas de código abierto como OpenCV, speech_recognition y mediapipe, favoreció el diseño de un prototipo escalable y personalizable. La flexibilidad de estas herramientas permitió integrar funciones diversas (ofimática, multimedia, navegación en internet, redes sociales) en una misma plataforma. Este aspecto técnico es relevante porque refuerza la posibilidad de que SIEL evolucione hacia versiones más complejas sin depender de software propietario, lo que responde a la necesidad de soluciones sostenibles en contextos de recursos limitados como el salvadoreño (UNESCO, 2019).

Otro aspecto a destacar es que la prueba controlada evidenció un grado de adaptabilidad aceptable en condiciones óptimas de luz y sonido. Aunque aún no se han realizado evaluaciones con usuarios finales, el desempeño inicial del sistema respalda la hipótesis de que SIEL puede convertirse en una herramienta efectiva para la reducción de brechas digitales. Esto se vincula con el World Report on Disability de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2011), que enfatiza la importancia de diseñar tecnologías accesibles para garantizar el derecho a la educación, el trabajo y la participación social.

No obstante, es necesario reconocer que la Etapa 1 se limita a un contexto experimental reducido. Para fortalecer la validez del software, la Etapa 2 de la investigación prevé la creación de indicadores de desempeño (precisión en el reconocimiento de voz y gestos, tiempo de respuesta, facilidad de uso, satisfacción del usuario) y su aplicación en pruebas con al menos dos personas sin miembros superiores. Este paso permitirá no solo validar técnicamente el sistema, sino también identificar ajustes necesarios para su implementación en entornos reales, en concordancia con las recomendaciones internacionales sobre accesibilidad digital (United Nations, 2018).

En síntesis, la discusión de resultados sugiere que SIEL representa un avance significativo en el diseño de soluciones inclusivas mediante tecnologías accesibles, aunque su impacto real dependerá de la validación con usuarios finales y de la incorporación de mejoras derivadas de dicha interacción.

Conclusiones

La Etapa I de la investigación se centró en el diseño y desarrollo del software SIEL, lo que constituye un avance significativo en la búsqueda de soluciones inclusivas mediante tecnologías accesibles. El trabajo realizado permitió validar el prototipo en condiciones controladas, demostrando que la combinación de reconocimiento de voz, visión por computador e interacción multimodal puede aplicarse eficazmente en el diseño de sistemas destinados a personas sin miembros superiores.

Los resultados preliminares muestran que el software es funcional y adaptable, lo cual confirma la pertinencia de utilizar herramientas de programación abiertas y flexibles, como Python y sus librerías asociadas, para generar soluciones escalables en contextos de recursos limitados. Este hallazgo se alinea con la necesidad de promover la inclusión digital a través de tecnologías sostenibles, accesibles y de bajo costo.

Actualmente, SIEL se encuentra preparado para avanzar a la Etapa II, que contempla la validación con usuarios finales y la construcción de indicadores de desempeño orientados a medir su precisión, facilidad de uso, adaptabilidad y grado de autonomía que ofrece a las personas sin miembros superiores. Esta fase será crucial para identificar mejoras y garantizar la eficacia del sistema en entornos reales de uso educativo y laboral.

Finalmente, la investigación no solo aporta un prototipo tecnológico, sino que también abre la posibilidad de establecer alianzas institucionales y gubernamentales que integren el software en políticas de inclusión tecnológica. En este sentido, SIEL se proyecta como una herramienta con potencial de impacto social, capaz de contribuir a la reducción de brechas digitales y al ejercicio pleno de derechos fundamentales como la educación y el trabajo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por la Universidad de Sonsonate.

Referencias

- Abarca, M. (2025). El Salvador creará la Agencia Nacional de Inteligencia Artificial. Diario El Salvador. <https://diarioelsalvador.com/el-salvador-creara-la-agencia-nacional-de-inteligencia-artificial/621883/>
- Alas, S. (2022, junio 20). MINED invirtió \$120 millones en laptops y tabletas para estudiantes en 2022. La Prensa Gráfica. <https://www.laprensagrafica.com/elsalvador/MINED-invirtio-120-millones-en-laptops-y-tabletas-para-estudiantes-en-20220620-0039.html>
- Ferrín-Bolaños, C., Mosquera-DeLaCruz, J., Pino-Murcia, J., Moctezuma-Ruiz, L., Burgos-Martínez, J., Aragón-Valencia, L., & Loaiza-Correa, H. (2021). Interfaz humano-computador basada en gestos faciales y orientada a la aplicación WhatsApp para personas con limitación motriz de miembros superiores. *Tecnológicas*, 24(50), e1722. <https://doi.org/10.22430/22565337.1722>
- Lane, M., & Saint-Martin, A. (2021). The impact of Artificial Intelligence on the labour market: What do we know so far? OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/7cfcfb7-en>
- United Nations. (2018). Disability and development report: Realizing the Sustainable Development Goals by, for and with persons with disabilities. United Nations. <https://social.un.org/publications/UN-Flagship-Report-Disability-Final.pdf>
- UNESCO. (2019). Global education monitoring report 2019: Migration, displacement and education – summary. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265996>
- Yuan, Z., He, S., Liu, Y., & Yu, L. (2023). MEinVR: Multimodal interaction techniques in immersive exploration. *Visual Informatics*, 7(3), 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2023.06.001>