

## **Análisis del prototipo de aprendizaje de lenguas de señas ecuatoriana a través de hardware y software libre**

**Analysis of an Ecuadorian Sign Language learning prototype through open-source hardware and software.**

**Análise do protótipo de aprendizagem da língua de sinais equatoriana através de hardware e software livre.**

Hinojosa Tonato Marco Alejandro<sup>1</sup>  
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila  
[marcohinojosa@tsachila.edu.ec](mailto:marcohinojosa@tsachila.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0000-1060-4746>



Naranjo Olalla Freddy Patricio<sup>2</sup>  
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila  
[freddynaranjo@tsachila.edu.ec](mailto:freddynaranjo@tsachila.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0005-5329-3454>



**DOI / URL:** <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/nE1/1409>

### **Como citar:**

*Hinojosa, M. & Naranjo, F. (2026). Análisis del prototipo de aprendizaje de lenguas de señas ecuatoriana a través de hardware y software libre. Código Científico Revista de Investigación, 7(E1), 2101-2115.*

**Recibido:** 19/12/2025

**Aceptado:** 15/01/2026

**Publicado:** 31/03/2026

## Resumen

El presente proyecto abordó la problemática de la limitada comunicación entre estudiantes con discapacidad auditiva y la comunidad educativa del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila (ISTT), situación que dificultaba su participación e integración académica. Con el propósito de contribuir a la inclusión, se desarrolló un prototipo interactivo de aprendizaje de la Lengua de Señas Ecuatoriana (LSEC), basado en hardware y software libre. El estudio tuvo como objetivo diseñar, implementar un sistema capaz de reconocer señas básicas mediante visión artificial, empleando una metodología de desarrollo en cascada que permitió avanzar de forma secuencial desde la identificación de necesidades hasta la validación del prototipo. El proceso incluyó una revisión bibliográfica sobre reconocimiento de gestos, microcomputadoras y educación inclusiva, el diseño funcional del sistema y su integración en una Raspberry Pi 4 con una cámara web. Los resultados demostraron que el prototipo es funcional en la identificación de señas y usado por el estudiante con discapacidad auditiva que participó en las pruebas, aun cuando factores como iluminación y distancia afectaron parcialmente la detección.

**Palabras clave:** Lengua de señas ecuatoriana, visión artificial, inclusión, Raspberry Pi 4, reconocer señas, prototipo interactivo.

## Abstract

This project addressed the problem of limited communication between students with hearing disabilities and the educational community of the Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila (ISTT), a situation that hindered their academic participation and integration. In order to contribute to inclusion, an interactive learning prototype for Ecuadorian Sign Language (LSEC) was developed, based on open-source hardware and software. The objective of the study was to design and implement a system capable of recognizing basic sign language gestures through computer vision, using a waterfall development methodology that allowed sequential progress from needs identification to prototype validation. The process included a literature review on gesture recognition, microcomputers, and inclusive education, the functional design of the system, and its integration on a Raspberry Pi 4 with a webcam. The results demonstrated that the prototype is functional in identifying signs and was successfully used by the student with a hearing disability who participated in the tests, although factors such as lighting conditions and distance partially affected detection performance.

**Keywords:** Ecuadorian sign language, computer vision, inclusion, Raspberry Pi 4, sign recognition, interactive prototype.

## Resumo

O presente projeto abordou a problemática da limitada comunicação entre estudantes com deficiência auditiva e a comunidade educativa do Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila (ISTT), situação que dificultava sua participação e integração acadêmica. Com o propósito de contribuir para a inclusão, desenvolveu-se um protótipo interativo de aprendizagem da Língua de Sinais Ecuatoriana (LSEC), baseado em hardware e software livre. O estudo teve como objetivo projetar e implementar um sistema capaz de reconhecer sinais básicos mediante visão artificial, empregando uma metodologia de desenvolvimento em cascata que permitiu avançar de forma sequencial, desde a identificação de necessidades até a validação do protótipo. O

proceso incluiu uma revisão bibliográfica sobre reconhecimento de gestos, microcomputadores e educação inclusiva, o design funcional do sistema e sua integração em uma Raspberry Pi 4 com uma câmera web. Os resultados demonstraram que o protótipo é funcional na identificação de sinais e foi utilizado pelo estudante com deficiência auditiva que participou dos testes, embora fatores como iluminação e distância tenham afetado parcialmente a detecção.

**Palavras-chave:** Língua de sinais equatoriana, visão artificial, inclusão, Raspberry Pi 4, reconhecimento de sinais, protótipo interativo.

## Introducción

La comunicación constituye uno de los componentes fundamentales del proceso educativo, pues permite el intercambio de ideas, la construcción del conocimiento y el desarrollo de relaciones colaborativas. No obstante, los estudiantes con discapacidad auditiva enfrentan barreras que limitan su participación plena en espacios académicos, especialmente cuando no existe un dominio generalizado de la Lengua de Señas Ecuatoriana (LSEC) en la comunidad educativa. Estas dificultades generan dependencia hacia intérpretes y reducen la autonomía comunicativa del estudiantado.

El avance tecnológico ha permitido que herramientas de bajo costo, basadas en hardware libre y visión artificial, se conviertan en alternativas viables para fortalecer la educación inclusiva. A través del procesamiento de imágenes, los sistemas embebidos son capaces de reconocer gestos en tiempo real, facilitando procesos de aprendizaje interactivo y accesible.

En este contexto, el presente trabajo desarrolla un prototipo de aprendizaje básico de LSEC mediante la integración de una Raspberry Pi 4, una cámara y software libre orientado al reconocimiento de gestos. Su objetivo principal es brindar un recurso didáctico que contribuya a mejorar la comunicación entre estudiantes sordos y oyentes del Instituto Superior Tecnológico Tsachila, promoviendo su inclusión activa y reduciendo las barreras comunicativas que actualmente limitan su desarrollo académico.

## Metodología

El proyecto se desarrolló bajo el modelo de cascada, una metodología ampliamente utilizada en proyectos tecnológicos y de software. Este modelo se caracteriza por una estructura secuencial, en la cual cada fase depende de la finalización de la anterior, permitiendo un proceso ordenado y sistemático para el diseño e implementación del prototipo de aprendizaje de la Lengua de Señas Ecuatoriana.

Las fases que conforman este modelo son: análisis, en la que se identificaron los requerimientos y necesidades del proyecto; diseño, donde se definió la arquitectura del sistema y los componentes del prototipo; implementación, fase en la que se desarrolló e integró el hardware y el software; pruebas, orientada a verificar el correcto funcionamiento del sistema; y evaluación, en la que se analizaron los resultados obtenidos.

### Identificación de Necesidades

En esta etapa inicial se realizó un diagnóstico demográfico y operativo dentro del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila para dimensionar la población beneficiaria. Mediante la recolección de datos institucionales, se identificó que actualmente existen 4 estudiantes con discapacidad auditiva que dependen de un intérprete de lengua de señas, distribuidos en las siguientes carreras técnicas:

- ✓ Contabilidad: 1 estudiante.
- ✓ Electrónica: 1 estudiante.
- ✓ Asesoría tributaria: 1 estudiante.
- ✓ Mecánica Industrial: 1 estudiante.

A partir de entrevistas con docentes y Bienestar estudiantil, se detectó una vulnerabilidad crítica en el proceso de enseñanza-aprendizaje: la dependencia absoluta del intérprete humano. Se constató que, ante situaciones imprevistas (enfermedad, calamidad

doméstica o problemas logísticos) que impiden la asistencia del intérprete a clases, el estudiante sordo queda incomunicado y pierde el acceso al contenido de esa jornada.

Por consiguiente, la necesidad fundamental que justifica este proyecto no es sustituir la labor profesional del intérprete, sino proveer una herramienta tecnológica de apoyo. El





prototipo se plantea como un recurso auxiliar que permita al estudiante mantener su práctica y comunicación básica en el aula, garantizando la continuidad educativa incluso durante la ausencia temporal del personal de apoyo.




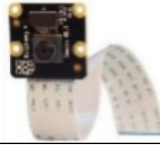
### Diseño del sistema

Para los componentes tecnológicos y materiales, se planteó una arquitectura de hardware centralizada bajo el modelo de Computación en el Borde (Edge Computing). Esto implica que la Raspberry Pi 4 actúa como el núcleo de procesamiento autónomo, eliminando la dependencia de servidores externos.

Previo al diseño de los planos, se realizó un análisis técnico para seleccionar el material de la estructura física que alojará los componentes. Se evaluaron criterios como costo, resistencia y facilidad de fabricación.

**Tabla 1.**  
Matriz de selección de hardware de procesamiento y video

Opción A (Seleccionada)	Opción B (Descartada)	Justificación de la Selección Técnica
Raspberry Pi (4GB) 	Arduino Mega 2560 	Capacidad de Cómputo: Arduino es un microcontrolador que no soporta procesamiento de video ni librerías como Media Pipe. La Raspberry Pi es un microordenador capaz de correr Linux y Python.
Raspberry Pi (4GB) 	Laptop / PC Torre 	Portabilidad y Costo: Aunque una PC tiene más potencia, la Raspberry Pi permite crear un dispositivo "todo en uno" portátil, económico y fácil de instalar en cualquier aula.

<p>Logitech C920</p> 	<p>Cámara Web (Genérica)</p> 	<p>Enfoque Automático: La C920 posee autofocus, vital para no perder nitidez cuando el usuario mueve las manos. Las genéricas suelen tener foco fijo, lo que borra la imagen al acercarse.</p>
<p>Logitech C920</p> 	<p>Módulo RPi Cam (CSI)</p> 	<p>Conectividad: La conexión USB de la C920 permite mayor flexibilidad de cableado (1.5m) para ajustar la altura, mientras que el cable plano (faja) de la RPi Cam es corto y frágil.</p>

Nota. Elaboración propia. (2025)

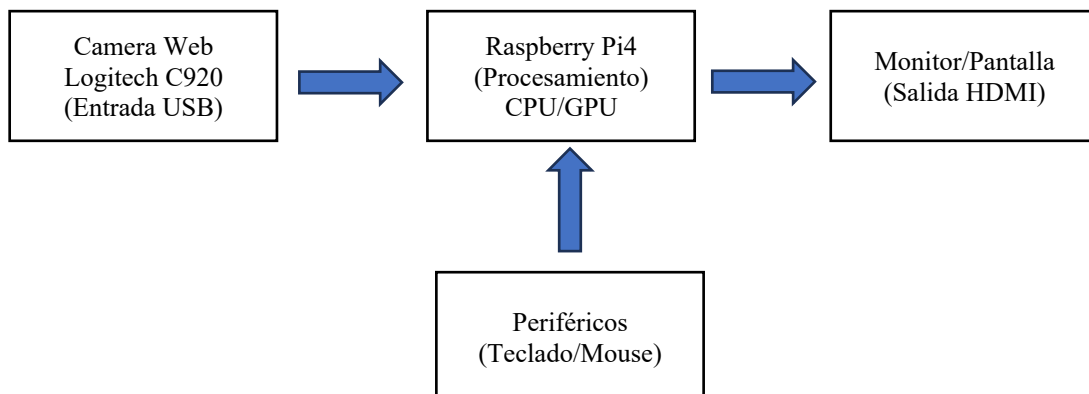
**Tabla 2.**  
Matriz de selección del material estructural

Criterio	Madera MDF (3mm)	Acrílico	Impresión 3D (PLA)
<b>Costo</b>	Bajo Costo	Alto Costo	Alto Costo
<b>Fabricación</b>	Corte Láser (Rápido)	Corte Láser (Rápido)	Impresión (Lento)
<b>Resistencia</b>	Media (Rígido)	Baja (Frágil)	Alta
<b>Ensamble</b>	Cola blanca (Fácil)	Cloroformo (Tóxico)	Tornillería
<b>Decisión</b>	Seleccionado	Descartado	Descartado

Nota. Elaboración propia. (2025)

### Diagrama de Bloques del Hardware

El sistema opera bajo un esquema de entrada-proceso-salida. La cámara web (Input) envía el flujo de video, la Raspberry Pi procesa los frames, finalmente, la interfaz gráfica se proyecta a través del puerto Micro-HDMI hacia el monitor (Output).



**Figura 1.** Diagrama de bloques del sistema de hardware  
Fuente: Elaboración propia. (2025)

### Diseño Mecánico y Montaje

Para garantizar la estabilidad de la captura de imágenes y la ergonomía del sistema, se diseñó y fabricó una estructura personalizada utilizando madera MDF de 3mm, procesada mediante tecnología de corte láser. El diseño mecánico presenta una estructura tipo "L" que incorpora dos características funcionales claves:

- ✓ **Sistema de regulación de altura:** Se implementaron rieles de perforaciones laterales equidistantes que permiten ajustar la posición vertical de la cámara Logitech C920 mediante pernos de sujeción. Esto asegura que el encuadre sea óptimo independientemente de la estatura del estudiante o de si se encuentra sentado o de pie.
- ✓ **Alojamiento de Hardware:** La parte posterior cuenta con un compartimento cerrado (case) diseñado para alojar y proteger la Raspberry Pi 4, contando con las aberturas precisas para la gestión del cableado de alimentación y video, manteniendo un entorno de trabajo seguro y ordenado.

### Desarrollo de Software y Arquitectura Modular

El software del prototipo se desarrolló utilizando el lenguaje Python, estructurado en una arquitectura modular compuesta por cuatro scripts independientes pero interconectados. Esta estrategia permitió aislar procesos (recolección, entrenamiento y ejecución) para optimizar el consumo de recursos en la Raspberry Pi.

### Recolección de Muestras y Optimización

El primer algoritmo se encarga de la adquisición de datos biométricos de la mano. Para ello, se emplea la librería MediaPipe Hands, la cual permite detectar y rastrear una mano en tiempo real, extrayendo las coordenadas tridimensionales (x, y, z) de 21 puntos clave (landmarks) por cada cuadro de video.

Con el fin de construir el conjunto de datos (dataset), se definió un protocolo de captura de 30 muestras por cada letra del abecedario de la Lengua de Señas Ecuatoriana (LSEC). Cada

muestra corresponde a una secuencia de video procesado cuadro por cuadro, de la cual se obtiene un vector de características normalizado que representa la postura de la mano.

Para garantizar la consistencia de las muestras, el sistema incorpora un criterio de estabilidad del gesto, basado en la variación promedio de los landmarks entre cuadros consecutivos. Solo cuando el movimiento se mantiene por debajo de un umbral predefinido durante varios frames, la muestra es considerada válida y almacenada.

- ✓ **Optimización de Hardware:** Durante las pruebas de rendimiento, se observó que la captura continua a 30 frames por segundo, valor estándar de la cámara, saturaba la memoria caché de la Raspberry Pi, generando latencia y cierres inesperados del flujo de video. Para mitigar este problema de buffer overflow, se limitó la captura efectiva a 20 frames por secuencia, lo cual permitió mantener la estabilidad del sistema sin comprometer la información necesaria para la correcta definición del gesto manual.
- ✓ **Fragmento fundamental del código:** Este fragmento ilustra el núcleo del proceso de extracción y normalización de los landmarks de la mano, utilizado para la creación del dataset.

### **Inferencia en Tiempo Real (Modo Prueba)**

Este módulo corresponde a la fase de inferencia y validación en tiempo real del sistema de reconocimiento de gestos. Su función principal es evaluar el desempeño del modelo entrenado, comparando los vectores de características obtenidos en tiempo real con los patrones aprendidos durante la fase de entrenamiento.

El conjunto de datos previamente recolectado es utilizado para entrenar un clasificador supervisado basado en Random Forest, el cual opera sobre vectores de 63 características, correspondientes a las coordenadas tridimensionales (x, y, z) de los 21 puntos clave de la mano. Para estimar el rendimiento del modelo, se emplea una partición de los datos en subconjuntos de entrenamiento y prueba, siempre que la cantidad de muestras por clase lo permita.

Durante la inferencia, cada frame capturado por la cámara es transformado en un vector normalizado y clasificado en tiempo real. Esta etapa permite visualizar la cercanía entre los gestos actuales y las muestras ideales, facilitando ajustes en factores como iluminación, orientación de la mano y distancia a la cámara antes de la ejecución definitiva del sistema.

### **Traductor LSEC y Retroalimentación Visual**

Este módulo corresponde a la fase final de despliegue del sistema (producción), en la cual se realiza la traducción de gestos de la Lengua de Señas Ecuatoriana (LSEC) en tiempo real. En esta etapa, el algoritmo captura continuamente la postura de la mano, extrae sus características biométricas y las procesa mediante el modelo previamente entrenado para predecir la letra correspondiente.

El sistema opera sobre secuencias de aproximadamente 20 frames consecutivos, a partir de las cuales se genera un vector de características normalizado por frame. Cada vector es clasificado individualmente y posteriormente sometido a un proceso de suavizado temporal, basado en votación mayoritaria, con el fin de reducir fluctuaciones y errores de predicción causados por ruido o movimientos involuntario.

Para evitar detecciones erráticas, se implementa un mecanismo de confirmación temporal del gesto, que exige que la predicción permanezca estable durante un intervalo mínimo antes de ser aceptada como válida. Una vez confirmada la letra, esta se incorpora a la salida textual del traductor.

Como valor agregado en términos de experiencia de usuario (UX), el sistema proporciona retroalimentación visual inmediata, mostrando tanto la letra detectada como una imagen de referencia asociada a la seña. Este recurso permite al usuario verificar que el gesto ha sido correctamente interpretado por el sistema, reforzando el proceso de aprendizaje visual y la confianza en la traducción.

```
# Conversión de landmarks a vector
vec = landmarks_to_vec(hand_landmarks)

# Predicción del modelo entrenado
pred = model.predict([vec])[0]

# Suavizado temporal por votación
pred_hist.append(pred)
label = Counter(pred_hist).most_common(1)[0][0]

# Confirmación temporal del gesto
if label == stable_label:
    if start_time is None:
        start_time = time.time()
    if time.time() - start_time >= CONFIRM_SEC:
        texto += label
else:
    stable_label = label
    start_time = None
```

## Pruebas de Funcionamiento y Calibración

Actualmente, el prototipo se encuentra en una etapa de validación técnica interna realizada por el equipo desarrollador. El objetivo de esta fase es asegurar la estabilidad del algoritmo y corregir errores de detección antes de la exposición al usuario final.

Se está llevando a cabo el entrenamiento del modelo utilizando un dataset propio, recolectado por los investigadores.

- ✓ **Volumen de datos:** Se han capturado 30 muestras vectoriales por cada letra del abecedario.
- ✓ **Resultados preliminares:** Los resultados de las pruebas indican que el sistema es capaz de reconocer la geometría de la mano; sin embargo, se ha detectado un fenómeno de inestabilidad en la inferencia (flickering). Debido a que la base de datos aún es reducida, el sistema en ciertos casos presenta incertidumbre y alterna rápidamente entre letras con geometría similar cuando la mano no se mantiene completamente estática.

Adicionalmente, se identificó como limitación la variabilidad natural en la forma y tamaño de las manos entre distintos usuarios, lo que puede afectar la precisión del reconocimiento. El sistema presenta un mejor desempeño cuando el gesto realizado coincide de manera cercana con la forma y postura con la que fue registrado durante la fase de recolección de datos. Por esta razón, es necesario que el usuario ejecute la señal respetando la configuración

gestual original (posición de dedos, orientación y apertura de la mano), ya que desviaciones significativas pueden generar confusión en la clasificación.

**Acción correctiva:** El equipo se encuentra en proceso de ampliación del banco de imágenes y ajuste de los parámetros de confianza del software para mitigar este comportamiento.

### **Puesta en marcha**

El prototipo ha sido ensamblado e instalado físicamente en el entorno de pruebas, con la estructura de madera y los componentes electrónicos totalmente integrados.

La fase de implementación final contempla, como paso siguiente, la validación de campo con el estudiante de la carrera de Electrónica. Esta validación final servirá para medir la usabilidad del sistema una vez que se haya estabilizado el porcentaje de aciertos del algoritmo en la fase de laboratorio actual.

## **Resultados**

### **Resultados de las Pruebas de Funcionamiento**

Las pruebas realizadas permitieron validar la técnica de la arquitectura propuesta. A pesar de trabajar con un dataset inicial reducido (30 muestras/clase), el prototipo demostró fortalezas significativas en rendimiento y velocidad, así como áreas específicas de mejora en la precisión estadística.

A continuación, se detallan los hallazgos técnicos positivos y las limitaciones detectadas:

- ✓ **Estabilidad del Hardware y Recursos:** Se validó que la configuración de captura a 20 FPS es el punto óptimo de operación. La Raspberry Pi 4 mantuvo una temperatura estable y un consumo de memoria RAM constante durante sesiones de uso continuo, sin

presentar congelamientos (freezing) ni cierre inesperado del software. Esto confirma que la placa seleccionada es idónea para soportar la carga computacional.

- ✓ **Latencia y Tiempo Real:** El sistema cumple con el requerimiento de "retroalimentación inmediata". El tiempo de procesamiento entre el movimiento de la mano y la visualización en pantalla es imperceptible para el usuario humano, permitiendo una interacción fluida.
- ✓ **Reconocimiento Efectivo:** El sistema logra identificar correctamente la estructura geométrica de la mano. Cuando el usuario mantiene la postura estática y bien iluminada, el algoritmo converge y muestra la letra correcta (Salida Visual).
- ✓ **Fenómeno de Fluctuación (Flickering):** Como contraparte, se detectó una inestabilidad cuando la mano realiza micro-movimientos en letras morfológicamente parecidas. La salida del sistema tiende a alternar rápidamente entre la letra correcta y otras con morfología similar. Específicamente, se registraron confusiones frecuentes entre:
  - La 'M' con la 'N' o la 'P'.
  - La 'A' con la 'S'.
- ✓ **Causa Técnica:** El análisis determina que el volumen de datos de entrenamiento (30 muestras/clase) es insuficiente para generar una frontera de decisión robusta. Al tener pocas referencias, el modelo tiene una "baja confianza" estadística en ciertas posiciones, lo que provoca los cambios repentinos en la detección.

## Discusión

Los resultados confirman que el prototipo funciona exitosamente como una Prueba de Concepto (PoC). La arquitectura de hardware es sólida y el algoritmo es capaz de reconocer la

geometría de la mano en tiempo real. La inestabilidad actual en ciertas letras no representa un fallo de diseño, sino una limitación del conjunto de datos.

Es importante destacar que la arquitectura del software desarrollado tiene capacidad para almacenar y procesar hasta

40 muestras por clase. Sin embargo, para esta fase experimental se restringió la recolección a 30 muestras. Esta decisión respondió a un criterio de salud ocupacional, debido a que el proceso de captura manual intensiva genera fatiga muscular en el usuario, lo que a su vez degrada la calidad de la postura de la mano en tomas prolongadas. Para futuras implementaciones y alcanzar la capacidad máxima del sistema, se recomienda realizar las sesiones de captura en intervalos pausados para garantizar la integridad de los datos.

### Conclusión

- ✓ La investigación evidenció que el procesamiento local de los datos en la Raspberry Pi 4, en lugar de utilizar servicios en la nube, elimina la dependencia de una conexión a internet y reduce de manera significativa la latencia del sistema. Como resultado, se habilita el desarrollo de una herramienta autónoma, inclusiva y de bajo costo, capaz de operar eficientemente en entornos educativos con infraestructura tecnológica limitada.
- ✓ Se diseñó un prototipo funcional que supera las limitaciones térmicas y de memoria de los sistemas embebidos. Durante las pruebas, se identificó que la captura a 30 FPS saturaba la memoria caché provocando cierres inesperados; este obstáculo se superó limitando la tasa de captura a 20 FPS, logrando así un equilibrio perfecto entre fluidez de video y estabilidad térmica. Asimismo, la elección de madera MDF cortada a láser permitió crear una estructura robusta y ajustable a un costo significativamente menor que la impresión 3D.
- ✓ Se implementó exitosamente un sistema interactivo que ofrece retroalimentación visual

en tiempo real. Aunque se enfrentó una limitación ergonómica (fatiga muscular) que restringió la recolección de datos a 30 muestras por letra, el sistema demostró ser una Prueba de Concepto (PoC) válida. El algoritmo es capaz de reconocer gestos distintivos con alta precisión, y la arquitectura de software quedó validada y lista para escalar a 40 muestras por clase en futuras etapas, lo cual solucionará los fenómenos de fluctuación (flickering) detectados en señas complejas.

### Referencias bibliográficas

- Abini, Lakshmi, D., Sharan, & Sulphiya. (28 de diciembre de 2024). *A comprehensive deep learning based system for real time sign language recognition and translation using raspberry pi*. Obtenido de ijctjournal: <https://www.ijctjournal.org/archives/ijctt-v72i12p102>
- Acosta, L. (20 de Julio de 2022). *Webcam Logitech C920 con resolución Full HD y corrección de iluminación de oferta en Amazon México: compatible con Windows, Mac y Android. Com.mx; Xataka México*. Obtenido de Webcam Logitech C920 con resolución Full HD y corrección de iluminación de oferta en Amazon México: compatible con Windows, Mac y Android. Com.mx; Xataka México.: <https://www.xataka.com.mx/seleccion/webcam-logitech-c920-resolucion-full-hd-correccion-iluminacion-oferta-amazon-mexico-compatible-windows-mac-android>
- Alpaca Rendón, J. A. (05 de 10 de 2017). *Reconocimiento de Patrones de Movimiento Basado en Raspberry Pi y Cámaras Megapíxel para Mejorar la Atención de Pacientes Hospitalizados*. Obtenido de Reconocimiento de Patrones de Movimiento Basado en Raspberry Pi y Cámaras Megapíxel para Mejorar la Atención de Pacientes Hospitalizados: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/b1dc4e6e-1b11-4d36-a1e1-ca330c032ed5>
- De la Cruz Pantoja, D. M. (2022). Inclusión educativa para estudiantes con discapacidad auditiva y visual en el contexto universitario. *Revista Unimar*, 40(1), 33-53.
- De programacionpython, V. T. (22 de Junio de 2021). *DETECTOR DE MANOS EN PYTHON, CON «opencv» Y «mediapipe». El Programador Chapuzas*. Obtenido de DETECTOR DE MANOS EN PYTHON, CON «opencv» Y «mediapipe». El Programador Chapuzas.: <https://programacionpython80889555.wordpress.com/2021/06/22/detector-de-manos-en-python-con-opencv-y-mediapipe/>
- Domotics, I. (30 de Abril de 2024). *Raspberry Pi y Visión Artificial: Evita Errores Comunes en Tu Tesis [Video]*. Youtube. Obtenido de Raspberry Pi y Visión Artificial: Evita Errores Comunes en Tu Tesis [Video]. Youtube.: <https://www.youtube.com/watch?v=YZEqGK6wg9M>
- Ghosh, A. (1 de April de 2025). *YOLO11 en Raspberry Pi: Optimización de la detección de objetos para dispositivos de borde*. Obtenido de YOLO11 en Raspberry Pi: Optimización de la detección de objetos para dispositivos de borde: <https://learnopencv.com/yolo11-on-raspberry-pi/>

- Huseyin, M. (17 de Marzo de 2021). *Understanding Principles of Python. Medium*. Obtenido de Understanding Principles of Python. Medium.: <https://blog.devgenius.io/understanding-principles-of-python-1c01eadd4e2f>
- Ioannis Panopoulos, E. T. (15 de agosto de 2025). *Greek Sign Language Detection with Artificial Intelligence*. Obtenido de mdpi: <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/16/3241>
- Jiménez Martínez, I. (06 de 03 de 2018). *Control remoto de movimiento de cámara web con TrackerPod en C++*. Obtenido de Control remoto de movimiento de cámara web con TrackerPod en C++: <http://hdl.handle.net/10953.1/6647>
- Kamble, S. (11 de Junio de 2025). *SLRNet: A Real-Time LSTM-Based Sign Language Recognition System*. Obtenido de arxiv: <https://arxiv.org/abs/2506.11154>
- Logitech. (06 de 2021). *C920 HD Pro Webcam: Technical Specifications & Datasheet*. Obtenido de C920 HD Pro Webcam: Technical Specifications & Datasheet: [https://www.logitech.com/content/dam/logitech/es\\_es/video-collaboration/pdf/c920e-datasheet.pdf](https://www.logitech.com/content/dam/logitech/es_es/video-collaboration/pdf/c920e-datasheet.pdf)
- Maldonado, V. R. (2018). roceso de inclusión de estudiantes sordos en instituciones educativas públicas. *Revista PUCE*, 101-124.
- Rautaray, S. A. (2012). Reconocimiento de gestos manuales basado en visión para la interacción humano-computadora: una encuesta. *Artificial Intelligence Review*, 43, 1–54 .
- Rojas, J. (1 de Febrero de 2023). *Tecnología que ayuda a las personas con discapacidad auditiva. Telefónica*. Obtenido de Tecnología que ayuda a las personas con discapacidad auditiva. Telefónica.: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/tecnologia-que-ayuda-a-las-personas-con-discapacidad-auditiva/>
- Tutillo, E. R. (12 de Octubre de 2019). *Lengua de señas ecuatoriana LSEC Sign Language Alfabeto Dactilológico Manual Alphabet. Turismoaccesibleec.org*. Obtenido de Lengua de señas ecuatoriana LSEC Sign Language Alfabeto Dactilológico Manual Alphabet. Turismoaccesibleec.org: <https://www.turismoaccesibleec.org/2019/10/16/comparativa-iberoamericana-de-las-lenguas-de-senas-signos/lengua-de-senas-ecuatoriana-lsec-sign-language-alfabeto-dactilologico-manual-alphabet/>
- Villa, B. V. (2018). Diseño de un sistema de reconocimiento de gestos no móviles mediante el procesamiento digital de imágenes. *Prospectiva*, 16(2), 41–48.
- Vive. (23 de Diciembre de 2019). *Discapacidad auditiva en el aula: consejos y recomendaciones*. Obtenido de Discapacidad auditiva en el aula: consejos y recomendaciones.: <https://estudiantes-argentina.unir.net/noticias/educacion/discapacidad-auditiva-aula/>
- Watkin, H. (26 de Junio de 2019). *Raspberry Pi 4 – Review the Specs*. Obtenido de Raspberry Pi 4 – Review the Specs: <https://all3dp.com/1/raspberry-pi-4-review-the-specs/>