



ARTÍCULO ORIGINAL · CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TERRITORIAL

Evaluación experimental de reconocimiento facial ligero para control de asistencia en entornos educativos rurales

Maribel Hernández-Solís¹, Edison Milton Balvín-Sánchez^{1*}

¹ Licenciatura en Ingeniería en Tecnología Informática, Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA), Puebla, México

* Autor(a) por correspondencia: edison.balvin@uiepa.edu.mx · ORCID: 0009-0006-5307-6342

RESUMEN

Este estudio evalúa experimentalmente un sistema web de control de asistencia basado en reconocimiento facial desarrollado mediante tecnologías ligeras basadas en face-api.js. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y experimental-computacional en un contexto educativo rural con infraestructura tecnológica limitada. La evaluación incluyó 30 participantes y 150 intentos de reconocimiento facial bajo distintas condiciones de iluminación y orientación facial. Los resultados mostraron una precisión del 100% en condiciones controladas de captura frontal, sin falsos positivos ni falsos negativos. No obstante, bajo variaciones de orientación e iluminación el desempeño disminuyó a 71.7% y 78.9%, respectivamente, observándose diferencias estadísticamente significativas respecto al escenario controlado ($p < 0.001$). En comparación con el método manual, el sistema automatizado redujo aproximadamente un 97.3% el tiempo requerido para el registro de asistencia. Los hallazgos evidencian la viabilidad de implementar sistemas biométricos ligeros para automatizar procesos administrativos en instituciones educativas con recursos tecnológicos limitados.

Palabras clave: reconocimiento facial, biometría, control de asistencia, visión por computadora, entorno rural

ABSTRACT

This study experimentally evaluates a web-based attendance control system using facial recognition, developed with lightweight technologies through face-api.js. The research was conducted under a quantitative and computational-experimental approach in a rural educational context with limited technological infrastructure. The evaluation involved 30 participants and 150 facial recognition attempts under different lighting and facial orientation conditions. Results showed 100% accuracy under controlled frontal capture conditions, with no false positives or false negatives recorded. However, under orientation and lighting variations, performance decreased to 71.7% and 78.9%, respectively, with statistically significant differences compared to the controlled scenario ($p < 0.001$). Compared to the manual method, the automated system reduced the time required for attendance registration by approximately 97.3%. These findings demonstrate the feasibility of implementing lightweight biometric systems to automate administrative processes in educational institutions with limited technological resources.

Keywords: facial recognition, biometrics, attendance control, computer vision, rural environments

Cómo citar: Hernández-Solís, M. & Balvín-Sánchez, E. (2026). Evaluación experimental de reconocimiento facial ligero para control de asistencia en entornos educativos rurales. *Interserrana: Ciencia, Cultura y Territorio*, 1(1), 6–15.

Recibido: mayo 2026 · **Aceptado:** junio 2026 · **Publicado:** 2026

Copyright: Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. **CC BY-NC 4.0**

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la incorporación de tecnologías digitales en los procesos administrativos se ha convertido en una necesidad para mejorar la eficiencia, precisión y confiabilidad en diferentes

entornos institucionales. Diversos estudios señalan que la transformación digital y la automatización permiten optimizar actividades operativas y mejorar la gestión de la información dentro de las organizaciones (Verhoef et al., 2021). Al sustituir procedimientos manuales por herramientas tecnológicas, se

reducen errores derivados de la intervención humana y se favorece una administración más segura y eficiente de los datos.

Uno de los procesos que aún presenta limitaciones en instituciones educativas es el control de asistencia. En muchos casos, este procedimiento continúa realizándose mediante listas impresas, registros manuales o tarjetas de identificación, lo que puede generar pérdida de tiempo, errores de captura e irregularidades en la validación de la asistencia. Diversas investigaciones han reportado que los métodos tradicionales de registro presentan limitaciones relacionadas con eficiencia operativa, confiabilidad y trazabilidad de la información en entornos educativos y administrativos (Rahman et al., 2020; Khan et al., 2021).

Además de verificar la presencia de los estudiantes, los registros de asistencia constituyen una fuente de información relevante para el seguimiento académico, la detección temprana del abandono escolar, la evaluación de la permanencia estudiantil y diversos procesos administrativos institucionales relacionados con la gestión educativa y la toma de decisiones.

Ante esta problemática, la biometría representa una alternativa tecnológica orientada a la identificación precisa de individuos mediante características físicas únicas (Jain et al., 2004). Entre sus aplicaciones más utilizadas se encuentra el reconocimiento facial, el cual permite identificar personas a partir del análisis de rasgos faciales mediante técnicas de inteligencia artificial y procesamiento de imágenes. Estudios recientes han señalado que las tecnologías de reconocimiento facial contribuyen a fortalecer la seguridad y reducir riesgos de suplantación de identidad en sistemas automatizados (Parkhi et al., 2015; Deng et al., 2019).

Sin embargo, son limitados los estudios enfocados en evaluar sistemas biométricos ligeros ejecutados directamente en navegador dentro de contextos educativos con infraestructura tecnológica restringida. En particular, existe poca evidencia experimental sobre el desempeño de este tipo de soluciones bajo condiciones variables de iluminación y orientación facial en entornos rurales. Además, gran parte de las investigaciones reportadas requieren infraestructura computacional especializada, procesamiento en la nube o dependencia de GPU dedicadas, lo que dificulta su implementación en instituciones públicas con recursos tecnológicos limitados.

Adicionalmente, muchos sistemas de reconocimiento facial reportados en la literatura dependen del procesamiento en la nube, servidores dedicados o hardware especializado, lo que incrementa los costos de implementación y puede introducir limitaciones relacionadas con latencia, privacidad y disponibilidad del servicio.

Con base en lo anterior, se seleccionó face-api.js como tecnología principal de reconocimiento biométrico debido a su naturaleza liviana, facilidad de integración y amplio uso en soluciones de software donde los recursos computacionales son

limitados (Warman & Kusuma, 2023). La librería emplea redes neuronales convolucionales para la detección y comparación de patrones faciales, permitiendo su ejecución directamente en el navegador sin requerir infraestructura especializada ni servicios en la nube (Shi et al., 2016).

Por esta razón, este trabajo busca aportar evidencia experimental concreta sobre qué tan viable es usar este tipo de sistemas en una institución pública rural de México, donde la infraestructura tecnológica es limitada y las condiciones de captura no siempre son ideales.

El principal aporte del presente estudio consiste en evaluar la viabilidad de un sistema de reconocimiento facial ligero ejecutado completamente en el navegador mediante procesamiento local, sin requerir infraestructura especializada ni servicios externos de cómputo. Asimismo, el trabajo proporciona evidencia experimental obtenida en un contexto educativo rural mexicano, un escenario poco representado en la literatura especializada.

A diferencia de las soluciones comerciales de reconocimiento facial disponibles en el mercado, que suelen requerir el pago de licencias, infraestructura dedicada o procesamiento en la nube, el sistema propuesto se desarrolló con tecnologías de código abierto y procesamiento local, lo que lo convierte en una alternativa viable para instituciones educativas públicas con presupuestos limitados.

Finalmente, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad de un sistema automatizado de control de asistencia basado en reconocimiento facial utilizando tecnologías ligeras ejecutadas localmente en navegador dentro de contextos educativos con infraestructura tecnológica limitada.

Para alcanzar este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar un sistema web de control de asistencia basado en reconocimiento facial.
- Evaluar la precisión del reconocimiento bajo diferentes condiciones de iluminación y orientación facial.
- Comparar el tiempo requerido para el registro manual y automatizado de asistencia.
- Analizar la viabilidad del sistema en contextos educativos rurales con infraestructura tecnológica limitada.

2. METODOLOGÍA

2.1 Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, aplicado y experimental-computacional, debido a que estuvo orientada al diseño, implementación y evaluación de un sistema automatizado de control de asistencia mediante recono-

cimiento facial e inteligencia artificial. El enfoque cuantitativo permitió evaluar el desempeño de la plataforma mediante métricas objetivas, como la precisión del reconocimiento facial, los tiempos de respuesta y la exactitud en los registros de asistencia generados por el sistema, permitiendo la medición y análisis estadístico de los resultados obtenidos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

El estudio presentó un carácter tecnológico y de desarrollo, ya que se centró en la construcción de una herramienta informática orientada a resolver problemáticas relacionadas con los métodos tradicionales de control de asistencia. Asimismo, el componente experimental-computacional permitió evaluar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones operativas, considerando variables relacionadas con iluminación, posiciones faciales y rendimiento del reconocimiento biométrico.

2.2 Muestra experimental

El estudio se desarrolló en la Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán (UIEPA), ubicada en la región Sierra Norte del estado de Puebla, México. Esta institución forma parte de una zona caracterizada por condiciones socioeconómicas y tecnológicas limitadas, donde predominan comunidades rurales e indígenas pertenecientes principalmente a las culturas náhuatl y totonaca.

De acuerdo con Balvín-Sánchez et al. (2026), las instituciones educativas rurales de la Sierra Norte de Puebla enfrentan limitaciones relacionadas con conectividad, acceso tecnológico y disponibilidad de recursos digitales, lo que impacta directamente en la incorporación de tecnologías computacionales. En este sentido, dicho contexto representa un escenario pertinente para evaluar la viabilidad de sistemas automatizados basados en inteligencia artificial y reconocimiento facial.

La población objetivo estuvo conformada por aproximadamente 800 estudiantes pertenecientes a la Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán. Sin embargo, para la fase experimental se seleccionó una muestra no probabilística de 30 participantes, considerada adecuada para una evaluación experimental inicial de funcionamiento, precisión y desempeño del sistema de reconocimiento facial.

La selección de esta muestra permitió evaluar el comportamiento del sistema en condiciones reales de operación, manteniendo viabilidad técnica y control experimental durante las pruebas.

La muestra empleada resulta consistente con estudios previos de validación funcional de sistemas de reconocimiento facial para el control de asistencia en aulas, que han trabajado con grupos de entre 15 y 22 estudiantes (Benavides Pérez et al., 2016), y responde al carácter de evaluación experimental inicial del presente trabajo, cuyo objetivo es verificar la viabilidad técnica del sistema y no la generalización estadística de los resultados.

Cada participante realizó múltiples intentos de reconocimiento facial bajo diferentes condiciones de iluminación y orientación facial, permitiendo generar un conjunto de pruebas orientadas a evaluar la estabilidad, precisión y capacidad de respuesta del sistema biométrico en escenarios variables de captura.

2.3 Fase de análisis y levantamiento de requerimientos

En esta etapa se realizó el levantamiento de requerimientos funcionales y no funcionales del sistema con el propósito de identificar las necesidades operativas de los usuarios. Durante este proceso se analizaron las funcionalidades necesarias, restricciones técnicas y características del entorno de trabajo para garantizar un adecuado desempeño del sistema. De acuerdo con Umar y Lano (2024), la correcta especificación de requerimientos constituye una etapa fundamental en el desarrollo de software, ya que permite definir de manera precisa las funcionalidades, restricciones y objetivos que debe cumplir la aplicación para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Durante el análisis se consideraron aspectos relacionados con el registro de información personal, control de horarios y administración de asistencias. Un punto crítico fue la velocidad de respuesta del reconocimiento facial, ya que los sistemas biométricos requieren un procesamiento eficiente de imágenes para garantizar un reconocimiento preciso y en tiempo real dentro de entornos con múltiples usuarios (Alobaidy et al., 2024).

A partir de esta recopilación de información se definieron las funcionalidades principales del sistema y los niveles de acceso. Asimismo, se establecieron las características necesarias para garantizar un funcionamiento estable dentro del entorno institucional, integrando protocolos de seguridad para la protección de plantillas faciales. Diversos estudios señalan que la seguridad de la información y la integridad de los datos representan elementos fundamentales en el desarrollo de sistemas tecnológicos orientados a la gestión y almacenamiento de información sensible (Ochoa & López, 2024).

2.4 Fase de diseño del sistema

Posteriormente, se diseñó la arquitectura del sistema utilizando un modelo cliente-servidor, permitiendo separar el procesamiento de datos, la lógica del sistema y la interacción con el usuario. Este tipo de arquitectura facilita la organización y distribución de las funciones dentro de aplicaciones web modernas, favoreciendo la escalabilidad y mantenimiento del software (Maldonado Córdova et al., 2022).

Para el desarrollo del backend se empleó PHP como lenguaje principal de programación, mientras que MySQL fue utilizado para la gestión y almacenamiento de la base de datos relacional.

En el desarrollo de la interfaz gráfica se utilizaron HTML5, CSS3, JavaScript y Bootstrap 5, permitiendo construir una plataforma dinámica e interactiva para la captura y administración de información. La arquitectura de la información en entornos web permite estructurar y organizar adecuadamente los sistemas digitales para mejorar la experiencia del usuario y facilitar la recuperación de información (Pérez-Montoro, 2010).

Asimismo, se definieron módulos específicos para la gestión de usuarios, control de asistencias, administración de horarios y validación biométrica. Diversos estudios destacan que las redes neuronales artificiales y el reconocimiento facial permiten automatizar procesos de control de acceso de manera rápida y eficiente dentro de entornos organizacionales (Ibarra-Estévez & Paredes, 2018).

2.5 Fase de implementación

Durante la fase de implementación se integró un módulo de reconocimiento facial mediante la librería face-api.js, basada en técnicas de inteligencia artificial, visión por computadora y aprendizaje profundo (deep learning). Esta herramienta utiliza modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) para la detección, extracción y comparación de características biométricas faciales, permitiendo automatizar procesos de identificación y autenticación en tiempo real (Adjabi et al., 2020).

Durante la fase de enrolamiento biométrico, cada participante registró inicialmente una imagen frontal del rostro bajo condiciones controladas de captura. A partir de esta imagen se generó el descriptor facial utilizado posteriormente durante las pruebas de reconocimiento automático.

Para la detección facial se empleó el modelo TinyFaceDetector incluido en face-api.js, mientras que la generación de descriptores biométricos se realizó mediante FaceRecognitionNet. Los vectores obtenidos fueron comparados utilizando el mecanismo FaceMatcher proporcionado por la biblioteca.

El sistema permitió generar vectores numéricos a partir de patrones faciales obtenidos mediante la cámara del dispositivo, posibilitando la validación biométrica de los usuarios a través de procesos de comparación matemática entre los registros almacenados y los patrones detectados. Los sistemas modernos de reconocimiento facial representan matemáticamente las características biométricas mediante vectores numéricos de alta dimensionalidad, permitiendo realizar comparaciones eficientes entre individuos (Deng et al., 2019; Parkhi et al., 2015).

El procesamiento facial fue ejecutado directamente en el navegador del usuario, permitiendo reducir tiempos de respuesta y evitar el almacenamiento de fotografías originales. Este enfoque de procesamiento en el cliente (Edge Computing) favorece la eficiencia operativa y mejora la privacidad de los datos dentro de sistemas orientados al procesamiento en tiempo

real (Shi et al., 2016). Para el desarrollo y pruebas locales de la plataforma se utilizó XAMPP como entorno de servidor.

Además, para la organización del desarrollo del software se tomaron como referencia principios de la metodología ágil Scrum, adaptados a un ciclo de implementación incremental y validación continua de funcionalidades. La aplicación de marcos de trabajo ágiles en entornos académicos y profesionales permite una gestión adaptativa que favorece la organización del proceso de desarrollo y la adaptación continua de funcionalidades y la satisfacción de los requisitos del usuario (Schwaber & Sutherland, 2020).

2.6 Fase de funcionamiento del sistema

El flujo de funcionamiento del sistema inició con la activación de la cámara web y la detección automática del rostro del usuario. Posteriormente, el sistema realizó la extracción de características faciales representadas mediante vectores numéricos. Esta etapa es crítica, ya que la precisión del sistema depende de la capacidad del algoritmo para transformar la información visual en una representación matemática compacta y discriminativa (Deng et al., 2019).

Una vez realizada la comparación matemática con los registros almacenados en la base de datos, el sistema verificó la coincidencia facial y procedió al registro automático de la asistencia. Para asegurar la integridad de estos registros, es fundamental emplear arquitecturas de bases de datos que soporten la concurrencia y garanticen la persistencia de la información en tiempo real (Elmasri & Navathe, 2021). Finalmente, la plataforma generó una notificación visual confirmando el registro. Con el propósito de ilustrar el funcionamiento de la plataforma desarrollada, las Figuras 1 a 4 presentan las principales interfaces del sistema, incluyendo el inicio de sesión, la captura biométrica y el proceso de autenticación.

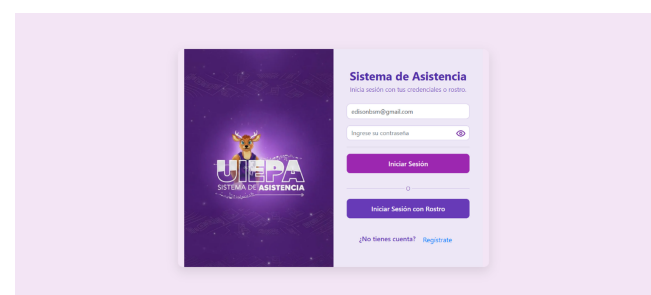


Figura 1
Pantalla principal de inicio de sesión del sistema.

Nota. Elaboración propia (2026).

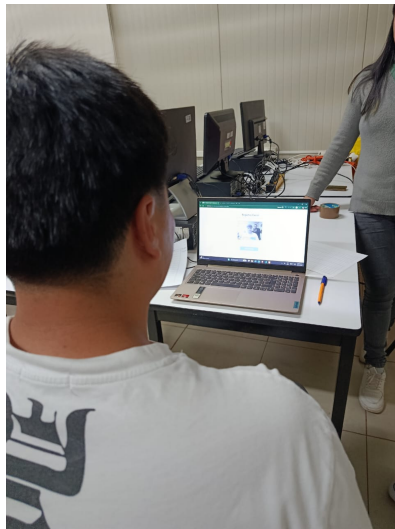


Figura 2
Captura biométrica durante el reconocimiento facial.
Nota. Elaboración propia (2026).

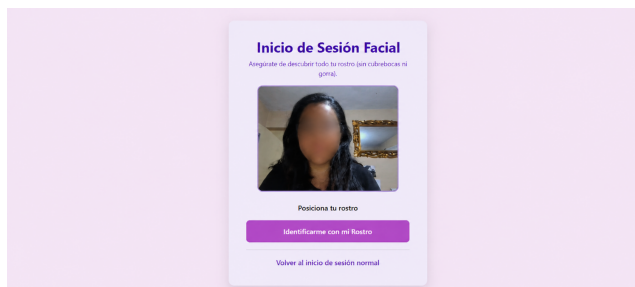


Figura 3
Proceso de autenticación mediante reconocimiento facial.
Nota. Elaboración propia (2026).

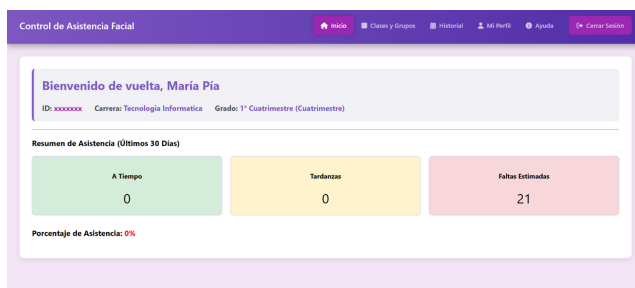


Figura 4
Historial de asistencias registradas.
Nota. Elaboración propia (2026).

2.7 Fase de validación y pruebas

Para evaluar el funcionamiento de la plataforma se trabajó con los 30 participantes seleccionados. En una primera etapa, cada usuario realizó cinco intentos de reconocimiento facial con el rostro frente a la cámara y bajo una iluminación estable. Con estas pruebas se obtuvo un conjunto inicial de 150 registros, utilizado como referencia para medir la precisión del sistema. Las condiciones controladas consideradas durante esta fase correspondieron a captura frontal del rostro, iluminación uniforme en interiores, distancia aproximada de 50 a 70 cm respecto a la cámara y ausencia de elementos que obstruyeran parcialmente el rostro. Después de esta evaluación, se hicieron

pruebas adicionales cambiando la posición del rostro y las condiciones de iluminación, con la finalidad de observar el comportamiento del reconocimiento biométrico en situaciones más cercanas a su aplicación cotidiana.

Las métricas de evaluación consideraron el porcentaje de precisión, los falsos positivos, los falsos negativos y el tiempo de respuesta durante la detección y validación biométrica. También se tomaron en cuenta las variaciones de iluminación, ya que en sistemas de visión artificial estos cambios pueden afectar la calidad de la captura y, con ello, el reconocimiento facial en tiempo real. Este aspecto es relevante en instituciones mexicanas donde las condiciones ambientales no siempre pueden controlarse durante el uso del sistema (Acevedo-Ávila et al., 2020).

Para el análisis estadístico se emplearon medidas descriptivas como porcentajes de precisión, medias y desviaciones estándar. Con el fin de determinar si existían diferencias significativas en el desempeño del sistema según la orientación facial, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Para comparar los tiempos de registro entre el método manual y el sistema automatizado se utilizó la prueba t de Student para muestras pareadas. El procesamiento estadístico se llevó a cabo en Python mediante las bibliotecas NumPy, Pandas y SciPy.

Adicionalmente, se comparó el tiempo requerido para registrar asistencia mediante el método tradicional y el sistema desarrollado, con el objetivo de determinar la reducción del tiempo operativo obtenida al sustituir un procedimiento manual por un proceso automatizado de reconocimiento facial.

La investigación siguió lo establecido en la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares (LFPDPPP, 2010). Antes de realizar las pruebas, los participantes recibieron información sobre el propósito del estudio y aceptaron colaborar de forma voluntaria. Las capturas obtenidas durante la evaluación únicamente se emplearon para comprobar el funcionamiento del sistema; no se almacenaron fotografías de los usuarios. La plataforma trabajó con descriptores biométricos generados por face-api.js. Al concluir la evaluación, los registros utilizados durante las pruebas se eliminaron de la base de datos. La Tabla 1 resume los principales parámetros experimentales y las condiciones empleadas durante la evaluación del sistema de reconocimiento facial.

Tabla 1
Configuración experimental utilizada durante la evaluación del sistema de reconocimiento facial

Parámetro	Valor
Participantes	30
Intentos controlados	150
Distancia cámara	50–70 cm
Captura	Frontal
Navegador	Google Chrome
Librería	face-api.js
Procesamiento	Local en navegador

Nota. Se presentan los principales parámetros y condiciones utilizados durante la evaluación experimental. Elaboración propia (2026).

3. RESULTADOS

3.1 Evaluación del reconocimiento facial con variación de ángulos

Los mismos participantes de la evaluación inicial realizaron pruebas adicionales cambiando la orientación del rostro frente a la cámara. Durante estas pruebas se consideraron diferentes posiciones faciales para observar si el sistema mantenía un reconocimiento adecuado cuando las condiciones de captura no eran completamente controladas.

En condiciones frontales controladas, el sistema alcanzó una precisión del 100%, obteniendo 150 reconocimientos correctos en 150 intentos evaluados. El intervalo de confianza al 95% (IC95%) para la precisión se ubicó entre 97.5% y 100%, lo que respalda la confiabilidad del sistema bajo las condiciones experimentales establecidas.

Al incorporar variaciones en la orientación facial, el desempeño presentó una disminución. La precisión general obtenida fue de 71.7%, observándose el mejor desempeño en la posición frontal y menores niveles de reconocimiento en posiciones laterales e inclinadas, particularmente en el ángulo derecho. La Figura 5 presenta la precisión obtenida para cada una de las orientaciones faciales evaluadas.

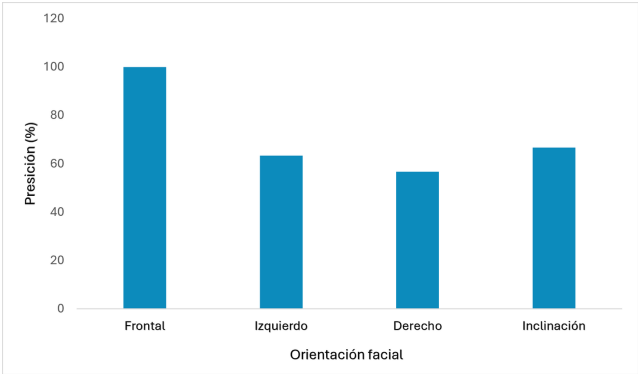


Figura 5
Precisión del sistema según ángulo de inclinación del rostro.

Nota. Precisión del sistema bajo distintas orientaciones faciales, evaluada en 150 intentos. Elaboración propia (2026).

Con el propósito de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las distintas orientaciones faciales evaluadas, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas en el desempeño del sistema según la posición facial evaluada ($H = 16.44$; $p < 0.001$), indicando que la orientación del rostro influye de manera significativa en la precisión del reconocimiento facial.

Los resultados muestran que el modelo presenta mayor estabilidad en capturas faciales frontales. No obstante, el sistema mantuvo un desempeño funcional en condiciones con variaciones de orientación, lo que evidencia su viabilidad para escenarios reales de asistencia escolar o institucional.

Además, los resultados permiten identificar oportunidades de mejora relacionadas con el entrenamiento del modelo utilizando conjuntos de datos con mayor diversidad angular y diferentes condiciones de captura, con el propósito de incrementar la robustez del reconocimiento facial en futuros trabajos.

3.2 Evaluación del reconocimiento facial bajo distintas condiciones de iluminación

Con el objetivo de analizar la robustez del sistema ante variaciones lumínicas, se realizaron pruebas con 30 usuarios en tres condiciones: iluminación alta, media y baja.

Los resultados obtenidos muestran una precisión general del 78.9%. El sistema alcanzó un desempeño óptimo en condiciones de iluminación alta y baja, obteniendo un 100% de reconocimiento en ambos escenarios. Sin embargo, en condiciones de iluminación media se observó una disminución significativa del rendimiento, alcanzando únicamente un 36.7% de precisión. La Figura 6 muestra el comportamiento del sistema bajo las diferentes condiciones de iluminación consideradas durante el estudio.

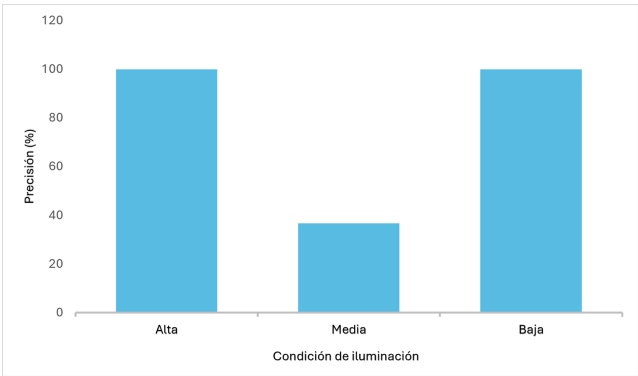


Figura 6
Precisión del reconocimiento facial bajo distintas condiciones de iluminación.

Nota. Evaluación del sistema bajo condiciones de iluminación alta, media y baja. Elaboración propia (2026).

Los resultados obtenidos evidencian que el desempeño del sistema no depende exclusivamente de la intensidad lumínica, sino también de factores asociados al contraste facial, la presencia de sombras y la calidad de la imagen capturada por el sensor. Una posible explicación podría estar relacionada con mecanismos automáticos de exposición y balance de blancos implementados por la cámara utilizada; sin embargo, esta hipótesis no fue evaluada experimentalmente y requiere validación adicional en estudios posteriores. Estos hallazgos sugieren que la robustez del reconocimiento facial depende tanto de las condiciones de iluminación como de las características del dispositivo de captura empleado.

Este comportamiento sugiere que las variaciones ambientales influyen directamente en la estabilidad del sistema, especialmente en escenarios no controlados. Asimismo, los resultados evidencian la necesidad de incorporar técnicas de normalización lumínica y entrenamiento con condiciones variables para mejorar la robustez del reconocimiento facial en entornos reales.

3.3 Precisión del reconocimiento facial en condiciones controladas

A diferencia de las evaluaciones realizadas bajo variaciones de ángulo e iluminación, esta sección presenta los resultados obtenidos específicamente en condiciones controladas de captura, es decir, con los participantes en posición frontal y bajo iluminación favorable. Bajo estas condiciones, el sistema alcanzó una precisión del 100%, sin registrar falsos positivos ni falsos negativos en los 150 intentos realizados durante el escenario controlado de evaluación (Tabla 2).

Tabla 2
Resultados del sistema de reconocimiento facial bajo condiciones controladas de captura

Métrica	Resultado
Usuarios evaluados	30
Intentos realizados	150
Reconocimientos correctos	150
Falsos positivos	0
Falsos negativos	0
Precisión global	100%

Nota. Elaboración propia (2026).

Asimismo, el tiempo de reconocimiento osciló entre 0 y 2.8 segundos, observándose tiempos inferiores a un segundo en la mayoría de los intentos, lo que evidencia una respuesta rápida y estable del sistema. Estos tiempos permiten considerar al sistema como viable para procesos automatizados de asistencia en tiempo real dentro de entornos educativos.

La ausencia de falsos positivos y falsos negativos durante las pruebas controladas sugiere que el modelo utilizado posee una adecuada capacidad discriminativa en escenarios homogéneos de captura. No obstante, las evaluaciones realizadas con variaciones de iluminación y orientación facial evidenciaron disminuciones en el desempeño del modelo en escenarios menos controlados.

Lo anterior indica que el desempeño del sistema se encuentra influenciado por las condiciones de captura, particularmente por la orientación facial y las variaciones lumínicas presentes durante la adquisición de imágenes.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que el sistema presentó un desempeño favorable en ambientes controlados, alcanzando altos niveles de precisión y tiempos de respuesta adecuados para procesos de asistencia automatizada en tiempo real.

3.4 Comparación entre registro manual y sistema automatizado

Con el objetivo de evaluar la eficiencia del sistema propuesto, se comparó el tiempo requerido para registrar asistencia mediante el método tradicional manual y mediante el sistema automatizado basado en reconocimiento facial. Las pruebas fueron realizadas con 30 registros correspondientes a estudiantes de la asignatura de Álgebra. La Tabla 3 resume los tiempos promedio obtenidos para ambos procedimientos de registro de asistencia.

Tabla 3
Comparación de tiempos entre el método manual y el sistema basado en IA

Método	Media	Desviación estándar
Manual	29.93	5.62
IA	0.78	0.58

Nota. Elaboración propia (2026).

La estadística descriptiva mostró diferencias considerables entre ambos métodos. El registro manual presentó un tiempo promedio de 29.93 segundos con una desviación estándar de 5.62, mientras que el sistema basado en inteligencia artificial obtuvo una media de 0.78 segundos y una desviación estándar de 0.58. Asimismo, el reconocimiento facial se ejecutó en menos de un segundo en la mayoría de los casos, evidenciando rapidez y estabilidad operativa durante las pruebas realizadas.

La prueba t de Student para muestras pareadas evidenció diferencias estadísticamente significativas entre el método manual y el sistema automatizado ($t = 28.112$, $p < 0.001$). Los resultados indican que el sistema reduce significativamente el tiempo requerido para el registro de asistencia, alcanzando una disminución aproximada del 97.3% respecto al procedimiento manual.

En términos generales, el sistema propuesto representa una alternativa eficiente para optimizar procesos administrativos en instituciones educativas, reduciendo tiempos operativos y minimizando la intervención manual durante el inicio de las sesiones académicas.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema basado en reconocimiento facial alcanzó una precisión del 100% bajo

condiciones controladas. Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Jain et al. (2004), quienes destacan la alta precisión y confiabilidad de los sistemas biométricos frente a métodos tradicionales de identificación.

En concordancia con los resultados obtenidos, Heredia Villacís y Donoso Palomeque (2024) desarrollaron un sistema de registro de asistencia estudiantil mediante reconocimiento facial en tiempo real utilizando Raspberry Pi y Python, concluyendo que la automatización del proceso mejora la rapidez y confiabilidad del control de asistencia académica.

De manera similar, en la presente investigación se observó que el sistema automatizado redujo significativamente el tiempo promedio de registro en comparación con el método manual tradicional, permitiendo realizar el reconocimiento en menos de un segundo en la mayoría de los casos.

De igual forma, Cardozo Servián y Macen Rojas (2023) reportaron que el uso de reconocimiento biométrico facial en instituciones educativas contribuye a optimizar recursos administrativos y disminuir errores asociados con registros manuales. Los hallazgos de la presente investigación coinciden con dicho planteamiento, debido a que el sistema propuesto permitió automatizar el proceso de asistencia, reduciendo tiempos operativos y minimizando la intervención manual del docente durante el registro de estudiantes. Con el propósito de contextualizar el desempeño obtenido, la Tabla 4 presenta una comparación entre el sistema desarrollado y algunos estudios representativos reportados previamente para aplicaciones de control de asistencia mediante reconocimiento facial.

Tabla 4
Comparación entre sistemas de reconocimiento facial utilizados para control de asistencia

Estudio	Desempeño reportado	Infraestructura requerida	Procesamiento
Warman y Kusuma (2023)	99.1 % (precisión Rank-1 reportada por los autores en conjuntos de datos de referencia)	FaceNet + RetinaFace	Servidor/GPU
Heredia y Donoso (2024)	No reportada	Raspberry Pi + cámara dedicada	Local (dispositivo)
Cardozo y Macen (2023)	No reportada	Raspberry Pi + servidor	Local + servidor
Presente estudio	100 % (condiciones controladas); 71.7 % (orientación facial); 78.9 % (iluminación variable)	Navegador web convencional	Local en navegador

Nota. Comparación basada en los resultados reportados por cada estudio bajo sus respectivas condiciones. Elaboración propia (2026).

Cabe señalar que en el mercado existen plataformas comerciales que automatizan el pase de lista mediante reconocimiento facial; sin embargo, estas soluciones implican costos de licenciamiento, dependencia de un proveedor externo y, en varios casos, transmisión de datos biométricos a servicios en la nube. En contraste,

la propuesta desarrollada opera íntegramente con procesamiento local en el navegador, sin costos de licencia y con control institucional completo sobre los datos, lo que resulta especialmente pertinente para el contexto de instituciones públicas rurales como la analizada en este estudio.

Sin embargo, las pruebas realizadas bajo variaciones de orientación facial evidenciaron una disminución considerable en la precisión del sistema, especialmente en posiciones laterales e inclinadas. Estos resultados coinciden con lo señalado por Terrazas Zeballos (2024), quien menciona que factores como las variaciones de pose, iluminación, sombras y ángulos de captura afectan directamente el desempeño de los sistemas de reconocimiento facial. En este sentido, aunque el sistema presentó un desempeño aceptable en condiciones no controladas, los resultados sugieren que el modelo depende en gran medida de imágenes frontales para lograr identificaciones más precisas.

Asimismo, Reyes Campos et al. (2023) sostienen que variables relacionadas con iluminación, brillo ambiental y perspectiva de captura pueden afectar la extracción de características biométricas dentro de sistemas automatizados de reconocimiento facial. Los resultados obtenidos en la presente investigación respaldan parcialmente este planteamiento, ya que se observaron diferencias importantes en el desempeño del sistema bajo determinadas condiciones lumínicas, particularmente en iluminación media, donde la precisión disminuyó considerablemente.

Por otra parte, Ibarra-Estévez y Paredes (2018) señalan que el uso de redes neuronales artificiales permite automatizar procesos de control de acceso y mejorar la velocidad de reconocimiento facial dentro de entornos organizacionales. En concordancia con estos hallazgos, el sistema desarrollado en esta investigación presentó tiempos de respuesta rápidos y estables, permitiendo ejecutar los procesos de detección facial, validación biométrica y generación automática de registros en pocos segundos.

Respecto al uso de inteligencia artificial y aprendizaje profundo, De la Cruz-Rocca et al. (2025) concluyen que los modelos basados en Deep Learning ofrecen mayores niveles de precisión y estabilidad frente a métodos tradicionales de reconocimiento facial. Aunque el sistema desarrollado en esta investigación utilizó face-api.js como herramienta principal de reconocimiento biométrico, los resultados obtenidos muestran un comportamiento consistente con las ventajas reportadas por dichos autores, especialmente en escenarios controlados de captura facial.

Los resultados obtenidos no solo evidencian la precisión del sistema, sino también la posibilidad de implementar soluciones biométricas funcionales en instituciones públicas con infraestructura limitada. Esto resulta relevante para contextos rurales latinoamericanos, donde la disponibilidad de hardware especializado y servicios en la nube suele ser restringida.

Finalmente, aunque el sistema presentó resultados favorables en términos de precisión y eficiencia operativa, se identificaron limitaciones relacionadas con el tamaño de la muestra experi-

mental y las variaciones ambientales durante las pruebas. Por ello, futuros trabajos podrían incorporar conjuntos de entrenamiento más amplios, técnicas de normalización lumínica y modelos avanzados de aprendizaje profundo que permitan incrementar la robustez del reconocimiento facial en condiciones reales y no controladas.

5. LIMITACIONES

A pesar de los resultados obtenidos, el estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse. La principal corresponde al tamaño de la muestra utilizada durante las pruebas experimentales, ya que únicamente participaron 30 usuarios, lo que reduce el alcance de generalización de los resultados.

Además, las pruebas fueron realizadas bajo condiciones relativamente controladas de iluminación y orientación facial. Debido a ello, el desempeño del sistema puede variar en escenarios con cambios más bruscos de luz, movimiento o calidad de captura.

Otro aspecto importante es que el sistema depende de cámaras convencionales, por lo que factores como la resolución del dispositivo o las condiciones del entorno pueden influir en la precisión del reconocimiento facial.

También sería conveniente realizar pruebas con una mayor diversidad de usuarios y en diferentes contextos de uso, con la finalidad de evaluar el comportamiento del sistema en escenarios más amplios.

6. CONCLUSIÓN

La presente investigación permitió implementar un sistema automatizado de control de asistencia basado en reconocimiento facial e inteligencia artificial mediante tecnologías web y procesamiento local en navegador. Los resultados evidenciaron alta precisión en condiciones controladas y una reducción significativa en el tiempo de registro frente al método manual tradicional.

Asimismo, las pruebas experimentales demostraron que variables como la iluminación y la orientación facial influyen directamente en el desempeño del reconocimiento biométrico, especialmente en escenarios no controlados. No obstante, el sistema mantuvo estabilidad operativa y tiempos de respuesta adecuados para entornos educativos reales.

Como principal aporte, el estudio valida la viabilidad de implementar sistemas biométricos basados en inteligencia artificial en instituciones públicas de contexto rural utilizando infraestructura tecnológica accesible y de bajo costo. Finalmente, futuros trabajos deberán incorporar modelos más robustos y conjuntos de entrenamiento con mayor diversidad facial y ambiental para mejorar la precisión del sistema.

REFERENCIAS

- Acevedo-Ávila, R., González-Bernal, J. A., & Fuentes-Pineda, G. (2020). Análisis de rendimiento en algoritmos de visión por computadora para identificación humana. *Computación y Sistemas*, 24(2), 415–428. <https://doi.org/10.13053/cys-24-2-3398>
- Adjabi, I., Ouahabi, A., Benzaoui, A., & Taleb-Ahmed, A. (2020). Past, present, and future of face recognition: A review. *Electronics*, 9(8), 1188. <https://doi.org/10.3390/electronics9081188>
- Alobaidey, M. A. A., Yosif, Z. M., Alsoufi, M. S., & Al-Ashqar, S. (2024). Attendance system based on face recognition dependent on deep intelligent techniques. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 38(3), 1009–1016. <https://doi.org/10.18280/ria.380326>
- Balvín-Sánchez, E. M., Luis-Rojas, S., & Anselmo-De los Santos, E. (2026). Retos y desafíos en el aprendizaje de la programación: Un análisis en estudiantes de ciencias computacionales de la Sierra Norte del estado de Puebla, México. *Acta Universitaria*, 36, e4517. <https://doi.org/10.15174/au.2026.4517>
- Benavides Pérez, G., Sosa Jiménez, C. O., & Montané Jiménez, L. G. (2016). Reconocimiento facial aplicado a la toma de asistencia. *Pistas Educativas*, 38(122), 57–74. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/683>
- Cardozo Servián, L. A., & Macen Rojas, C. D. (2023). Reconocimiento biométrico facial para el control de asistencia de alumnos en centros educativos y visualización de resultados en dispositivos móviles. *Revista Ingeniería, Ciencias y Sociedad (RICS)*, 5(1), 66–90. <https://doi.org/10.47133/facet-unc-2023-1-5f>
- De la Cruz-Rocca, M. A., Muñoz-Robles, W., Leandro-Vadillo, W., Vicente-Guerra, N., & Porras-Rojas, M. (2025). Evaluación comparativa de algoritmos de reconocimiento facial para optimizar el control de asistencia de estudiantes de una universidad pública de Perú. *Investigación Valdizana*, 19(4), e2617. <https://doi.org/10.33554/riv.19.4.2617>
- Deng, J., Guo, J., Xue, N., & Zafeiriou, S. (2019). ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 4690–4699). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00482>
- Elmasri, R., & Navathe, S. B. (2021). *Fundamentals of database systems* (7th ed.). Pearson.
- Heredia Villacís, K. E., & Donoso Palomeque, O. E. (2024). Sistema de registro de asistencia de estudiantes mediante reconocimiento facial en tiempo real. *Cotopaxi Tech*, 4(1), 67–78. <https://ojs.isuc.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/105>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Ibarra-Estévez, J., & Paredes, K. (2018). Redes neuronales artificiales para el control de acceso basado en reconocimiento facial. *Revista PUCE*, (106), 191–210. <https://doi.org/10.26807/revpuce.v0i106.140>
- Jain, A. K., Ross, A., & Prabhakar, S. (2004). An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 4–20. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818349>
- Khan, S., Anzar, S. M., Subheesh, N. P., Panthakkan, A., & Malayil, S. (2021). Random interval attendance management system (RIAMS): A novel multimodal approach for post-COVID virtual learning. *IEEE Access*, 9, 91001–91016. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3092260>
- Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares. (2010, 5 de julio). *Diario Oficial de la Federación*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPDPPP.pdf>
- Maldonado Córdova, K. A., Ramos Ramos, J., Sánchez Hernández, M. J., Hernández Mora, J. J., & Cuatecontzi Cuahutle, E. (2022). Arquitectura de un sistema de información con acceso a bases de datos con integridad referencial dinámica y uso de apps gubernamentales y bancarias. *Revista IPSUMTEC*, 5(3), 11–16. <https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v5i3.125>
- Ochoa Torres, R. A., & López, D. E. (2024). Importancia de combinar seguridad de la información y ciberseguridad en procesos de desarrollo de software. *Revista Ciberespacio, Tecnología e Innovación*, 4(7), 5–13. <https://doi.org/10.25062/2955-0270.4962>
- Parkhi, O. M., Vedaldi, A., & Zisserman, A. (2015). Deep face recognition. *Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC 2015)*. BMVA Press. <https://doi.org/10.5244/C.29.41>
- Pérez-Montoro, M. (2010). Arquitectura de la información en entornos web. *Profesional de la Información*, 19(4), 333–338. <https://doi.org/10.3145/epi.2010.jul.01>
- Rahman, M. I., Younis, M. I., Abed, M. M., & Alsewari, A. A. (2020). Development of an attendance system based on cloud/fog computing. *Iraqi Journal of Science*, 61(5), 1190–1201. <https://doi.org/10.24996/ijis.2020.61.5.26>
- Reyes Campos, J. E. M., Castañeda Rodríguez, C. S., Alva Luján, L. D., & Mendoza de los Santos, A. C. (2023). Sistema de reconocimiento facial para el control de accesos mediante inteligencia artificial. *Innovación y Software*, 4(1), 24–36. <https://doi.org/10.48168/innosoft.s11.a78>
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *La guía de Scrum: Las reglas del juego*. Scrum.org. <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf>
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- Terrazas Zeballos, E. M. (2024). Sistema biométrico con reconocimiento facial. Un procedimiento de registro de casos de transporte y seguridad vial. *Revista Ingeniería*, 8(22), 144–162. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v8i22.124>
- Umar, M. A., & Lano, K. (2024). Advances in automated support for requirements engineering: A systematic literature review. *Requirements Engineering*, 29(2), 177–207. <https://doi.org/10.1007/s00766-023-00411-0>
- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- Warman, G. P., & Kusuma, G. P. (2023). Face recognition for smart attendance system using deep learning. *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*, 2023, Article 19. <https://doi.org/10.28919/cmbn/7872>