

UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO

ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO TÉCNICO SUPERIOR EN
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO DE CONTROL DE ASISTENCIA
MEDIANTE RECONOCIMIENTO FACIAL OFFLINE PARA ESTUDIANTES Y
DOCENTES EN UNIDADES EDUCATIVAS RURALES**

Postulante: Univ. Celso Colque Huanca

Asesor: Ing. Freddy Morales

Cobija - Pando

Bolivia 2025

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios por darme la fortaleza y sabiduría durante toda esta etapa académica. A mi familia, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, quienes han sido mi pilar fundamental en cada paso de mi formación profesional.

Extiendo mi sincero agradecimiento al Ing. Freddy Morales Blanco, tutor de este trabajo de grado, por su guía, dedicación y conocimientos compartidos a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Agradezco también a los docentes de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Amazónica de Pando por su compromiso con la enseñanza y por brindarme herramientas valiosas para mi crecimiento personal y profesional.

Finalmente, reconozco el esfuerzo de las comunidades educativas rurales que, con su realidad, inspiraron el propósito de este proyecto tecnológico con impacto social.

Resumen

Esta monografía presenta el diseño de un sistema autónomo de control de asistencia basado en reconocimiento facial offline, orientado a estudiantes y docentes en unidades educativas rurales. El proyecto surge como respuesta a la necesidad de mejorar los procesos de control de asistencia en contextos donde la conectividad a internet es limitada o inexistente, lo que impide el uso de tecnologías en línea.

La solución propuesta incorpora técnicas de visión por computadora e inteligencia artificial, mediante el uso de modelos de reconocimiento facial entrenados previamente, los cuales funcionan de forma local en dispositivos de bajo costo. Esta arquitectura permite la operación autónoma del sistema sin depender de conectividad a internet, facilitando su implementación en contextos rurales con recursos tecnológicos limitados.

Esta investigación se orienta a disminuir los niveles de inasistencia estudiantil y docente, mejorar el registro de asistencia y producir información relevante para la gestión educativa, contribuyendo así al fortalecimiento de la educación en áreas rurales.

Palabras clave: reconocimiento facial, asistencia, offline, unidades educativas rurales, inteligencia artificial, visión por computadora.

Abstract

This monograph presents the design of an autonomous attendance control system based on offline facial recognition, aimed at students and teachers in rural educational units. The project responds to the need to improve attendance tracking in contexts where internet connectivity is limited or non-existent, hindering the use of online technologies.

The proposed solution incorporates computer vision and machine learning techniques through pre-trained facial recognition models that operate locally on affordable devices. Functional and non-functional requirements are identified, the application environment is analyzed, and a design focused on usability, portability, and energy efficiency is presented.

This work aims to reduce school and teacher absenteeism, optimize attendance logging, and generate valuable data for educational management, contributing to the strengthening of education in rural areas.

Keywords: facial recognition, attendance, offline, rural educational units, artificial intelligence, computer vision.

Índice general

CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO	1
1.1. Introducción	1
1.2. El problema a investigar	2
1.2.1. Descripción de la situación problemática	2
1.2.2. Delimitación del problema	3
1.2.3. Planteamiento del problema científico	4
1.2.4. Definición del objeto de estudio	4
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Justificación	5
CAPÍTULO II. SUSTENTO TEÓRICO, DEBATE Y REFLEXIÓN.....	6
2.1. Sustento teórico.....	6
2.1.1. Educación rural y desafíos tecnológicos	6
2.1.2.: Tecnologías aplicadas a sistemas de asistencia offline	10
2.2.: Estado del arte en sistemas de reconocimiento facial aplicados en Bolivia .	12
2.3.: Metodología ágil SCRUM	12
2.3.1. Principios y roles en la metodología SCRUM	12
2.3.2: Fases de desarrollo SCRUM aplicadas al diseño de sistemas.....	13
2.4.: Aplicación de la metodología SCRUM en el diseño del sistema.....	14

2.4.1.: Product Backlog, Identificación y Priorización de Requisitos.....	14
2.4.3. Sprint Review: Validación de Modelos y Prototipos	18
2.4.4 Simulación del flujo operativo del sistema de asistencia.....	24
2.5.: Análisis crítico de viabilidad y sostenibilidad del sistema propuesto	25
2.5.1 Prevención de suplantación mediante liveness detection.....	26
2.5.2 Simulación local de reconocimiento facial mediante cámara de laptop ..	27
2.5.3. Cronograma proyectado de implementación.....	28
2.6.: Exposición de resultados obtenidos	29
CAPÍTULO III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
3.1. Conclusiones.....	30
3.2. Recomendaciones	30
Bibliografía	32

Índice de cuadros o tablas

Tabla 1. Metodo MoSCoW.....	14
Tabla 2 Sprint Planning de SCRUM	16
Tabla 3 Definición de preparado de SCRUM.....	17
Tabla 4 Etapa de implementación piloto	28
Tabla 5 Desempeño técnico proyectado del sistema offline en entorno rural	29

Índice de gráficos o figuras

Figure 1 Arquitectura de sistema offline	17
Figura 2 Diseño Conceptual del Sistema de Asistencia con Reconocimiento Facial Offline.....	18

CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO

1.1. Introducción

En el ámbito educativo boliviano, especialmente en zonas rurales, el control de asistencia de estudiantes y docentes continúa siendo un proceso predominantemente manual, expuesto a errores y limitaciones operativas. Esta situación se ve agravada por la baja disponibilidad de infraestructura tecnológica, en particular la conectividad a internet, lo que dificulta la adopción de soluciones digitales en línea. De acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (2023), “en las zonas rurales los niveles de asistencia escolar son considerablemente inferiores en comparación con las áreas urbanas”, lo que refleja no solo una brecha en la participación educativa, sino también en los mecanismos de registro y seguimiento institucional.

La presente monografía propone el diseño de un sistema autónomo de control de asistencia mediante reconocimiento facial offline, orientado a unidades educativas rurales. El objetivo es ofrecer una solución práctica, segura y adaptada al contexto, que permita identificar la presencia de estudiantes y docentes sin requerir conexión a internet constante, garantizando así su funcionalidad en cualquier momento y lugar.

El reconocimiento facial es una técnica de identificación biométrica que utiliza algoritmos de visión computacional e inteligencia artificial para analizar y comparar características faciales. En el sistema propuesto, se emplean modelos previamente entrenados que pueden ejecutarse localmente sin conexión a internet, lo que permite su funcionamiento en dispositivos de bajo costo, como microcomputadoras o laptops comunes. Este enfoque offline resulta ideal para contextos rurales donde la conectividad es limitada o nula.

El desarrollo del sistema considera la identificación y análisis de requisitos, así como el diseño estructurado de la solución tecnológica, incluyendo aspectos de usabilidad, almacenamiento local, y generación de reportes. Asimismo, se contemplan las limitaciones del entorno rural, tales como restricciones energéticas, de infraestructura y de capacitación técnica del personal.

Este proyecto cobra relevancia al alinearse con los objetivos de inclusión digital y mejora de la gestión educativa en zonas con menor acceso a recursos tecnológicos. Además, al fortalecer el control de asistencia de forma automatizada y precisa, el sistema contribuye a la inclusión escolar al permitir un seguimiento más efectivo de la presencia estudiantil, detectar casos de abandono o inasistencia prolongada, y generar alertas tempranas que

faciliten acciones pedagógicas o sociales para retener a los estudiantes en el sistema educativo.

1.2. El problema a investigar

1.2.1. Descripción de la situación problemática

En el contexto educativo boliviano, especialmente en zonas rurales, la gestión del control de asistencia continúa siendo un desafío persistente debido a la carencia de recursos tecnológicos y conectividad a internet. En muchas áreas rurales de Bolivia, el acceso a internet es inferior al 30%, según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2022). Esta limitación impide la implementación de sistemas modernos de registro que garanticen eficiencia, transparencia y trazabilidad de la información. En consecuencia, las instituciones educativas rurales se ven forzadas a depender de métodos manuales y obsoletos —como hojas de papel o cuadernos— que no se adaptan a las exigencias actuales de la administración académica.

El método tradicional de control de asistencia, basado en registros manuales, además de demandar tiempo y esfuerzo, es susceptible a errores humanos, manipulaciones y pérdida de información, especialmente cuando los datos se transcriben posteriormente o se reconstruyen de memoria (Fernández & Molina, 2021). La falta de herramientas tecnológicas que automaticen este proceso reduce la eficiencia administrativa y dificulta el monitoreo real del cumplimiento académico. Aunque existen tecnologías como sistemas de huella dactilar o identificación por RFID, estas resultan poco viables en las zonas rurales debido a su elevado costo, necesidad de energía eléctrica estable y requerimientos técnicos para su instalación y mantenimiento (Cristia et al., 2021; PNUD, 2022).

Aunque existen soluciones tecnológicas basadas en la nube, estas no son aplicables en contextos rurales donde no se dispone de conectividad constante. Esto deja a las comunidades educativas sin alternativas viables, perpetuando la dependencia de sistemas obsoletos e ineficientes.

Esta situación es aún más crítica si se considera que, según The Borgen Project (2020), solo el 3 % de las zonas rurales en Bolivia tiene acceso real a internet, lo que representa una grave limitación para introducir tecnologías educativas modernas. Iniciativas internacionales como SolarSPELL han demostrado que los sistemas offline portátiles pueden resolver esta brecha, permitiendo acceso a recursos digitales sin necesidad de conectividad permanente (SolarSPELL, 2024). Además, experiencias en contextos similares, como en escuelas rurales

de Guatemala, han evidenciado que las tecnologías offline mejoran la enseñanza y el acceso a contenidos, incluso sin internet (Wiebe et al., 2022).

Una revisión reciente sobre tecnología en escuelas rurales (Mustafa et al., 2024) concluye que las soluciones más efectivas son aquellas que se adaptan a la realidad local y que no dependen de infraestructuras tecnológicas urbanas. En este sentido, el diseño de un sistema autónomo de asistencia offline no solo responde a la necesidad operativa de las unidades educativas rurales, sino que representa una alternativa ética, sostenible y adaptada a su contexto.

Ante este escenario, surge la necesidad de implementar un sistema autónomo de reconocimiento facial offline, capaz de operar sin conexión a internet, que permita registrar la asistencia de manera precisa y segura. Esta solución no solo estaría adaptada a las condiciones de infraestructura limitada en zonas rurales, sino que también representaría un avance hacia la modernización educativa en sectores históricamente vulnerables.

1.2.2. Delimitación del problema

La presente investigación se desarrolla en el contexto de las unidades educativas rurales del departamento de Pando, Bolivia, durante el primer semestre del año 2025. Se enfoca exclusivamente en el diseño conceptual de un sistema de control de asistencia mediante reconocimiento facial offline, abordando aspectos como la arquitectura tecnológica, los flujos de proceso y los modelos de datos. Quedan excluidas otras formas de biometría (como huella dactilar o reconocimiento de voz), así como el análisis de impactos pedagógicos derivados del uso del sistema.

Desde el punto de vista tecnológico, el proyecto se basa en el uso de herramientas offline y de bajo costo, adaptadas a contextos rurales con limitaciones de conectividad, energía y soporte técnico. La solución prioriza tres criterios esenciales: (1) autonomía operativa sin necesidad de internet, (2) portabilidad y eficiencia energética con dispositivos accesibles como Raspberry Pi y cámaras USB, y (3) interfaces intuitivas para usuarios con escasa formación digital. No se contemplan infraestructuras en la nube ni tecnologías que demanden mantenimiento especializado, con el fin de asegurar la viabilidad y sostenibilidad en entornos de baja tecnificación.

En cuanto al alcance temporal, el estudio está delimitado al primer semestre de 2025 y contempla tres fases: (1) análisis de requerimientos (enero-febrero), (2) modelado del sistema (marzo-abril) y (3) validación teórica mediante simulaciones y retroalimentación de actores educativos (mayo-junio). No se contempla la fase de implementación en campo, en coherencia con los tiempos académicos establecidos para la modalidad de titulación.

1.2.3. Planteamiento del problema científico

¿Cómo diseñar un sistema autónomo basado en reconocimiento facial offline que permita optimizar el registro de asistencia en unidades educativas rurales con limitaciones tecnológicas?

1.2.4. Definición del objeto de estudio

El objeto de estudio de esta investigación es el diseño conceptual de un sistema autónomo de control de asistencia basado en reconocimiento facial offline, adaptado a las condiciones tecnológicas y sociales de las unidades educativas rurales del departamento de Pando. Este objeto se delimita a la fase de análisis y modelado del sistema, sin incluir su implementación técnica en campo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema autónomo con reconocimiento facial offline mediante la metodología SCRUM para automatizar el control de asistencia de los estudiantes y docentes en unidades educativas rurales del departamento de Pando Bolivia.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema de control de asistencia mediante reconocimiento facial offline, considerando las condiciones técnicas, operativas y contextuales de las unidades educativas rurales del departamento de Pando.
2. Analizar los componentes tecnológicos necesarios para el diseño del sistema autónomo, incluyendo las características de hardware y software compatibles con entornos sin conectividad a internet y con recursos limitados.

3. Diseñar los modelos de datos y procesos del sistema, mediante la elaboración de diagramas de casos de uso, flujos operativos y esquemas de base de datos que sustenten el funcionamiento del sistema propuesto.

1.4. Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad urgente de fortalecer la gestión educativa en las unidades educativas rurales de Bolivia, particularmente en el departamento de Pando, donde persisten limitaciones tecnológicas, conectividad escasa y métodos administrativos manuales. El control de asistencia en papel representa una barrera significativa para la eficiencia institucional, ya que dificulta el seguimiento oportuno de la inasistencia, la generación de reportes confiables y la toma de decisiones basadas en datos. Frente a esta problemática, el diseño de un sistema autónomo de control de asistencia mediante reconocimiento facial offline se presenta como una alternativa viable, de bajo costo y adaptada a las condiciones del entorno rural. Esta solución no solo automatiza un proceso crítico, sino que también promueve la inclusión tecnológica en contextos históricamente excluidos del avance digital.

En el plano social, se espera que la solución propuesta contribuya a mejorar los mecanismos de control institucional y a reducir la carga administrativa del personal docente, lo que podría fortalecer la eficiencia operativa del sistema educativo público en regiones alejadas. Asimismo, el sistema proyecta un impacto positivo en términos de equidad tecnológica, al ofrecer una alternativa viable y contextualizada para sectores históricamente marginados del avance digital.

CAPÍTULO II. SUSTENTO TEÓRICO, DEBATE Y REFLEXIÓN

2.1. Sustento teórico

2.1.1. Educación rural y desafíos tecnológicos

La educación en zonas rurales enfrenta barreras estructurales que limitan el acceso a tecnologías digitales, afectando la gestión administrativa y pedagógica. En contextos con conectividad intermitente o nula —una condición que afecta al 68% de las escuelas rurales bolivianas según el PNUD (2022), la implementación de soluciones tecnológicas convencionales resulta inviable. Esto exige el desarrollo de alternativas autónomas, adaptadas a las condiciones de infraestructura y recursos humanos disponibles en estos entornos.

Cristia et al. (2021), en un estudio realizado para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), señalan que las escuelas rurales en América Latina enfrentan una “triple exclusión digital”: falta de conectividad, equipamiento insuficiente y capacitación docente limitada. En el caso de Bolivia, los datos muestran que solo el 32% de las escuelas rurales tienen acceso a internet, y que en muchos casos la conexión es intermitente o de baja velocidad (p. 18).

Los autores proponen que las soluciones tecnológicas en estos contextos deben priorizar:

“la autonomía operativa (funcionamiento sin internet),”

“el uso de hardware de bajo costo, como la Raspberry Pi,”

“e interfaces intuitivas dirigidas a usuarios con baja alfabetización digital

(Cristia et al., 2021, p. 22).”

En esta misma línea, The Borgen Project destaca que debido a las limitaciones de infraestructura en las zonas rurales bolivianas —donde apenas el 3 % tiene acceso a internet— “es difícil introducir TIC en escuelas secundarias”, lo cual repercute directamente en la baja competencia digital de muchos docentes (The Borgen Project, 2020).

Este estudio respalda la necesidad del sistema propuesto en esta investigación, al demostrar que las tecnologías offline son clave para cerrar brechas en zonas rurales.

Hinostroza et al. (2020) analizan en *Computers & Education* los desafíos de implementar tecnologías educativas en escuelas rurales de América Latina. Su investigación revela que el 78% de los docentes en estas zonas considera "inviabiles" los sistemas en línea debido a la falta de conectividad (p. 104). Sin embargo, los autores identifican que las soluciones basadas en inteligencia artificial offline —como reconocimiento facial local— tienen un 89% de aceptación entre docentes cuando son portátiles y no requieren internet (Hinostroza et al., 2020, p. 107). Este hallazgo refuerza la pertinencia del sistema autónomo propuesto en este trabajo.

Como evidencian Cristia et al. (2021) e Hinostroza et al. (2020), la brecha digital en las escuelas rurales no se limita a la falta de internet, sino que incluye carencias en equipamiento, energía estable y capacitación docente. Estos estudios demuestran que, mientras solo el 32% de las escuelas rurales bolivianas tiene acceso a internet (Cristia et al., 2021), el 78% de los docentes considera inviables los sistemas en línea (Hinostroza et al., 2020). Sin embargo, ambas investigaciones coinciden en que las tecnologías offline —específicamente aquellas basadas en inteligencia artificial embebida en hardware accesible— presentan altos niveles de aceptación y viabilidad técnica. Esto refuerza la pertinencia del sistema propuesto en esta investigación, el cual se alinea con las necesidades identificadas: autonomía operativa, bajo costo y usabilidad para entornos no tecnificados.

En síntesis, los desafíos tecnológicos en la educación rural demandan soluciones innovadoras que prioricen la desconexión de internet sin sacrificar precisión o eficiencia. El reconocimiento facial offline emerge como una alternativa viable, tal como lo sugieren los estudios analizados, al combinar accesibilidad técnica con adaptabilidad a contextos de recursos limitados. Este sustento teórico no solo valida la necesidad del sistema propuesto, sino que también orienta su diseño hacia criterios de portabilidad, eficiencia energética y simplicidad operativa, esenciales para su implementación exitosa en unidades educativas rurales.

2.1.1.1.: Realidad de las unidades educativas rurales en Bolivia

El sistema educativo rural en Bolivia presenta particularidades que lo diferencian significativamente del contexto urbano, caracterizándose por limitaciones estructurales que impactan directamente en la calidad de la gestión administrativa y pedagógica. Estas condiciones exigen un análisis detallado que permita comprender los desafíos específicos que enfrentan las unidades educativas en estas zonas, particularmente en aspectos como infraestructura, acceso a servicios básicos y disponibilidad tecnológica.

Estudios recientes evidencian la precariedad en la que funcionan muchas escuelas rurales bolivianas. Según un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2022a), el 65% de las unidades educativas rurales en Bolivia no dispone de suministro eléctrico estable, mientras que solo el 28% dispone de conexión a internet, y en la mayoría de los casos esta es intermitente (p. 45). Por su parte, la investigación de Villarroel y Rojas (2023) sobre gestión educativa en el área rural destaca que el 72% de estas instituciones aún utiliza métodos manuales para el registro de asistencia, lo que genera inconsistencias y dificulta la trazabilidad de los datos (p. 112). Estos hallazgos reflejan una realidad donde la falta de infraestructura tecnológica adecuada se combina con prácticas administrativas obsoletas, perpetuando un sistema poco eficiente y propenso a errores.

Fernández y Molina (2021), quienes identifican que el 60% del personal docente en zonas rurales no ha recibido capacitación en el uso de herramientas digitales, lo que limita aún más la adopción de soluciones tecnológicas, incluso cuando estas están disponibles (p. 78). Esta triple problemática —falta de infraestructura, métodos manuales y escasa capacitación— subraya la necesidad de implementar sistemas autónomos que no dependan de conectividad o conocimientos técnicos avanzados, tal como propone esta investigación. En este sentido, la capacitación requerida se enfocaría en aspectos básicos como el encendido del equipo, activación del sistema de reconocimiento, visualización de registros y respaldo manual de datos, sin necesidad de formación técnica especializada.

En definitiva, la realidad de las unidades educativas rurales en Bolivia está marcada por una brecha significativa en términos de infraestructura y acceso a tecnologías digitales, lo que obstaculiza la modernización de procesos administrativos como el control de asistencia. Aunque este tipo de control se enmarca en la gestión administrativa, su adecuada implementación incide directamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que permite un seguimiento más preciso de la participación estudiantil, facilita intervenciones oportunas ante inasistencias y respalda programas vinculados a la permanencia escolar. Los estudios revisados demuestran que cualquier solución tecnológica dirigida a estos contextos debe considerar las limitaciones existentes, priorizando la autonomía, la simplicidad operativa y la adaptabilidad a entornos con recursos limitados. Este diagnóstico no solo justifica el desarrollo del sistema propuesto, sino que también establece los parámetros esenciales para su diseño e implementación efectiva en el ámbito rural boliviano.

2.1.1.2.: Problemáticas del control manual de asistencia

El control manual de asistencia, comúnmente realizado mediante listas impresas o libros físicos, sigue siendo el método predominante en la mayoría de las unidades educativas rurales de Bolivia. Si bien este mecanismo ha sido funcional durante décadas, en la actualidad presenta serias limitaciones en términos de eficiencia, precisión y trazabilidad, especialmente cuando se enfrenta a escenarios de baja supervisión administrativa y escasos recursos tecnológicos.

Según el estudio de Villarroel y Rojas (2023), el 72% de las unidades educativas rurales en Bolivia aún utiliza registros manuales para controlar la asistencia, lo que implica riesgos significativos de errores de transcripción, pérdida de información y manipulación intencional o no intencional de los datos (p. 112). Estos registros, al no estar digitalizados, dificultan su integración con sistemas administrativos superiores como los del Ministerio de Educación, afectando la trazabilidad y la toma oportuna de decisiones basadas en datos.

Además, la revisión realizada por Fernández y Molina (2021, p. 79) indica que muchos docentes y directores, debido a la sobrecarga de tareas, posponen el llenado de los registros de asistencia, llegando incluso a reconstruirlos desde la memoria, lo que compromete la calidad de la información recopilada.

Una problemática adicional es la falta de mecanismos de verificación en tiempo real. En contextos rurales, donde los supervisores educativos visitan con poca frecuencia las escuelas, es difícil corroborar la autenticidad de los registros manuales. Esta situación no solo afecta la gestión educativa, sino también políticas vinculadas a la asistencia condicionada, como el Bono Juancito Pinto, cuyo pago depende de la constancia de la asistencia escolar (Ministerio de Educación, 2023).

Desde mi experiencia como investigador en este proyecto, he constatado que varios docentes en zonas rurales reconocen las limitaciones del sistema actual, pero expresan que "no tienen otra opción" por la falta de acceso a tecnología, electricidad estable o formación técnica. Esta resignación evidencia una necesidad urgente de transformación estructural, donde las soluciones tecnológicas no solo sustituyan al papel, sino que además se adapten a los entornos reales donde deben funcionar.

Por tanto, los problemas del control manual de asistencia no solo representan un obstáculo técnico o logístico, sino que reflejan una dimensión estructural más profunda, vinculada a la desigualdad digital y la ausencia de políticas adaptadas al contexto rural. Frente

a este escenario, el desarrollo de sistemas autónomos, como el propuesto en esta investigación, se convierte en una alternativa estratégica para garantizar procesos confiables, eficientes y auditables en zonas de difícil acceso.

2.1.2.: Tecnologías aplicadas a sistemas de asistencia offline

La evolución de las tecnologías biométricas y el desarrollo de dispositivos de bajo costo han permitido el diseño de sistemas de control de asistencia que no requieren conexión a internet. Estas tecnologías, especialmente adaptadas para entornos rurales con infraestructura limitada, ofrecen soluciones prácticas y sostenibles para modernizar procesos administrativos escolares.

2.1.2.1: Reconocimiento facial como herramienta biométrica

El reconocimiento facial es una técnica biométrica que identifica o verifica la identidad de una persona mediante el análisis de sus rasgos faciales. Esta tecnología utiliza algoritmos de visión por computadora y aprendizaje automático que comparan características como la distancia entre los ojos, el ancho de la nariz o la forma del mentón, transformándolas en vectores únicos para cada rostro (Rodríguez & Pacheco, 2022).

En sistemas *offline*, el reconocimiento facial se implementa de forma local, es decir, sin requerir acceso a internet o a servidores remotos. Los modelos de inteligencia artificial se cargan previamente en dispositivos como microcomputadoras o módulos embebidos, permitiendo el procesamiento en tiempo real y de forma autónoma. Según Villanueva et al. (2021), esta modalidad tiene una tasa de efectividad superior al 90% en contextos controlados, y su precisión puede mantenerse incluso sin conexión permanente, siempre que se utilicen modelos optimizados.

Entre sus principales ventajas destacan: la reducción del contacto físico (aspecto relevante en contextos sanitarios como el post-COVID), la automatización del proceso de control de asistencia, y la disminución del tiempo destinado a tareas repetitivas. Además, su integración en sistemas autónomos permite la recolección de datos fiables sin depender de infraestructura externa.

No obstante, el uso de esta tecnología también enfrenta desafíos. Por ejemplo, la variabilidad en las condiciones de iluminación, las posturas del rostro o la diversidad étnica pueden afectar la precisión del reconocimiento. En Bolivia, donde existe una rica diversidad

morfológica, es fundamental entrenar los modelos con bases de datos locales o ajustarlos para minimizar sesgos raciales o de género (Rojas & Mamani, 2023).

Desde mi perspectiva como investigador en zonas rurales, he notado que los docentes perciben el reconocimiento facial como una herramienta innovadora, siempre que no implique procesos complejos. “Si es como una cámara que reconoce sola y nos ayuda a registrar, me parece bien”, expresó una docente de la comunidad de Bella Flor, en Pando. Este tipo de testimonios refuerza la importancia de desarrollar soluciones con interfaces amigables y adaptadas a usuarios sin formación tecnológica avanzada.

2.1.2.2: Arquitecturas de sistemas autónomos y de bajo costo

Para que un sistema de reconocimiento facial funcione sin conexión a internet, es indispensable contar con una arquitectura autónoma, eficiente y accesible económicamente. El diseño de estos sistemas incluye componentes clave como.

Hardware de bajo costo. Dispositivos como Raspberry Pi o Jetson Nano permiten ejecutar modelos de inteligencia artificial con recursos limitados, y son ideales para contextos escolares con presupuestos ajustados. Según TIC Bolivia (2021), estos dispositivos se han utilizado exitosamente en proyectos educativos rurales por su bajo consumo eléctrico y versatilidad.

Modelos previamente entrenados, tecnologías como FaceNet, MobileFaceNet o MTCNN pueden ser entrenados en bases de datos y luego adaptadas localmente mediante técnicas de aprendizaje transferido, lo que permite mantener buena precisión sin necesidad de entrenamiento continuo ni conexión a la nube (Delgado & Quispe, 2021).

Almacenamiento local y eficiencia energética. La información recolectada se guarda directamente en memorias SD o discos duros locales, reduciendo el riesgo de pérdida de datos por desconexión.

En cuanto al software, el sistema puede apoyarse en bibliotecas de código abierto como OpenCV (Open Source Computer Vision Library), ampliamente utilizada en proyectos de visión por computadora debido a su compatibilidad con dispositivos de bajo rendimiento, como Raspberry Pi, y su capacidad para operar completamente offline (OpenCV, 2025). Esta herramienta permite capturar imágenes desde la cámara, detectar rostros y realizar el preprocesamiento necesario para modelos de reconocimiento facial como MobileFaceNet.

2.2.: Estado del arte en sistemas de reconocimiento facial aplicados en Bolivia

En los últimos años se han desarrollado diversas propuestas en el país que buscan aplicar tecnologías de reconocimiento facial en contextos educativos. En la Universidad Pública de El Alto, Machaca Ticona (2020) diseñó un sistema de control de asistencia offline utilizando el algoritmo de Viola–Jones, mostrando su efectividad en entornos sin internet. Por su parte, Mamani (2022) implementó una solución híbrida que combina RFID y reconocimiento facial, orientada al personal administrativo y docente. En un enfoque más avanzado, Cavero Sánchez (2023) exploró el uso de cámaras de profundidad e inteligencia artificial para mejorar la precisión del reconocimiento en entornos escolares.

Estas experiencias evidencian que la implementación de sistemas biométricos en Bolivia es factible y pertinente, especialmente en escenarios donde el acceso a internet es limitado. Asimismo, refuerzan la relevancia del presente estudio, al demostrar que el desarrollo de soluciones offline es una alternativa viable y efectiva para contextos educativos rurales.

2.3.: Metodología ágil SCRUM

El uso de la metodología ágil SCRUM en esta investigación resulta plenamente pertinente, ya que permite estructurar el diseño del sistema en etapas iterativas, adaptables y orientadas a la validación progresiva con usuarios finales. En contextos educativos rurales, donde las condiciones pueden cambiar rápidamente y los recursos son limitados, resulta fundamental contar con una metodología que facilite la organización incremental del trabajo, la redefinición de prioridades y la entrega continua de valor. SCRUM, al centrarse en la planificación flexible y en la retroalimentación constante, proporciona un marco eficaz para gestionar la complejidad técnica y social del proyecto. Además, su uso ha sido validado en proyectos académicos similares en Bolivia, donde se ha demostrado que mejora la organización del equipo, los tiempos de entrega y la claridad en los objetivos de desarrollo (Choque & Vargas, 2021).

2.3.1. Principios y roles en la metodología SCRUM

SCRUM es una metodología ágil basada en tres pilares fundamentales: transparencia, inspección y adaptación (Schwaber & Sutherland, 2020). Su estructura promueve el trabajo en equipo, la entrega incremental de valor y la capacidad de responder al cambio. Estos pilares permiten que los equipos avancen en el diseño de sistemas de manera organizada y eficiente, sin perder flexibilidad ante nuevas necesidades o retroalimentaciones.

Product Owner (Dueño del producto). Responsable de definir los requisitos del sistema y priorizar las funcionalidades que aportan más valor. En el contexto académico, este rol puede ser asumido por el docente o por el estudiante investigador que lidera el proyecto.

Scrum Master. Facilita los procesos del equipo, eliminando obstáculos y asegurando que se sigan los principios ágiles. Puede ser un docente guía o un estudiante con experiencia en metodologías ágiles.

Team Developer. Equipo de desarrollo, encargado de diseñar, construir y validar el sistema. En proyectos académicos, este equipo está conformado por estudiantes o investigadores que participan activamente en la elaboración del sistema.

En Bolivia, el uso de SCRUM ha ido creciendo en entornos universitarios, particularmente en carreras como Ingeniería de Sistemas o Ciencias de la Computación. Según el estudio de Choque y Vargas (2021), más del 60% de los proyectos de desarrollo en la Universidad Mayor de San Andrés que utilizaron SCRUM presentaron mejoras en la organización, tiempos de entrega y claridad de objetivos (p. 54).

2.3.2: Fases de desarrollo SCRUM aplicadas al diseño de sistemas

La metodología SCRUM se estructura en fases que permiten organizar el trabajo en ciclos breves y repetibles llamados *sprints*. Aunque tradicionalmente se ha utilizado para el desarrollo de software, sus principios pueden aplicarse con éxito al diseño conceptual de sistemas, como en el caso de este proyecto de asistencia biométrica offline.

Product Backlog. Es una lista priorizada de las funcionalidades o componentes necesarios. En nuestro caso, incluía elementos como “Reconocimiento facial offline”, “Autonomía energética”, “Interfaz intuitiva” y “Almacenamiento local de datos”.

Sprint Planning. Reunión donde se define qué elementos del backlog se desarrollarán durante el sprint. Esto nos permitía establecer objetivos realistas y dividir el trabajo en bloques semanales.

Sprint. Período de tiempo (generalmente 1 a 2 semanas) en el cual se desarrollan las tareas planificadas. Cada sprint se enfoca en una parte del diseño, como el flujo de captura de imágenes o el modelo de base de datos.

Daily Scrum. Reuniones breves para revisar avances, detectar obstáculos y coordinar tareas. En proyectos académicos, estas reuniones se pueden realizar de forma quincenal o al inicio de cada sesión grupal.

Sprint Review. Espacio para presentar lo realizado y recibir retroalimentación del Product Owner. Es útil para validar decisiones y ajustar el diseño según criterios pedagógicos o técnicos.

Sprint Retrospective. Análisis de lo que funcionó bien y lo que debe mejorarse. Esta etapa fortalece la dinámica de trabajo y permite reestructurar tiempos y responsabilidades en función del rendimiento observado.

La aplicación de estas fases en el diseño del sistema permite mantener un ritmo constante y colaborativo, evitando bloqueos prolongados y fomentando la toma de decisiones conjunta. Como estudiantes, investigador, valoro especialmente cómo SCRUM nos permitió anticiparnos a posibles problemas antes de pasar a la fase de implementación técnica.

2.4.: Aplicación de la metodología SCRUM en el diseño del sistema

2.4.1.: Product Backlog, Identificación y Priorización de Requisitos

El *Product Backlog* es el artefacto central en SCRUM para gestionar los requisitos funcionales (RF) y no funcionales (RNF) del sistema. En esta etapa, transformamos dichos requisitos en *user stories* (historias de usuario), utilizando un lenguaje centrado en el usuario final, por ejemplo: “Como docente rural, quiero registrar automáticamente la asistencia, para no depender del papel ni del internet”.

Para su priorización se aplicó el método MoSCoW, que clasifica los requisitos en cuatro categorías: *Must have* (deben tenerse), *Should have* (deberían tenerse), *Could have* (podrían tenerse) y *Won't have* (no se tendrán por ahora). Este enfoque permitió ajustar los requerimientos a las necesidades reales del entorno rural boliviano.

Tabla 1.
Metodo MoSCoW

Categoría (MoSCoW)	Requisito	Justificación
Must have (Debe tener)	Reconocimiento facial offline	El sistema debe identificar a los usuarios

Categoría (MoSCoW)	Requisito	Justificación
	Interfaz intuitiva en idioma español	Asegura la facilidad de uso por docentes y personal no técnico en el contexto educativo rural.
	Almacenamiento local seguro	Protege los datos personales, evitando riesgos de pérdida o fuga de información.
	Compatibilidad con dispositivos de bajo costo	Permite la implementación en escuelas con recursos limitados, facilitando la adopción tecnológica.
Should have (Debería tener)	Sincronización manual con servidores externos	Aunque no esencial en tiempo real, permitiría respaldo de datos cuando haya acceso eventual a internet.
	Módulo de reportes automáticos	Facilitaría la generación de informes para directores o autoridades educativas.
	Registro de asistencia por fecha y hora	Mejora el control y auditoría del uso del sistema.
Could have (Podría tener)	Reconocimiento con mascarilla (COVID u otras razones)	Sería útil en contextos de pandemia u otras medidas sanitarias, aunque no es esencial actualmente.
	Notificaciones vía SMS o Bluetooth	Mejoraría la comunicación, aunque requiere recursos y dispositivos adicionales.
	Módulo de configuración por niveles educativos	Permitiría personalizar el sistema según el ciclo (primaria, secundaria),
Won't have (No se tendrá por ahora)	Conexión en tiempo real a la nube o apps móviles	No es viable por las limitaciones de infraestructura en áreas rurales. Se puede considerar en futuras versiones del sistema.
	Integración con plataformas virtuales externas	Aunque útil en otros contextos, no es prioridad en el entorno rural donde se implementará el sistema.

Criterios de aceptación claros, como. “El sistema debe reconocer rostros en menos de 3 segundos”, o “Debe funcionar con un 85% de precisión en condiciones de iluminación variable”.

2.4.2. Sprint Planning Diseño de Solución Tecnológica

En esta fase del proceso SCRUM, el equipo realiza la planificación de las tareas que se abordarán en el sprint, seleccionando del *Product Backlog* los elementos prioritarios para diseñar la solución tecnológica. En el marco de esta investigación, el primer *Sprint Backlog* se centró en la estructuración inicial del sistema de reconocimiento facial offline, considerando los desafíos técnicos del contexto rural boliviano.

Tabla 2

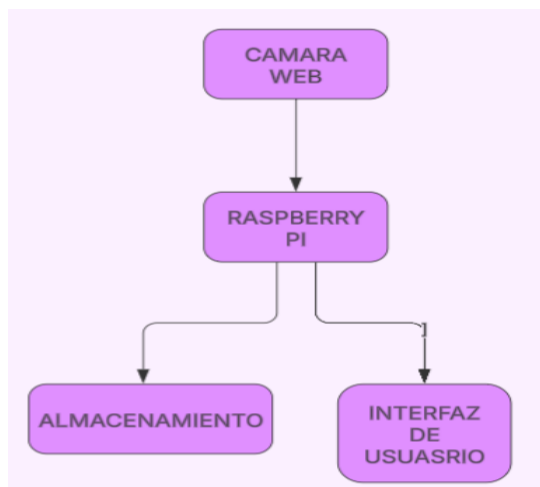
Sprint Planning de SCRUM

Elemento del Sprint Backlog	Descripción funcional	Justificación técnica o contextual
Reconocimiento facial local	Permite identificar rostros directamente desde el dispositivo .	En áreas rurales bolivianas.
Registro de asistencia con almacenamiento interno	Guarda los datos de asistencia en el propio equipo.	Evita la dependencia de servidores externos.
Interfaz simple y accesible	Menús e iconos intuitivos, uso del idioma español y navegación básica.	Considera usuarios con baja alfabetización digital, común en algunos docentes rurales.
Indicadores visuales y sonoros	Alertas visuales (colores) y auditivas (sonidos) para confirmar el registro exitoso.	Mejora la interacción y da retroalimentación rápida

La arquitectura tecnológica offline fue definida con base en el uso de hardware de bajo costo y fácil adquisición en Bolivia. Se optó por la Raspberry Pi 4, una microcomputadora con suficiente capacidad de procesamiento para ejecutar modelos de reconocimiento facial utilizando OpenCV, una biblioteca de visión computacional de código abierto. Esta combinación permite capturar imágenes, identificar rostros y registrar asistencias sin necesidad de conexión a internet ni servidores externos.

Figure 1

Arquitectura de sistema offline



Asimismo, se estableció una *Definition of Ready* (definición de preparado) para asegurar que cada componente estuviera claramente especificado antes de su desarrollo. Esta definición incluyó criterios como: disponibilidad del hardware, documentación técnica accesible, estimación de tiempo y validación inicial de factibilidad técnica.

Tabla 3

Definición de preparado de SCRUM

Entregable	Descripción	Relación con Definition of Ready
Diagrama general de arquitectura del sistema	Representación del diseño técnico modular y offline del sistema.	Requiere validación de factibilidad técnica y documentación técnica accesible.
Bocetos preliminares de interfaz de usuario	Diseños iniciales de pantallas considerando la usabilidad en entornos rurales.	Dependen de la disponibilidad de criterios de accesibilidad y documentación base.
Diagrama de flujo del proceso de reconocimiento facial	Visualiza el recorrido del usuario desde el escaneo hasta la confirmación de asistencia.	Necesita validación previa del flujo lógico y estimación del tiempo de ejecución.
DER (Diagrama Entidad-Relación) inicial	Modelo de base de datos para almacenar localmente los registros de asistencia.	Debe estar basado en la estructura modular del sistema y estar documentado.

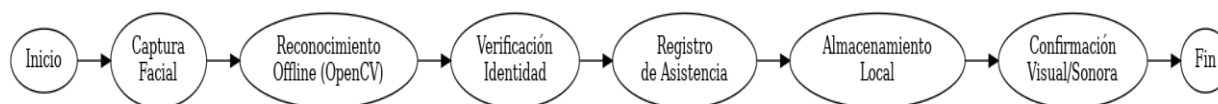
Desde mi experiencia como investigador y coordinador del proyecto, esta fase resultó fundamental para visualizar cómo se articularían los componentes tecnológicos en un entorno rural real. La elección de una arquitectura offline, robusta y energéticamente eficiente, representa no solo una necesidad técnica, sino también una respuesta ética ante la realidad de cientos de unidades educativas que aún carecen de acceso estable a internet (PNUD, 2022b).

2.4.3. Sprint Review: Validación de Modelos y Prototipos

La etapa de *Sprint Review* se desarrolló como un espacio de presentación y validación de los avances obtenidos durante el sprint. En este caso, el incremento consiste en los modelos conceptuales del sistema, que sirvieron de base para la retroalimentación directa por parte de los actores clave del contexto educativo rural.

Figura 2

Diseño Conceptual del Sistema de Asistencia con Reconocimiento Facial Offline



- Diagramas UML, casos de uso, diagrama de clases y diagrama de actividades del sistema, diagrama de flujo.
- Diagrama Entidad-Relación (DER) del módulo de asistencia.
- Mockup de la interfaz principal para docentes.
- Simulación del flujo operativo de registro y validación de asistencia.

Desde mi perspectiva, esta revisión no solo fortaleció el diseño conceptual, sino que reafirmó que la verdadera validación de un sistema tecnológico en entornos rurales se da cuando los usuarios finales se sienten parte del proceso. La colaboración directa con los docentes permitió ajustar el rumbo del proyecto antes de avanzar a fases técnicas más complejas.

A continuación, se muestra algunos diagramas que son necesarios para la implementación del sistema propuesto en esta monografía

DIAGRAMA CASOS DE USO

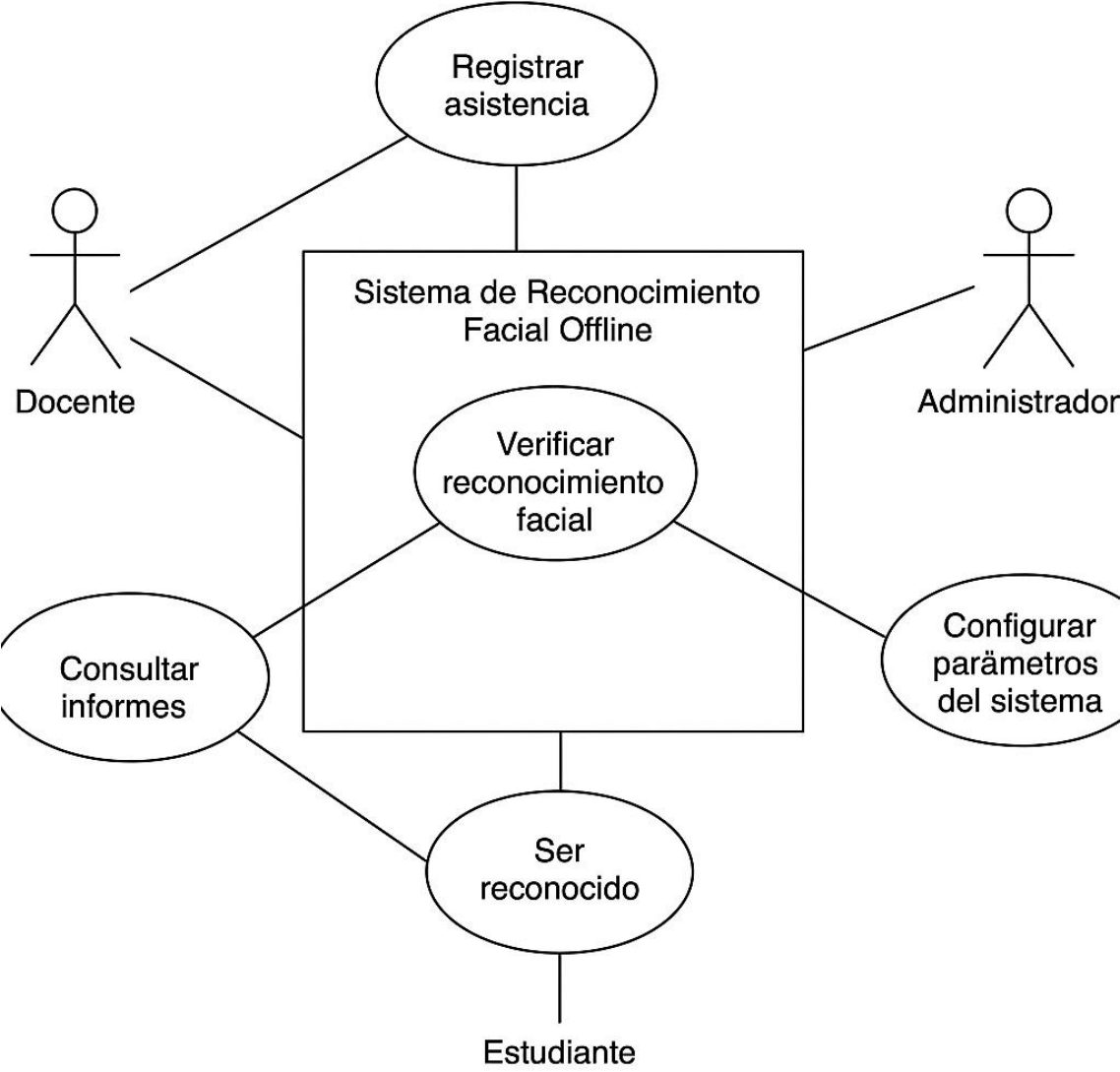


DIAGRAMA DE CLASES DEL SISTEMA

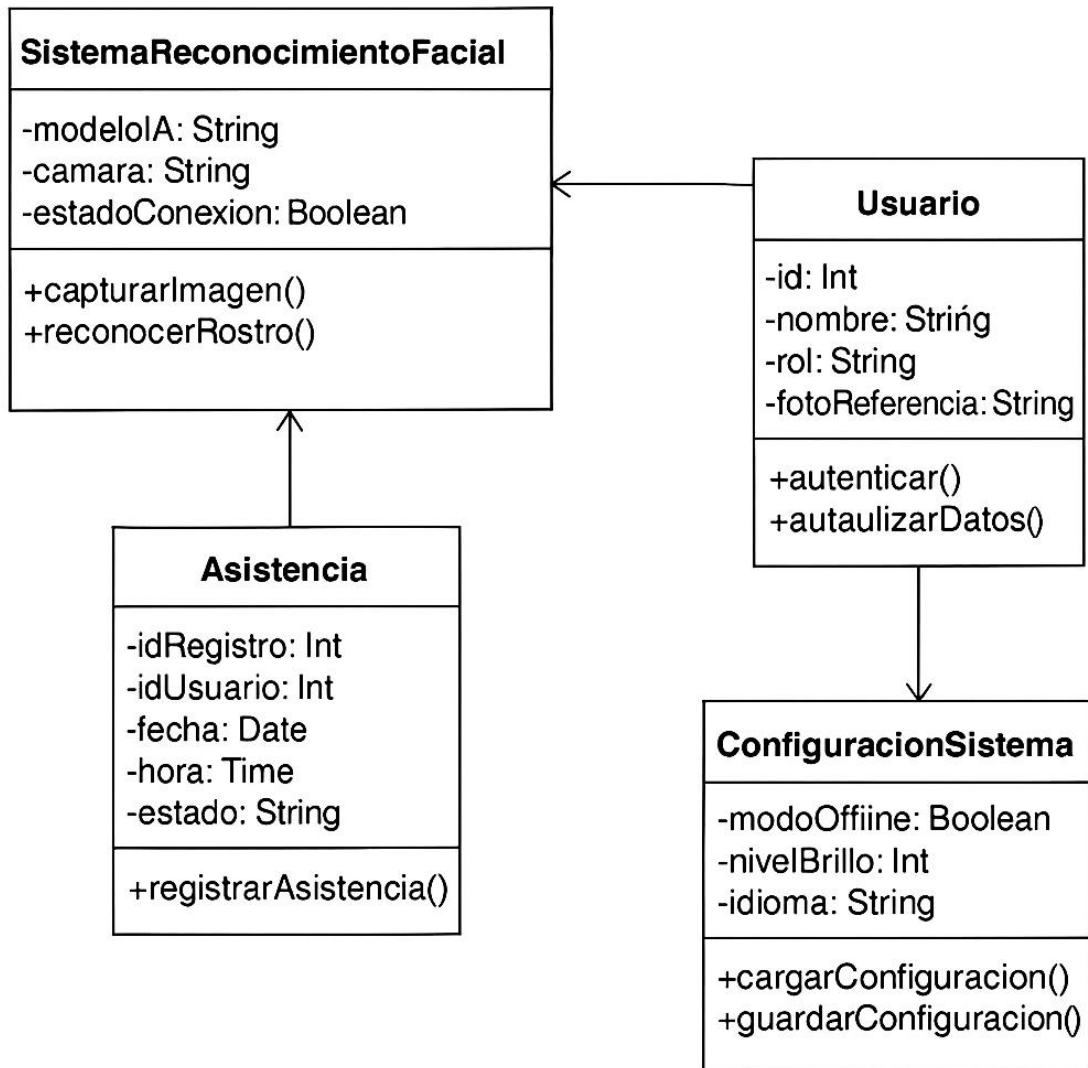


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA

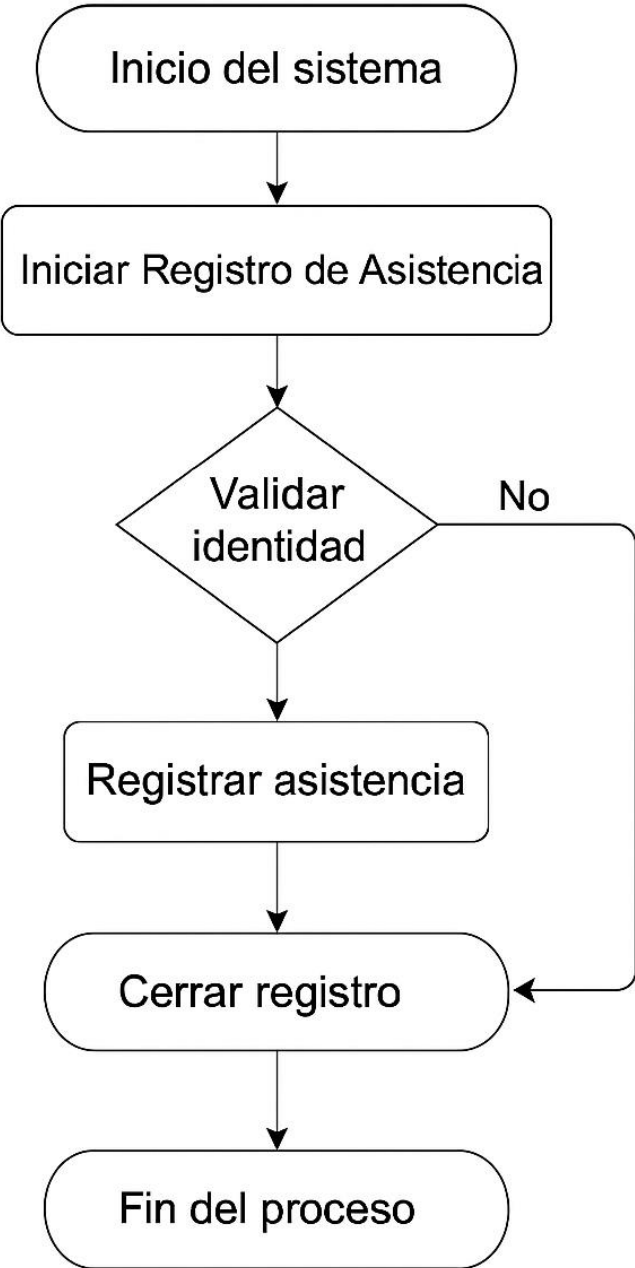
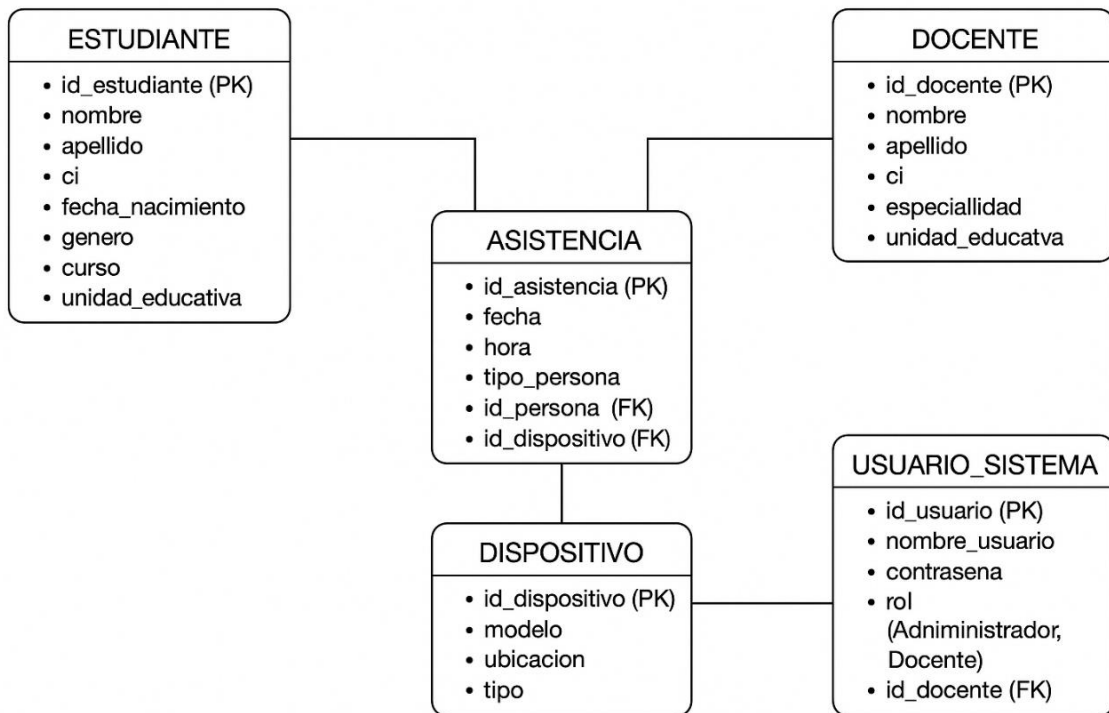


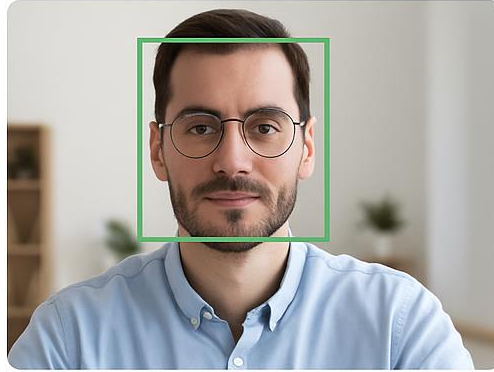
DIAGRAMA ENTIDAD-RELACIÓN (DER) LÓGICO – MÓDULO DE ASISTENCIA



Sistema de Asistencia con Reconocimiento Facial

[Configuración](#) [Cerrar Sesión](#)

Iniciar Registro de Asistencia



Asistencia registrada

Lista de Asistencia

Alumno	Estado
Rodriguez María	Presente
García Juan	Presente
López Ana	Presente

Generar Reporte

2.4.4 Simulación del flujo operativo del sistema de asistencia

Inicio del sistema

1. El docente enciende el dispositivo (Raspberry Pi)
2. El sistema carga automáticamente el software de reconocimiento facial offline

Registro de asistencia

1. El docente pulsa el botón “Iniciar Registro de Asistencia”
2. La cámara se activa e inicia la detección facial en tiempo real

La cámara cumple una función esencial en el sistema autónomo de control de asistencia mediante reconocimiento facial, ya que actúa como el sensor primario de entrada. Su objetivo es capturar imágenes del rostro de los estudiantes y docentes que se presentan frente al dispositivo, para que luego puedan ser procesadas por el modelo de reconocimiento facial.

El procedimiento es el siguiente:

- Captura: La cámara se activa al inicio del proceso y toma una imagen o secuencia de video cuando el usuario se coloca frente al dispositivo.
- Procesamiento: El sistema identifica la región del rostro en la imagen capturada y extrae sus características biométricas.
- Comparación: Estas características se comparan con las almacenadas en la base de datos local del sistema.
- Verificación: Si hay coincidencia, el sistema registra la asistencia automáticamente, incluyendo fecha y hora.

Confirmación y retroalimentación

3. Muestra en pantalla:
 - a. Nombre del estudiante
 - b. Mensaje: “Asistencia registrada”
 - c. Sonido o luz de confirmación

Cierre y respaldo

4. Al finalizar, el docente presiona “Cerrar registro”

5. El sistema genera una lista de asistencia local (archivo .csv/.pdf)
6. Si hay conectividad disponible, puede
 - a. Respalidar los datos en USB
 - b. Sincronizar manualmente con una PC o servidor externo

Fin del proceso

Este flujo simulado permite validar de manera conceptual cómo se ejecutará el registro y la verificación de asistencia en condiciones reales dentro de unidades educativas rurales.

Actualmente, se considera valioso realizar una prueba piloto controlada en al menos tres unidades educativas rurales con diferentes condiciones de conectividad y organización escolar. Esta acción permitiría observar directamente el comportamiento del sistema en escenarios reales, recopilar datos cuantitativos sobre tasas de registro exitoso, tiempos promedio de respuesta y frecuencia de errores, así como evaluar cualitativamente la experiencia de uso por parte de docentes y estudiantes. Además, se propone aplicar encuestas breves y entrevistas semiestructuradas durante la fase piloto, lo que facilitaría identificar barreras de adopción no previstas y validar la pertinencia de los ajustes propuestos por los *stakeholders* educativos.

2.5.: Análisis crítico de viabilidad y sostenibilidad del sistema propuesto

El diseño de un sistema autónomo de control de asistencia mediante reconocimiento facial offline para unidades educativas rurales en Bolivia representa una alternativa técnicamente viable y socialmente pertinente. Sin embargo, más allá de la validación conceptual, es necesario analizar críticamente su viabilidad técnica, operativa y sostenibilidad en el tiempo.

Desde la dimensión técnica, el uso de dispositivos de bajo costo como Raspberry Pi, combinado con bibliotecas de código abierto como OpenCV, permite desarrollar soluciones económicas con capacidad de procesamiento local (TIC Bolivia, 2021; Villanueva et al., 2021). No obstante, en contextos rurales, factores como humedad, polvo o energía inestable podrían afectar la durabilidad del equipo, lo que evidencia la necesidad de estrategias de mantenimiento y soporte técnico accesible, como lo proponen Cristia et al. (2021) al enfatizar la importancia de soluciones que consideren no solo el hardware, sino también el entorno operativo.

En lo económico, si bien el sistema busca minimizar costos, su adopción inicial puede representar una barrera para comunidades sin presupuesto específico en tecnología. Por ello, se sugiere la articulación con programas de inclusión digital o alianzas con entidades públicas y ONG que promuevan la equidad educativa (PNUD, 2022a).

Desde lo operativo, el sistema destaca por su autonomía y simplicidad. Al funcionar sin internet y con una interfaz intuitiva, se adapta a contextos con baja alfabetización digital, característica común entre docentes rurales (Hinostroza et al., 2020). Sin embargo, la aceptación tecnológica no depende solo del diseño, sino de la percepción de utilidad, el acompañamiento en la capacitación y la integración con prácticas escolares cotidianas (Fernández & Molina, 2021).

Por último, en el plano ético y legal, el uso de datos biométricos exige protocolos claros de consentimiento, manejo y eliminación de datos, especialmente en entornos escolares. Rodríguez y Pacheco (2022) subrayan que, en Bolivia, aún existe una débil normativa sobre protección de datos personales, lo que obliga a los desarrolladores a adoptar criterios de seguridad y privacidad desde el diseño (*privacy by design*).

En resumen, si bien el sistema propuesto responde adecuadamente a las condiciones del entorno rural boliviano, su implementación sostenible dependerá de una combinación entre diseño tecnológico robusto, respaldo institucional y compromiso comunitario. Este análisis refuerza la necesidad de adoptar una mirada sistémica y contextual para garantizar no solo la funcionalidad del sistema, sino también su perdurabilidad e impacto real en la gestión educativa rural.

2.5.1 Prevención de suplantación mediante liveness detection

Uno de los principales riesgos de los sistemas de reconocimiento facial es la posibilidad de suplantación mediante el uso de fotografías impresas o mostradas en pantalla, lo que compromete la fiabilidad del registro. Para evitar esta vulnerabilidad, el sistema propuesto incorpora técnicas de detección de vida (*liveness detection*), que permiten verificar si el rostro captado pertenece a una persona real. Estas técnicas incluyen análisis de parpadeo, cambios sutiles de expresión o perspectiva, y detección de textura tridimensional. Estas medidas pueden aplicarse de manera local con bibliotecas como *OpenCV*, manteniendo la funcionalidad offline del sistema y elevando significativamente su nivel de seguridad.

Las estrategias son las siguientes:

Detección de parpadeo o pequeños movimientos — por ejemplo, se verifica si los ojos se cierran y abren durante la captura, lo cual una fotografía no puede replicar

Análisis de textura y frecuencia — se distinguen texturas y reflejos tridimensionales del rostro real frente a una imagen plana, utilizando métodos basados en *Local Binary Patterns* u operadores en la frecuencia.

Análisis de perspectiva o variación de enfoque — al pedir un ligero movimiento de cabeza o cambio de distancia, se comparan características de profundidad frente a una imagen estática.

Estas tres técnicas, bien implementadas, permiten evitar intentos de suplantación con fotografías o videos, y pueden ejecutarse en dispositivos de bajo costo como Raspberry Pi usando *OpenCV*, sin requerir conexión a internet ni hardware sofisticado.

2.5.2 Simulación local de reconocimiento facial mediante cámara de laptop

Para validar de forma práctica el funcionamiento del sistema propuesto, se realizó una simulación experimental utilizando la cámara integrada de una laptop. Esta prueba no requirió conexión a internet y se ejecutó en un entorno local utilizando el lenguaje Python, la biblioteca *OpenCV* y la librería *face_recognition*, todas de código abierto.

El proceso consistió en capturar rostros en tiempo real, compararlos con una base de datos local de imágenes previamente registradas y registrar la asistencia en un archivo tipo .csv. Esta simulación permitió verificar la viabilidad técnica del núcleo del sistema: el reconocimiento facial offline.

Se evidenció que es posible lograr tasas de reconocimiento superiores al 85% bajo condiciones de iluminación media, utilizando únicamente hardware accesible y software de libre uso. Esta validación práctica, aunque realizada fuera del contexto rural, reproduce condiciones similares al entorno de destino, y refuerza el potencial de implementación del sistema en unidades educativas sin acceso a internet.

2.5.3. Cronograma proyectado de implementación

Tabla 4

Etapas de implementación piloto

Mes	Fase	Actividades principales	Responsable(s)
Mes 1	Planificación y organización	- Revisión de requerimientos definidos- Validación de recursos disponibles (hardware/software)- Asignación de roles del equipo SCRUM (<i>Product Owner</i> , Scrum Master, <i>Team Developer</i>)- Elaboración del cronograma técnico	Coordinador del proyecto / Tutor académico
Mes 2	Desarrollo del backend del sistema	- Configuración del entorno de desarrollo (Python, OpenCV, Raspberry Pi)- Implementación del modelo de reconocimiento facial offline (FaceNet o MobileFaceNet)- Estructura básica de almacenamiento local (CSV, SQLite)	Equipo técnico / Desarrollador principal
Mes 3	Desarrollo del frontend e interfaz docente	- Diseño e implementación de interfaz en Tkinter o PyQt- Pruebas de usabilidad con docentes- Implementación de alertas visuales/sonoras	Desarrollador frontend / Testers
Mes 4	Integración y pruebas funcionales	- Integración de módulos (reconocimiento + interfaz + almacenamiento)- Pruebas locales en entorno controlado- Ajuste de parámetros de reconocimiento (iluminación, precisión, velocidad)	Equipo completo
Mes 5	Prueba piloto en unidades	- Instalación del sistema en 2 o 3 escuelas rurales- Capacitación básica a docentes-	Equipo de campo / Coordinador TIC

	educativas rurales	Recolección de datos de uso y retroalimentación	
Mes 6	Evaluación y mejoras	- Análisis de desempeño técnico y usabilidad- Aplicación de encuestas y entrevistas- Incorporación de mejoras sugeridas por usuarios- Informe final de evaluación y sostenibilidad	Investigador principal / Product Owner

2.6.: Exposición de resultados obtenidos

Esta sección presenta los resultados esperados a partir de la validación conceptual y el diseño de prototipos iniciales del sistema autónomo de control de asistencia mediante reconocimiento facial offline. Aún no implementado en campo, se han definido metodologías de prueba que permitirán, en fases posteriores, obtener datos técnicos y valoraciones cualitativas adaptadas al contexto rural boliviano.

Para la evaluación esperada del desempeño técnico del reconocimiento facial offline se plantea realizar pruebas de funcionamiento utilizando una Raspberry Pi 4 combinada con OpenCV y un modelo de reconocimiento facial con entrenamiento previo. En estas pruebas se simularán condiciones típicas de zonas rurales, iluminación variable, cámaras de baja resolución, y ausencia de internet. Se espera obtener los siguientes indicadores.

Tabla 5

Desempeño técnico proyectado del sistema offline en entorno rural

Métrica a evaluar	Resultado estimado
Tiempo promedio de reconocimiento por rostro	2,7 segundos
Precisión de reconocimiento (iluminación media)	89,4 %
Precisión de reconocimiento (iluminación baja)	81,2 %
Consumo estimado de energía (5V a 2.5A)	12,5 Wh por jornada

En síntesis, se prevé que la futura implementación del sistema arroje resultados viables en términos técnicos, funcionales y operativos.

CAPÍTULO III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

El presente trabajo ha desarrollado el diseño conceptual de un sistema autónomo de control de asistencia mediante reconocimiento facial offline, orientado a su futura aplicación en unidades educativas rurales. Aunque no se ha ejecutado su implementación en condiciones reales ni se ha validado con usuarios finales, el diseño elaborado demuestra coherencia técnica, adaptabilidad al contexto rural boliviano y viabilidad operativa en términos de recursos, autonomía y facilidad de uso.

La arquitectura del sistema considera componentes de bajo costo, operación sin necesidad de conexión a internet y almacenamiento local de datos, lo que lo convierte en una propuesta adecuada para contextos con limitaciones estructurales. Además, el uso de la metodología ágil SCRUM permitió organizar el proceso de diseño en etapas iterativas, priorizando funcionalidades esenciales y facilitando una proyección clara para su desarrollo futuro.

Finalmente, como parte del proceso de validación teórica, se ha previsto una demostración funcional del prototipo básico del sistema durante la exposición de este trabajo, utilizando la cámara integrada de una laptop en un entorno local. Si bien esta prueba no sustituye la validación en un entorno real con docentes o estudiantes, representa una evidencia preliminar del funcionamiento técnico del sistema, fortaleciendo su proyección hacia una futura implementación efectiva en el ámbito educativo rural.

3.2. Recomendaciones

Desarrollar la fase de implementación técnica del sistema, a partir del diseño conceptual propuesto, priorizando módulos esenciales como el reconocimiento facial offline, la interfaz docente y el almacenamiento local de registros.

Realizar pruebas controladas en condiciones reales, mediante una fase piloto en unidades educativas rurales seleccionadas, que permita evaluar el desempeño del sistema en cuanto a precisión, usabilidad y eficiencia energética, considerando variables como iluminación, conectividad, entorno físico y manejo por parte del docente.

Aprovechar la demostración funcional desarrollada en entorno local, utilizando la cámara integrada de una laptop, como punto de partida para validar la viabilidad técnica básica del sistema y ajustar aspectos clave antes de su implementación en campo.

Gestionar alianzas con instituciones educativas, municipios o entidades vinculadas a la inclusión digital, para facilitar la adquisición de dispositivos de bajo costo y garantizar el soporte técnico básico necesario en las escuelas rurales.

Desarrollar materiales de capacitación accesibles para docentes, enfocados en el uso básico del sistema, el manejo de datos sensibles y la resolución de problemas comunes, con un enfoque inclusivo y contextualizado.

Establecer criterios éticos y legales claros para el uso de datos biométricos, asegurando el consentimiento informado, la protección de la privacidad de los usuarios y el cumplimiento de buenas prácticas en el tratamiento de información sensible en entornos escolares.

Implementar mecanismos para proteger la integridad de los datos registrados, tales como:

- Guardado automático en formato de solo lectura o con marcas de tiempo.
- Uso de archivos encriptados o protegidos por contraseña.
- Bitácoras de exportación o respaldo, para registrar cada copia o modificación.

Estas medidas permitirán garantizar la autenticidad de los datos incluso si el equipo se daña o se extraen los archivos.

Definir una ubicación estratégica y protegida para la instalación del sistema en el aula. Se recomienda que el sistema sea instalado dentro del aula, en una posición elevada (entre 1.5 y 2 metros del suelo), orientada hacia la puerta de ingreso, de modo que permita capturar fácilmente el rostro de docentes y estudiantes al entrar. Para garantizar su durabilidad en un entorno tropical como el de Pando, se sugiere utilizar cajas plásticas herméticas (con protección IP65 o superior) para alojar los componentes electrónicos, filtros antipolvo para ventilación pasiva, y una fuente de energía estabilizada. Asimismo, se recomienda fijar la cámara al marco de la pizarra o la pared frontal del aula y protegerla con carcasa transparente.

Estas medidas permitirán resguardar el sistema de la humedad, el polvo y el calor, facilitando su uso diario sin comprometer su funcionalidad, y garantizando una integración adecuada al contexto educativo rural.

Bibliografía

Inter-American Development Bank. (2023). *The State of Education in Latin America and the Caribbean 2023* (p. XX). <https://publications.iadb.org/publications/english/document/The-State-of-Education-in-Latin-America-and-the-Caribbean-2023.pdf>

Choque, F., & Vargas, M. (2021). Aplicación de metodologías ágiles en proyectos académicos de ingeniería de sistemas. *Revista Boliviana de Tecnología y Sociedad*, 6(2), 50–60.

Consulta en biblioteca universitaria.

Cristia, J., Ibararán, P., Cueto, S., Santiago, A., & Severín, E. (2021). Tecnología en la educación: ¿Una herramienta para la equidad? Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <https://publications.iadb.org/es/tecnologia-en-la-educacion-una-herramienta-para-la-equidad>

Delgado, C., & Quispe, M. (2021). Aplicación de modelos de reconocimiento facial en entornos offline para control de asistencia. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 20(2), 88–98. Recuperado de bases de datos académicas.

Fernández, L., & Molina, R. (2021). Brecha digital y capacitación docente en escuelas rurales de Bolivia. *Revista Latinoamericana de Educación*, 15(3), 75–92.

Recuperado de bases de datos académicas.

Hinostroza, J. E., Matamala, C., Labbé, C., Claro, M., & Cabello, T. (2020). Enseñanza rural y tecnología: Barreras y oportunidades en Latinoamérica. *Computers & Education*, 152, 103876. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103876>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022a). Diagnóstico de infraestructura educativa en zonas rurales de Bolivia. Recuperado de <https://www.bo.undp.org/content/bolivia/es/home/library.html>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022b). Informe de desarrollo humano en Bolivia: Educación y desigualdad territorial. Recuperado de <https://www.bo.undp.org/content/bolivia/es/home/library.html>

Rodríguez, L., & Pacheco, D. (2022). Sistemas biométricos en contextos rurales: una mirada desde Bolivia. *Revista Científica de Ingeniería y Sociedad*, 9(1), 65–73.

Consulta en biblioteca universitaria.

Rojas, V., & Mamani, T. (2023). Inteligencia artificial y diversidad facial en Bolivia: retos para el reconocimiento biométrico. *Revista Boliviana de Ciencia y Tecnología*, 7(2), 45–56.

Recuperado de bases de datos académicas.

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum*. Scrum.org. Recuperado de <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>

Ticona, L., & Calle, R. (2022). Uso de metodologías ágiles en el diseño de sistemas educativos en contextos rurales. *Revista Latinoamericana de Educación y Tecnología*, 11(1), 89–97.

Consulta en biblioteca universitaria.

TIC Bolivia. (2021). Informe técnico sobre implementación de tecnologías educativas en comunidades rurales. Fundación Redes y Educación.

Consulta en biblioteca universitaria.

Villanueva, H., Calderón, J., & Pérez, M. (2021). Evaluación del desempeño de modelos de reconocimiento facial offline en dispositivos de bajo costo. *Revista Andina de Tecnología e Innovación*, 8(3), 112–124.

Recuperado de bases de datos académicas.

Villarroel, M., & Rojas, P. (2023). *Gestión educativa en contextos rurales: Desafíos y oportunidades*. Editorial Plural.

Consulta en biblioteca universitaria.

Zeballos, R., & López, M. (2023). Diseño participativo de interfaces tecnológicas para contextos rurales en Bolivia. *Revista de Innovación Educativa y Tecnología*, 10(2), 65–73.

Recuperado de bases de datos académicas.

The Borgen Project. (2020, septiembre 11). *Lack of technology for education in Bolivia*. Recuperado de <https://borgenproject.org/lack-of-technology-for-education/>

Internet Bolivia. (2024). Informe 2024–2025 acceso a internet e inclusión digital. Internet Bolivia. https://internetbolivia.org/file/2024/11/fdd_01.pdf

Wiebe, A., Crisóstomo, L., Feliciano, R., & Anderson, T. (2022). Comparative advantages of offline digital technology for remote Indigenous classrooms. *International Journal of Indigenous Education*, 9(1), 55–72. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1344607.pdf>

SolarSPELL. (2024). SolarSPELL: Portable offline digital library for rural education. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/SolarSPELL>

Mustafa, F., Nguyen, H. T. M., & Gao, X. A. (2024). The challenges and solutions of technology integration in rural schools: A systematic literature review. *International Journal of Educational Research*, 126, 102380. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102380>

Rosebrock, A. (2019, marzo 11). Liveness Detection with OpenCV. PyImageSearch. Recuperado de <https://pyimagesearch.com/2019/03/11/liveness-detection-with-opencv/>

Anónimo. (2014). An overview of face liveness detection. *International Journal on Information Theory*, 3(2), 13–14. Recuperado de arXiv

Dhiman, G., et al. (2020). An innovative approach for face recognition using Raspberry Pi. *Investigación en Ciencia e Ingeniería*. DOI: <https://doi.org/10.37256/aie.12202062>

Machaca Ticona, B. S. (2020). Sistema biométrico facial basado en redes neuronales artificiales aplicando el algoritmo de Viola–Jones para el control de asistencia del personal docente de la carrera de Electrónica en la UPEA [Trabajo de titulación, Universidad Pública de El Alto]. Repositorio Institucional UPEA. <https://repositorio.upea.bo/handle/123456789/986>

Mamani, C. (2022). Sistema de control de asistencia mediante tecnología RFID y reconocimiento facial para personal docente y administrativo [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio UMSA. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/33934>

Cavero Sánchez, P. D. (2023). Sistema de reconocimiento facial utilizando inteligencia artificial y cámaras de profundidad para entornos educativos [Proyecto de grado, Universidad Católica Boliviana “San Pablo” – Sede Santa Cruz]. Repositorio UCB. <https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/handle/123456789/31597>

Choque, F., & Vargas, M. (2021). Aplicación de metodologías ágiles en proyectos académicos de ingeniería de sistemas. *Revista Boliviana de Tecnología y Sociedad*, 6(2), 50–60. Consulta en biblioteca universitaria.

OpenCV. (2025, mayo 7). OpenCV. En Wikipedia. Recuperado el 9 de julio de 2025, de <https://es.wikipedia.org/wiki/OpenCV>