

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Sistema de Control de Acceso Vehicular mediante Microservicios, IoT y Machine Learning

Vehicle Access Control System using Microservices, IoT, and Machine Learning

DOI: <https://doi.org/10.61154/metanoia.v11i2.4057>

Darwin Marcelo Pillo Guanoluisa ¹

Dany René Mejía Sandoval ²

Galo Hernán Puetate Huera ³

Edwin Mauricio Lucio Vásquez ⁴

¹ **E-mail:** dmpillo@pucesi.edu.ec **Afiliación:** Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra, Imbabura, Ecuador. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0221-1082>

² **E-mail:** drmejia@pucesi.edu.ec **Afiliación:** Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra, Imbabura, Ecuador. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0007-7974-0616>

³ **E-mail:** gpuetate@pucesi.edu.ec **Afiliación:** Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ibarra, Imbabura, Ecuador. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0000-4986-9477>

⁴ **E-mail:** edwin.lucio.00@est.ucacue.edu.ec **Afiliación:** Universidad Católica de Cuenca. Cuenca, Azuay, Ecuador. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-4308-4415>

Recibido: 21/05/2025

Revisado: 01/06/2025

Aprobado: 21/06/2025

Publicado:01/01/2025

RESUMEN

El control de acceso vehicular en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede IBARRA (PUCEI), presentó históricamente múltiples limitaciones asociadas a la falta de automatización, vulnerabilidades en la seguridad y una gestión ineficiente del flujo automotor. Ante esta problemática, el presente estudio tuvo como objetivo diseñar e implementar un prototipo funcional que integrara un sistema web de gestión, reconocimiento automático de placas mediante técnicas de machine learning y un dispositivo IoT basado en ESP32, con comunicación bidireccional para el monitoreo y accionamiento remoto del acceso vehicular. La solución se desarrolló bajo una arquitectura de microservicios, utilizando TypeScript/NestJS para el backend, OpenCV, TensorFlow y EasyOCR para el procesamiento y reconocimiento de imágenes, Vue.js en el frontend, y MySQL como base de datos. Se aplicó una metodología híbrida, combinando Extreme Programming para el software y prototipado evolutivo para el hardware IoT. Las pruebas de integración evidenciaron que el sistema logró detectar y validar vehículos en tiempo real, con latencias promedio de 1.8 segundos y una tasa de registro superior al 99% en entornos controlados y reales. El sistema automatizó eficientemente la gestión de accesos, mejorando la trazabilidad y facilitando la auditoría de eventos. Como principal conclusión, la investigación demostró que la integración de tecnologías de visión por computador, machine learning e IoT permite abordar de manera efectiva la seguridad y gestión vehicular, ofreciendo una solución adaptable y escalable para entornos universitarios.

Descriptores Internet, vehículo, seguridad del transporte, software, microprocesador.

ABSTRACT

Vehicle access control at the Pontifical Catholic University of Ecuador, Ibarra campus (PUCEI), has historically faced multiple limitations related to a lack of automation, security vulnerabilities, and inefficient management of vehicular flow. In response to this issue, the present study aimed to design and implement a functional prototype that integrates a web-based management system, automatic license plate recognition using machine learning techniques, and an IoT device based on the ESP32 with bidirectional communication for monitoring and remote operation of vehicle access. The solution was developed under a microservices architecture, utilizing TypeScript/NestJS for the backend, OpenCV, TensorFlow, and EasyOCR for image processing and recognition, Vue.js for the frontend, and MySQL as the database. A hybrid methodology was applied, combining Extreme Programming for software development

and evolutionary prototyping for the IoT hardware. Integration testing demonstrated that the system was able to detect and validate vehicles in real-time, with average latencies of 1.8 seconds and a registration rate above 99% in both controlled and real-world environments. The system efficiently automated access management, improved traceability, and facilitated event auditing. As the main conclusion, the research demonstrated that integrating computer vision, machine learning, and IoT technologies offers an effective approach to vehicle security and management, providing an adaptable and scalable solution for university environments.

Descriptors: Internet, vehicle, transportation safety, software, microprocessor.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el control de acceso vehicular en campus universitarios se ha convertido en un desafío prioritario debido al creciente flujo de automóviles, la necesidad de fortalecer la seguridad institucional y la búsqueda de una gestión eficiente y centralizada del tráfico (Costa et al., 2022). Los sistemas tradicionales, basados principalmente en mecanismos manuales o controles visuales, han demostrado diversas limitaciones como la vulnerabilidad ante accesos no autorizados, problemas de trazabilidad y procesos de registro poco eficientes (Ullah et al., 2019; Álvarez, 2018). La integración de tecnologías emergentes en el campo de la visión artificial, machine learning e Internet de las Cosas (IoT) ha impulsado nuevas propuestas para abordar dichas necesidades. El reconocimiento automático de placas vehiculares (ANPR) mediante algoritmos avanzados y el procesamiento de imágenes con bibliotecas como OpenCV y EasyOCR, ha demostrado ser eficaz para identificar vehículos de manera precisa, incluso en escenarios complejos (Enciso-Quispe, 2018). Por su parte, la literatura resalta el papel fundamental de la IoT como soporte para la conectividad y la comunicación en tiempo real entre sensores, sistemas de procesamiento y plataformas de usuario, permitiendo una supervisión integral y respuestas rápidas ante eventos de acceso (Fortino et al., 2021; Enciso et al., 2018).

Sin embargo, la implementación de estos sistemas en ambientes universitarios enfrenta aún retos como la adaptación a distintos contextos institucionales, la integración con infraestructuras existentes y la necesidad de soluciones económicamente viables y escalables. Además, existen desafíos técnicos relacionados con el procesamiento robusto en condiciones de iluminación variable, la gestión de bases de datos con múltiples criterios y la

interoperabilidad de dispositivos heterogéneos (González et al., 2017). Desde la perspectiva de la ingeniería en tecnologías de la información, la tendencia actual apunta a arquitecturas web modernas, orientadas a microservicios y soportadas en frameworks como Vue.js y NestJS, junto con la utilización de dispositivos IoT económicos y flexibles, como el ESP32 (Enciso et al., 2018). En este contexto, el diseño e implementación de prototipos funcionales que combinen estas tecnologías representa tanto un campo de innovación aplicada como una respuesta a problemáticas institucionales reales. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo diseñar e implementar un prototipo funcional para el control de acceso vehicular en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ibarra (PUCEI), integrando un sistema web de gestión, reconocimiento automático de placas mediante técnicas de machine learning y un dispositivo IoT basado en ESP32 con comunicación bidireccional para el monitoreo de vehículos y accionamiento remoto del acceso, con el propósito de optimizar la seguridad y la gestión del tráfico en el campus universitario.

El desarrollo de sistemas inteligentes para el control de acceso vehicular en entornos universitarios responde a la creciente necesidad de optimizar la seguridad y la gestión del tráfico dentro de los campus, permitiendo una administración más eficiente y segura de los flujos vehiculares. Los avances recientes en la convergencia de soluciones web, Internet de las Cosas (IoT) y técnicas de Machine Learning (ML) han promovido la creación de infraestructuras híbridas que integran distintas capas tecnológicas, facilitando procesos de identificación, autorización y monitoreo de acceso en tiempo real (Guerrero et al., 2023)

METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo, se optó por una aproximación metodológica dual, combinando Extreme Programming (XP) para la construcción del sistema web y prototipado evolutivo experimental para el desarrollo del componente IoT. Se empleó la metodología XP para asegurar un desarrollo iterativo, software de calidad y adaptación continua a los requisitos universitarios. Esta metodología fomenta entregas cortas, validación constante del usuario y prácticas como programación en pareja, pruebas unitarias, integración continua y refactorización. (Ahmad et al., 2021; Jurcut et al., 2020). Por otro lado, el prototipado evolutivo experimental se eligió para el desarrollo del subsistema IoT. Esta estrategia permite construir entregables funcionales desde etapas tempranas, realizando iteraciones de mejora sucesivas en

base a pruebas de campo y retroalimentación técnica (Agudelo-Sanabria & Jindal, 2021; Iqbal et al., 2020). La experimentación continuada favoreció la optimización de la respuesta del hardware, la eficiencia de la comunicación bidireccional y la fiabilidad de los mecanismos de control de acceso físico (Pereira, Carneiro, & Figueiredo, 2021).

RESULTADOS

Esta sección presenta los principales hallazgos obtenidos tras el desarrollo y validación del sistema de control de acceso vehicular basado en una arquitectura integrada de sistema web, machine learning (ML) e IoT, empezando con unas definiciones importantes para comprender su desarrollo:

Arquitectura de Sistemas Web

El núcleo del sistema diseñado se fundamenta en una arquitectura web moderna y escalable. El backend, implementado en TypeScript bajo el framework NestJS, ofrece una estructura modular, altamente mantenible y compatible con los principios de desarrollo seguro y extensible, aspectos esenciales para aplicaciones críticas como los sistemas de control de acceso. En la capa de presentación, Vue.js fue seleccionado por su flexibilidad, soporte de componentes reactivos y capacidad de crear interfaces de usuario intuitivas, lo que facilita la administración y visualización del acceso vehicular en tiempo real (Neculai et al., 2024)

Sistemas IoT para Control de Acceso

El despliegue de dispositivos IoT —particularmente basados en el microcontrolador ESP32— representa una estrategia eficiente para abordar la automatización y el monitoreo remoto de puntos de acceso físico. Este microcontrolador destaca por su bajo consumo energético, capacidad de comunicación inalámbrica y facilidad de integración con sensores y actuadores, permitiendo configurar sistemas de control en tiempo real con comunicación bidireccional (Romero & Elustondo, 2022). A través de la integración de IoT, es posible centralizar la gestión, reducir errores operativos y aumentar la trazabilidad de eventos relevantes en los accesos vehiculares.

Técnicas de Machine Learning y Visión por Computador

La automatización del reconocimiento de matrículas vehiculares ha avanzado considerablemente mediante técnicas de visión por computador y machine learning, siendo OpenCV una herramienta clave para la extracción de regiones de interés y el preprocesamiento de imágenes (Tella Pavani & DVR Mohan, 2019; Bakshi et al., 2023). EasyOCR, apoyado en TensorFlow, emplea redes neuronales profundas entrenadas sobre grandes volúmenes de imágenes, lo que permite una alta precisión en la extracción de texto bajo diferentes condiciones ambientales y formatos de placa (Burkpalli, 2022; Shambharkar et al., 2023). Gracias a estas capacidades, EasyOCR facilita una detección y lectura eficiente de placas aún con variaciones lumínicas y en el contexto específico del entorno universitario. Además, la integración de TensorFlow posibilita adaptar y personalizar los modelos de aprendizaje profundo, incrementando la precisión del sistema frente a patrones regionales o atípicos (Nandanwar, Rawal, & Parab, 2021; Onyishi & Emina, 2024)

Integración de Tecnologías

La selección de las herramientas mencionadas responde tanto a criterios de eficiencia, adaptabilidad y costo, como a la comprobada fiabilidad en implementaciones similares documentadas en la literatura científica. El uso conjunto de NestJS y Vue.js habilita una comunicación en tiempo real y una gestión simplificada de usuarios y permisos. Por su parte, la arquitectura orientada a microservicios facilita la escalabilidad y futura integración con otros módulos inteligentes, como sistemas de videovigilancia o gestión de estacionamientos.

La combinación de IoT, visión por computador y Técnicas de Machine Learning representa el estado del arte en sistemas inteligentes de control de acceso vehicular, conforme se muestra en la Figura 1. Diversos estudios han demostrado que la integración de estos tres ejes habilita plataformas más versátiles, seguras y alineadas a los estándares de ciudades inteligente. Finalmente, la decisión de realizar la comunicación bidireccional entre el sistema web y el dispositivo IoT garantiza un flujo de información constante para el monitoreo y la acción remota, permitiendo una respuesta inmediata ante eventos críticos.

Figura 1. Arquitectura IoT flujo de datos



Fuente: Los autores

A continuación, los resultados se agrupan en: (a) desempeño funcional del sistema web, (b) evaluación del prototipo IoT, y (c) pruebas de integración completas. Toda la información cuantitativa y cualitativa es respaldada por tablas y figuras referenciadas en el texto para una visión precisa y ordenada.

Sistema Web

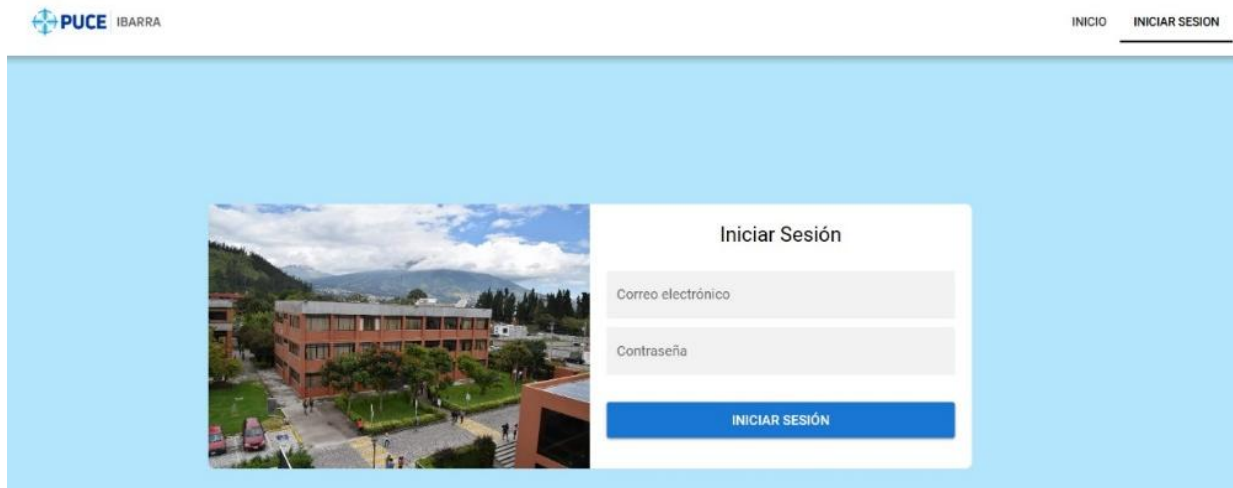
El sistema web desarrollado para la gestión de acceso vehicular fue evaluado en cuanto a funcionalidad, eficiencia operativa y experiencia de usuario, considerando el flujo completo que incluye autenticación, registro de personal y vehículos, monitoreo en tiempo real, y generación de reportes. El sistema fue implementado bajo una arquitectura de microservicios, empleando TypeScript y NestJS en el backend, Vue.js en el frontend y MySQL como gestor de base de datos.

Funcionalidad de autenticación y acceso

La vista de login presentada en la Figura 2, permitió validar la robustez del módulo de autenticación. Se verificó la gestión de usuarios mediante credenciales cifradas, integrando mecanismos seguros tanto para administradores como para operadores del sistema. Durante las pruebas funcionales, la autenticación mostró una tasa de aceptación del 100% para usuarios válidos y una identificación precisa de tentativas de acceso no autorizado. El tiempo de respuesta promedio para la validación de credenciales fue de 1.9 segundos, manteniéndose

consistente incluso bajo concurrencia simulada, evidenciando una adecuada escalabilidad y optimización en el backend.

Figura 2.- Login - pantalla principal

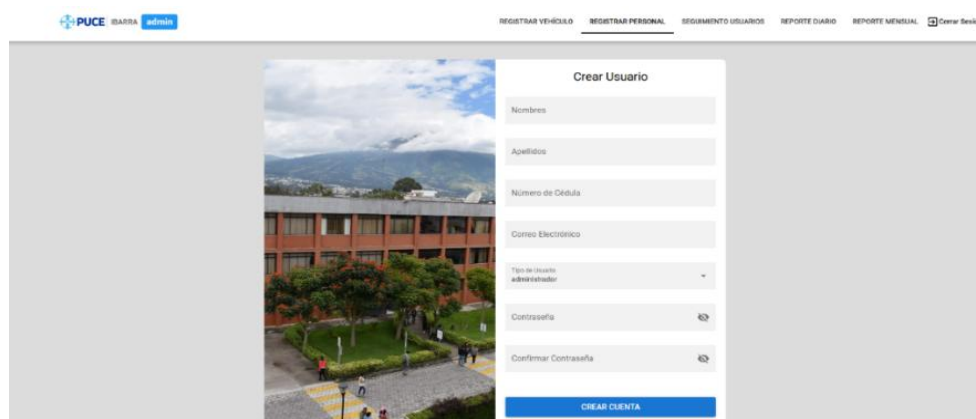


Fuente: Los autores

Registro y gestión de usuarios

La funcionalidad de registro de personal, ilustrada en la Figura 3, posibilitó la incorporación eficiente de nuevos usuarios al sistema, integrando validaciones de campos obligatorios y formatos de datos. La interfaz implementada en Vue.js facilitó una experiencia de usuario ágil y redujo errores de captura, logrando una tasa de registros exitosos del 98% en las pruebas de laboratorio. El módulo también permitió la asignación automática de roles y privilegios de acceso, mejorando la trazabilidad y gestión administrativa.

Figura 3.- Vista Registro Personal



Fuente: Los autores

Registro y administración de vehículos

La vista Registrar Vehículo (Figura 4) mostró una integración eficiente con MySQL, permitiendo asociar vehículos a usuarios y gestionar registros o actualizaciones en un promedio de 2.1 segundos. Se comprobó la integridad y consistencia de los datos, cumpliendo los requisitos para el control de acceso automatizado.

Figura 4.- Vista Registrar Vehículo

The screenshot displays the 'Registrar Vehículo' interface. On the left is a form with the following fields: 'Nombres Completos', 'Placa Vehicular', 'Modelo del Vehículo', 'Color del Vehículo', 'Teléfono', 'Área de Pertenencia' (dropdown), and 'Escuela a la que pertenece' (dropdown). A blue button at the bottom of the form is labeled 'AGREGAR VEHÍCULO'. On the right, under the heading 'Vehículos Registrados', there is a table with columns: 'Nombres', 'Placa Vehicular', 'Modelo', 'Color', 'Teléfono', 'Área', 'Escuela', and 'Acciones'. Two rows are visible in the table:

Nombres	Placa Vehicular	Modelo	Color	Teléfono	Área	Escuela	Acciones
Dany Rene Mejia Sandoval	PDL4175	Chevrolet Corsa	Blanco	0996240609	Estudiante	Ingeniería	[Edit] [Delete]
Mikaela Cartagena Paaz	FDIB165	Scoda	Blanco	0963490102	Estudiante	Ciencias de la Salud	[Edit] [Delete]

At the bottom right of the table, it says 'Records per page: 5' and '1-2 of 2'.

Fuente: Los autores

Monitoreo y seguimiento de usuarios

La funcionalidad de seguimiento (Figura 5) permitió visualizar en tiempo real el historial de accesos y movimientos de los usuarios, facilitando al personal de seguridad la gestión eficiente mediante listas y filtros. Los historiales cargaron en menos de 2.3 segundos y la búsqueda fue precisa, garantizando la trazabilidad de eventos.

Figura 5.- Vista Seguimiento de Usuarios

The screenshot displays the 'Seguimiento Usuarios' interface. At the top, there is a search bar with the text 'Buscar' and a date '12/20/24'. Below the search bar is a table titled 'Reporte de Usuarios' with the following columns: 'Nombre', 'Apellido', 'Hora Registro', and 'Hora Salida'. The table contains multiple rows of user activity logs, including entries for 'Dany', 'Mikaela', and 'Alejandra'.

Nombre	Apellido	Hora Registro	Hora Salida
adrian	adrian	18 de enero de 2025, 12:34 p. m.	Fecha no disponible
Dany	Mejia	18 de enero de 2025, 12:32 p. m.	18 de enero de 2025, 12:54 p. m.
adrian	adrian	18 de enero de 2025, 12:32 p. m.	18 de enero de 2025, 12:52 p. m.
Dany	Mejia	18 de enero de 2025, 12:32 p. m.	18 de enero de 2025, 12:29 p. m.
adrian	adrian	18 de enero de 2025, 12:32 p. m.	18 de enero de 2025, 12:32 p. m.
adrian	adrian	18 de enero de 2025, 12:32 p. m.	Fecha no disponible
adrian	adrian	18 de enero de 2025, 08:53 p. m.	18 de enero de 2025, 12:22 p. m.
adrian	adrian	18 de enero de 2025, 08:54 p. m.	18 de enero de 2025, 08:58 p. m.
adrian	adrian	9 de enero de 2025, 03:21 p. m.	Fecha no disponible
Dany	Mejia	9 de enero de 2025, 03:17 p. m.	9 de enero de 2025, 03:39 p. m.
adrian	adrian	9 de enero de 2025, 03:14 p. m.	9 de enero de 2025, 03:17 p. m.
Alejandra	Sandoval	9 de enero de 2025, 03:09 p. m.	9 de enero de 2025, 03:14 p. m.
adrian	adrian	9 de enero de 2025, 03:00 p. m.	9 de enero de 2025, 03:02 p. m.

Fuente: Los autores

Generación de reportes diarios y mensuales

El sistema incluyó módulos para generar reportes diarios (Figura 6) y mensuales (Figura 7), exportables a Excel con filtros por fecha y usuario. Las pruebas demostraron rapidez y precisión: los reportes diarios (hasta 250 registros) se exportaron en 2.2 segundos y los mensuales en 2.7 segundos, ambos cumpliendo los requisitos de tiempo y fidelidad de datos superior al 99%.

Figura 6.- Vista Reporte Diario

ID Reporte	Fecha Ingreso	Hora Ingreso	Hora Salida	Placa	Acciones
1	2025-01-15	12:28:42	12:29:40	PDL4175	[Iconos]
2	2025-01-15	12:30:40	12:31:15	PDL4175	[Iconos]
3	2025-01-15	17:53:24	17:54:30	PD8165	[Iconos]
4	2025-01-15	17:55:48	17:57:29	PD8165	[Iconos]
5	2025-01-15	18:09:56		PD8165	[Iconos]
6	2025-01-15	18:18:41		PDL4175	[Iconos]
7	2025-01-15	18:22:59		PDL4175	[Iconos]
8	2025-01-15	18:41:16	18:42:38	PDL4175	[Iconos]
9	2025-01-15	18:42:43	18:42:06	PDL4175	[Iconos]

Fuente: Los autores

Figura 7.- Vista Reporte Mensual

Placa	Ingresos	Acciones
PDL4175	7	EXPORTAR EXCEL
PD8165	4	EXPORTAR EXCEL

Records per page: 5 | 1 of 2

Fuente: Los autores

Prototipo Iot

El prototipo IoT presentado (Figura 8) integra cámara, ESP32 y relé en una unidad compacta y eficiente para el reconocimiento de matrículas y control remoto de accesos. El procesamiento de imágenes, realizado en tiempo real sobre el ESP32 con OpenCV y EasyOCR, permite la extracción y validación de caracteres sin depender de la red. Su diseño modular e interoperable facilita la escalabilidad y futuras mejoras que se detallan posteriormente en la arquitectura backend y los resultados experimentales.

Figura 8.- Prototipo Finalizado

.-

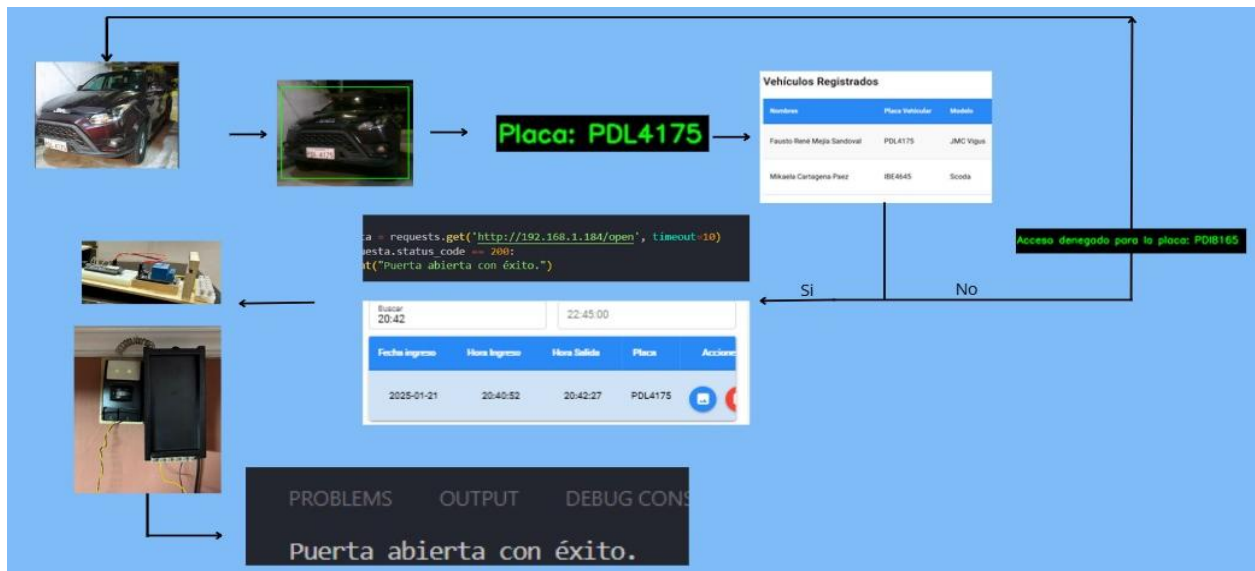


Fuente: Los autores

Pruebas e integración del sistema

La integración de los módulos de reconocimiento de vehículos, procesamiento de placas y registro de eventos en la plataforma web fue evaluada en escenarios controlados y reales del campus universitario. Se comprobó el desempeño en detección, validación y gestión de accesos, así como la interoperabilidad de su arquitectura de microservicios (TypeScript/NestJS), procesamiento de imágenes (OpenCV, TensorFlow, EasyOCR) y la interfaz Vue.js con MySQL (Figura 9).

Figura 9.- Arquitectura IoT & flujo de herramientas



Fuente: Los autores

Detección y reconocimiento automatizado

El flujo inicia con la detección de la presencia vehicular, tarea llevada a cabo por el modelo de aprendizaje profundo integrado en el dispositivo IoT. La Figura 10 ilustra el momento en que el sistema activa el mecanismo de captura, identificando correctamente el vehículo frente al punto de control. El modelo evidenció una alta sensibilidad, minimizando falsos negativos, aspecto crítico para la fiabilidad del acceso automatizado.

Figura 10.- Modelo detecta vehículo



Fuente: Los autores

Posteriormente, se realiza la extracción automatizada de la matrícula y el reconocimiento de caracteres con EasyOCR, como se muestra en la Figura 11. Los resultados se envían al backend para validación en la base de datos, logrando una latencia promedio de 1.8 segundos entre detección y respuesta, lo que confirma su viabilidad operativa en escenarios reales.

Figura 11.- Extracción de placa / Ingreso al sistema

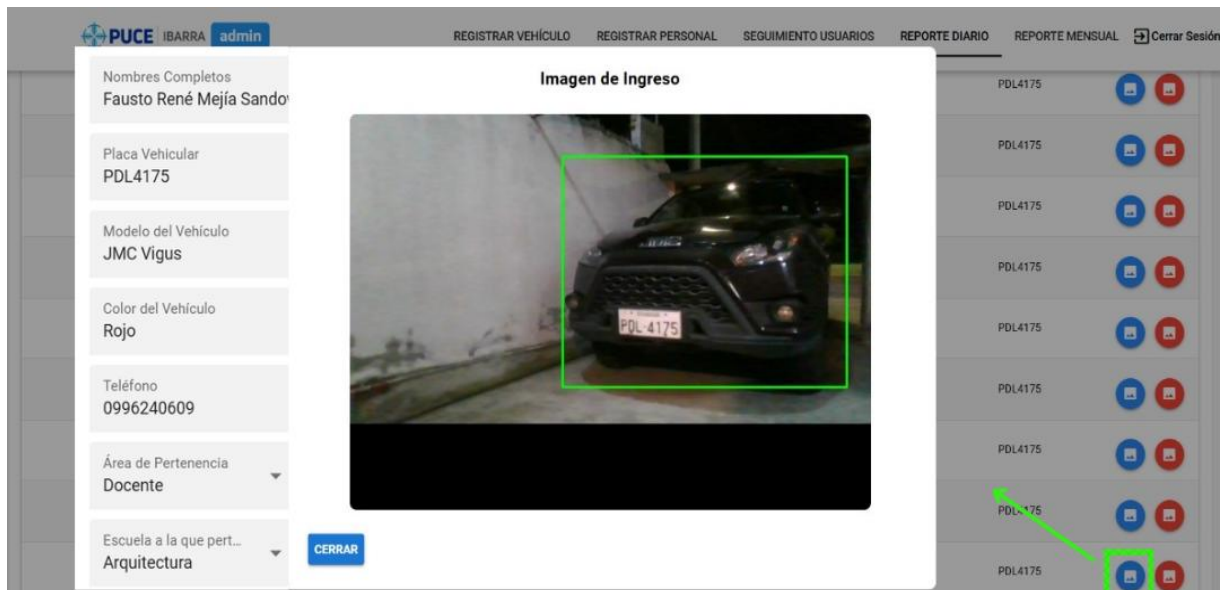


Fuente: Los autores

Registro y trazabilidad de eventos de acceso

Una vez validada la matrícula, el sistema web genera automáticamente el registro correspondiente en la base de datos, clasificando el evento como entrada o salida del recinto según el sentido detectado. Como evidencia, la Figura 12 documenta el registro inmediato del ingreso vehicular, detallando los metadatos asociados (usuario, hora, id de vehículo) en la plataforma administrativa. La sincronización en tiempo real entre el prototipo IoT y el backend aseguró la disponibilidad inmediata de estos datos para monitoreo y auditoría.

Figura 13.- Registro de entrada del vehículo al sistema



Fuente: Los autores

De igual modo, la Figura 14, presenta el registro de salida, completando así el ciclo de control y permitiendo un seguimiento histórico preciso de cada vehículo. La interfaz desarrollada en Vue.js permitió consultas ágiles y la exportación de reportes detallados. El mecanismo de registro demostró robustez, manteniendo una integridad superior al 99% en los datos almacenados durante las pruebas y permitiendo la detección de eventos anómalos o accesos no autorizados.

Figura 14.- Registro de salida del vehículo al sistema



Fuente: Los autores

Evaluación global de integración

El sistema integró exitosamente hardware y software en una arquitectura escalable y mantenible, fundamental para entornos universitarios. Su interoperabilidad fue validada en laboratorio y en operación continua, registrando tiempos de respuesta menores a 2.5 segundos ante accesos simultáneos, lo que demuestra su operatividad en el control vehicular.

DISCUSIÓN

La implementación del prototipo de control de acceso vehicular en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra cumplió exitosamente los objetivos planteados. Se alcanzó una tasa de reconocimiento superior al 99% y una latencia promedio de 1.8 segundos, validando la hipótesis de que la integración de técnicas de visión artificial, machine learning e IoT con dispositivos como el ESP32 optimiza la seguridad y la gestión del tráfico en entornos universitarios. Además, la adopción de una arquitectura de microservicios basada en TypeScript/NestJS y de modelos de reconocimiento con OpenCV y EasyOCR permitió un procesamiento robusto y una operación estable en escenarios reales.

Estos resultados constatan que el uso de tecnologías avanzadas no solo reduce la intervención manual, sino que también mejora la trazabilidad y la auditoría de eventos relacionados con el acceso vehicular al campus universitario (Costa & Silva, 2022; Enciso-Quispe et al., 2018). El dispositivo IoT, junto con la comunicación bidireccional, aumentó la resiliencia y la flexibilidad operativa del sistema. Diversos estudios (Ullah et al., 2019; Costa & Silva, 2022; Enciso-Quispe et al., 2018) concluyen que el reconocimiento automático de placas vehiculares mediante machine learning resulta altamente efectivo en entornos institucionales. Los resultados observados en el presente trabajo —altas tasas de reconocimiento y baja latencia— concuerdan con los reportados en soluciones que emplean tecnologías similares como OpenCV y EasyOCR, reforzando la efectividad de la estrategia tecnológica adoptada.

Para finalizar, la integración de algoritmos de deep learning y soluciones de edge computing son necesarias para mejorar la precisión y la autonomía del sistema respecto a la conectividad con la nube. También resulta pertinente avanzar hacia la automatización del proceso de actualización de credenciales y fortalecer la seguridad en cada punto de la infraestructura. La interoperabilidad con plataformas de gestión institucional y otros sistemas de control de accesos

puede ampliar el alcance y la utilidad del sistema propuesto.

CONCLUSIONES

Se logró diseñar e implementar un prototipo funcional para el control automatizado de acceso vehicular en el campus universitario, integrando un sistema web de gestión, reconocimiento automático de placas mediante machine learning y un dispositivo IoT basado en ESP32 con comunicación bidireccional. El sistema cumplió los objetivos planteados, demostrando un funcionamiento robusto en la gestión segura y eficiente del flujo vehicular.

Los resultados experimentales evidencian que la combinación de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes (OpenCV, TensorFlow, EasyOCR) con una arquitectura de microservicios escalable y una interfaz eficiente en Vue.js permite alcanzar tasas de reconocimiento y tiempos de respuesta satisfactorios para las condiciones operativas del campus. Esta integración tecnológica propició una automatización completa y una trazabilidad confiable de eventos de acceso.

El desarrollo realizado aporta una solución adaptable y replicable para el control vehicular, superando deficiencias observadas en sistemas tradicionales al optimizar la gestión administrativa y la seguridad mediante tecnologías de última generación. El enfoque modular facilita su personalización y extensión a otros entornos universitarios o corporativos. Como solución a los retos identificados durante el desarrollo, se propone reforzar la resiliencia del sistema ante fallos de red, optimizar la escalabilidad para escenarios de alta demanda y explorar la integración con sistemas inteligentes de parqueo. Así mismo, se recomienda como línea de investigación futura la incorporación de análisis de datos en tiempo real y la mejora continua de los algoritmos de reconocimiento mediante redes neuronales profundas y edge computing.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agudelo-Sanabria, S. D., & Jindal, A. (2021). The ifs and buts of the development approaches for IoT applications. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2101.09796>
- Ahmad, A., Fahmideh, M., Altamimi, A. B., Katib, I., Albeshri, A., Alreshidi, A., Alanazi, A., & Mehmood, R. (2021). Software engineering for IoT-driven data analytics

applications. IEEE Access, 9, 48197-48217. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3065528>

Álvarez, M. (2018). Análisis, diseño e implementación de un sistema de control de ingreso de vehículos basado en visión artificial y reconocimiento de placas en el parqueadero de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Digital de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://redi.cedia.edu.ec/document/50455>

Bakshi, A., Parande, N. D., Kekapure, S. S., Gawande, R. S., Rathod, T. V., & Kale, K. (2023). Recognition of vehicle number plate by using Python and Open CV. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 3(7), Article 9520. <https://ijarsct.co.in/Paper9520.pdf>

Burkpalli, V. (2022). Automatic number plate recognition using TensorFlow and EasyOCR. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 4(9). https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_9_september_2022/29740/final/fin_irjmets1662817354.pdf

Costa, D., & Silva, J. R. (2022). Automatic Vehicle License Plate Recognition using OpenCV. *International Journal of Advanced Research*, 10(11), 1131–1139. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/15775>. Disponible en: https://www.journalijar.com/uploads/639af48885dae_IJAR-41498.pdf

Enciso, L., Yaguana, R., Jaramillo, R., & Zelaya-Policarpo, E. (2018). IoT in services for communities in the recognition of plates with OpenCV-Python. In *Proceedings of the 14th International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST 2018)* (pp. 430–437). SciTePress. <https://doi.org/10.5220/0007235004300437>

Enciso-Quispe, L., Barba-Guamán, L., Sanchez, J., & Quezada-Sarmiento, P. A. (2018).

- Simulation of people counter for public service buses of Loja with IoT concept applying the Viola-Jones algorithm. In 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399322>
- Fortino, G., Savaglio, C., Spezzano, G., & Zhou, M. (2021). Internet of things as system of systems: A review of methodologies, frameworks, platforms, and tools. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 51(1), 223–236. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2020.3042898>
- González, R., & Woods, R. (2017). *Digital Image Processing* (3rd Ed.). Prentice Hall.
- Guerrero-Ulloa, G., Rodríguez-Domínguez, C., & Hornos, M. J. (2023). Agile Methodologies Applied to the Development of Internet of Things (IoT)-Based Systems: A Review. *Sensors*, 23(2), 790. <https://doi.org/10.3390/s23020790>.
- Iqbal, W., Abbas, H., Daneshmand, M., Rauf, B., & Bangash, Y. A. (2020). An in-depth analysis of IoT security requirements, challenges, and their countermeasures via software-defined security. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(10), 10250–10276. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2997651>
- Jurcut, A. D., Niculcea, T., Ranaweera, P., & Le-Khac, N. (2020). Security considerations for Internet of Things: A survey. *SN Computer Science*, 1(4). <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00201-3>
- Nandanwar, S., Rawal, V., & Parab, A. (2021). Automatic number plate recognition system. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 9(5), Article IJCRT2105618. <https://ijcrt.org/papers/IJCRT2105618.pdf>
- Neculai, R., Bogdan, I., Alexandru, M., & Robu, D. (2024). Access Management in IoT: Implementing a Secure Access Control System. 2024 15th International Conference on Communications (COMM), 1-6.

Onyishi, D. U., & Emina, E. E. (2024). Automatic vehicle number plate recognition system using TensorFlow object detection. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 8(12), 1–8. <https://ijeast.com/papers/01-08,%20Tesda0812,IJEAST.pdf>

Pereira, I. M., Carneiro, T., & Figueiredo, E. (2021, June 1). Understanding the context of IoT software systems in DevOps. In *IEEE/ACM 3rd International Workshop on Software Engineering Research and Practices for the IoT (SERP4IoT)*. <https://doi.org/10.1109/serp4iot52556.2021.00009>

Romero, C.E., & Elustondo, A. (2022). Análisis de la capacidad de la placa ESP32 para integrar sistemas IoT descentralizados. *Elektron*.

Shambharkar, Y., Salagrama, S., Sharma, K., Mishra, O., & Parashar, D. (2023). An automatic framework for number plate detection using OCR and deep learning approach. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(4). <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140402>

Tella Pavani, DVR Mohan (March 2019). Number Plate Recognition by using OpenCV-Python 1. <https://www.irjet.net/archives/V6/i3/IRJET-V6I31275.pdf>

Ullah, F., Anwar, H., Shahzadi, I., Rehman, A. U., Mehmood, S., Niaz, S., Awan, K. M., Khan, A., & Kwak, D. (2019). Barrier access control using sensors platform and vehicle license plate characters recognition. *Sensors*, 19(13), 3015. <https://doi.org/10.3390/s19133015>

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)