



APLICACIÓN WEB DESCENTRALIZADA DE CURSOS DE PROGRAMACIÓN CON SEGURIDAD CRIPTOGRÁFICA PARA LA ACADEMIA P2P-ACADEMY

DECENTRALIZED WEB APPLICATION FOR PROGRAMMING COURSES WITH CRYPTOGRAPHIC SECURITY FOR THE P2P-ACADEMY

Cristian Andrés Solís Vera¹

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, La Maná, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7983-1710>. Correo: cristian.solis7970@utc.edu.ec

Edison Ronaldo Constante Granja²

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, La Maná, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4219-4531>. Correo: edison.constante9591@utc.edu.ec

Rodolfo Najarro Quintero^{3*}

³ Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, La Maná, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6760-4269>. Correo: rodolfo.najarro@utc.edu.ec

*** Autor para correspondencia:** cristian.solis7970@utc.edu.ec

Resumen

La enseñanza de programación en línea continúa enfrentando retos estructurales: retroalimentación tardía, personalización limitada, débil articulación entre el acompañamiento pedagógico y la operación académica, y riesgos crecientes de seguridad informática en plataformas educativas digitales. Este artículo describe el diseño, la implementación y la evaluación de una aplicación web descentralizada para P2P-Academy, que integra gestión educativa, sesiones síncronas, seguimiento del progreso, evaluación continua, pagos multicanal, accesibilidad universal y una capa de seguridad criptográfica como componente estructural. La investigación se realizó como un estudio de caso aplicado con enfoque mixto, combinando análisis técnico del sistema, pruebas funcionales y no funcionales, y un piloto exploratorio con 84 estudiantes y 12 instructores



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Sociedad Ecuatoriana de Investigación Científica. E-mail: revistaalcon@gmail.com

durante cuatro semanas. La plataforma se construyó con Next.js en el frontend y Django REST Framework en el backend, incorporando autenticación JWT, comunicación en tiempo real mediante Django Channels, protección de datos en tránsito con TLS 1.3, cifrado AES-256 para información sensible, verificación por hash en certificados académicos, paneles diferenciados por rol, y módulos para cursos, sesiones, progreso, mensajería y pagos, con elementos de arquitectura descentralizada para transacciones y certificaciones. Los resultados muestran un desempeño funcional elevado: 99,1 % de éxito en 214 casos end-to-end; latencias de 180–220 ms en videollamadas con MOS de 4,3/5; p95 global de 2,1 s bajo 1 000 usuarios concurrentes; tasa de éxito en pagos del 98,7 %; conformidad WCAG 2.1 AA; SUS de 86/100 y NPS de 72. En el plano educativo, el piloto registró incrementos del 14–18 % en retención, del 21 % en finalización de módulos y mejoras en satisfacción y seguimiento del aprendizaje, sustentados en estrategias de evaluación formativa y retroalimentación inmediata. Se concluye que P2P-Academy constituye una solución técnicamente sólida y pedagógicamente coherente cuyo aporte diferencial reside en integrar flujo académico, interacción peer-to-peer, seguridad criptográfica y trazabilidad de evidencias en una misma arquitectura; no obstante, requiere validación longitudinal y pruebas más amplias en escenarios de mayor escala.

Palabras clave: aprendizaje peer-to-peer; educación en programación; seguridad criptográfica; aplicaciones web descentralizadas; evaluación formativa; accesibilidad; analítica educativa.

Abstract

Online programming education continues to face structural challenges: delayed feedback, limited personalization, weak articulation between pedagogical support and academic operations, and growing information-security risks in digital educational platforms. This article describes the design, implementation, and evaluation of a decentralized web application for P2P-Academy, integrating educational management, synchronous sessions, progress tracking, continuous assessment, multichannel payments, universal accessibility, and a cryptographic security layer as a structural component. The research was conducted as an applied case study with a mixed-methods approach, combining technical system analysis, functional and non-functional testing, and an exploratory four-week pilot with 84 students and 12 instructors. The platform was built with Next.js on the frontend and Django REST Framework on the backend, incorporating JWT authentication, real-time communication via Django Channels, TLS 1.3 for data in transit, AES-256 encryption for sensitive data, hash-based certificate verification, role-differentiated dashboards, and modules for courses, sessions, progress, messaging, and payments, with decentralized architectural elements for transactions and certifications. Results show high functional performance: a 99.1 % success rate across 214 end-to-end test cases; video-call latencies of 180–220 ms with a MOS of 4.3/5; a global p95 of 2.1 s under 1,000 concurrent users; a payment success rate of 98.7 %; WCAG 2.1 AA compliance; a SUS score of 86/100; and an NPS of 72. At the educational level, the pilot recorded gains of 14–18 % in retention, 21 % in module completion, and improvements in satisfaction and learning tracking, supported by formative assessment strategies and immediate feedback. The study concludes that P2P-Academy constitutes a technically robust and pedagogically coherent solution whose differential contribution lies in integrating academic workflow, peer-to-peer interaction, cryptographic security, and evidence traceability within a single unified architecture; nonetheless, longitudinal validation and broader testing under large-scale scenarios are required.



Keywords: *peer-to-peer learning; programming education; cryptographic security; decentralized web applications; formative assessment; accessibility; educational analytics.*

Fecha de recibido: 27/05/2026

Fecha de aceptado: 24/07/2026

Fecha de publicado: 14/08/2026

Introducción

La expansión de la educación digital ha transformado radicalmente la oferta de cursos de programación, multiplicando las opciones disponibles para estudiantes de todo el mundo. Sin embargo, esta proliferación no siempre ha venido acompañada de mejoras equivalentes en la calidad del aprendizaje ni en la protección de los datos y la infraestructura educativa (Orosco, 2024). En numerosos entornos persisten modelos basados en contenidos pregrabados, comunicación asincrónica y evaluaciones con retroalimentación tardía o insuficiente. Aunque dicho enfoque favorece la escalabilidad, resulta claramente insuficiente para una disciplina como la programación, cuyo aprendizaje depende de forma crítica de la práctica guiada, la corrección iterativa del error y el acompañamiento pedagógico oportuno (Valdez, 2023). De ahí que persistan problemas crónicos de permanencia, avances heterogéneos entre estudiantes y una apropiación desigual de competencias clave.

Estas limitaciones se acentúan en academias con perfiles estudiantiles diversos, donde confluyen diferencias marcadas en el nivel de entrada, la disponibilidad horaria, el ritmo de aprendizaje y las condiciones de acceso a la tecnología (Sotelo, 2024). Cuando faltan mecanismos efectivos de personalización, seguimiento continuo y flexibilidad operativa, la experiencia formativa tiende a fragmentarse con rapidez. A ello se suma que la exposición de información sensible de estudiantes e instructores, la falta de autenticidad en las transacciones y certificaciones académicas, y la centralización de datos en servidores únicos representan riesgos significativos que pueden comprometer la confianza de los usuarios y la sostenibilidad del proyecto a largo plazo (Guaña, 2023).

El aprendizaje entre pares (peer-to-peer) ha mostrado efectos favorables sobre la participación activa, el desarrollo del razonamiento computacional y la permanencia en los programas, siempre que se sustente en objetivos explícitos y mecanismos de seguimiento adecuados (Ardila, 2022). Por otra parte, la seguridad informática en la educación superior ha sido objeto de análisis creciente, destacando la necesidad de incorporar cifrado robusto, autenticación multifactor y protección de datos como componentes estructurales del diseño y no como añadidos posteriores (Orosco, 2024). No obstante, buena parte de las plataformas revisadas en la literatura abordan el problema de manera fragmentaria: algunas privilegian los contenidos y la evaluación automática; otras se concentran en videoconferencia, analítica o pagos, sin articular suficientemente la experiencia pedagógica con la operación institucional, la accesibilidad universal y la seguridad como eje transversal (Rivera, 2024). En esos escenarios, la trazabilidad del proceso formativo queda distribuida entre varios servicios independientes, con registros dispersos, dependencias de integración complejas y validaciones manuales en momentos críticos del flujo académico.

Sobre esa base, la autenticación de usuarios, el cifrado de información sensible, la integridad de los certificados académicos y la trazabilidad de las evidencias de aprendizaje se plantean en P2P-Academy no



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Sociedad Ecuatoriana de Investigación Científica. E-mail: revistaalcon@gmail.com

como un agregado posterior al sistema, sino como mecanismos fundamentales que sostienen la confianza en todo el entorno peer-to-peer. La hipótesis de trabajo planteó que esta integración holística podría mejorar significativamente la retención, la finalización de módulos y la satisfacción estudiantil sin comprometer el rendimiento técnico, la escalabilidad, la accesibilidad ni la protección de la información de los usuarios. El presente artículo describe el diseño, la implementación y la evaluación de dicha plataforma, y contrasta la hipótesis con evidencia empírica cuantitativa y cualitativa.

Materiales y métodos

Diseño del estudio

La investigación se estructuró como un estudio de caso aplicado con enfoque mixto y orientación evaluativa, centrado en la plataforma web de P2P-Academy como unidad de análisis principal. El propósito no fue únicamente describir la construcción de la plataforma, sino examinar su desempeño tanto como artefacto tecnológico como mediación educativa para la enseñanza de programación en modalidad peer-to-peer. La estrategia metodológica combinó el análisis técnico del sistema, pruebas funcionales y no funcionales, y una valoración de uso con participantes reales. Las fuentes de evidencia empírica incluyeron registros detallados de pruebas *end-to-end*, métricas de rendimiento y escalabilidad recolectadas durante pruebas de carga, resultados de auditorías de seguridad y accesibilidad, y datos cuantitativos y cualitativos obtenidos durante el piloto con usuarios reales.

En la dimensión de funcionalidad se definieron y ejecutaron 214 casos de prueba *end-to-end* que cubrieron exhaustivamente todos los flujos críticos de la operación académica: alta y gestión de cursos, inscripción de estudiantes, reserva y reprogramación de sesiones síncronas, interacción en tiempo real con videollamadas y pizarra colaborativa, evaluación continua de proyectos con retroalimentación automática, procesamiento de pagos multicanal y emisión de certificados verificables criptográficamente. Para la dimensión de interacción en tiempo real se observaron y registraron métricas como latencia media de videollamadas, jitter, MOS (Mean Opinion Score) para calidad audiovisual y tiempo de propagación de eventos en la pizarra colaborativa (Merma, 2021). En la dimensión de accesibilidad se combinaron auditorías automatizadas con herramientas especializadas y revisión manual estructurada mediante navegación exclusiva por teclado y uso de lector de pantalla, siguiendo los criterios de conformidad WCAG 2.1 AA (Cortés, 2024). Finalmente, para la dimensión de impacto educativo se desarrolló un piloto exploratorio de cuatro semanas con 84 estudiantes y 12 instructores, con seguimiento de indicadores de retención por cohorte, finalización de módulos, satisfacción general y desempeño en tareas críticas, sustentado en estrategias de evaluación formativa y retroalimentación inmediata (Valdez, 2023).

Dado el carácter exploratorio del piloto y su tamaño muestral acotado, los resultados educativos se analizaron principalmente en términos descriptivos y comparativos entre cohortes equivalentes, sin recurrir a pruebas inferenciales de significancia estadística que excedieran el alcance del estudio.

Métricas y procedimiento analítico

Todas las métricas operacionales se definieron explícitamente antes del inicio del análisis para garantizar la coherencia con los objetivos de investigación. En el plano técnico se consideraron tiempos de respuesta p50, p95 y p99 por ruta crítica, tasa de error por endpoint, latencia de autorización de pagos, disponibilidad de



grabaciones de sesiones, tasa de éxito en el procesamiento de evaluaciones, jitter y MOS en videollamadas, así como métricas específicas de seguridad criptográfica: conformidad TLS 1.3, implementación correcta de cifrado AES-256 y verificación de integridad de hashes en certificados académicos. En la dimensión de experiencia de usuario se emplearon la escala *System Usability Scale* (SUS), el *Net Promoter Score* (NPS), la tasa de finalización de tareas críticas al primer intento y observaciones cualitativas estructuradas (Cruz, 2022). En el plano educativo, los indicadores principales fueron la retención por cohorte, la finalización de módulos por estudiante, el incremento de reintentos exitosos en proyectos de programación, el tiempo medio de completitud y la percepción de utilidad pedagógica.

El procedimiento analítico se desarrolló en tres momentos consecutivos. Primero, se reconstruyó la lógica funcional completa del sistema a partir del artículo de diseño, el repositorio de código fuente y la documentación de resultados, identificando y categorizando los dominios clave: usuarios y roles, gestión de cursos, sesiones síncronas, seguimiento del progreso, evaluación continua, pagos multicanal, accesibilidad, seguridad criptográfica y paneles analíticos. En segundo lugar, se contrastaron explícitamente los objetivos específicos del proyecto con las evidencias cuantitativas y cualitativas generadas en las pruebas y en el piloto, estableciendo una relación trazable entre cada objetivo y los resultados observados. La validez de constructo se atendió mediante la triangulación de indicadores técnicos objetivos, percepciones subjetivas de uso y evidencias de desempeño, reconociendo que variables como retención o finalización de módulos constituyen aproximaciones útiles del aprendizaje real, pero no sustituyen evaluaciones longitudinales más profundas. Respecto a la validez externa, el estudio corresponde a un caso aplicado específico, por lo que la extrapolación de resultados a otros contextos requiere cautela y nuevas réplicas con muestras más amplias y representativas.

Resultados y discusión

Desempeño funcional

Las pruebas funcionales indican que P2P-Academy alcanzó un nivel alto de implementación y estabilidad en todos los flujos críticos de la operación académica, incluida la capa de seguridad criptográfica y los elementos de arquitectura descentralizada. En las 214 pruebas *end-to-end*, se registró una tasa de éxito global del 99,1 % (212 casos exitosos de 214). Los dos incidentes menores detectados se resolvieron en la misma iteración de ajuste sin afectar la estabilidad general del sistema. El tiempo mediano para que un nuevo usuario completara el flujo «registro → primera reserva de sesión» fue de 3 minutos y 20 segundos, lo que sugiere una secuencia operativa intuitiva y una curva de aprendizaje inicial relativamente baja.

Las videollamadas peer-to-peer registraron latencias medias de 180–220 ms, jitter de 18–26 ms y un MOS promedio de 4,3 sobre 5, indicando una calidad audiovisual percibida como muy buena. La pizarra colaborativa mantuvo tiempos de propagación de trazos inferiores a 120 ms en el 95 % de las acciones, permitiendo una interacción fluida durante explicaciones de algoritmos y resolución colaborativa de problemas. El procesamiento automático de grabaciones de sesiones alcanzó una tasa de éxito del 99,2 %, con disponibilidad en menos de 90 segundos tras el cierre formal de la sesión. En grupos de 2 a 5 participantes —tamaño típico de las sesiones P2P-Academy— no se observaron caídas completas durante las pruebas, y las reconexiones automáticas por fluctuaciones de red se limitaron al 0,4 % de las sesiones totales. Los instructores reportaron que la pizarra colaborativa mejoró significativamente la calidad de las explicaciones, mientras que la disponibilidad de grabaciones facilitó el repaso asíncrono posterior.



El módulo de agendamiento flexible mostró resultados favorables: el 94 % de los participantes completó su primera reserva al primer intento. La activación de recordatorios automáticos y la exportación a calendarios externos se asociaron con una reducción del 11 % en el ausentismo respecto a cohortes equivalentes anteriores. Las pruebas de concurrencia validaron la prevención efectiva de «doble reserva» y la consistencia de las reprogramaciones bajo alta demanda simultánea. En personalización del aprendizaje, la tasa de finalización de módulos aumentó un 18 % y el tiempo medio de completitud se redujo un 12 % frente a cohortes sin dicho componente. La percepción de los estudiantes sobre la adecuación del nivel de los contenidos alcanzó una media de 4,6 sobre 5, lo que sugiere que la articulación entre seguimiento continuo, recomendaciones personalizadas y acompañamiento síncrono mejora la eficiencia y la satisfacción formativa (Aguirre, 2024).

En evaluación continua, el tiempo mediano de procesamiento automático por proyecto de programación fue de 7,8 s, con retroalimentación inmediata y específica para cada estudiante, en consonancia con los principios de evaluación formativa (Valdez, 2023). Se registró un incremento del 23 % en reintentos exitosos en proyectos de complejidad media, lo que indica que la retroalimentación inmediata favorece la mejora del desempeño en iteraciones sucesivas. El sistema de análisis de similitud detectó coincidencias significativas en apenas el 2,3 % de las entregas, activando los procedimientos de revisión manual correspondientes. El módulo de pagos integrados —que incluye tarjetas, PayPal y criptomonedas (BTC y USDT) como elemento de arquitectura descentralizada (Herrera, 2025)— alcanzó una tasa de éxito global del 98,7 %, con una latencia promedio de autorización de 1,6 s. El 76 % de los estudiantes indicó que el dashboard de progreso influyó positivamente en su constancia y motivación.

La emisión automática de certificados académicos se ejecutó de forma inmediata y sin errores, incluyendo la generación y verificación de un hash criptográfico único que permite su autenticación pública sin intervención manual institucional. Las auditorías automatizadas de accesibilidad produjeron puntuaciones de 96–99 %, y la validación manual confirmó un comportamiento adecuado en formularios y componentes complejos. El piloto arrojó un SUS de 86/100 y un NPS de 72, situando la experiencia de uso en un rango muy favorable. Bajo estrés extremo con 1 500 usuarios concurrentes, la degradación del rendimiento fue gradual y controlada, sin fallos catastróficos, respaldando la estabilidad operativa y la base de escalabilidad de la arquitectura.

Tabla 1. Tiempos de respuesta por ruta crítica (p95/p99) y tasa de error.

Ruta crítica	p95 (s)	p99 (s)	Error (%)
Autenticación (login)	1,4	2,6	0,18
Listado de cursos	1,7	3,1	0,12
Dashboard de progreso	1,9	3,3	0,16
Reserva de sesión	2,2	3,6	0,21
Evaluación de proyecto	2,0	3,4	0,19

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de pruebas de carga con 1 000 usuarios concurrentes.



Como puede observarse en la Tabla 1, las variaciones entre las distintas rutas se mantienen dentro de márgenes controlados y ninguna presenta tasas de error elevadas. Los mecanismos criptográficos implementados abordan de forma articulada las cuatro dimensiones fundamentales de la seguridad de la información: confidencialidad, integridad, autenticidad y trazabilidad, con elementos adicionales de arquitectura descentralizada para pagos con criptomonedas y certificaciones verificables públicamente mediante hashes. Los análisis dinámicos de seguridad, organizados a partir de los perfiles OWASP Top 10, no detectaron vulnerabilidades críticas de escalamiento de privilegios, acceso horizontal no autorizado ni exposición de credenciales. Los hallazgos de severidad media —vinculados a configuraciones endurecibles en producción— se mitigaron completamente en la misma versión evaluada, sin afectar la disponibilidad ni el rendimiento del sistema.

Trazabilidad objetivos–resultados

La Tabla 2 sintetiza la relación explícita entre cada objetivo específico del proyecto y los resultados empíricos obtenidos, mostrando que la evaluación del sistema no se limitó a describir funcionalidades, sino que contrastó de manera rigurosa cada componente técnico y pedagógico con evidencia verificable de desempeño.

Tabla 2. Trazabilidad entre objetivos específicos y resultados obtenidos.

Objetivo	Resultado asociado
Plataforma web funcional	99,1 % de éxito en 214 casos end-to-end
Interacción en tiempo real	MOS 4,3/5; latencia < 220 ms; disponibilidad de grabaciones: 99,2 %
Agendamiento flexible de sesiones	94 % de reservas completadas al primer intento; 11 % menos de ausentismo
Personalización del aprendizaje	18 % más de finalización de módulos; 12 % menos de tiempo de completitud
Evaluación continua automatizada	Mediana de procesamiento: 7,8 s; 23 % más de reintentos exitosos
Pagos integrados (incluye criptomonedas)	98,7 % de éxito; 1,6 s de latencia de autorización
Dashboard de progreso	p95 = 1,9 s; 76 % reporta mayor constancia y motivación
Seguridad criptográfica	TLS 1.3; AES-256; certificados con hash único; sin vulnerabilidades críticas
Accesibilidad y usabilidad	Conformidad WCAG 2.1 AA; SUS 86/100; NPS 72
Escalabilidad y rendimiento	p95 global = 2,1 s; p99 = 3,6 s; tasa de error < 0,2 %
Impacto educativo	+14–18 % retención; +21 % finalización; satisfacción 4,6/5

Discusión

Los resultados obtenidos permiten posicionar a P2P-Academy en un punto de inflexión respecto a los ecosistemas educativos digitales predominantes. La mayoría de las plataformas de enseñanza de



programación revisadas en la literatura depende de integraciones parciales entre herramientas de distintos proveedores, lo que fragmenta la trazabilidad del proceso formativo y transfiere al usuario o a la administración institucional una carga significativa de coordinación (Rivera, 2024). Además, la centralización de datos y transacciones en servidores únicos introduce riesgos adicionales de seguridad, disponibilidad y privacidad. Frente a ese escenario, la autenticación segura, el cifrado robusto, la integridad verificable de los certificados y la trazabilidad de las evidencias de aprendizaje no aparecen en P2P-Academy como características opcionales, sino como mecanismos estructurales que sostienen la confianza en todo el entorno peer-to-peer desde el diseño inicial (Guaña, 2023).

Los incrementos cuantificables en retención de estudiantes, finalización de módulos y reintentos exitosos en proyectos, junto con la reducción del tiempo de completitud, sugieren que P2P-Academy no solo optimiza flujos administrativos, sino que incide positivamente en variables educativas clave vinculadas con la permanencia y el avance formativo real. Este hallazgo es especialmente relevante en programación, donde el aprendizaje efectivo depende de ciclos frecuentes de prueba, error y corrección iterativa con acompañamiento pedagógico oportuno. Las métricas técnicas de latencia, jitter, MOS y estabilidad de sesiones confirman que la interacción síncrona peer-to-peer alcanzó un umbral técnico robusto para mentorías de alta calidad y resolución colaborativa de problemas complejos. Existe, por tanto, una correspondencia directa entre la premisa pedagógica inicial del proyecto y su soporte técnico de ejecución real en la plataforma.

La relación observada entre personalización adaptativa del aprendizaje y desempeño educativo se alinea con estudios recientes sobre aprendizaje adaptativo en educación superior (Aguirre, 2024). El comportamiento estable del sistema bajo 1 000 usuarios concurrentes, con degradación gradual y controlada hasta 1 500 usuarios en pruebas de estrés, indica que la arquitectura elegida —Next.js en el frontend y Django REST Framework con Django Channels en el backend— dispone de una base de escalabilidad adecuada para un escenario académico realista de tamaño mediano a grande. La alta tasa de éxito en las pruebas end-to-end y la estabilidad de los módulos de reserva de sesiones, emisión de certificados y procesamiento de pagos sugieren un nivel de madurez funcional superior al de muchos prototipos académicos descritos en la literatura, lo que otorga a P2P-Academy valor como referencia práctica de diseño para plataformas que requieran integrar procesos síncronos, transaccionales, analíticos y de seguridad criptográfica en una sola arquitectura.

La conformidad con WCAG 2.1 AA y las puntuaciones elevadas en auditorías automatizadas y manuales confirman que la accesibilidad universal fue un criterio fundamental de diseño desde el inicio, no un ajuste posterior, en línea con investigaciones recientes sobre accesibilidad en portales académicos (Cortés, 2024). La incorporación de verificación por hash único en certificados académicos y de elementos de arquitectura descentralizada para pagos con criptomonedas (Herrera, 2025) evidencia que el componente criptográfico es constitutivo de la arquitectura de confianza, diferenciándose de trabajos que no detallan de manera rigurosa la protección de la información de los usuarios (De la Rosa, 2021). No obstante, la seguridad de cualquier plataforma digital exige endurecimiento continuo, gestión segura de secretos por entorno de despliegue, monitoreo permanente y revisión periódica frente a nuevas superficies de ataque.

Entre las limitaciones del estudio, la duración acotada del piloto exploratorio —cuatro semanas— implica que los indicadores educativos capturan efectos de corto plazo que podrían estar influidos por factores contextuales propios del periodo de implementación. Variables como la finalización de módulos o la satisfacción general aportan evidencia relevante, pero no sustituyen evaluaciones longitudinales más



profundas sobre la transferencia real del aprendizaje, el desarrollo de la autonomía estudiantil o el desempeño profesional posterior. Asimismo, la validez externa se limita al contexto específico de enseñanza de programación en P2P-Academy, por lo que la generalización a otras disciplinas, escalas institucionales o perfiles estudiantiles requiere cautela y nuevas réplicas independientes con muestras más amplias y representativas.

Conclusiones

Los hallazgos presentados validan plenamente la hipótesis central del estudio: la integración holística de componentes técnicos y pedagógicos en P2P-Academy no solo optimiza la operación administrativa y técnica del sistema, sino que también incide de manera positiva y significativa en la eficacia formativa real, sin comprometer el rendimiento, la escalabilidad, la accesibilidad universal ni la seguridad de la información. El valor diferencial de la plataforma radica precisamente en ese enfoque holístico y en la centralidad explícita que otorga a la seguridad criptográfica y a los elementos de arquitectura descentralizada.

Al encadenar en un mismo flujo académico unificado el agendamiento flexible de sesiones, la mentoría síncrona con pizarra colaborativa, el seguimiento continuo y personalizado del progreso, la evaluación automática con retroalimentación inmediata, el procesamiento de pagos multicanal y la emisión de certificados verificables criptográficamente, P2P-Academy establece un ecosistema educativo completo y confiable. La plataforma demuestra con evidencia rigurosa que una arquitectura técnica cuidadosamente diseñada y alineada con principios pedagógicos sólidos —reforzada por mecanismos de seguridad criptográfica avanzados y elementos de descentralización que fortalecen la resiliencia— puede traducirse en mejoras medibles en la experiencia de aprendizaje, la eficiencia operativa y la confianza general de los usuarios.

Para trabajos futuros se recomienda realizar validaciones longitudinales más prolongadas, pruebas en escenarios de mayor escala y con poblaciones más diversas, y una profundización en la implementación completa de elementos de arquitectura descentralizada —incluyendo contratos inteligentes para certificaciones en blockchain— con el fin de consolidar la generalización de estos hallazgos y fortalecer la seguridad, la resiliencia operativa y la confianza en el ecosistema educativo digital de P2P-Academy.

Referencias

- Aguirre Chávez, J. F., Franco Gallegos, L. I., Robles Hernández, G. S., y Membrillo-Hernández, J. (2024). Aprendizaje adaptativo en educación superior: análisis de plataformas digitales y su impacto en el aprendizaje personalizado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 6599–6607. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14079
- Ardila-Muñoz, J. Y., y Molina-Sosa, D. A. (2022). Una aproximación investigativa para el uso de la gamificación en el aprendizaje de lenguajes de programación. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 18(2), 95–119. <https://doi.org/10.17151/rlee.2023.18.2.5>



- Atme Mamani, J., Ccoa Mamani, E., y Flores Turpo, A. (2025). La retroalimentación en los procesos de enseñanza y aprendizaje: revisión sistemática. *Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 9(39), 3228–3240. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v9i39.1114>
- Cortés-Fandiño, J. G. (2024). Análisis de accesibilidad y visibilidad para los portales académicos de las universidades de Cartagena. *Suma de Negocios*, 15(32), 29–52. <https://doi.org/10.14349/sumneg/2024.V15.N32.A4>
- Cruz Guimaraes, J. L., Llantoy Aroca, B. E., Guevara Martínez, M. J., Rivera Reátegui, A. W., y Minchola Vásquez, A. M. (2022). Competencias digitales de docentes en la educación superior universitaria: retos y perspectivas en el ámbito de la educación virtual. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 1536–1567. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1598
- De la Rosa Rodríguez, P. I. (2021). Aplicaciones educativas digitales y la falta de seguridad de los datos personales de sus usuarios. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23), e248. <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.980>
- Enríquez Vázquez, L., y Navarro Perales, J. (2024). Explorar los matices: aprendizaje personalizado y adaptativo en la educación digital. *Revista Digital Universitaria*, 25(1), 1–14. <https://doi.org/10.22201/cuaiead.16076079e.2024.25.1.10>
- González Díaz, I. (2025). La inteligencia artificial: un reto en el aprendizaje. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 19(3), 54–72.
- Guaña-Moya, J. (2023). La importancia de la seguridad informática en la educación digital: retos y soluciones. *RECIMUNDO: Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento*, 7(1), 609–616. [https://doi.org/10.26820/recimundo/7.\(1\).enero.2023.609-616](https://doi.org/10.26820/recimundo/7.(1).enero.2023.609-616)
- Hernández Yeja, A. (2023). Evaluación de la integración de ModSecurity con HAProxy para la seguridad de aplicaciones web. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 17(Especial), 71–88.
- Herrera Reyes, L. (2025). Aplicación de aprendizaje automático automatizado en la detección de fraude en pagos electrónicos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 19(2).
- Machado-García, N., y Herrera Reyes, L. (2024). Sistema de Intranet como apoyo al sistema de gestión integral de los programas de posgrado. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 18(3), 33–47.
- Mantecón Licea, S., Batista López, Y., y Raxnar Monteagudo, N. (2023). Procedimiento para la gestión de la seguridad informática en el despliegue de aplicaciones. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 12(Especial), 71–88.
- Merma-Molina, G., Gavilán-Martín, D., y Álvarez-Herrero, J. F. (2021). La comunicación en el aula universitaria en el contexto del COVID-19 a partir de la videoconferencia con Google Meet. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 197–220. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27519>





- Morales García, V. H., y Cruz Naranjo, S. G. (2025). Aprendizaje gamificado de programación en Python: diseño e implementación en segundo de bachillerato técnico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 3125–3148. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17130
- Orosco-Fabian, J. R. (2024). Ciberseguridad en educación superior: una revisión bibliométrica. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 18(2), e1933. <https://doi.org/10.19083/ridu.2024.1933>
- Rivera-Vargas, P., Raffaghelli, J., y Miño-Puigcercós, R. (2024). Plataformas digitales comerciales en la educación pública: desafíos emergentes sobre privacidad y protección de datos. *Edutec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (87), 28–42. <https://doi.org/10.21556/edutec.2024.87.3063>
- Sotelo-Núñez, A. C., Herrera Rojas, J. J., Herrera Rojas, M. Z., y López-Regalado, O. (2024). Competencia digital en estudiantes universitarios: una revisión sistemática. *Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 8(32), 847–861. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v8i32.1639>
- Valdez-Valdez, L. S., Sánchez-Uscamayta, J. O., y Lescano-López, G. S. (2023). Evaluación formativa: retroalimentación, estrategias e instrumentos. *Revista Educación*, 47(2), 1–24. <https://doi.org/10.15517/revedu.v47i2.53987>

