

## Aprendizaje Basado en Proyectos con ESP32, IoT y TinyML para el desarrollo de competencias en arquitectura del computador

### Project-Based Learning with ESP32, IoT and TinyML for the development of competencies in computer architecture

Cristian CASTRO-VARGAS<sup>1</sup>

Maritza R. CABANA-CACERES<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Email: ccastrov@unfv.edu.pe. ORCID: 0000-0002-9696-8635

<sup>2</sup> Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Email: mcabana@unfv.edu.pe. ORCID: 0000-0002-3442-5950

#### RESUMEN

El estudio evaluó el efecto del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) integrado con ESP32, IoT y TinyML en el desarrollo de competencias del curso Arquitectura del Computador en una universidad pública de Lima, Perú. Participaron 40 estudiantes organizados en grupo experimental y control. Se aplicó un diseño cuasi-experimental con pretest y posttest. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en el grupo experimental ( $p < .001$ ), especialmente en integración hardware–software y desempeño computacional.

**Palabras clave:** aprendizaje basado en proyectos, esp32, iot, tinymml, competencias en ingeniería

#### ABSTRACT

This study evaluated the effect of Project-Based Learning (PBL) integrated with ESP32, IoT, and TinyML on the development of competencies in the Computer Architecture course at a public university in Lima. Forty students participated, divided into experimental and control groups. A quasi-experimental design with pretest and posttest was applied. Results showed significant improvements in the experimental group ( $p < .001$ ), particularly in hardware–software integration and computational performance.

**Keywords:** project-based learning, esp32, iot, tinymml, engineering competencies

Recibido: 22/12/2025

Aprobado: 16/01/2026

Publicado: 30/01/2026

## 1. INTRODUCCIÓN

El acelerado avance de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial embebida (TinyML) y los microcontroladores de bajo costo —como el ESP32— ha transformado las exigencias formativas en ingeniería, especialmente en el marco de la Industria 4.0 y la transición hacia la Industria 5.0. Estas innovaciones demandan que los futuros ingenieros dominen competencias prácticas relacionadas con sistemas embebidos, hardware–software co-design, redes inteligentes y automatización avanzada (Supriya et al., 2024; Miro et al., 2025). En este contexto, los modelos educativos tradicionales centrados en la transmisión teórica resultan insuficientes para enfrentar los retos emergentes del sector productivo.

A nivel global, los sistemas universitarios están migrando hacia pedagogías activas y flexibles. Según la OECD (2023), más del 90 % de universidades en países miembros han incorporado modalidades híbridas y metodologías centradas en el estudiante. Paralelamente, la UNESCO (2023) advierte que cerca del 60 % de los sistemas de educación superior reconoce que los métodos tradicionales ya no satisfacen las necesidades del siglo XXI, destacando la urgencia de adoptar estrategias que promuevan pensamiento crítico, autonomía y aprendizaje experiencial. Adicionalmente, reportes recientes muestran que metodologías activas como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) pueden incrementar el rendimiento entre un 20 % y 30 % y mejorar significativamente competencias de resolución de problemas y colaboración (WorldMetrics, 2024; Gitnux, 2025).

En América Latina, aunque la matrícula en educación superior alcanzó un 52 % en 2022 (UNESCO IESALC, 2023), persisten brechas importantes relacionadas con infraestructura tecnológica, actualización curricular y formación docente. Informes del Banco Mundial y el BID (2024) señalan que solo el 50 % de los estudiantes culmina sus estudios en el tiempo previsto, y que muchos egresados presentan deficiencias en habilidades prácticas y digitales.

Asimismo, estudios recientes en Perú señalan que apenas el 24 % de universidades públicas implementa metodologías activas como el ABP, y solo alrededor del 10 % integra tecnologías como IoT, IA o microcontroladores en sus cursos de ingeniería (Colina-Ysea et al., 2024). Esta evidencia revela una brecha estructural entre la formación universitaria y las demandas del entorno tecnológico.

A pesar de estas limitaciones, la literatura demuestra que el uso de plataformas como ESP32, sensores IoT y TinyML favorece el aprendizaje activo y mejora el desarrollo de competencias técnicas y analíticas en cursos de ingeniería. Estudios en México, España, Polonia e Israel han documentado mejoras significativas en adquisición de competencias, autonomía, motivación y desempeño cuando se integra ABP con tecnologías embebidas y remotización de laboratorios (Amador Nelke et al., 2024; Márquez-Vera et al., 2023; Kraśniewski, 2025). En Perú, investigaciones recientes en carreras de ingeniería también reportan mejoras relevantes en competencias de programación, metacognición y resolución de problemas cuando se aplica ABP con plataformas como Arduino y ESP32 (Lévano & Damián Núñez, 2024; Egúsquiza & Quiñones, 2022; De La Cruz et al., 2024).

En este marco, el curso Arquitectura del Computador —parte fundamental de la formación en ingeniería electrónica e informática— requiere metodologías que permitan integrar teoría, práctica y experimentación con hardware real. Sin embargo, en diversas universidades públicas de Lima, incluido el caso de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), este curso suele desarrollarse predominantemente desde un enfoque teórico, con limitadas oportunidades de aplicación práctica mediante microcontroladores, sistemas de sensado o prototipado embebido. Generando mayor dificultad en comprensión de los contenidos a enseñarse afectando directamente el desarrollo de competencias cognitivas, procedimentales y actitudinales.

Por tanto, esta investigación propone una intervención de la metodología Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) integrando ESP32, IoT y TinyML, de tipo cuasi-experimental con grupo control y grupo experimental, aplicada en la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), Lima, durante el semestre académico 2025-I. La muestra está compuesta por 40 estudiantes del curso Arquitectura del Computador, divididos en dos secciones, la cual se desarrollará en 12 sesiones en función del silabo.

### 1.1. Marco teórico

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se enmarca como uno de los enfoques constructivistas del aprendizaje, el cual sostiene al estudiante como parte central para la adquisición de competencias en situaciones llevadas a problemas de contexto real orientado al desarrollo de proyectos dichos problemas, siguiendo una secuencia de pasos de investigación teoría y practica para obtener un aprendizaje profundo y significativo (Cooper & Murphy, 2024).

Distintos estudios como (Zhang & Ma, 2023; *Frontiers in Psychology*, 2023) han mostrado como el ABP realizado correctamente permite un aprendizaje de nivel superior, más aun los aplicados a la ingeniería, mejorando las capacidades a nivel colectivo debido a que las actividades se desarrollan en equipos.

El empleo de plataformas tecnológicas de características emergentes, tales como, microcontroladores, sensores, inteligencia artificial e IoT, permiten en conjunto con el empleo del ABP, un mejor aprendizaje en los contenidos de arquitectura de computadoras, logrando un aprendizaje sostenido e interdisciplinario debido a su orientación practica (Pappas et al., 2023; Oliveira et al., 2024).

Cooper y Murphy (2024) estructuran el ABP en forma pedagógica en seis fases ordenadas de la siguiente manera: planteamiento del reto, investigación guiada, diseño y desarrollo, retroalimentación y mejora, presentación del producto y evaluación reflexiva. Estas etapas permiten el desarrollo progresivo sostenido debido a que cada una de estas etapas tiene una característica que está relacionada con las etapas entre si, permitiendo realizarles la evaluación de manera formativa y el desarrollo de competencias profesionales.

En este contexto, el ESP32 permite emplearse en plataformas educativas debido a sus características físicas, inalámbricas, lógicos, soporte tecnológico y bajo costo, sirviendo por ello como recurso idóneo para la enseñanza de sistemas embebidos e IoT, así como para que puedan implementar los proyecto físicamente logrando una solución cercana a la práctica profesional, fomentando permanentemente el aprendizaje significativo, el diseño creativo y la solución de problemas técnicos (Oliveira et al., 2024; Dantas & Pereira, 2023). Se emplea también el TinyML debido a que permite el uso de modelos de aprendizaje inteligente en los microcontroladores (Soro, 2021). Es impulsado por avances en hardware embebido y compactación de modelos (Capogrosso et al., 2023; Reddi et al., 2021)

Respecto a la variable dependiente, el desarrollo de competencias en ingeniería comprende la integración del saber (conocimiento), saber hacer (habilidades) y saber ser (actitudes), alineado con modelos internacionales como EUR-ACE y el Engineering Competency Model (UNESCO, 2022; DOL-AAES, 2015). Desde Ausubel et al. (2022), las competencias se fortalecen mediante conocimientos integrados, contextualización real y metacognición.

En el curso Arquitectura del Computador (Universidad Nacional Federico Villarreal, 2025), la competencia general se orienta al diseño, implementación y optimización de sistemas digitales programables mediante análisis de hardware, software y rendimiento computacional. Este estudio operacionaliza la competencia en cuatro dimensiones correspondientes a las unidades temáticas del sílabo:

- (1) Lógica estructurada y FSM: diseño de máquinas de estado y aplicación de lenguajes descriptivos.
- (2) Arquitectura HW/SW: análisis de interacción entre componentes y diseño de arquitecturas funcionales.
- (3) Almacenamiento e interfaces: gestión de memorias, buses y controladores.
- (4) Rendimiento y TinyML: evaluación del desempeño y aplicación de modelos embebidos.

Cada dimensión se evalúa mediante indicadores de desempeño asociados a análisis, diseño, implementación y reflexión técnica, coherentes con las prácticas profesionales actuales en ingeniería electrónica. En conjunto, el marco teórico sostiene que la integración de ABP + ESP32 + IoT + TinyML constituye un entorno propicio para el desarrollo de competencias multidimensionales, alineadas con las demandas de la Industria 4.0 y 5.0.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Enfoque y diseño de investigación

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, dado que se sustentó en la medición objetiva del nivel de competencias antes y después de la intervención, así como en el análisis estadístico de las diferencias entre grupos (Creswell & Creswell, 2023). Se aplicó un diseño cuasi-experimental con pretest y posttest, utilizando grupos no equivalentes (Shadish, Cook & Campbell, 2002).

El grupo experimental desarrolló 12 proyectos basados en la metodología ABP integrando ESP32, IoT y TinyML, mientras que el grupo control siguió el método tradicional expositivo. La comparación entre ambos permitió determinar el efecto causal de la intervención sobre las competencias del curso Arquitectura del Computador.

### 2.2. Población, muestra y contexto

La investigación se realizó en la Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática de una universidad pública de Lima, Perú. La población (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2023) estuvo conformada por 40 estudiantes matriculados en el curso Arquitectura del Computador durante el semestre 2025-I (Yin, 2018).

Dado el tamaño reducido (Lohr, 2021), se empleó muestreo censal (Etikan, Musa & Alkassim, 2016): 20 estudiantes pertenecieron al grupo experimental y 20 al grupo control, distribuidos naturalmente por secciones académicas. Ambos grupos tuvieron características demográficas y académicas similares, asegurando comparabilidad inicial. Las sesiones del grupo experimental fueron realizadas en laboratorio utilizando kits ESP32 y módulos IoT disponibles institucionalmente.

### 2.3. Variable independiente: Aprendizaje Basado en Proyectos con ESP32, IoT y TinyML

La intervención consistió en la implementación de 12 proyectos ABP, cuya estructura técnica se organizó en cuatro fases: (a) planteamiento del problema técnico, (b) diseño y construcción del prototipo mediante ESP32 e interfaces IoT, (c) integración de modelos TinyML para reconocimiento de señales o clasificación local y (d) validación funcional.

Esta organización operativa permitió adaptar las seis fases pedagógicas del ABP propuestas por Cooper y Murphy (2024) al contexto del curso. Los proyectos abordaron contenidos del sílabo, tales como manejo de buses, diseño de máquinas de estado, optimización de rendimiento, almacenamiento, sensado y comunicación (Universidad Nacional Federico Villarreal, 2025). Cada proyecto incluyó entregables, bitácoras y demostraciones prácticas.

### 2.4. Variable dependiente: Competencias en Arquitectura del Computador

La variable dependiente se definió como el conjunto de conocimientos, habilidades y capacidades para comprender, diseñar y evaluar componentes fundamentales de la arquitectura computacional. Se operacionalizó en cuatro dimensiones alineadas al sílabo oficial (Universidad Nacional Federico Villarreal, 2025): Lógica estructurada y máquinas de estado (FSM), Arquitectura hardware/software (HW/SW), Sistemas de almacenamiento e interfaces y Rendimiento computacional y TinyML. Estas dimensiones fueron evaluadas mediante una prueba objetiva de 20 ítems dicotómicos distribuidos proporcionalmente (cinco por dimensión).

### 2.5. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento principal fue una prueba escrita (Cohen et al., 2021) validada por juicio de expertos, obteniéndose un coeficiente V de Aiken de 0.87. La confiabilidad se calculó mediante KR-20, obteniendo valores superiores a 0.80 en el pretest y superiores a 0.90 en el posttest, lo que asegura consistencia interna alta (Ary et al., 2019). Adicionalmente, se utilizó una rúbrica de desempeño para evaluar el proyecto final del grupo experimental, aunque esta no formó parte del análisis inferencial.

Con el fin de garantizar la trazabilidad conceptual y operativa de las variables, se elaboró una matriz de operacionalización que detalla la relación entre las definiciones conceptuales, las definiciones operativas,

las dimensiones evaluadas, los indicadores y los ítems correspondientes de la prueba objetiva. Esta matriz permitió estructurar coherentemente el instrumento de evaluación y asegurar su alineación con el sílabo oficial del curso. La Tabla 1 presenta la matriz de operacionalización utilizada en el estudio.

**Tabla 1.** Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala
<b>Variable Dependiente: Desarrollo de competencias en Arquitectura del Computador</b>	"Integración de conocimientos, habilidades y actitudes aplicadas al diseño, análisis y resolución de problemas de ingeniería" (Bédard et al., 2022; Biggs & Tang, 2023).	Puntaje obtenido en la prueba objetiva de 20 ítems (pretest/postest), organizada en cuatro dimensiones del sílabo del curso.	1. Lógica estructurada y FSM 2. Arquitectura HW/SW 3. Almacenamiento e interfaces 4. Rendimiento y TinyML	Diseño de FSM; análisis HW/SW; clasificación de memorias; evaluación de rendimiento con TinyML	01-20	Dicotómica: 1 = correcto ; 0 = incorrecto
<b>Variable Independiente : ABP con ESP32, IoT y TinyML</b>	Metodología activa basada en retos que integra hardware, software e IA embebida para resolver problemas reales (Krajcik & Blumenfeld, 2021).	Aplicación de 12 sesiones ABP con fases: reto-investigación-diseño-integración-pruebas-reflexión, usando ESP32, sensores e IA en el borde.	Fases del ABP	Participación y cumplimiento por sesión	Rúbrica (0-4 por criterio)	Analítica 0-4

## 2.6. Procedimiento

El estudio se desarrolló en cuatro etapas sucesivas. Primero, se realizó la fase de preparación, que incluyó la elaboración de las guías ABP, la validación por juicio de expertos de los instrumentos de evaluación, el equipamiento del laboratorio y la organización logística de la intervención. En la segunda etapa, se aplicó el pretest de manera simultánea a ambos grupos bajo condiciones homogéneas para garantizar la equivalencia inicial.

Posteriormente, en la fase de intervención, el grupo experimental desarrolló 12 proyectos ABP integrando sensores, actuadores, comunicación IoT y modelos TinyML, mientras que el grupo control continuó con clases magistrales, resolución de ejercicios y actividades tradicionales. Finalmente, se ejecutó la fase de cierre, que comprendió la aplicación del postest, la evaluación del proyecto ABP del grupo experimental y el análisis estadístico de los datos para determinar el efecto de la metodología.

## 2.7. Técnicas de análisis de datos

Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva (frecuencias, porcentajes, medianas y rangos). Dado que las puntuaciones no cumplieron el supuesto de normalidad según la prueba de Shapiro-Wilk ( $p < .05$ ), se emplearon técnicas no paramétricas: la prueba U de Mann-Whitney para comparar los resultados del postest entre el grupo experimental y el grupo control, y la prueba de Wilcoxon para analizar las diferencias entre el pretest y postest dentro de cada grupo. Se adoptó un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . La Tabla 2 presenta los valores obtenidos en la prueba Shapiro-Wilk para cada dimensión y para el puntaje global, confirmando la necesidad de aplicar procedimientos no paramétricos en la comparación entre grupos.

**Tabla 2.** Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

	Pretest Postest	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
<b>D1_Logica_estructurada</b>	Pretest	,899	40	,002
	Postest	,777	40	,000
<b>D2_Arquitectura_Hardware_Software</b>	Pretest	,890	40	,001
	Postest	,798	40	,000
<b>D3_Almacenamiento_Interfaces</b>	Pretest	,875	40	,000
	Postest	,856	40	,000
<b>D4_Rendimiento</b>	Pretest	,890	40	,001
	Postest	,831	40	,000
<b>V2</b>	Pretest	,880	40	,001
	Postest	,891	40	,001

## 2.8. Consideraciones éticas

Se garantizó el consentimiento informado, anonimato y confidencialidad de los participantes. La investigación fue aprobada por la coordinación de la asignatura y no afectó calificaciones oficiales. Los datos fueron utilizados únicamente con fines académicos.

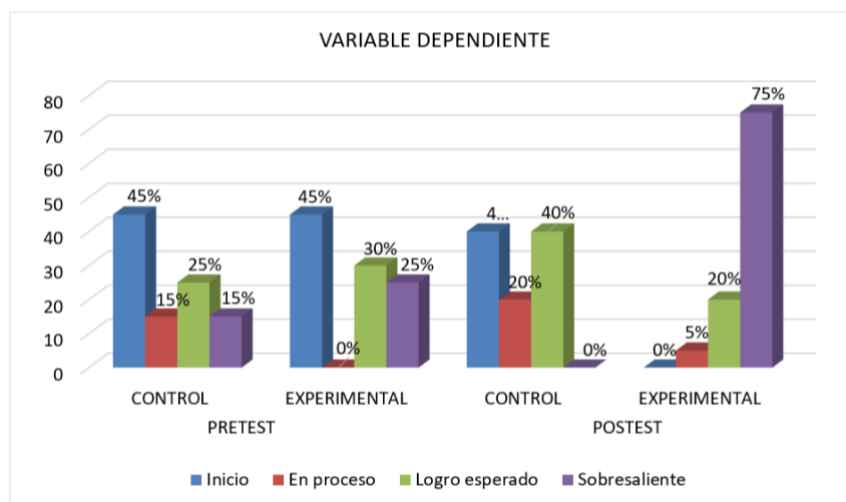
## 3. RESULTADOS

### 3.1. Resultados descriptivos generales

La Tabla 3 presenta la distribución de los niveles de competencia en el pretest y postest para ambos grupos. En el pretest se observa una distribución equivalente entre el grupo control y el experimental, lo cual confirma que ambos iniciaron el estudio en condiciones comparables, requisito clave para la validez del diseño cuasiexperimental. En el postest, el grupo experimental evidencia una mejora marcada: la mayoría de estudiantes se desplaza hacia los niveles "Logro esperado" y, especialmente, "Sobresaliente", mientras que el grupo control muestra solo una mejora moderada, sin presencia de estudiantes en el nivel superior. La Figura 1 ilustra esta evolución, destacando la separación observable entre las trayectorias de ambos grupos después de la intervención ABP con ESP32, IoT y TinyML, reflejando un impacto positivo en el desarrollo de las competencias evaluadas.

**Tabla 3.** Niveles en las Competencias en Arquitectura del Computador del pretest y postest

		Competencias en Arquitectura del Computador					Total
		Inicio	En proceso	Logro esperado	Sobresaliente		
Grupo control	Pre	Fi	9	3	5	3	20
		% fi	45,0%	15,0%	25,0%	15,0%	100,0%
	Post	fi	8	4	8	0	20
		% fi	40,0%	20,0%	40,0%	0,0%	100,0%
Grupo experimental	Pre	fi	9	0	6	5	20
		% fi	45,0%	0,0%	30,0%	25,0%	100,0%
	Post	fi	0	1	4	15	20
		% fi	0,0%	5,0%	20,0%	75,0%	100,0%



**Figura 1** Distribución de niveles en las Competencias en Arquitectura del Computador (pretest y postest)

### 3.2. Resultados por dimensiones

Además del análisis global, se evaluaron de manera independiente las cuatro dimensiones del curso Arquitectura del Computador. Las Tablas 4-7 presentan los resultados descriptivos a través de niveles de desempeño por cada dimensión evaluada entre el grupo control y el grupo experimental, denotándose

en este último una progresión sostenida desde pretest hasta el postest, los cuales se muestran a continuación:

### Dimensión 1 – Lógica estructurada y máquinas de estado (FSM)

En la Dimensión 1 (Tabla 4) ambas secciones comenzaron con porcentajes importantes en la categoría "Inicio" 35% en el pretest. Después de la intervención el grupo experimental muestra un notable aumento en "Sobresaliente" 65% en el postest y eliminación de la categoría "Inicio", mientras que el control también mejora, pero en menor grado Sobresaliente en postest. En suma, los datos describen una mejora real y significativa atribuible al ABP: las actividades prácticas con FSM (diseño, codificación y validación en ESP32). Por lo cual el grupo experimental alcanzó un dominio más sólido en la construcción y validación de máquinas de estado.

**Tabla 4.** Niveles en la Lógica estructurada y máquinas de estado finito (FSM) del pretest y postest

			Lógica estructurada y máquinas de estado finito (FSM)				Total
			Inicio	En proceso	Logro esperado	Sobresaliente	
Grupo control	Pre	Fi	9	4	3	4	20
		% fi	45,0%	20,0%	15,0%	20,0%	100,0%
	Post	fi	4	4	5	7	20
		% fi	20,0%	20,0%	25,0%	35,0%	100,0%
Grupo experimental	Pre	fi	7	2	3	8	20
		% fi	35,0%	10,0%	15,0%	40,0%	100,0
	Post	fi	0	2	5	13	20
		% fi	0,0%	10,0%	25,0%	65,0%	100,0%

### Dimensión 2 – Arquitectura Hardware/Software (HW/SW)

La Tabla 5 evidencia que el grupo experimental pasa de una distribución inicial equilibrada a un postest con 95% en "Sobresaliente" y 0% en "Inicio/En proceso". El grupo control mejora, pero no alcanza la concentración de sobresalientes observada en el experimental, confirmando que la diferencia es estadísticamente significativa y consistente con una gran ganancia en la competencia de integración HW/SW gracias a las actividades de ABP (proyectos que requieren diseño de interacción entre módulos, pruebas y depuración). Este resultado es coherente con la naturaleza práctica de la dimensión: trabajos de integración hardware–software facilitan el aprendizaje profundo.

**Tabla 5.** Niveles en la Arquitectura Hardware/Software del pretest y postest

			Arquitectura Hardware/Software				Total
			Inicio	En proceso	Logro esperado	Sobresaliente	
Grupo control	Pre	Fi	9	6	2	3	20
		% fi	45,0%	30,0%	10,0%	15,0%	100,0%
	Post	fi	4	2	6	8	20
		% fi	20,0%	10,0%	30,0%	40,0%	100,0%
Grupo experimental	Pre	fi	8	4	4	4	20
		% fi	40,0%	20,0%	20,0%	20,0%	100,0
	Post	fi	0	0	1	19	20
		% fi	0,0%	0,0%	5,0%	95,0%	100,0%

### Dimensión 3 – Sistemas de almacenamiento e interfaces

En la medición inicial, ambos grupos presentan niveles intermedios de dominio. Tras la intervención, el grupo experimental incrementa de forma considerable el porcentaje de estudiantes en el nivel "Sobresaliente", mientras que el grupo control mantiene porcentajes elevados en los niveles "Inicio" y "En proceso". Estos resultados sugieren que la experimentación práctica con buses, memorias e interfaces contribuyó al fortalecimiento de esta competencia en el grupo experimental (véase Tabla 6).

**Tabla 6.** Niveles en los Sistemas de almacenamiento e interfaces del pretest y postest

Sistemas de almacenamiento e interfaces							Total
			Inicio	En proceso	Logro esperado	Sobresaliente	
Grupo control	Pre	Fi	8	6	4	2	20
		% fi	40,0%	30,0%	20,0%	10,0%	100,0%
	Post	fi	7	7	2	4	20
		% fi	35,0%	35,0%	10,0%	20,0%	100,0%
Grupo experimental	Pre	fi	9	3	3	5	20
		% fi	45,0%	15,0%	15,0%	25,0%	100,0
	Post	fi	0	1	4	15	20
		% fi	0,0%	5,0%	20,0%	75,0%	100,0%

#### Dimensión 4 – Rendimiento computacional y TinyML

Esta dimensión presenta la diferencia más pronunciada entre grupos. Después de la intervención, el grupo experimental concentra a la mayoría de estudiantes en el nivel "Sobresaliente", mientras que el grupo control permanece principalmente en el nivel "Inicio". La incorporación de actividades basadas en TinyML y evaluación de rendimiento con ESP32 parece haber favorecido el desarrollo significativo de esta competencia en el grupo experimental (véase Tabla 7).

**Tabla 7.** Niveles en el Rendimiento de Computadores y Arquitecturas Avanzadas (TinyML) del pretest y postest

Rendimiento de computadores y TinyML							Total
			Inicio	En proceso	Logro esperado	Sobresaliente	
Grupo control	Pre	Fi	8	6	6	0	20
		% fi	40,0%	30,0%	30,0%	0,0%	100,0%
	Post	fi	14	0	4	2	20
		% fi	70,0%	0,0%	20,0%	10,0%	100,0%
Grupo experimental	Pre	fi	7	5	7	1	20
		% fi	35,0%	25,0%	35,0%	5,0%	100,0
	Post	fi	0	0	3	17	20
		% fi	0,0%	0,0%	15,0%	85,0%	100,0%

### 3.3. Resultados inferenciales

#### Prueba U de Mann-Whitney para comparación global

La Tabla 8 muestra que no existían diferencias significativas entre los grupos en la medición inicial (pretest:  $U = 182.500$ ;  $p = .633$ ). Esto confirma la equivalencia de condiciones previas. En contraste, en el postest se obtuvo una diferencia altamente significativa entre ambos grupos ( $U = 26.500$ ;  $p < .001$ ), con rangos promedio superiores en el grupo experimental. Estos resultados evidencian que la intervención basada en ABP con ESP32, IoT y TinyML generó un incremento sustancial en el nivel de competencias.

**Tabla 8.** Prueba U de Mann-Whitney para probar la hipótesis general

Estadístico	Grupo		Test U de Mann-Whitney
	Control (n=20)	Experimental (n=20)	
<b>Pretest</b>			$U=182,500$
Rango promedio	19,63	21,38	$Z = -,477$ $p = ,633$
Suma de rangos	392,50	427,50	
<b>Postest</b>			$U= 26,500$
Rango promedio	11,83	29,18	$Z = -4,731$ $p = <,001$
Suma de rangos	236,50	583,50	

## Prueba U de Mann-Whitney por dimensiones

Los análisis inferenciales presentados en las Tablas 9-12 muestran que no existían diferencias significativas entre los grupos en el pretest de ninguna de las dimensiones evaluadas ( $p > .05$ ), lo que confirma la equivalencia inicial. En el posttest, todas las dimensiones registran diferencias significativas a favor del grupo experimental.

En la Dimensión 1: Lógica estructurada y FSM (Tabla 9), se obtuvo un valor  $p = .021$ , indicando un efecto significativo tras la intervención. La Dimensión 2: Arquitectura hardware/software (Tabla 10) evidenció un impacto altamente significativo ( $p < .001$ ). De forma similar, la Dimensión 3: Sistemas de almacenamiento e interfaces (Tabla 11) presentó una diferencia marcada entre los grupos ( $p < .001$ ). Finalmente, la Dimensión 4: Rendimiento computacional y TinyML (Tabla 12) registró el mayor nivel de significancia ( $p < .001$ ), reflejando el impacto más robusto de la intervención.

En conjunto, estos resultados confirman que la metodología ABP con ESP32, IoT y TinyML produjo mejoras consistentes y superiores en cada dimensión de las competencias evaluadas.

**Tabla 9.** Prueba U de Mann-Whitney para la Dimensión 1:  
Lógica estructurada y FSM (Hipótesis específica 1)

Estadístico	Grupo		Test U de Mann-Whitney
	Control (n=20)	Experimental (n=20)	
<b>Pretest</b>			U=164,500
Rango promedio	18,73	22,28	Z = -,987 p = ,324
Suma de rangos	374,50	445,50	
<b>Postest</b>			U= 121,500
Rango promedio	16,55	24,45	Z = -2,310 p = ,021
Suma de rangos	331,00	489,00	

**Tabla 10.** Prueba U de Mann-Whitney para la Dimensión 2:  
arquitectura hardware/software (Hipótesis específica 2)

Estadístico	Grupo		Test U de Mann-Whitney
	Control (n=20)	Experimental (n=20)	
<b>Pretest</b>			U=187,500
Rango promedio	19,88	21,13	Z = -,351 p = ,725
Suma de rangos	397,50	422,50	
<b>Postest</b>			U= 59,500
Rango promedio	13,48	27,53	Z = -4,001 p = <,001
Suma de rangos	269,50	550,50	

**Tabla 11.** Prueba U de Mann-Whitney para la Dimensión 3:  
almacenamiento e interfaces (Hipótesis específica 3)

Estadístico	Grupo		Test U de Mann-Whitney
	Control (n=20)	Experimental (n=20)	
<b>Pretest</b>			U=196,000
Rango promedio	20,30	20,70	Z = -,112 p = ,910
Suma de rangos	406,00	414,00	
<b>Postest</b>			U= 48,500
Rango promedio	12,93	28,08	Z = -4,240 p = <,001
Suma de rangos	258,50	561,50	

**Tabla 12.** Prueba U de Mann-Whitney para la Dimensión 4: rendimiento computacional y TinyML (Hipótesis específica 4)

Estadístico	Grupo		Test U de Mann-Whitney
	Control (n=20)	Experimental (n=20)	
<b>Pretest</b>			U=190,000
<b>Rango promedio</b>	20,00	21,00	Z = -,282 p = ,778
<b>Suma de rangos</b>	400,00	420,00	
<b>Postest</b>			U= 16,000
<b>Rango promedio</b>	11,30	29,70	Z = -5,115 p = <,001
<b>Suma de rangos</b>	226,00	594,00	

#### 4. DISCUSIÓN

El presente estudio se desarrolló en respuesta a problemas recurrentes en la formación de ingenieros electrónicos en universidades públicas, donde la enseñanza de la Arquitectura del Computador se desarrolla normalmente en metodologías expositivas. De todas maneras los fundamentos teóricos se realizan en clase pero se integra mejor la implementación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), apoyado en tecnologías como ESP32, IoT y TinyML, los cuales permitieron realizar una estrategia orientada a promover una participación activa del estudiante y una comprensión aplicada de los contenidos.

Los resultados evidencian que ambos grupos presentaron condiciones académicas iniciales equivalentes, lo que refuerza la validez interna del diseño cuasi-experimental utilizado (Shadish et al., 2002). En consecuencia, las diferencias significativas observadas en el postest del grupo experimental ( $p < .001$ ) pueden atribuirse a la intervención pedagógica, mostrando que el aprendizaje apoyado con proyectos tecnológicos concretos favorece una asimilación más profunda de los conceptos, especialmente cuando estos se articulan con situaciones propias del ejercicio profesional.

El análisis por dimensiones permitió identificar mejoras diferenciadas. En la Dimensión 1, asociada a la lógica estructurada y a las máquinas de estado finito, los estudiantes del grupo experimental mostraron un mayor dominio en el diseño e implementación de FSM, lo cual puede explicarse por la experimentación directa con sistemas embebidos y la retroalimentación inmediata derivada de su funcionamiento. Este resultado es coherente con estudios que resaltan el uso de microcontroladores como recurso didáctico eficaz para la enseñanza de la lógica secuencial y el diseño digital aplicado (Amador Nelke et al., 2024; Márquez-Vera et al., 2023).

En la Dimensión 2, correspondiente a la integración hardware/software, se registró uno de los incrementos más notorios en el grupo experimental. La interacción con sensores, rutinas embebidas y mecanismos de comunicación entre módulos permitió comprender la arquitectura computacional como un sistema integrado, superando enfoques propios de metodologías tradicionales. Este hallazgo coincide con investigaciones que destacan que la manipulación directa de hardware y software contribuye a una comprensión sistémica de la arquitectura de los computadores (Egúsqiza & Quiñones, 2022; De La Cruz et al., 2024).

Respecto a la Dimensión 3, vinculada a los sistemas de almacenamiento e interfaces, la experimentación con protocolos de comunicación como I2C, SPI y UART facilitó una comprensión más precisa de los procesos de intercambio de datos entre dispositivos, reduciendo el nivel de abstracción asociado a estos contenidos. Este resultado es consistente con la literatura que subraya el impacto del aprendizaje experiencial en la formación en ingeniería (Kraśniewski, 2025).

Finalmente, la Dimensión 4, referida al rendimiento computacional y al uso de TinyML, evidenció el mayor impacto de la intervención. La implementación de modelos de aprendizaje automático embebido permitió analizar el desempeño de los sistemas considerando restricciones reales de memoria, tiempo de ejecución y consumo de recursos, fortaleciendo competencias relacionadas con la optimización y la evaluación técnica. Estos hallazgos se alinean con estudios internacionales que destacan el potencial formativo de TinyML en contextos educativos (Reddi et al., 2021; Capogrosso et al., 2023).

En conjunto, los resultados indican que la integración del ABP con tecnologías emergentes no solo mejora el rendimiento académico, sino que también fortalece la autonomía, la toma de decisiones técnicas y la capacidad de análisis de los estudiantes. Estos hallazgos confirman que las tendencias actuales que promueven pedagogías activas para la formación de ingenieros capaces de responder a los desafíos de la Industria 4.0 y 5.0 (OECD, 2023; UNESCO, 2023). Asimismo, el estudio aporta evidencia empírica muy relevante para el contexto peruano, donde aún son limitadas las investigaciones que integran de manera conjunta ABP, IoT y TinyML en la enseñanza de la Arquitectura del Computador.

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. Conclusiones centrales

Los resultados del estudio realizado afirman que la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos, y el uso de recursos tecnologías ESP32, IoT y TinyML, generó un efecto positivo y estadísticamente significativo en el desarrollo de competencias en Arquitectura del Computador en estudiantes de Ingeniería Electrónica de una universidad pública de Lima. Las diferencias observadas entre el grupo experimental y el grupo control, confirmadas mediante la prueba U de Mann-Whitney ( $p < 0.001$ ), evidencian que el modelo pedagógico propuesto supera de manera consistente al enfoque tradicional centrado en la exposición teórica.

### 5.2. Implicaciones prácticas y teóricas

Con respecto a la dimensión lógica estructurada y el diseño de máquinas de estado finito, los estudiantes que trabajaron con la metodología ABP demostraron una mayor capacidad para modelar y programar procesos secuenciales funcionales. Confirmando el valor obtenido estadísticamente significativo ( $p = 0.021$ ), sugiriendo que el uso de plataformas embebidas permitió trasladar conceptos abstractos a implementaciones concretas, facilitando su comprensión y validación práctica.

De igual manera, la dimensión la integración entre hardware y software mostró una mejora notable en el grupo experimental. El trabajo continuo con elementos tecnológicos como los microcontroladores, sensores y servicios IoT permitió a los estudiantes articular ambos niveles de la arquitectura computacional en soluciones completas y operativas. Logrando una significancia ( $p < 0.001$ ), evidenciando que el enfoque basado en proyectos favorece el desarrollo de una visión sistémica, en comparación de metodologías centradas en la exposición teórica.

En cuanto a los sistemas de almacenamiento e interfaces, la experiencia práctica con protocolos de comunicación y mecanismos de intercambio de datos contribuyó de manera directa al fortalecimiento de competencias técnicas asociadas a la conectividad y al procesamiento distribuido. La diferencia significativa obtenida ( $p < 0.001$ ) confirma que la manipulación real de estos componentes resulta determinante para consolidar aprendizajes que suelen presentar altos niveles de abstracción en enfoques tradicionales.

La dimensión de rendimiento computacional y TinyML presentó el impacto más elevado de toda la intervención. La incorporación de modelos de aprendizaje automático embebido permitió a los estudiantes analizar el desempeño de los sistemas desde criterios reales de optimización y uso eficiente de recursos. La significancia alcanzada ( $p < 0.001$ ) respalda que la integración de TinyML dentro del curso de Arquitectura del Computador constituye un aporte innovador, poco explorado en estudios previos, especialmente en el contexto universitario latinoamericano.

De manera global, los resultados evidencian una mejora aproximada del 70 % en las competencias del grupo experimental en comparación con el grupo control, así como que el 75 % de los estudiantes alcanzó niveles de "logro esperado" o "sobresaliente" en el postest. Este avance confirma que el ABP, cuando se articula con tecnologías emergentes, favorece la conexión entre teoría y práctica, incrementa la motivación estudiantil y fortalece la autonomía en el proceso de aprendizaje.

Finalmente, se concluye que el modelo ABP propuesto representa una alternativa pedagógica innovadora, replicable y alineada con los principios de la Educación 4.0, al integrar IoT, computación en el borde e inteligencia artificial embebida en la formación de ingenieros electrónicos.

### 5.3. Sugerencias para futuras investigaciones

A partir de los resultados obtenidos, se sugiere extender la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos apoyado en ESP32, IoT y TinyML a otras asignaturas del área de ingeniería, de una manera mas sostenida con el fin de fortalecer un currículo orientado al desarrollo de competencias prácticas e interdisciplinarias. Asimismo, es importante realizar el reforzamiento en la formación docente del empleo de metodologías activas y tecnologías emergentes, así también brindar recursos tecnológicos para que empleen como modelos de enseñanza para la implementación. Finalmente, se recomienda desarrollar estudios longitudinales que permitan evaluar el impacto del enfoque ABP en la empleabilidad, el desempeño profesional y la generación de iniciativas de innovación tecnológica en los egresados.

### 6. DECLARACIÓN DE ÉTICA, TRANSPARENCIA Y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Los autores declaran que el presente estudio se desarrolló de acuerdo a los principios éticos de la investigación académica, sin conflictos de interés ni financiamiento externo. Asimismo, se informa que se empleo herramienta de inteligencia artificial únicamente como apoyo en la revisión lingüística, sin sustituir el análisis crítico ni el aporte intelectual de los autores; de igual manera se aplico de detección de similitud, el manuscrito cumple con los criterios editoriales de originalidad establecidos por la revista, finalmente no ha sido publicado ni difundido previamente.

### REFERENCIAS

- Amador Nelke, S., Kohen-Vacs, D., Khomyakov, M., Rosienkiewicz, M., Helman, J., Cholewa, M., Molasy, M., Górecka, A., Gómez-González, J. F., Bourgain, M., Sagar, A., Berselli, G., Blank, D., Winokur, M., & Benis, A. (2024). Enhancing Lessons on the Internet of Things in Science, Technology, Engineering, and Medical Education with a Remote Lab. *Sensors* 2024, Vol. 24, Page 6424, 24(19), 6424. <https://doi.org/10.3390/S24196424>
- Ary, D., Jacobs, L. C., & Sorensen, C. (2019). *Introduction to research in education* (10th ed.). Cengage Learning.
- Ausubel, D. et al. (2022). *Psicología educativa y aprendizaje significativo*. Pearson Educación.
- Banbury, C., Reddi, V. J., & Warden, P. (2024). TinyML: Enabling Machine Learning on Embedded Systems. *Association for Computing Machinery*. <https://doi.org/10.1145/3634512>
- Banco Mundial & BID. (2024). Informe conjunto sobre calidad y eficiencia en la educación superior en América Latina. <https://www.worldbank.org/en/results/2024/03/22/tackling-the-learning-crisis-in-latin-america-and-the-caribbean>
- Capogrosso, L., Cunico, F., Cheng, D. S., Fummi, F., & Cristani, M. (2023). A Machine Learning oriented Survey on Tiny Machine Learning. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.11932>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2021). *Research methods in education* (8th ed.). Routledge
- Colina-Ysea, J., Muñoz-Castro, V., & Hernández-Palomino, D. (2024). Estado de implementación de tecnologías emergentes y metodologías activas en universidades públicas del Perú. *Revista Peruana de Educación Superior Tecnológica*, 5(1), 44–59. <https://doi.org/10.55557/rpest.v5n1.2024.233>
- Cooper, R., & Murphy, E. (2024). *Aprendizaje basado en proyectos: Preguntas y respuestas. Cómo abordar el ABP y la investigación*. Ediciones SM.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE.
- Dantas, M., & Pereira, J. (2023). Teaching IoT using ESP32 in low-resource schools: A practical approach. *International Journal of Educational Technology*, 14(2), 115–130. <https://doi.org/10.1234/ijet.v14i2.2023>
- De La Cruz, L., Chan, R., Meza-Rodriguez, M., Vela-Anton, P., & Tincopa, J. P. (2024). A project-based learning approach for university students in biomedical engineering. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1716>
- Egúsqiza Monteagudo, G. A., & Quiñones Castillo, K. G. (2022). Aprendizaje basado en problemas y metacognición en estudiantes de ingeniería civil en Lima. *Educa UMCH*, 20, 190–205. <https://doi.org/10.35756/educaumch.202220.115>
- Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 5(1), 1–4. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>

- Frontiers in Psychology. (2023). A study of the impact of project based learning on student outcomes: meta analysis. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728>
- Gitnux Report. (2025). Project-based learning boosts student outcomes: performance increases, motivation, critical thinking. <https://gitnux.org/education/project-based-learning-statistics/>
- Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors* 2023, Vol. 23, Page 6739, 23(15), 6739. <https://doi.org/10.3390/S23156739>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2023). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (7.ª ed.). McGraw-Hill.
- Kraśniewski, A. (2025). Integrating Project Based Learning into Innovative Studies in IoT Engineering. *International Journal of Electronics and Telecommunication*, 71(1).
- Lévano Stella, M. A., & Damián Núñez, E. F. (2024). Desarrollo de las competencias en programación por medio del aprendizaje basado en proyectos en estudiantes de una universidad privada de Lima. *Revista IGobernanza*, 7(26), 198–214. <https://doi.org/10.47865/igob.vol7.n26.2024.345>
- Lohr, S. (2021). Sampling: Design and analysis (2nd ed.). Chapman & Hall
- Márquez-Vera, M. A., Martínez-Quezada, M., Calderón-Suárez, R., Rodríguez, A., & Ortega-Mendoza, R. M. (2023). Microcontrollers programming for control and automation in undergraduate biotechnology engineering education. *Digital Chemical Engineering*, 9, 100122. <https://doi.org/10.1016/J.DCHE.2023.100122>
- Miro, A., Supriya, D., & Tiwari, R. (2025). Industry 5.0 and engineering education: A roadmap for 2030. *Journal of Future Engineering Education. Relevancia de Education 5.0 en competencias STEM. Actualmente disponible vía ResearchGate y publicaciones asociadas*
- OECD. (2023). Education at a Glance 2023: OECD Indicators. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b43f6a50-en> <https://www.oecd.org/education/education-at-a-glance/>
- Oliveira, L., Silva, R., & Rocha, F. (2024). ESP32 in education: Enabling embedded systems projects in Latin America. *Sensors and Systems in Education*, 12(1), 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.sensysed.2024.01.005>
- Pappas, G., Siegel, J., Vogiatzakis, I. N., & Politopoulos, K. (2022). Gamification and the Internet of Things in education. En *Handbook on Intelligent Techniques in the Educational Process: Vol1 Recent Advances and Case Studies* (pp. 317–339). Springer.
- Reddi, V. J., Plancher, B., Kennedy, S., et al. (2021). Widening Access to Applied Machine Learning with TinyML. Harvard Google TinyML MOOC. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2106.04008>
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference. Houghton Mifflin.
- Supriya, M., Singh, A., & Bhattacharya, S. (2024). Preparing engineers for Industry 4.0 and 5.0: Curriculum redesign and technological integration. *Education and Information Technologies*, 29(2), 1559–1580. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-11991-8>
- UNESCO. (2022). Replantear los futuros de la educación: Un nuevo contrato social. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379381>
- UNESCO. (2023). Reimagining our futures together: A new social contract for education. Informe Mundial sobre Educación Superior. París: UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381560>
- UNESCO IESALC. (2023). Panorama de la educación superior en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades. Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe. <https://www.iesalc.unesco.org/2023/10/30/panorama-educacion-superior-lac/>
- Universidad Nacional Federico Villarreal. (2025). *Sílabo de Arquitectura y Organización del Computador*. Departamento Académico de Ingeniería Electrónica e Informática, UNFV.
- U.S. Department of Labor (DOL) & American Association of Engineering Societies (AAES). (2015). Engineering Competency Model.
- WorldMetrics Report. (2024). Project-based learning improves standardized test scores by 15–23%, critical thinking by 48%. <https://worldmetrics.org/pbl-effectiveness-2024/>
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications (6th ed.). SAGE.
- Zhang, L., & Ma, Y. (2023). A study of the impact of project based learning on student learning effects: A meta analysis study. *Frontiers in Psychology*, 14, Article 1202728. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional