

MineDash-ABP: Prototipo didáctico de monitoreo de volquetes con ESP32, sensores y dashboard

MineDash-ABP: Didactic prototype for dump truck monitoring using ESP32, sensors, and a dashboard

Heinz Miguel CHURA CAHUANA ¹

Fecha de recepción: 20/10/2025

Fecha de aceptación: 24/04/2026

Fecha de publicación en línea: 15/06/2026

Sección: Artículo original

Cómo citar este artículo: Chura Cahuana, H. M. (2026). MineDash-ABP: Prototipo didáctico de monitoreo de volquetes con ESP32, sensores y dashboard. *Journal of Humanities Titicaca*, 5(1), 133-159. <https://doi.org/10.70123/jht.159>

RESUMEN

En la formación universitaria en Ingeniería de Minas persiste la necesidad de entornos didácticos que aproximen al estudiantado a operaciones de minería superficial e integren programación, instrumentación, adquisición de datos y visualización digital. El objetivo del estudio fue describir el aprendizaje percibido de estudiantes durante la implementación de un prototipo didáctico de monitoreo de volquetes basado en ESP32, sensores y dashboard, en el marco de una estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos. Se desarrolló una investigación aplicada, de enfoque cuantitativo descriptivo, mediante dos cuestionarios de seguimiento pedagógico aplicados en dos hitos formativos: línea base al inicio del curso (T0) y seguimiento intermedio cuando el proyecto alcanzó aproximadamente el 70 % de avance (T1). Debido a que ambos instrumentos no fueron plenamente equivalentes en ítems ni estructura interna, la comparación se restringió a indicadores conceptualmente homologables y se interpretó con alcance estrictamente descriptivo. Los resultados evidenciaron una progresión percibida en componentes técnicos como arquitectura del sistema, programación básica, uso de sensores y simuladores, así como en componentes transversales vinculados con colaboración, claridad de roles y cumplimiento de tareas. No obstante, persistieron brechas en manejo de errores de comunicación, comprensión del flujo de datos y visualización en dashboard. Se concluye que MineDash-ABP constituye un recurso pedagógico contextualizado para la enseñanza inicial de minería digital, aunque sus resultados deben asumirse como evidencia descriptiva de aprendizaje percibido y no como demostración concluyente de cambio competencial. **PALABRAS CLAVE:** Aprendizaje basado en proyectos, Prototipo didáctico, ESP32, Minería digital, Monitoreo de volquetes

¹ Universidad Nacional del Altiplano, Puno / Puno, Perú. Correo electrónico: hm.chura@unap.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3399-821X>

ABSTRACT

In university-level Mining Engineering education, there remains a need for didactic environments that approximate surface mining operations and integrate programming, instrumentation, data acquisition, and digital visualization. The objective of this study was to describe students' perceived learning during the implementation of a didactic haul truck monitoring prototype based on ESP32, sensors, and a dashboard within a Project-Based Learning framework. An applied study with a descriptive quantitative approach was conducted using two pedagogical monitoring questionnaires administered at two formative milestones: baseline at the beginning of the course (T0) and an intermediate follow-up when the project reached approximately 70% progress (T1). Because both instruments were not fully equivalent in terms of items and internal structure, comparisons were restricted to conceptually homologous indicators and interpreted strictly at a descriptive level. The results show a perceived progression in technical components such as system architecture, basic programming, use of sensors and simulators, as well as in transversal components related to collaboration, role clarity, and task fulfillment. However, gaps persisted in communication error handling, data flow understanding, and dashboard visualization. It is concluded that MineDash-ABP constitutes a contextualized pedagogical resource for introductory digital mining education, although the findings should be interpreted as descriptive evidence of perceived learning rather than conclusive proof of competency development.

KEYWORDS: Project-based learning, Didactic prototype, ESP32, Digital mining, Dump-truck monitoring

I. INTRODUCCIÓN

En la educación en ingeniería, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se ha consolidado como una metodología activa eficaz para reducir la brecha entre la formación teórica y la práctica profesional, al situar al estudiantado como protagonista del proceso de aprendizaje mediante la resolución de problemas auténticos y la generación de productos verificables. Diversos estudios han demostrado que el ABP favorece la integración interdisciplinaria y el aprendizaje significativo en programas de ingeniería, especialmente cuando el estudiantado participa en el diseño, implementación y validación de soluciones técnicas reales (Lavado-Anguera *et al.*, 2024). Asimismo, se ha reportado que este enfoque incrementa la motivación y la percepción de utilidad profesional del aprendizaje, en comparación con metodologías tradicionales centradas en la transmisión de contenidos (Ramírez de Dampierre *et al.*, 2024).

En el contexto de la formación en ingeniería contemporánea, el ABP adquiere mayor relevancia cuando se articula con tecnologías emergentes asociadas a la Industria 4.0, ya que permite al estudiantado interactuar con sistemas digitales y físicos similares a los que encontrará en su ejercicio profesional. En este sentido, Tsai (2024) y Lee & Lee (2025) señalan que la incorporación de tecnologías digitales en entornos ABP contribuye a una comprensión más profunda de los sistemas complejos y a una mejor transferencia del aprendizaje hacia contextos reales. No obstante, Sánchez-García &

Reyes-de-Cózar (2025) advierten que una parte importante de la literatura se limita a describir experiencias formativas exitosas, sin profundizar en evaluaciones empíricas sistemáticas del impacto del ABP sobre competencias específicas del estudiantado en disciplinas concretas.

Estudios recientes evidencian que plataformas IoT basadas en microcontroladores como ESP32 facilitan el aprendizaje progresivo de sistemas embebidos (Hercog *et al.*, 2023), aunque en contextos mineros la complejidad de comunicaciones y gestión de datos limita el dominio técnico avanzado (Yadav *et al.*, 2021; Hazrathosseini & Moradi-Afrapoli, 2025). De manera complementaria, el uso de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y de prototipos físicos ha ganado presencia en entornos educativos de ciencia e ingeniería, al permitir la adquisición de datos reales, la interacción con sistemas embebidos y la visualización de información en tiempo real. Investigaciones recientes destacan que plataformas IoT educativas y dispositivos basados en microcontroladores como el ESP32 facilitan el desarrollo de competencias técnicas y digitales en educación superior, particularmente cuando se emplean en actividades prácticas orientadas a la resolución de problemas (Amador Nelke *et al.*, 2024). De forma similar, estudios sobre laboratorios remotos y módulos IoT integrados en cursos universitarios reportan mejoras en la autonomía del estudiantado y en su capacidad para interpretar datos experimentales (Dermawan *et al.*, 2025). Sin embargo, otros trabajos señalan que, a pesar del potencial formativo del IoT en educación, la evaluación del aprendizaje suele abordarse de manera global o predominantemente perceptiva, sin desagregar dimensiones de competencia ni analizar progresiones diferenciadas a lo largo del proceso formativo (Amador Nelke *et al.*, 2024; Tsiipianitis *et al.*, 2025). Esta limitación metodológica dificulta la comparación entre estudios y la generación de evidencia empírica sólida sobre el impacto real de estas intervenciones educativas.

En el ámbito de la minería, la literatura sobre IoT se ha orientado principalmente a aplicaciones operativas y productivas, tales como la gestión de flotas, el monitoreo de variables ambientales y la optimización del sistema de acarreo. Estudios aplicados en minería superficial y subterránea evidencian que las soluciones IoT de bajo costo permiten mejorar la eficiencia operativa y apoyar la toma de decisiones en tiempo real, mientras que revisiones recientes subrayan la relevancia de arquitecturas escalables y sistemas de monitoreo distribuidos como componentes centrales de la minería digital (Aguirre-Jofré *et al.*, 2021; Park & Choi, 2021). Sin embargo, la convergencia entre esta literatura tecnológica y la investigación educativa sigue siendo limitada. Aunque existen antecedentes sobre el potencial formativo del IoT en educación superior, la evaluación del aprendizaje suele abordarse de manera global o predominantemente perceptiva, sin desagregar dimensiones de competencia ni analizar progresiones diferenciadas a lo largo del proceso formativo (Duarte *et al.*, 2022; Zvarivadza *et al.*, 2024). En el caso específico de la Ingeniería de Minas, siguen siendo escasas las experiencias que integren prototipos IoT físicos contextualizados en operaciones

mineras dentro de estrategias pedagógicas estructuradas como el Aprendizaje Basado en Proyectos y que documenten, con seguimiento formativo, el aprendizaje percibido del estudiantado en componentes técnicos y transversales. Desde esta perspectiva, el aprendizaje percibido se entiende como una aproximación complementaria al proceso formativo, basada en la interpretación que los estudiantes realizan sobre su propio progreso en contextos de resolución de problemas y desarrollo de proyectos, sin constituir una medición directa del desempeño objetivo (Bandura, 1997; Sitzmann et al., 2010). En ese marco, la presente investigación se plantea como un estudio descriptivo de una experiencia situada, orientado a documentar cómo se configura el aprendizaje percibido durante la implementación del prototipo, sin pretender establecer efectos causales ni cambios competenciales estandarizados.

El aporte del estudio radica en documentar una experiencia formativa situada en Ingeniería de Minas que articula, en un mismo diseño, una estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos, un prototipo IoT físico de monitoreo de volquetes con arquitectura ESP32/ESP-NOW y visualización en dashboard, y un seguimiento descriptivo del aprendizaje percibido del estudiantado en componentes técnicos y transversales. Desde esta delimitación, el trabajo no evalúa la eficacia de un sistema industrial de gestión de flotas ni pretende demostrar cambio competencial estandarizado, sino describir el comportamiento de indicadores de aprendizaje percibido durante una fase intermedia de implementación del proyecto.

En términos analíticos, el estudio se fundamenta en un modelo conceptual que vincula tres componentes principales del proceso formativo. En primer lugar, la intervención pedagógica corresponde a la implementación de una estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos apoyada en un prototipo IoT educativo contextualizado en una operación minera simulada. En segundo lugar, se plantea que dicha intervención se relaciona con el desarrollo de dos dimensiones de competencia: (i) competencias técnicas, vinculadas con programación, instrumentación, arquitectura de sistemas y manejo de datos, y (ii) competencias transversales, asociadas al trabajo colaborativo, la comunicación y la organización del proyecto. Finalmente, el resultado observado corresponde al aprendizaje percibido del estudiantado respecto de dichas competencias durante el proceso de implementación. Este modelo permite articular conceptualmente la relación entre la intervención educativa, las dimensiones de competencia analizadas y los indicadores descriptivos considerados en el estudio.

Desde esta perspectiva, el presente trabajo se plantea como una investigación aplicada de alcance descriptivo, orientada a analizar una experiencia educativa en la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. La pregunta de investigación que guía el estudio es: ¿cómo varía el aprendizaje percibido en competencias técnicas y transversales de estudiantes de Ingeniería de Minas durante la implementación de un prototipo IoT educativo basado en Aprendizaje Basado en Proyectos?

En coherencia con el alcance descriptivo del estudio, se plantea como expectativa analítica que, durante la implementación del prototipo IoT educativo, el estudiantado reporte variaciones en su aprendizaje percibido, particularmente en aspectos técnicos vinculados al uso de sensores, programación e integración de sistemas, así como en aspectos transversales relacionados con el trabajo colaborativo y la organización del proyecto. No obstante, dichas variaciones se interpretarán como tendencias descriptivas del proceso formativo y no como evidencia causal o inferencial de efectividad.

En coherencia con el alcance descriptivo del estudio, el objetivo general fue describir el aprendizaje percibido del estudiantado en dos hitos del proceso formativo, correspondientes a la línea base (T0) y al seguimiento intermedio (T1), así como explorar variaciones parciales en subdimensiones técnicas y transversales conceptualmente comparables durante la implementación de un prototipo didáctico de monitoreo de volquetes basado en ESP32 y sensores, en un entorno de Aprendizaje Basado en Proyectos.

II. METODOLOGÍA

2.1. Método

La investigación adoptó un método cuantitativo, de carácter aplicado, orientado a la descripción sistemática de los cambios en el aprendizaje percibido del estudiantado durante la implementación de una estrategia de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) apoyada en un prototipo IoT educativo. El método se sustenta en la medición estructurada de percepciones autorreportadas en dos momentos del proceso formativo, con el propósito de identificar tendencias de progresión y áreas de dificultad persistente en componentes técnicos y transversales del aprendizaje, restringiendo la interpretación a un nivel estrictamente descriptivo.

2.2. Diseño

El estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental, longitudinal descriptivo, de grupo único, con dos mediciones secuenciales no equivalentes (T0 y T1). La primera medición correspondió a una línea base aplicada al inicio del curso y la segunda a un seguimiento efectuado cuando el proyecto alcanzó aproximadamente el 70 % de avance. Dado que ambos instrumentos fueron diseñados para momentos formativos distintos y no comparten identidad plena de ítems ni de estructura interna, la comparación entre mediciones se restringió a indicadores conceptualmente homologables y se interpretó en términos estrictamente descriptivos, sin pretensión inferencial ni causal.

2.3. Participantes

La muestra estuvo conformada por 35 estudiantes matriculados en el curso *Introducción a Sensores y Robótica* de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, durante el

semestre académico 2025-I. Se empleó un muestreo censal por conveniencia, al incluirse la totalidad de estudiantes inscritos en el curso.

Criterios de inclusión:

- Matrícula vigente en el curso
- Participación activa en el proyecto ABP
- Aceptación voluntaria de participación en las mediciones.

Criterios de exclusión:

- No completar alguna de las dos mediciones
- Retiro del curso o inasistencia prolongada que impidiera la participación efectiva.

Con fines exclusivamente descriptivos, se consignaron características generales de la muestra, tales como edad (20–26 años), género (predominantemente masculino), ciclo académico (VII semestre) y experiencia previa en programación, sensores y microcontroladores, la cual fue en su mayoría inexistente o limitada. Estas variables no se consideraron en el análisis, debido a la homogeneidad del grupo, y se presentan únicamente para aportar contexto sobre la población estudiada.

Aunque la cohorte inicial estuvo conformada por 35 estudiantes, el número de respuestas válidas varió entre mediciones debido a inasistencia puntual en la segunda aplicación. Esta variación se reporta explícitamente en resultados y no altera el carácter descriptivo agregado del análisis.

2.4. Instrumentos

Para la recolección de información se emplearon dos cuestionarios ad hoc de seguimiento pedagógico elaborados específicamente para esta experiencia formativa: un instrumento de línea base aplicado al inicio del curso (T0) y un instrumento de seguimiento aplicado cuando el proyecto alcanzó aproximadamente el 70 % de avance (T1). Ambos cuestionarios se diseñaron para recoger autorreportes sobre comprensión del proyecto, experiencia previa, dominio percibido en componentes técnicos vinculados al prototipo y aspectos transversales del trabajo en equipo. Dado su carácter contextual y su propósito de seguimiento pedagógico, estos instrumentos no deben interpretarse como escalas psicométricas estandarizadas de medición de competencias. Los instrumentos completos empleados en ambas mediciones se presentan en el Anexo 1 (Cuestionario T0 completo) y en el Anexo 2 (Cuestionario T1 completo), con el propósito de transparentar su estructura, contenido y formato de respuesta.

2.4.1. Bloques analíticos del aprendizaje percibido

Para fines de análisis descriptivo, los indicadores autorreportados se organizaron en dos bloques:

- Componentes técnicos del aprendizaje percibido: arquitectura del sistema, sensores, programación, comunicaciones, flujo de datos, instrumentación y visualización en dashboard.
- Componentes transversales del aprendizaje percibido: trabajo colaborativo, claridad de roles, comunicación, motivación, gestión del proyecto y preparación para la presentación.

Estos bloques constituyen categorías operativas de análisis y no deben interpretarse como constructos psicométricos estandarizados.

El Cuestionario 1 evaluó conocimientos previos y autoeficacia inicial; el Cuestionario 2 evaluó dominio percibido y desempeño autorreportado por niveles.

2.4.2. Escalas y anclajes

Se emplearon tres formatos de respuesta, cuya armonización analítica fue explicitada para asegurar coherencia en el tratamiento descriptivo de los datos:

- **Likert de 5 puntos:** desde “Totalmente en desacuerdo” (1) hasta “Totalmente de acuerdo” (5).
- **Escala numérica 1–10:** desde dominio mínimo (1) hasta dominio total (10).
- **Formato dicotómico:** No (0) / Sí (1).

Para permitir comparaciones descriptivas entre indicadores conceptualmente homologables, las respuestas fueron recodificadas a un índice común de 0–100. Para fines de interpretación descriptiva, los valores recodificados se organizaron en cuatro rangos: muy bajo (0–24), básico (25–49), intermedio (50–74) y alto (75–100).

La recodificación de las respuestas a una escala común de 0–100 se realizó mediante una transformación lineal que permitió armonizar escalas ordinales y numéricas empleadas en los instrumentos. Para los ítems con escalas de cinco categorías (por ejemplo, Likert o niveles de dominio), se aplicó la transformación:

$$\text{Índice} = \frac{(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \times 100$$

donde X corresponde al valor observado en la escala original, $X_{\min}$ al valor mínimo posible y $X_{\max}$ al valor máximo de la escala

En el caso de las escalas numéricas de 1 a 10 se aplicó la misma transformación lineal, mientras que para los ítems dicotómicos se asignaron directamente los valores 0 y 100.

Este procedimiento permitió armonizar descriptivamente indicadores medidos con escalas diferentes, sin implicar equivalencia psicométrica plena entre los instrumentos ni entre los ítems comparados.

La recodificación a una escala común de 0–100 se utilizó exclusivamente con fines de armonización descriptiva en aquellos indicadores considerados conceptualmente homologables entre T0 y T1. Este procedimiento no implica equivalencia psicométrica plena entre los instrumentos ni autoriza la construcción de índices globales estrictamente comparables para ambas mediciones.

2.4.3. Evidencia metodológica de los instrumentos

Los instrumentos utilizados en este estudio fueron contruidos a partir de una matriz de especificación vinculada con los objetivos formativos, las actividades del proyecto y los indicadores observables definidos para el seguimiento pedagógico de la experiencia. En la versión reportada, no se dispone de evidencia suficiente de validez de constructo, validez de contenido obtenida mediante procedimiento formal independiente, ni consistencia interna que permita sostener su uso como escalas psicométricas robustas. En consecuencia, los resultados se interpretan exclusivamente como descriptores contextuales del aprendizaje percibido y del desempeño autorreportado durante la implementación del proyecto, y no como mediciones estandarizadas de competencias. Con fines de trazabilidad metodológica, dicha correspondencia se presenta en el Anexo 3 (Matriz de especificación de los instrumentos T0) y en el Anexo 4 (Matriz de especificación de los instrumentos T1), donde se explicita la relación entre bloques analíticos, subdimensiones, indicadores, ítems y propósitos formativos.

2.5. Procedimiento

El procedimiento se desarrolló durante el semestre académico 2025-I bajo una estrategia ABP estructurada en fases:

1. **Inducción y diagnóstico (T0):** presentación del proyecto, roles y aplicación del Cuestionario 1.
2. **Diseño y planificación:** elaboración de planos CAD y definición de la arquitectura del prototipo.
3. **Construcción modular:** desarrollo y validación funcional de cada subsistema (sensores, ESP32).
4. **Integración del sistema:** arquitectura maestro-esclavo con ESP-NOW y validación de transmisión de datos.
5. **Visualización y pruebas:** implementación del dashboard y pruebas de usabilidad en aula.
6. **Seguimiento (T1):** aplicación del Cuestionario 2 cuando el proyecto alcanzó aproximadamente el 70 % de avance.

Como evidencias objetivas complementarias se recopilieron informes técnicos, planos CAD, registros de pruebas funcionales y capturas del dashboard, con fines de sistematización académica.

Estas evidencias documentales no fueron tratadas como variables cuantitativas del análisis principal, sino como material de apoyo para la sistematización técnica de la experiencia y para contextualizar el grado de implementación alcanzado por el prototipo. En consecuencia, su función fue complementaria y no constituyeron indicadores formales del aprendizaje percibido del estudiantado.

Consideraciones éticas y manejo de datos. La participación del estudiantado fue voluntaria y se comunicó el uso académico de los datos para fines de sistematización y mejora docente. Las respuestas se recolectaron sin identificadores personales y se reportaron de manera agregada. Los archivos de encuestas y evidencias se almacenaron en repositorio institucional del curso con acceso restringido al equipo docente y se utilizaron exclusivamente para el presente estudio.

2.6. Análisis de datos

El análisis de datos fue cuantitativo descriptivo y se desarrolló en dos niveles. En un primer nivel, se describieron los ítems de cada medición mediante frecuencias, porcentajes y medidas de tendencia central, según el tipo de escala empleado. En un segundo nivel, los resultados se organizaron por bloques analíticos del aprendizaje percibido en componentes técnicos y componentes transversales, con fines de interpretación temática y descriptiva.

Dado que los instrumentos T0 y T1 no fueron plenamente equivalentes en todos sus ítems ni en su estructura interna, no se construyeron índices globales estrictamente comparables para ambas mediciones. En consecuencia, la interpretación de los resultados se centró en la descripción de tendencias de aprendizaje percibido dentro de cada medición y en la comparación parcial de aquellos indicadores conceptualmente homologables entre T0 y T1.

En los indicadores conceptualmente homologables entre T0 y T1, la comparación se realizó mediante el examen descriptivo de medidas de tendencia central y dispersión presentadas por cada medición, con el único propósito de identificar contrastes aparentes entre ambos hitos formativos. Esta comparación se interpretó de manera estrictamente descriptiva y no como estimación robusta del cambio ni como evidencia inferencial.

Como recurso complementario a la investigación presentada, es posible acceder al cuestionario de datos en:

<https://drive.google.com/drive/folders/1Umdf8aSv9ySE7j5X4z4FBd2krD7PWnSo>

III. RESULTADOS

En coherencia con el objetivo general del estudio, los resultados se presentan con el propósito de describir los cambios en el aprendizaje percibido del estudiantado durante la implementación del prototipo didáctico de monitoreo de volquetes en un entorno de Aprendizaje Basado en Proyectos. Para ello, se analizaron dos mediciones secuenciales: una línea base aplicada al inicio del semestre académico 2025-I (T0) y un seguimiento realizado cuando el proyecto alcanzó aproximadamente el 70 % de avance (T1).

En atención a la naturaleza no equivalente de los instrumentos, los resultados se presentan en tres niveles: descripción de T0, descripción de T1 y síntesis comparativa restringida de aquellos subdimensiones considerados conceptualmente afines entre ambas mediciones.

3.0. Calidad de datos y tamaño muestral por medición

Se aplicaron dos mediciones secuenciales del aprendizaje percibido: T0 (línea base) y T1 (seguimiento al 70 % de avance del proyecto), conforme al diseño longitudinal descriptivo definido para el estudio.

En la medición T0 se obtuvieron 35 respuestas válidas, mientras que en T1 se registraron 33 respuestas válidas. Esta diferencia se debió a la ausencia de dos estudiantes en la segunda aplicación del cuestionario. Para asegurar consistencia en el reporte, en todas las tablas se consigna el tamaño muestral válido por ítem (n), así como la distribución de frecuencias y porcentajes, con redondeo a una cifra decimal. En los ítems medidos en escala de 1 a 10 se reportan, además, medidas descriptivas de tendencia central y dispersión, específicamente la mediana y el rango intercuartílico (Q1-Q3).

Dado que el análisis del estudio se planteó a nivel descriptivo agregado y no como comparación estadística inferencial entre mediciones pareadas, esta variación en el número de respuestas no altera la interpretación general de las tendencias observadas. No obstante, con fines de transparencia analítica, en todas las tablas se reporta explícitamente el tamaño muestral válido correspondiente a cada medición.

3.1. Resultados del Cuestionario 1 (T0): línea base (diagnóstico)

El Cuestionario 1 (T0) caracterizó el punto de partida del estudiantado respecto de: (i) la comprensión general del proyecto y (ii) las condiciones iniciales del aprendizaje percibido en componentes técnicos y transversales vinculados a la implementación del prototipo IoT.

3.1.1. Conocimiento general del proyecto ítems tipo Likert

Tabla 1. Conocimiento general del proyecto en T0

Ítem (T0)	n	Acuerdo + total (%)	Neutral (%)	Desacuerdo + total (%)
P1 Comprensión del objetivo del proyecto	35	68.6	22.9	8.6
P2 Comprensión de sensores y módulos	35	62.9	20	17.1
P3 Comprensión arquitectura maestro-esclavo	35	37.1	40	22.9
P4 Importancia del proyecto para la formación	35	80	14.3	5.7

Nota. Se reporta % de acuerdo/totalmente de acuerdo, % neutral y % desacuerdo/totalmente desacuerdo.

3.1.2. Aprendizaje percibido inicial en componentes técnicos: programación, comunicaciones y simulación

Tabla 2. Aprendizaje percibido inicial en componentes técnicos en T0

Ítem (T0)	n	Acuerdo + total (%)	Neutral (%)	Desacuerdo + total (%)
P7 Conectar y programar un sensor	35	22.9	31.4	45.7
P8 Conocer protocolos de comunicación	35	20	48.6	31.4

En la P10, ¿Has utilizado algún programa de simulación?, el 5.7% (n=2) indicó haber utilizado algún programa de simulación, mientras que el 94.3% (n=33) señaló que no.

3.1.3. Diseño, prototipado, dashboards y gestión de recursos en T0

Tabla 3. Diseño, prototipado, dashboards y recursos en T0

Ítem (T0)	n	Acuerdo + total (%)	Neutral (%)	Desacuerdo + total (%)
P11 Manejo de AutoCAD 2D/3D	35	80	20	0
P12 Convertir simulación en prototipo	35	28.6	37.1	34.3
P13 Conocer herramientas de dashboards	35	28.6	40	31.4
P15 Elaborar presupuestos de componentes	35	48.6	34.3	17.1
P16 Seleccionar componentes adecuados	35	37.1	31.4	31.4

3.1.4. Condiciones iniciales de desempeño percibido para la ejecución del proyecto (T0)

Para los ítems cuantitativos (escala 1–10), se reportan la media, la desviación estándar (DE), la mediana y el rango intercuartílico (IQR) como resumen descriptivo de la distribución.

Tabla 4. Condiciones iniciales de desempeño percibido en el proyecto en T0

Ítem (T0)	n	Media	DE	Mediana	Q1	Q3
-----------	---	-------	----	---------	----	----

P5 Rol en el equipo	35	6.17	2.32	6	5	8
P6 Experiencia previa en programación/sensores	35	2.77	2.04	2	1	4.5
P9 Interpretar y modificar código	35	3.49	2.56	3	1	4.5
P14 Mostrar datos en una interfaz	35	3.74	2.39	4	2	5
P17 Editar videos	35	5.09	2.72	5	3.5	7

3.1.5. Documentación y trabajo colaborativo en T0

Tabla 5. Documentación y equipo en T0

Ítem (T0)	n	Acuerdo + total (%)	Neutral (%)	Desacuerdo + total (%)
P18 Organizar información recopilada	35	40	40	20
P19 Sentirse cómodo trabajando en equipo	35	82.9	17.1	0
P20 Coordinar con otros integrantes	35	77.1	20	2.9

3.2. Resultados del cuestionario 2 seguimiento al 70% de avance

El Cuestionario 2 (T1) describe el aprendizaje percibido del estudiantado en una fase intermedia del proyecto ABP-IoT. En coherencia con la estructura del instrumento, los resultados se presentan organizados en dos bloques analíticos: aprendizaje percibido en componentes técnicos y aprendizaje percibido en componentes transversales. Estos bloques orientan la exposición e interpretación de los hallazgos, pero no deben entenderse como índices psicométricos globales estrictamente equivalentes entre T0 y T1. En consecuencia, los resultados de esta sección se interpretan en clave descriptiva, atendiendo al comportamiento de los ítems y subdimensiones evaluadas en esta segunda medición.

3.2.1. Aprendizaje percibido en componentes técnicos y niveles de dominio

Los ítems correspondientes al aprendizaje percibido en componentes técnicos del cuestionario T1 emplearon escalas ordinales de cinco niveles, formuladas de manera específica según el aspecto evaluado (por ejemplo, niveles de comprensión, capacidad de explicación o desempeño autorreportado en tareas operativas). En todos los casos, las categorías mantienen un orden progresivo de menor a mayor dominio percibido, lo que permitió su análisis descriptivo y su organización por subdimensiones temáticas, respetando la redacción original de cada ítem.

Tabla 6. Aprendizaje percibido en componentes técnicos (P1-P10) en T1

Ítem (T1)	n	Nivel 1 (%)	Nivel 2 (%)	Nivel 3 (%)	Nivel 4 (%)	Nivel 5 (%)
P1 Comprensión de la arquitectura del sistema	33	0	15.2	69.7	15.2	0
P2 Comprensión del funcionamiento de los sensores	33	6.1	57.6	30.3	3	3

P3 Manejo de errores de comunicación	33	33.3	42.4	18.2	6.1	0
P4 Flujo de datos (sensor→ESP32→dashboard)	33	3	60.6	30.3	6.1	0
P5 Conexiones electrónicas del prototipo	33	6.1	57.6	30.3	3	3
P6 Programación del prototipo	33	15.2	45.5	27.3	6.1	6.1
P7 Ensamblaje de componentes y módulos	33	12.1	36.4	30.3	12.1	9.1
P8 Conocimiento de componentes y módulos usados	33	3	27.3	57.6	6.1	6.1
P9 Uso de simuladores de circuitos	33	9.1	45.5	39.4	6.1	0
P10 Recolección/visualización de datos en dashboard	33	6.1	54.5	33.3	6.1	0

3.2.2. Aprendizaje percibido en componentes transversales: colaboración, roles y comunicación

Los ítems de esta subsección describen el aprendizaje percibido del estudiantado en componentes transversales vinculados al trabajo en equipo durante la implementación del proyecto, incluyendo cumplimiento de tareas, comunicación para resolver dudas, toma de decisiones, claridad de roles y colaboración. Las categorías de respuesta conservan un orden progresivo de menor a mayor intensidad percibida, por lo que su interpretación se realiza en clave estrictamente descriptiva.

Tabla 7. Aprendizaje percibido en componentes transversales (P11–P15) en T1

Ítem (T1)	n	Nada (%)	Poco (%)	Algo (%)	Bastante (%)	Mucho (%)
P11 Cumplimiento de tareas asignadas	33	3	3	24.2	51.5	18.2
P12 Comunicación para resolver dudas	33	3	9.1	42.4	39.4	6.1
P13 Toma de decisiones y soluciones	33	0	18.2	51.5	21.2	9.1
P14 Claridad de roles	33	3	15.2	36.4	39.4	6.1
P15 Colaboración en el equipo	33	0	0	42.4	48.5	9.1

3.2.3. Indicadores complementarios de relevancia, motivación, preparación y utilidad percibida en T1

Para estos ítems, medidos en escala de 1 a 10, se reportan la media, la desviación estándar (DE), la mediana y el rango intercuartílico (IQR), con el fin de resumir descriptivamente su tendencia central y dispersión.

Tabla 8. Relevancia, motivación, preparación y utilidad en T1

Ítem (T1)	n	Media	DE	Mediana	Q1	Q3
P17 Importancia del proyecto para la formación	33	6.42	1.6	7	5	8

P18 Motivación para culminar el proyecto	33	7.64	2	8	7	9
P19 Preparación para explicar el prototipo en público	33	5.76	1.71	6	4	7
P20 Utilidad del proyecto en otros cursos/proyectos	33	7.52	1.77	7	6	9

3.3. Comparación descriptiva parcial entre T0 y T1 en indicadores conceptualmente homologables

Esta subsección presenta una síntesis descriptiva armonizada entre ambas mediciones construida únicamente a partir de subdimensiones analíticas consideradas conceptualmente afines. Dado que los ítems originales no son idénticos ni forman parte de una misma escala estandarizada, esta armonización no debe entenderse como equivalencia de medición, sino como un recurso analítico para contrastar tendencias aparentes entre dos hitos del proceso formativo. La Tabla 9 resume descriptivamente cuatro subdimensiones conceptualmente afines entre T0 y T1: arquitectura del sistema, programación, visualización en dashboard y uso de simuladores. La correspondencia conceptual entre los indicadores comparados en ambas mediciones se detalla en el Anexo 5 (Tabla de homologación conceptual entre T0 y T1), donde se explicitan los criterios utilizados para definir las subdimensiones operativas consideradas comparables.

Tabla 9. Resumen descriptivo armonizado de subdimensiones conceptualmente afines entre T0 y T1

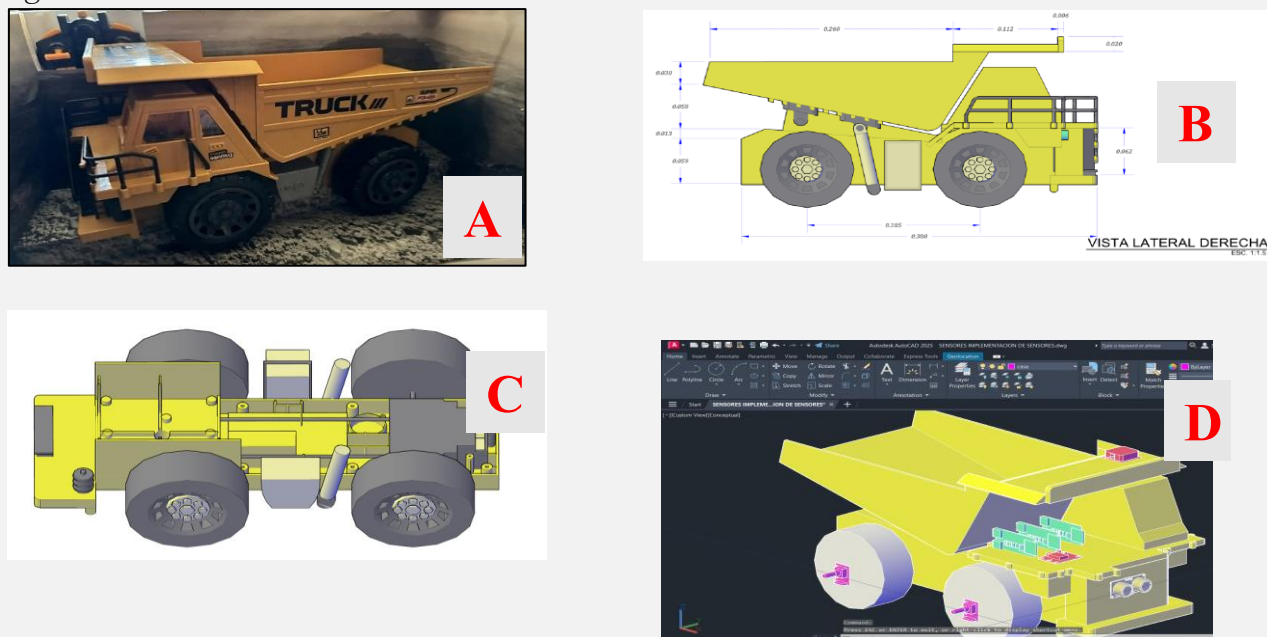
Subdimensión	n T0	Mediana T0	Q1-Q3 T0	n T1	Mediana T1	Q1-Q3 T1
Arquitectura del sistema	35	50	50.0-75.0	33	50	50.0-50.0
Programación	35	22.2	0.0-38.9	33	25	25.0-50.0
Visualización en dashboard	35	33.3	11.1-44.4	33	25	25.0-50.0
Uso de simuladores	35	0	0.0-0.0	33	25	25.0-50.0

En las subdimensiones analíticamente afines se observaron trayectorias descriptivas no uniformes entre T0 y T1. La arquitectura del sistema mantuvo una mediana armonizada similar en ambas mediciones; la programación y el uso de simuladores mostraron una variación descriptiva favorable, mientras que la visualización en dashboard presentó una mediana menor en T1. Debido a la no equivalencia plena entre instrumentos, estas diferencias deben leerse únicamente como contrastes aparentes entre hitos formativos con distinto foco de evaluación y no como mejora o retroceso concluyentes en sentido psicométrico o inferencial.

3.4 Evidencias técnicas complementarias: verificación funcional del prototipo y del sistema de monitoreo

Esta subsección documenta el grado de implementación técnica del prototipo desarrollado y la operatividad de sus principales subsistemas. Su finalidad es aportar evidencia técnica sobre el funcionamiento del dispositivo y contextualizar el entorno formativo en el que se obtuvieron los autorreportes del estudiantado. En ningún caso estas evidencias sustituyen mediciones objetivas del aprendizaje ni permiten inferir, por sí mismas, logro competencial.

Figura 01. Flujo de diseño e integración del camión minero educativo: del prototipo físico al modelo digital

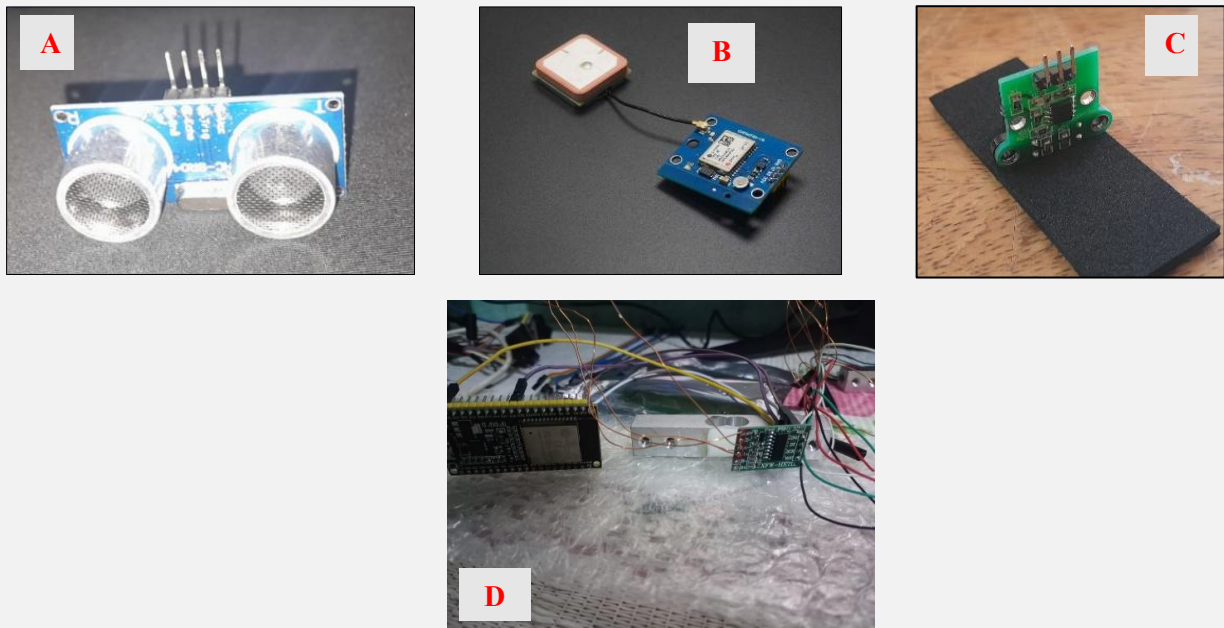


El proceso de diseño e integración del camión minero educativo se desarrolló como una secuencia técnica compuesta por levantamiento metrológico, modelado CAD, validación geométrica e integración electromecánica. En la Figura 1-A se muestra el prototipo físico de referencia, a partir del cual se realizó el levantamiento dimensional mediante medición directa de longitudes, alturas, anchos, separación entre ejes y otras cotas estructurales relevantes. Con base en este registro, en la Figura 1-B se elaboró la vista lateral acotada en entorno CAD, estableciendo dimensiones patrón y proporciones geométricas del vehículo.

Posteriormente, en la Figura 1-C se presenta el modelo digital 3D, utilizado para verificar la correspondencia geométrica entre el prototipo físico y su representación virtual, así como para identificar zonas de montaje y posibles interferencias mecánicas. Finalmente, la Figura 1-D muestra la propuesta de integración de componentes electrónicos y puntos de instalación, incluyendo sensores, cableado, microcontroladores y áreas de acceso para ensamblaje y mantenimiento. En conjunto, esta secuencia evidencia la trazabilidad técnica entre el levantamiento físico, la modelación digital y la planificación de la integración del sistema.

La figura 02 presenta los principales sensores incorporados en el sistema de monitoreo del camión minero educativo. En la Figura 2-A se muestra el sensor ultrasónico HC-SR04, destinado a la medición de distancias frontales y a la detección de obstáculos. En la Figura 2-B se presenta el módulo GPS NEO-6M, utilizado para el registro de coordenadas espaciales y trayectorias de desplazamiento. La Figura 2-C corresponde al encoder empleado para estimar velocidad lineal y desplazamiento a partir del movimiento rotacional del eje. Finalmente, en la Figura 2-D se observa el módulo HX711 acoplado a una celda de carga, destinado a la medición de peso o fuerza aplicada.

Figura 02. Conjunto de sensores del camión minero educativo.



En conjunto, estos dispositivos conforman el sistema de adquisición de datos del prototipo, permitiendo registrar variables operacionales asociadas a proximidad, posicionamiento, movimiento y carga. Su integración con microcontroladores ESP32 posibilitó la adquisición, transmisión y posterior visualización de datos dentro del sistema implementado.

La Figura 3 muestra la integración del sensor ultrasónico de proximidad en el camión minero educativo. Se identifica su ubicación en la parte frontal del prototipo, el ruteo del cableado hacia el microcontrolador ESP32 dedicado y los elementos de montaje asociados. Esta disposición fue diseñada para permitir la medición de distancias a obstáculos durante la operación del vehículo y verificar la correcta adquisición y transmisión de esta variable dentro del sistema de monitoreo.

Figura 03. Integración del sensor ultrasónico de proximidad.

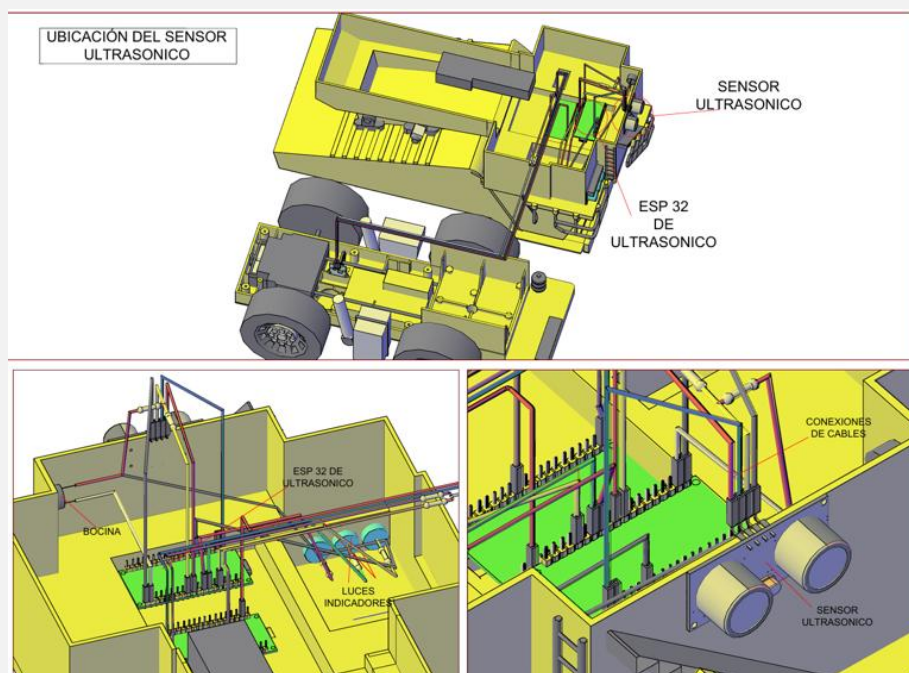
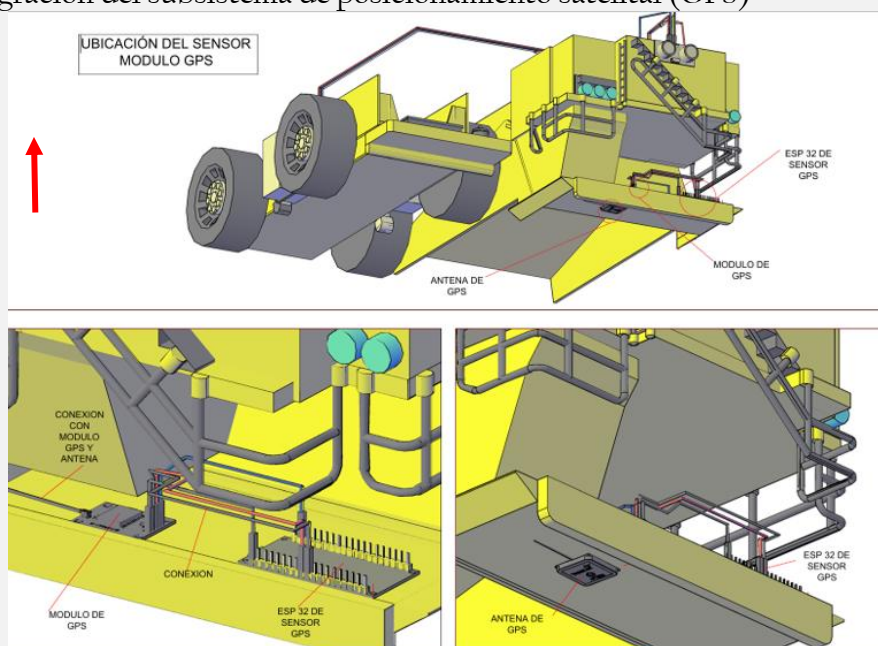
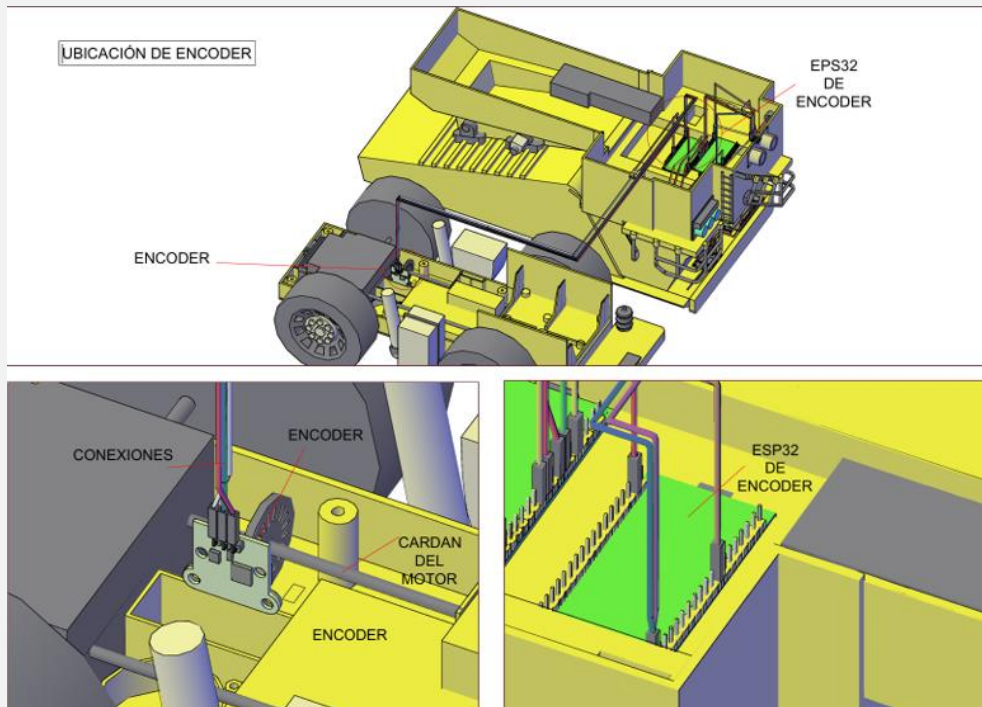


Figura 04. Integración del subsistema de posicionamiento satelital (GPS)



La figura 04 presenta la integración del subsistema GPS en el prototipo. La vista general muestra la localización del módulo en la estructura del vehículo, mientras que las ampliaciones detallan la instalación de la antena, el ruteo del cableado y la conexión entre antena, módulo y ESP32. Esta configuración permite registrar coordenadas geográficas y trayectorias de desplazamiento del camión dentro del entorno de prueba definido para el proyecto.

Figura 05. Integración del sistema de odometría mediante encoder



La figura 05 documenta la integración del sistema de odometría mediante encoder. Se observa su ubicación sobre el eje de transmisión, así como el detalle del acoplamiento mecánico y de la conexión con el microcontrolador correspondiente. Esta disposición permite estimar la velocidad y el desplazamiento del vehículo a partir de la rotación del eje, incorporando esta variable al sistema general de monitoreo.

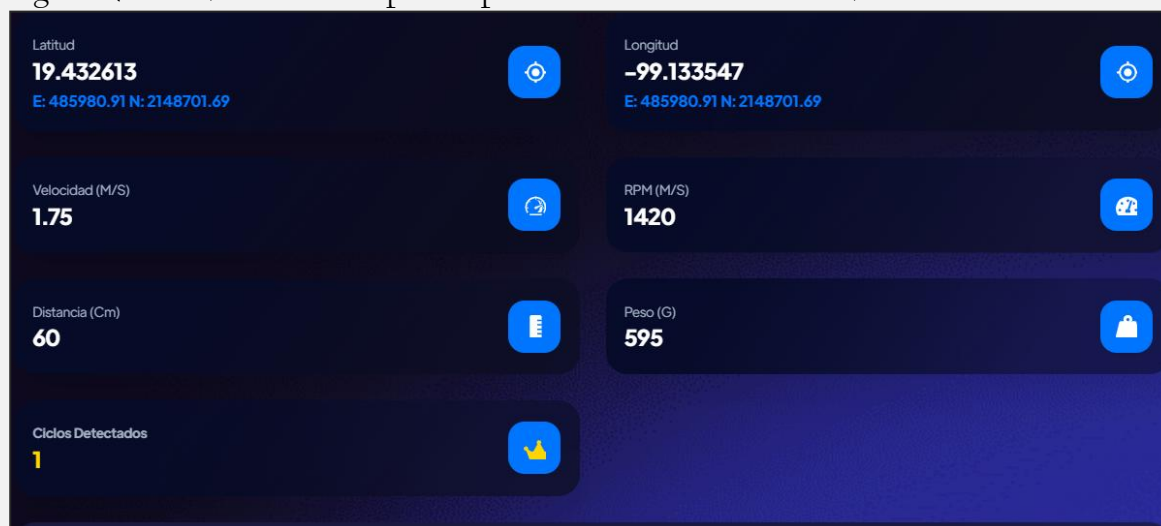
Figura 06. Vista del producto final en funcionamiento



La figura 06 muestra el prototipo en funcionamiento dentro del entorno de prueba, mientras que la Figura 07 presenta la interfaz de visualización en tiempo real de las variables registradas por el sistema. En el dashboard se observan parámetros asociados

a ubicación, velocidad, distancia, revoluciones por minuto, peso y conteo de ciclos detectados. En conjunto, ambas figuras confirman la operatividad del sistema de adquisición, transmisión y despliegue de datos implementado en el prototipo.

Figura 07. Dashboard en tiempo real para la visualización de variables del sistema



IV. DISCUSIÓN

Los resultados del estudio muestran variaciones en el aprendizaje percibido del estudiantado entre la medición inicial (T0) y el seguimiento realizado cuando el proyecto alcanzó aproximadamente el 70 % de avance (T1), en el marco de la implementación del prototipo MineDash-ABP. Estas variaciones se interpretan como cambios descriptivos intra-grupo, coherentes con el diseño longitudinal descriptivo con dos mediciones secuenciales adoptado en el estudio, y no como evidencia causal de efectividad de la intervención. Desde este alcance, los hallazgos dialogan con el marco teórico presentado en la Introducción, que concibe el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) como un entorno que favorece la integración progresiva de aprendizajes en componentes técnicos y transversales, más que como un mecanismo de adquisición inmediata de dominio experto.

En el ámbito del aprendizaje percibido en componentes técnicos, la línea base (T0) evidencia un punto de partida caracterizado por una asimetría formativa: mientras la mayoría del estudiantado reporta un manejo sólido de herramientas de diseño CAD y una alta valoración del proyecto para su formación, se observan niveles bajos de experiencia previa en programación, sensores, protocolos de comunicación y visualización de datos. Este patrón inicial es consistente con lo descrito en la literatura sobre educación en ingeniería e IoT, donde se señala que el estudiantado suele ingresar a cursos de instrumentación con conocimientos fragmentados y escasa experiencia en la integración hardware–software (Amador Nelke *et al.*, 2024; Tsipianitis *et al.*, 2025). En T1, los resultados muestran una concentración predominante en niveles intermedios de dominio percibido para la arquitectura del sistema, el conocimiento de componentes y módulos, las conexiones electrónicas y la programación básica del

prototipo. Esta progresión gradual resulta coherente con lo reportado por Hercog et al. (2023), quienes destacan la versatilidad del ESP32 como plataforma educativa para el desarrollo incremental de soluciones IoT modulares. Asimismo, el avance percibido en la comprensión del funcionamiento de sensores y en la integración funcional de componentes se alinea con estudios aplicados en minería que señalan que los sensores de bajo costo facilitan la comprensión de variables operacionales reales, aun cuando el dominio avanzado requiere procesos formativos más prolongados (Aguirre-Jofré et al., 2021; Park & Choi, 2021). En este sentido, el dominio percibido observado en el presente estudio debe entenderse como funcional e intermedio, acorde con el hito de evaluación y con el carácter introductorio del curso.

No obstante, los resultados también muestran brechas persistentes en componentes técnicos específicos, particularmente en el manejo de errores de comunicación, la comprensión del flujo de datos desde el sensor hasta el ESP32 y el dashboard, y la visualización de datos en tiempo real. Este patrón es consistente con la distribución observada en T1, donde estos componentes concentraron respuestas en niveles bajos e intermedios de dominio percibido. En términos analíticos, estos hallazgos no deben interpretarse como ausencia de aprendizaje, sino como evidencia de que ciertos componentes técnicos presentaban un nivel de consolidación menor al momento de la segunda medición. En este sentido, el comportamiento observado resulta compatible con la literatura que identifica la comunicación inalámbrica, la integración de datos y la visualización en tiempo real como núcleos de mayor complejidad en experiencias educativas basadas en IoT.

La interpretación de estas brechas debe situarse dentro del alcance formativo del prototipo desarrollado. MineDash-ABP fue concebido como un recurso didáctico orientado a introducir conceptos y prácticas básicas de sensado, comunicación y visualización de datos en un contexto de minería digital, y no como una réplica funcional de un sistema industrial de gestión de flotas. Desde esta delimitación, los resultados del estudio deben leerse como evidencia de aprendizaje percibido en un entorno formativo simplificado, lo que ayuda a contextualizar las diferencias respecto de investigaciones centradas en soluciones tecnológicas de mayor complejidad operativa. En esta misma línea, la verificación funcional del prototipo presentada en la sección de resultados aporta evidencia técnica complementaria sobre el grado de implementación alcanzado, pero no constituye una medida directa del aprendizaje del estudiantado. Así, la contribución del prototipo radica en su valor pedagógico contextualizado más que en la emulación integral de plataformas industriales.

En relación con los componentes transversales del aprendizaje percibido, los altos niveles de colaboración, claridad de roles y cumplimiento de tareas reportados en T1 son consistentes con la literatura que vincula el ABP con mejores condiciones para la organización del trabajo, la responsabilidad compartida y la motivación del estudiantado cuando el aprendizaje se articula en torno a problemas auténticos y

productos verificables (Lavado-Anguera *et al.*, 2024; Ramírez de Dampierre *et al.*, 2024). No obstante, la comunicación para la resolución de dudas presentó niveles más moderados que otras dimensiones transversales analizadas. Este resultado describe un componente aún menos consolidado dentro de la experiencia formativa y es compatible con revisiones recientes que señalan la necesidad de incorporar estrategias explícitas de retroalimentación técnica, discusión guiada y acompañamiento docente para fortalecer la interacción académica en experiencias ABP de ingeniería (Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025).

Los indicadores complementarios de relevancia, motivación y utilidad percibida también mostraron un patrón favorable en T1, con medianas situadas entre 7 y 8 puntos, mientras que la preparación percibida para explicar públicamente el prototipo se ubicó en un nivel más moderado. Este contraste sugiere que la experiencia fue valorada por el estudiantado como útil y motivante dentro de su formación, aunque la traducción de ese aprendizaje a una exposición técnica pública todavía requería mayor consolidación al momento del seguimiento intermedio.

Es importante subrayar que los hallazgos del presente estudio se basan en aprendizaje percibido y fueron obtenidos mediante instrumentos de autorreporte elaborados para esta experiencia formativa. Además, dado que T0 y T1 no fueron plenamente equivalentes en todos sus ítems ni en su estructura interna, la comparación entre ambas mediciones debe entenderse como parcial y restringida a indicadores conceptualmente homologables. En consecuencia, los resultados deben interpretarse con cautela y dentro de un alcance estrictamente descriptivo. Las variaciones observadas entre T0 y T1 permiten identificar tendencias de progreso percibido y áreas aún no consolidadas, pero no constituyen una medida directa del desempeño técnico real ni permiten atribuir con certeza mecanismos explicativos específicos a los cambios registrados. Desde esta perspectiva, los datos aportan evidencia útil para comprender la trayectoria formativa del estudiantado durante el desarrollo del proyecto, aunque no reemplazan evaluaciones objetivas de desempeño.

Desde esta perspectiva, el estudio contribuye a abordar la brecha identificada en la Introducción al ofrecer una descripción detallada y desagregada de la progresión del aprendizaje percibido en un contexto educativo minero con IoT, pero también pone de relieve la necesidad de triangulación futura con evidencias objetivas del desempeño, como rúbricas de programación, validaciones funcionales del sistema o evaluación sistemática de productos técnicos. Esta integración permitiría fortalecer la validez de la evidencia y avanzar hacia evaluaciones más robustas del impacto del ABP en la formación en minería digital.

4.1 Limitaciones

En términos de limitaciones, el presente estudio debe interpretarse a la luz de varias restricciones metodológicas. En primer lugar, los hallazgos se basan en aprendizaje

percibido y desempeño autorreportado, por lo que no constituyen una medición objetiva del logro competencial del estudiantado. En segundo lugar, los instrumentos empleados fueron cuestionarios ad hoc de seguimiento pedagógico elaborados para esta experiencia formativa y, en la versión reportada, no cuentan con evidencia suficiente de validez de constructo, validez de contenido obtenida mediante procedimiento formal independiente ni consistencia interna que permita considerarlos escalas psicométricas robustas. En tercer lugar, la comparación entre T0 y T1 es metodológicamente restringida, debido a que ambas mediciones no fueron plenamente equivalentes en ítems ni en estructura interna; por ello, la síntesis comparativa se limitó a subdimensiones conceptualmente afines y debe leerse en términos estrictamente descriptivos. En cuarto lugar, el estudio se realizó con una cohorte única de estudiantes de un curso específico y en una sola institución, lo que limita la transferibilidad de los resultados a otros contextos formativos. Finalmente, aunque el manuscrito incorpora evidencias técnicas sobre la operatividad del prototipo, dichas verificaciones funcionales no sustituyen la ausencia de triangulación con desempeños observados, rúbricas, productos evaluados u otras medidas objetivas del aprendizaje.

V. CONCLUSIONES

La implementación del prototipo didáctico MineDash-ABP permitió documentar una progresión percibida en diversas competencias asociadas a la formación inicial en minería digital, particularmente en aspectos relacionados con la comprensión de la arquitectura del sistema, la integración de sensores, la programación básica y el trabajo colaborativo. Estos hallazgos sugieren que la articulación entre Aprendizaje Basado en Proyectos, Internet de las Cosas y contextos simulados de operación minera constituye una alternativa viable para aproximar al estudiantado a entornos tecnológicos propios de la industria minera contemporánea.

Los resultados también evidenciaron que las mayores dificultades se concentraron en componentes de complejidad técnica superior, especialmente en la gestión de errores de comunicación, la comprensión integral del flujo de datos y la visualización de información mediante dashboard. Esta situación pone de manifiesto que la adquisición de competencias vinculadas a sistemas ciberfísicos y analítica de datos requiere procesos formativos más prolongados, experiencias iterativas y mayores oportunidades de integración entre hardware, software y análisis de información.

La principal contribución del estudio radica en proporcionar evidencia descriptiva sobre la implementación de un entorno didáctico contextualizado que combina prototipado IoT funcional y seguimiento sistemático del aprendizaje percibido en estudiantes de Ingeniería de Minas. No obstante, debido al carácter descriptivo del diseño, al uso de instrumentos no equivalentes entre mediciones y a la ausencia de indicadores objetivos de desempeño, los resultados deben interpretarse con cautela y no como evidencia concluyente de desarrollo competencial. En consecuencia, futuras investigaciones deberían incorporar instrumentos con mayor validación metodológica,

medidas objetivas de aprendizaje y diseños longitudinales o comparativos que permitan evaluar con mayor robustez los efectos formativos de las experiencias ABP-IoT en educación minera.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-Jofré, H., Eyre, M., Valerio, S., & Vogt, D. (2021). Low-cost internet of things (IoT) for monitoring and optimising mining small-scale trucks and surface mining shovels. *Automation in Construction*, 131, 103918.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103918>
- 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*, 24(19), 6424.
<https://doi.org/10.3390/s24196424>
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman and Company.
- Dermawan, A., Huda, Y., Hendriyani, Y., Giatman, M., Ifdil, I., & Lofandri, W. (2025). Experimental Evaluation Of Cloud-Integrated Iot Training Modules For Advancing 21st-Century Skills In Higher Education. *Seminars in Medical Writing and Education*, 4, 802-802. <https://doi.org/10.56294/mw2025802>
- Duarte, J., Rodrigues, F., & Castelo Branco, J. (2022). Sensing Technology Applications in the Mining Industry—A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2334.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19042334>
- Hazrathosseini, A., & Moradi-Afrapoli, A. (2025). An intelligent rule-based decision-making system for preliminary truck dispatching within open-pit mines. *Mining*

Technology: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, 134(1), 3-14.

Scopus. <https://doi.org/10.1177/25726668241301876>

Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors*, 23(15), 6739.

<https://doi.org/10.3390/s23156739>

Lavado-Anguera, S., Velasco-Quintana, P.-J., & Terrón-López, M.-J. (2024). Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature. *Education Sciences*, 14(6), 617.

<https://doi.org/10.3390/educsci14060617>

Lee, M. Y., & Lee, J. S. (2025). Project-Based Learning as a Catalyst for Integrated STEM Education. *Education Sciences*, 15(7), 871.

<https://doi.org/10.3390/educsci15070871>

Park, S., & Choi, Y. (2021). Bluetooth Beacon-Based Mine Production Management Application to Support Ore Haulage Operations in Underground Mines.

Sustainability, 13(4), 2281. <https://doi.org/10.3390/su13042281>

Ramírez de Dampierre, M., Gaya-López, M. C., & Lara-Bercial, P. J. (2024).

Evaluation of the Implementation of Project-Based-Learning in Engineering Programs: A Review of the Literature. *Education Sciences*, 14(10), 1107.

<https://doi.org/10.3390/educsci14101107>

Sánchez-García, R., & Reyes-de-Cózar, S. (2025). Enhancing Project-Based Learning: A Framework for Optimizing Structural Design and Implementation—A Systematic Review with a Sustainable Focus. *Sustainability*, 17(11), 4978.

<https://doi.org/10.3390/su17114978>

Sitzmann, T., Ely, K., Brown, K. G., & Bauer, K. N. (2010). Self-Assessment of

Knowledge: A Cognitive Learning or Affective Measure? *Academy of Management*

Learning & Education, 9(2), 169-191. <https://doi.org/10.5465/amle.9.2.zqrl69>

Tsai, F.-H. (2024). Development and Evaluation of an Internet of Things Project for Preservice Elementary School Teachers. *Sustainability*, 16(17), 7632.
<https://doi.org/10.3390/su16177632>

Tsipianitis, D., Misirli, A., Lavidas, K., & Komis, V. (2025). IoT Devices and Their Impact on Learning: A Systematic Review of Technological and Educational Affordances. *IoT*, 6(3), 45. <https://doi.org/10.3390/iot6030045>

Yadav, D. K., Mishra, P., Jayanthu, S., Das, S. K., & Sharma, S. K. (2021). Application of IoT-Fog based real-time monitoring system for open-cast mines—A survey. *IET Wireless Sensor Systems*, 11(1), 1-21. <https://doi.org/10.1049/wss2.12011>

Zvarivadza, T., Onifade, M., Dayo-Olupona, O., Said, K. O., Githiria, J. M., Genc, B., & Celik, T. (2024). On the impact of Industrial Internet of Things (IIoT)—Mining sector perspectives. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 38(10), 771-809. <https://doi.org/10.1080/17480930.2024.2347131>

ACERCA DE LOS AUTORES

Heinz Miguel CHURA CAHUANA. Maestro en geotécnia y geomecánica minera, y profesor en la Universidad Nacional del Altiplano. En la Facultad de Ingeniería de Minas, Puno, Perú. Correo electrónico hm.chura@unap.edu.pe (autor de correspondencia). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3399-821X>.

Carlos Paul HANCCO RAMOS. Magíster Scientiae en Ingeniería Química, y profesor en la Universidad Nacional del Altiplano. En la Facultad de Ingeniería de Minas, Puno, Perú. Correo electrónico cphancco@unap.edu.pe . ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9029-4492>.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no incurren en conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Los autores declaran haber desarrollado en su totalidad el presente estudio.

Fuentes de financiamiento

La financiación fue realizada por los docentes y los estudiantes del curso de Introducción a Sensores y Robótica del semestre académico 2025-I.

Aspectos éticos y legales

El estudio se desarrolló en el marco de una experiencia formativa regular. La participación del estudiantado en las mediciones fue voluntaria y se garantizó el reporte agregado de resultados, sin identificación individual. La información recolectada se empleó únicamente con fines académicos y de mejora educativa, resguardándose los archivos con acceso restringido al equipo docente.

Agradecimientos

Agradecer a la Divinidad por la salud y sabiduría que nos brinda.

Agradecer al Decano Dr. Oscar Eloy Llanque Maquera y al secretario técnico Mtro. Arturo Rafael Chayña Rodríguez, el espacio académico brindado para el desarrollo práctico del curso Introducción a Sensores y Robótica.

Agradecer al estudiante Joel Rider Sucasaca Yanqui por su entrega en el curso.

Agradecer a todos los estudiantes quienes han sido parte del curso y haber logrado el objetivo del proyecto.

#	Código Estudiante	Nombre Completo
1	213828	SUCASACA YANQUI JOEL RIDER
2	181928	APAZA CANSAYA RONALD LEONELL
3	220400	ARRAZOLA CCOSI GUIDO ALEXANDRO
4	221236	ARUHUANCA CCOPA ANIBAL YAMIR
5	213628	CAPACOILA QUISPE LUISINHO
6	221368	CARI CHARCA WILDER JONNY
7	220292	CCALLATA SOLIS JHON BETO
8	221251	CHAMBILLA HUANACUNI BRADOC TONY
9	221322	CHURA QUISPE JHON DENILSON
10	216974	CONDORI HUANCAAPAZA RONALD
11	221284	CORONEL APAZA EMERSON HAROL
12	220073	CRUZ VILCA JOHAN FRANCO
13	214164	CUCHUYRUMI QUISPE ELIAS PLACIDO
14	221068	GALARZA VENTURA SNEYDER DEYCON
15	213871	GALVEZ VENEGAS NIGHEL DYCK
16	221133	GARNICA ALVAREZ DONIFERSON PAUL
17	220338	ITO CCALLATA CRISTIAN
18	220332	JINEZ POMA LUIS FERNANDO
19	221069	JUSTO LLACSA WILDER EDISON
20	214597	LAIME QUISPE URBANO VIDAL
21	221140	LIMACHI LLANOS JESUS JAIME
22	221137	MACHACA ESPINOZA JKACSON RUSO
23	221217	MAMANI CAPQUEQUI JULIO ALBER
24	214594	MAMANI HUANCA DONAL JUSTO
25	221215	MAMANI SUCA WILLIAM
26	214564	MARTINEZ FLORES ZAMANTA ALEXANDRA
27	213832	NINA QUISPE CRISTHIAN MARTIN
28	181978	PANTY QUISPE, THONY VLADIMIRO
29	180448	PARI LUNA PATRICK MARLON
30	217432	PARQUE CHINCHERCOMA WILFREDO EDGAR
31	221287	PEREZ PEREZ DARWIN
32	220422	PILCO CUNO YHON CLINTON
33	217213	QUISPE APAZA ERICK EDWIN

34	221132	QUISPE QUIZANA KENEDY DARWIN
35	221098	QUISPE RAMIREZ ELEAZAR NELSON
36	221041	SUAÑA QUISPE CARLOS MARCEL
37	220988	SUPO PANCCA MARCIO
38	220409	TAPIA CABRERA YAMEL MORAN
39	214761	TRUJILLO CATACORA EDUARDO ISMAEL
40	215301	VALENCIA HUANCA GIOVANY ANDRES
41	222126	VENTURA PILCO RODRIGO EDGAR
42	220326	VILCA CCASA ROMEL YASSIEL
43	220402	YANA TAMAYO ALDAIR ALBERTO
44	221424	ZANABRIA TANCARA LUIS FERNANDO