

Experimental evaluation of smartphone sensors as a portable laboratory for university physics teaching

Ciro William Taipe Huaman¹; Eva Genoveva Mendoza Mamani²; Hugo Hernan Flores Laime³

¹Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano, Perú, emendoza@unap.edu.pe

³Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú, hugo.flores@uniq.edu.pe

Abstract– *The use of built-in smartphone sensors has emerged as a low-cost alternative for experimental physics teaching. However, quantitative evidence simultaneously validating the accuracy of these sensors and their impact on university academic performance is scarce. This study experimentally evaluated the reliability of atmospheric pressure and gravitational acceleration sensors using the "Sensors Toolbox" app, comparing measurements with theoretical models. Additionally, a quasi-experimental design was implemented with 40 Physics I students, divided into control and experimental groups. Results showed relative errors below 2% in physical measurements and a significant improvement ($p < 0.05$, $d = 1.05$) in academic performance of the experimental group. It is concluded that smartphones constitute reliable and pedagogically effective portable laboratories for university physics teaching, especially in resource-limited contexts.*

Keywords– *Mobile device, mobile application, portable laboratory, physics teaching, sensors.*

Evaluación experimental de sensores de teléfonos inteligentes como laboratorio portátil para la enseñanza de la física universitaria

Ciro William Taipe Huaman¹; Eva Genoveva Mendoza Mamani²; Hugo Hernan Flores Laime³

¹Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano, Perú, emendoza@unap.edu.pe

³Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú, hugo.flores@uniq.edu.pe

Resumen— El uso de sensores integrados en teléfonos inteligentes ha emergido como una alternativa de bajo costo para la enseñanza experimental de la física. Sin embargo, existe escasa evidencia cuantitativa que valide simultáneamente la precisión de estos sensores y su impacto en el rendimiento académico universitario. Este estudio evaluó experimentalmente la confiabilidad de los sensores de presión atmosférica y aceleración gravitacional mediante la aplicación "Caja de Sensores", comparando las mediciones con modelos teóricos. Además, se implementó un diseño cuasi-experimental con 40 estudiantes de Física I, divididos en grupo control y experimental. Los resultados mostraron errores relativos inferiores al 2% en las mediciones físicas y una mejora significativa ($p < 0.05$, $d = 1.05$) en el rendimiento académico del grupo experimental. Se concluye que los teléfonos inteligentes constituyen laboratorios portátiles confiables y pedagógicamente efectivos para la enseñanza universitaria de la física, especialmente en contextos con recursos limitados.

Palabras clave— Dispositivo móvil, aplicación móvil, laboratorio portátil, enseñanza de la física, sensores.

I. INTRODUCCIÓN

El teléfono inteligente es parte de la vida de los jóvenes. Además de servir para comunicarse, hoy es una herramienta clave para estudiar y hacer trabajos en la universidad [1]. Particularmente, los sensores integrados acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, barómetro, entre otros ofrecen posibilidades inexploradas para la experimentación científica [1]. Aunque los fabricantes no diseñan estos componentes con fines educativos, múltiples investigaciones han demostrado su potencial como laboratorios portátiles de bajo costo para la enseñanza de la física universitario [2],[3].

La pandemia de COVID-19 aceleró la incorporación de tecnologías móviles en los procesos educativos [4]. En este contexto aplicaciones como Phyphox y Física M-Lab han permitido realizar experimentos de cinemática, dinámica y electromagnetismo con precisión aceptable [4], [5]. Pinargote y María [6] evidenciaron que el uso de herramientas TIC incrementa significativamente la motivación y el desempeño académico en física. Asimismo, Rodríguez-De-Torner y Sánchez-Colina [7] demostraron que es posible implementar experimentos avanzados como la estimación de velocidad

terminal mediante filtros de Kalman utilizando únicamente el acelerómetro de un teléfono.

Los dispositivos móviles modernos incorporan diversos sensores integrados, como acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, proximidad y presión, que enriquecen la interacción del usuario y amplían sus funcionalidades. Aunque estos componentes no fueron diseñados específicamente con fines experimentales, pueden aprovecharse como herramientas alternativas para el desarrollo de actividades prácticas y la enseñanza de las ciencias físicas.

Los sensores incorporados en los dispositivos móviles facilitan la ejecución de actividades experimentales, permitiendo obtener mediciones precisas y cuantificables de distintos fenómenos físicos. Se torna factible la cuantificación de variables como aceleración, velocidad angular, campo magnético, presión y sonido, entre otras, presentando particular aplicabilidad en ambientes educativos como laboratorios de nivel secundario o universitario [1]. Debido a su portabilidad, los teléfonos inteligentes permiten desarrollar experimentos en entornos no convencionales, extendiendo la práctica experimental más allá del laboratorio.

Córdova y Lima, (2023) menciona que el proceso educativo sufrió un drástico cambio debido a la pandemia que padecemos a nivel mundial, se tuvo que aprender a usar las herramientas tecnológicas en la enseñanza y en el aprendizaje [4]. Siguiendo esta línea, se propone el uso de la aplicación Physics Toolbox Sensor Suite como recurso pedagógico para la enseñanza experimental de la cinemática.

Pinargote y Maria, (2023) evalúan el uso de una estrategia creativa e interactiva para mejorar el aprendizaje de la física. Bajo un estudio cuasi experimental realiza la metodología de trabajo, tomando un grupo de control y otro experimental [6]. Los hallazgos indican que las TIC aumentan la motivación y favorecen la comprensión de la Física, mejorando el desempeño académico.

Rodríguez-De-Torner y Sánchez-Colina, (2023) proponen un sencillo experimento para introducir a estudiantes de pregrado en ciencias básicas e ingenierías, al filtro de Kalman [7]. Se estudió la caída libre de un paraguas con un teléfono móvil integrado, empleando los datos del acelerómetro y un filtro de Kalman para estimar la velocidad terminal sin repeticiones experimentales.

Monteiro et al., (2023) muestran como los sensores incorporados en dispositivos móviles pueden ser utilizados como laboratorios portátiles al servicio de la enseñanza de las ciencias experimentales, especialmente de la física, en los últimos años de la educación media y los primeros de la universitaria [1]. Describe experimentos que, debido a su alto costo o complejidad, no eran viables en laboratorios educativos, pero que pueden realizarse empleando dispositivos móviles.

Rediansyah desarrolló un modelo de experimentación en física para educación media que emplea sensores integrados en teléfonos inteligentes como fuentes de datos para prácticas experimentales. El objetivo principal fue diseñar un manual de experimentos que permitiera a los estudiantes recopilar, analizar y aplicar datos físicos reales mediante dispositivos móviles, promoviendo la creatividad y la libertad investigativa. Los resultados del estudio sugieren que este enfoque contribuye a mejorar la comprensión conceptual de los fenómenos físicos al facilitar la recolección de datos experimentales sin necesidad de equipamientos costosos tradicionales, lo cual apoya la integración de tecnologías cotidianas en contextos educativos de ciencias experimentales [2].

El estudio de Imtinan (2023) analizó cómo se ha usado Phyphox una app que saca provecho a los sensores de los teléfonos móviles actuales (acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, entre otros) para hacer experimentos en la asignatura de física [5]. La idea era ver si realmente ayuda a medidas de los sensores y sirve para aprender mejor los conceptos de física. Encontraron que sí: el teléfono se vuelve un laboratorio portátil y les mayor facilidad a los docentes e investigadores para hacer prácticas.

El artículo de Sukariasih (2019) Studies the use of smartphone sensor for physics learning, presenta una investigación donde se emplean múltiples sensores de teléfonos inteligentes para realizar experimentos diseñados para enseñar los fundamentos de la física [3]. Cuyo objetivo fue adaptar prácticas de laboratorio tradicionales a un formato ayudado por sensores móviles, con la intención de simplificar la experimentación y reducir costos. Concluyen que el uso de smartphone como herramienta de medición permite a los estudiantes experimentar fenómenos físicos de manera más efectiva, facilitando la comprensión de conceptos y promoviendo un aprendizaje más significativo.

Pacala (2024) empleó un diseño no equivalente con muestra de control y experimental para evaluar los efectos pedagógicos de integrar esta aplicación Phyphox en prácticas de física [8]. El objetivo fue determinar si el uso de sensores móviles podría influir en la capacidad de los estudiantes para resolver problemas y pensar creativamente. Los resultados mostraron que la integración de Phyphox fue efectiva para mejorar las habilidades de pensamiento creativo, sugiriendo que las herramientas tecnológicas no solo contribuyen a medir fenómenos físicos sino también a fortalecer procesos cognitivos fundamentales en el aprendizaje científico [8].

Sin embargo, la mayoría de estudios se centran en propuestas metodológicas o experiencias cualitativas, existiendo escasa evidencia cuantitativa que valide simultáneamente la precisión instrumental de los sensores y su impacto en el rendimiento académico universitario.

El presente estudio tiene como objetivos: (1) evaluar la precisión de los sensores de presión atmosférica y aceleración gravitacional de teléfonos inteligentes mediante la aplicación Sensors Toolbox, y (2) determinar el impacto del uso de estos sensores como laboratorio portátil en el rendimiento académico de estudiantes universitarios de Física I.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Universidad Nacional de Juliaca, está ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román del departamento de Puno.

A. Diseño de investigación

El Método de investigación consistió en la aplicación del método hipotético deductivo, de tipo experimental y de diseño cuasi-experimental [9], donde se considera dos grupos homogéneos de control y experimental, en este último es donde se aplica el uso del sensores de teléfonos inteligentes, con la intención de someter a manipulación de la variable dependiente, cuyo esquema es el siguiente tabla I.

TABLA I
DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

	Prueba de Entrada	Tratamiento	Prueba de Salida
Grupo Experimental	O ₁	X	O ₂
Grupo de control	O ₃		O ₄

Donde:

O₁ y O₃: Resultado de la pre-test

X: Es la variable experimental

O₂ y O₄: Resultado de la post-test

B. Instrumentos y materiales

Dispositivos móviles: Smartphones Android con sistema operativo versión 10 o superior, equipados con barómetro y acelerómetro.

Aplicación móvil: "Caja de Sensores" [10], seleccionada por su capacidad de exportar datos en tiempo real y visualización gráfica.

Pruebas de rendimiento académico: Cuestionario de 20 preguntas (validez de contenido mediante juicio de expertos, fiabilidad test-retest $r = 0.82$).

C. Población y muestra

Población estuvo constituida por los estudiantes de segundo semestre de la Escuela Profesional de Ingeniería de software y sistemas de la Universidad Nacional de Juliaca, están matriculados en el semestre académico 2025-I, en el curso de Física I, quienes componen un total de 40

estudiantes. El tamaño muestral lo constituye la totalidad de la población debido a que es muy reducida; los que son en un número de 40 estudiantes.

D. Fiabilidad y validez de los instrumentos

Con el fin de garantizar la calidad psicométrica del instrumento de evaluación académica (pre-test y post-test), se analizaron sus propiedades de fiabilidad y validez.

La fiabilidad se determinó mediante el método Test-Retest, el cual permite evaluar la estabilidad temporal del instrumento. Para ello, el test fue aplicado en dos momentos distintos a los mismos estudiantes y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre ambas series de puntuaciones. Valores de $r \geq 0.70$ fueron considerados indicadores de consistencia aceptable, mientras que valores superiores a 0.80 evidencian alta estabilidad del instrumento [11], [12].

La validez de criterio se estimó mediante la correlación entre las puntuaciones del test y un criterio externo relacionado con el desempeño académico general del estudiante, con el propósito de verificar la capacidad del instrumento para medir adecuadamente los aprendizajes esperados. Correlaciones positivas y significativas ($p < 0.05$) fueron interpretadas como evidencia de validez adecuada [13], [14].

Estos procedimientos permitieron asegurar que las mediciones empleadas reflejan de manera consistente y válida el rendimiento académico de los estudiantes, garantizando la confiabilidad de los análisis posteriores.

Para interpretar los resultados del rendimiento académico, las puntuaciones fueron clasificadas en niveles de desempeño según rangos establecidos, los cuales se presentan en la Tabla II.

TABLA II
NIVELES DE DESEMPEÑO ACADÉMICO SEGÚN PUNTAJE OBTENIDO

Nivel de desempeño	Rango de puntuación	Interpretación
Deficiente	7–10	No alcanza los aprendizajes básicos
Regular	11–14	Logro parcial de aprendizajes
Bueno	15–17	Logro satisfactorio de aprendizajes
Muy bueno	18–20	Dominio adecuado de los contenidos

E. Variables, hipótesis y análisis estadístico

Con el propósito de evaluar rigurosamente el efecto pedagógico del uso de sensores integrados en teléfonos inteligentes, se definieron las siguientes variables de estudio.

Variable independiente: implementación de actividades experimentales mediante sensores móviles y la aplicación “Caja de Sensores”.

Variable dependiente: rendimiento académico en el curso de Física I, medido a través de las puntuaciones obtenidas en el pre-test y post-test.

Variables de control: contenidos curriculares, docente responsable, tiempo de instrucción, número de horas de clase y condiciones de evaluación, las cuales se mantuvieron constantes en ambos grupos.

Con base en el diseño cuasi-experimental con grupo control y experimental, se formularon las siguientes hipótesis estadísticas:

H0 (hipótesis nula): no existen diferencias significativas en el rendimiento académico entre el grupo control y el grupo experimental después de la intervención.

H1 (hipótesis alternativa): el uso de sensores móviles produce una mejora significativa en el rendimiento académico del grupo experimental.

Para el análisis de datos se emplea estadística descriptiva e inferencial. En primera instancia, se calcularon medidas de tendencia central y dispersión para caracterizar el desempeño académico de ambos grupos. Posteriormente, se verificó la normalidad de las distribuciones mediante la prueba de Shapiro–Wilk.

Dado que los puntajes siguieron una distribución aproximadamente normal, se aplica la prueba t de Student para muestras independientes con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, con el fin de comparar las medias del post-test entre ambos grupos. En caso de no cumplirse el supuesto de normalidad, se consideró el uso de la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U.

Además de la significancia estadística, se estimó el tamaño del efecto mediante el coeficiente d de Cohen, con el objetivo de cuantificar la magnitud real de la intervención pedagógica, interpretándose como efecto pequeño ($d = 0.2$), moderado ($d = 0.5$) y grande ($d \geq 0.8$).

F. Aplicación caja de sensores

Se empleó la aplicación Sensors Toolbox [10], comercialmente denominada “Caja de Sensores”. Esta herramienta permite acceder en tiempo real a las lecturas de los sensores integrados del dispositivo (barómetro, acelerómetro, etc.), así como registrar y exportar los datos. Se seleccionó por su gratuidad, interfaz intuitiva y compatibilidad con Android. La Figura 1 muestra el ícono correspondiente a la aplicación instalada en el dispositivo móvil.



Fig. 1 Ícono de la aplicación

G. Presión atmosférica del lugar

La atmósfera se comporta como un fluido gaseoso que ejerce presión sobre todos los cuerpos inmersos en ella. La presión atmosférica se define como la fuerza ejercida por unidad de área y se origina por el peso de la columna de aire debido a la acción de la gravedad. En consecuencia, a medida que aumenta la altitud, la cantidad de aire sobre un punto

disminuye, reduciéndose progresivamente la presión atmosférica.

H. Aceleración de la gravedad del lugar

La aceleración gravitacional corresponde a la variación de la velocidad que experimenta un cuerpo debido a la acción de la fuerza de gravedad. Su magnitud depende de la masa del cuerpo que genera el campo gravitatorio en este caso la Tierra, de la distancia al centro de dicha masa y de la constante de gravitación universal de $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

El valor estándar de la gravedad (9.80665 m/s^2) solo aplica a condiciones específicas; en realidad, varía con la latitud y la altitud, siendo mayor en los polos y menor en el ecuador debido a la forma y rotación terrestre.

I. Actividad experimental

Se efectuaron mediciones con la aplicación móvil en Juliaca, Perú, obteniéndose valores de presión atmosférica y aceleración de la gravedad consistentes con lo establecido teóricamente, como se muestra en la Figura 2

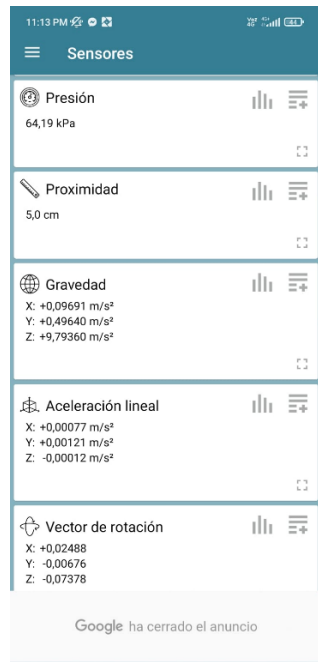


Fig. 2 Resultado de medidas con la aplicación móvil.

J. Procedimiento experimental

Para evaluar la precisión de los sensores, se realizaron 10 mediciones consecutivas de presión atmosférica y aceleración gravitacional con un mismo dispositivo Xiaomi 11T Pro en un intervalo de 5 minutos, en condiciones ambientales estables (temperatura $18 \pm 2^\circ\text{C}$, sin corrientes de aire). Se calculó la media y desviación estándar de las mediciones. Los valores reportados en la Tabla IV corresponden a la media de las 10 repeticiones.

K. Fundamento teórico

Para obtener valores de la presión atmosférica del lugar, se obtiene por medio de la ecuación (1)

$$P = P_o e^{-\left(\frac{\rho_o g}{P_o}\right)h} \quad (1)$$

Donde: P_o , presión atmosférica, ρ_o densidad del aire a nivel del mar, g aceleración de la gravedad a nivel del mar, h altitud de lugar.

La variación de la magnitud de la aceleración g_ϕ debido a la gravedad en la superficie de la tierra con la latitud (ϕ) está dada por la fórmula internacional de la gravedad adoptada en 1930 por el Congreso Geofísico Internacional:

$$g_\phi = 9.78049000(1 + 0.0052884 \sin^2 \phi - 0.0000059 \sin^2 2\phi) \quad (2)$$

g_ϕ en m/s^2 , ϕ en grados

La variación de la aceleración gravitacional con la altitud (H) sobre el nivel del mar es aproximadamente

$$g = g_\phi - 0.000002860H \quad (3)$$

H en metros, donde $H \leq 40000\text{m}$ y g_ϕ en m/s^2

Ahora realizamos los calculo por medio de la ecuación (1)-(3), para los siguientes datos mostrados en la tabla III del lugar:

TABLA III.
DATOS DE LA CIUDAD DE JULIACA

Dato	Valor numérico
Latitud	- 15.4997
Altitud	3825m
Densidad del aire a nivel del mar	1.2 kg/m^3
Presión atmosférica a nivel del mar	101.325 kPa
Aceleración de la gravedad a nivel del mar	9,80665 m/s^2

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla IV, comparando con los resultados obtenidos por medio de la aplicación móvil. La baja variabilidad de los resultados confirma que la aplicación móvil es adecuada para medir la presión atmosférica y la aceleración de la gravedad.

TABLA IV
RESULTADOS DE CÁLCULO Y MEDIDA

	Valor Teórico	Valor medido	Diferencia absoluta	Error relativo
Presión atmosférica	64.98094kPa	64.19kPa	0.79094	1.22%
Aceleración de la gravedad	9.7722 m/s^2	9.7936 m/s^2	0.0214	0.22%

Nota: Los valores teóricos se calcularon mediante: presión atmosférica [ecuación (1)] y aceleración de la gravedad [ecuaciones (2) y (3)]. El valor experimental es la media de 10 mediciones consecutivas con el sensor del Xiaomi 11T Pro.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Validación experimental

Los valores obtenidos mediante la aplicación móvil fueron comparados con los cálculos teóricos basados en modelos físicos dependientes de la latitud y altitud del lugar. Para la

presión atmosférica se estimó un valor teórico de 64.98 kPa, mientras que el sensor registró 64.19 kPa, lo que representa una diferencia absoluta de 0.79 kPa, equivalente a un error relativo aproximado del 1.2 %.

En el caso de la aceleración de la gravedad, el valor teórico fue 9.7722 m/s² y el medido 9.7936 m/s², con una diferencia de 0.0214 m/s² (error relativo menor al 1 %).

Estas discrepancias se encuentran dentro de márgenes aceptables para instrumentación no especializada, lo que confirma que los sensores integrados en teléfonos inteligentes poseen una precisión suficiente para fines didácticos. En consecuencia, pueden considerarse una alternativa viable y de bajo costo frente a equipos de laboratorio convencionales, especialmente en contextos con recursos limitados.

B. Resultados en la pre-test

La Figura 3 muestra la distribución del rendimiento académico inicial previo a la intervención pedagógica en ambos grupos, cada uno conformado por 20 estudiantes. En el grupo control, 8 estudiantes (40 %) se ubicaron en el nivel deficiente, 6 (32 %) en regular, 6 (28 %) en bueno y ninguno en muy bueno; de manera similar, en el grupo experimental se registraron 8 estudiantes (40 %) en deficiente, 9 (44 %) en regular, 3 (16 %) en bueno y ninguno en muy bueno. Estos resultados evidencian una concentración predominante en los niveles de desempeño bajo e intermedio y la ausencia de estudiantes con alto rendimiento, lo que indica una base conceptual limitada al inicio del curso. Asimismo, la similitud en la distribución entre ambos grupos confirma condiciones académicas iniciales comparables, garantizando la homogeneidad muestral y permitiendo atribuir posteriormente las diferencias observadas al efecto de la intervención experimental.

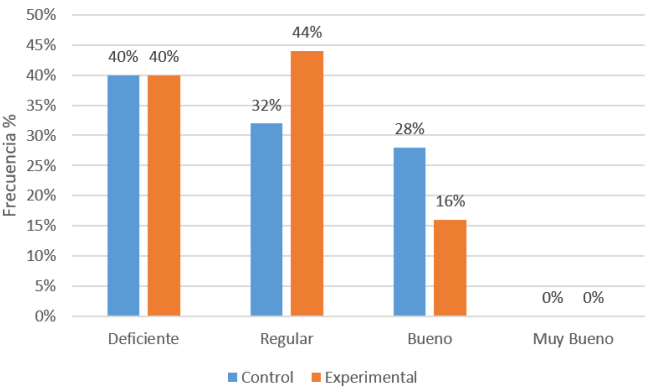


Fig. 3 Distribución de puntajes en la prueba de entrada (pre-test).

C. Resultados la post-test

La Figura 4 presenta el rendimiento académico posterior a la intervención didáctica en ambos grupos (n = 20 por grupo). En el grupo control, 3 estudiantes (16 %) se ubicaron en el nivel deficiente, 8 (40 %) en regular, 6 (32 %) en bueno y 3 (12 %) en muy bueno, evidenciando una mejora moderada respecto a la evaluación inicial. Por su parte, el grupo

experimental registró 3 estudiantes (16 %) en deficiente, 4 (20 %) en regular, 10 (48 %) en bueno y 3 (16 %) en muy bueno, mostrando una redistribución más favorable hacia categorías de mayor desempeño. En el pre-test, ningún estudiante de ambos grupos alcanzó el nivel muy bueno; el grupo experimental tenía 3 estudiantes en 'bueno' (15 %) y el grupo control 6 en bueno (30 %). Tras la intervención, el grupo experimental incrementó sus niveles altos (bueno + 'muy bueno) de 3 a 13 estudiantes (65 %), mientras que el grupo control pasó de 6 a 9 estudiantes (45 %). Este contraste evidencia un impacto positivo más acentuado en el grupo experimental.

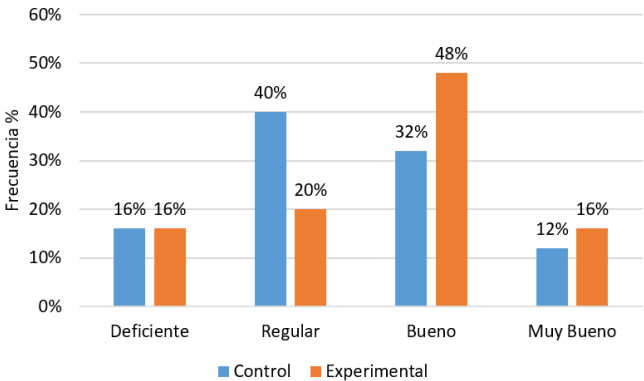


Fig. 4 Distribución de puntajes en la prueba de salida (post-test).

Se verificó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk; los puntajes del post-test siguieron una distribución normal (W = 0.96, p = 0.32 para el grupo control; W = 0.94, p = 0.21 para el experimental). Por tanto, se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes.

Los resultados de la tabla V de la prueba t de Student para muestras independientes revelaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento post-test entre el grupo experimental (M = 16.40, DE = 2.18) y el grupo control (M = 13.85, DE = 2.64), con t(38) = 3.52, p = 0.001. El tamaño del efecto fue grande (d = 1.05), lo que indica que la intervención basada en sensores móviles explica una proporción sustancial de la mejora observada.

TABLA V COMPARACIÓN DE MEDIAS EN EL POST-TEST ENTRE GRUPOS							
Grupo	n	Media	DE	t	gl	p	d de Cohen
Control	20	13.85	2.64				
Experimental	20	16.40	2.18	3.52	38	0.001	1.05

Los resultados experimentales confirman que los sensores integrados en teléfonos inteligentes presentan un nivel de precisión suficiente para estimar variables físicas fundamentales como la presión atmosférica y la aceleración gravitacional. La baja magnitud de los errores observados

respalda su viabilidad como alternativa de bajo costo frente a equipos de laboratorio convencionales.

Desde el punto de vista pedagógico la mejora del rendimiento académico del grupo experimental sugiere que el uso de la aplicación móviles promueve una mayor participación estudiantil y facilita la comprensión de los fenómenos físicos mediante la experimentación. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que destacan el potencial de los dispositivos móviles como laboratorios portátiles en la enseñanza de la ciencia Física. En consecuencia el uso de aplicaciones móviles en cursos de física universitaria no solo es técnicamente factible, sino también pedagógicamente beneficiosa.

Los resultados obtenidos evidencian que los sensores de los teléfonos inteligentes presentan una precisión adecuada para la estimación de magnitudes físicas fundamentales. La diferencia relativa entre los valores teóricos y experimentales fue inferior al 2 % para la presión atmosférica y menor al 1 % para la aceleración de la gravedad, errores que se encuentran dentro de rangos aceptables para instrumentación no especializada. Estos hallazgos confirman que los dispositivos móviles pueden emplearse con fines didácticos sin comprometer la validez de las mediciones, constituyéndose en una alternativa viable frente a equipos de laboratorio tradicionales de mayor costo.

Desde el punto de vista instrumental, los resultados concuerdan con lo reportado por Monteiro et al. [1], quienes señalan que los sensores móviles ofrecen exactitudes suficientes para experimentación educativa y permiten sustituir equipamientos costosos en contextos escolares y universitarios. De manera similar, Rediansyah [2] destaca que el uso de sensores integrados facilita la recolección de datos experimentales reales sin requerir infraestructura especializada, favoreciendo la accesibilidad y democratización de la práctica científica. La baja diferencia cuantitativa observada en el estudio respalda empíricamente dichas afirmaciones, aportando evidencia local para condiciones geográficas de gran altitud como Juliaca.

En relación con el impacto pedagógico, el incremento del rendimiento académico del grupo experimental respecto al grupo control sugiere que la integración de aplicaciones móviles promueve una mayor participación activa del estudiante y fortalece la comprensión conceptual mediante la experimentación. Este comportamiento coincide con los resultados de Pinargote y María [6], quienes reportan que el uso de herramientas TIC incrementa la motivación y mejora significativamente el desempeño académico en física. Asimismo, Córdova y Lima [4] resaltan que las tecnologías móviles constituyen recursos clave para modernizar la enseñanza postpandemia, facilitando entornos de aprendizaje más dinámicos e interactivos.

Por otro lado, la utilización de sensores para la adquisición y procesamiento de datos en tiempo real se alinea con propuestas más específicas como la de Rodríguez-De-Torner y Sánchez-Colina [7], quienes demostraron que el acelerómetro del teléfono puede emplearse en experimentos

avanzados de cinemática apoyados por técnicas de filtrado de Kalman. Esto sugiere que el potencial educativo de los smartphones no se limita a experiencias básicas, sino que puede extenderse a actividades experimentales de mayor complejidad analítica. Del mismo modo, revisiones sobre aplicaciones como Phythox evidencian que estas herramientas amplían el abanico de prácticas disponibles y fomentan habilidades cognitivas superiores, incluyendo el pensamiento creativo y la resolución de problemas [5].

En conjunto, la concordancia entre la evidencia experimental y los estudios previos permite sostener que los teléfonos inteligentes no solo funcionan como instrumentos de medición confiables, sino también como catalizadores pedagógicos que favorecen metodologías activas, aprendizaje basado en la indagación y mayor autonomía del estudiante. En contextos universitarios con recursos limitados, esta integración tecnológica representa una solución sostenible y escalable.

No obstante, es importante reconocer algunas limitaciones del estudio, tales como el tamaño muestral reducido y la dependencia de un único modelo de dispositivo móvil, factores que podrían influir en la generalización de los resultados. Investigaciones futuras podrían incorporar muestras más amplias, comparar diferentes marcas de sensores y evaluar otras magnitudes físicas para robustecer la validez externa del enfoque propuesto.

En síntesis, la evidencia obtenida confirma que la incorporación de sensores móviles en la enseñanza de la física universitaria combina precisión experimental, accesibilidad económica y beneficios pedagógicos, consolidándose como una estrategia didáctica innovadora y efectiva.

IV. CONCLUSIONES

La investigación dejó algo muy claro: los sensores que ya vienen en nuestros smartphones tienen una precisión buena, con un margen de error que ni siquiera llega al 2% cuando se trata de medir la gravedad o la presión del aire. Esto, básicamente, significa que llevamos un laboratorio portátil de primer nivel en el bolsillo sin habernos dado cuenta. Pero lo mejor no es solo el aparato, sino lo que pasa en clase; se vio que los alumnos que usaron esta tecnología mejoraron sus notas un montón, confirmando que el aprendizaje activo y entender la física es mucho más fácil así. Al final del día, el celular se convierte en esa alternativa académica barata, fácil de replicar y súper accesible que tanto se necesita, sobre todo en universidades donde el presupuesto para equipo de laboratorio es limitado.

REFERENCIAS

- [1] M. Monteiro, C. Stari, y A. Marti, «Los sensores de los dispositivos móviles: una herramienta innovadora en la enseñanza de las ciencias físicas», *Model. Sci. Educ. Learn.*, vol. 2, n.º 3384, pp. 37-42, 2023.
- [2] H. Rediansyah, «The Model of Physics Experiments Using Smartphone Sensors in Senior High School 1 Pangkalpinang Herfien Rediansyah 1», *SEAQIS J. Sci. Educ.*, vol. 2, n.º 1, pp. 34-38, 2022.
- [3] L. Sukariasih, Erniwati, L. Sahara, L. Hariroh, y S. Fayanto, «Studies The

- Use Of Smartphone Sensor For Physics Learning», *Int. J. Sci. & Technol. Res.*, vol. 8, n.º 10, pp. 862-870, 2019.
- [4] M. del carmen E. Córdova y S. Lima, «Aprendiendo física con el teléfono inteligente», *Rev. Int. Humanidades*, pp. 2-10, 2023.
- [5] N. Intinan y H. Kuswanto, «The Use of Phyphox Application in Physics Experiments : A Literature Review», *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidik. Fis.*, vol. 8, n.º 2, pp. 183-191, 2023.
- [6] B. Pinargote y P. Maria, «Estrategia interactiva para fortalecer el proceso enseñanza-aprendizaje de la asignatura de Física atómica y nuclear», *Minerva J.*, vol. 4, pp. 51-63, 2023.
- [7] L. Rodríguez-De-Torner y G. Sánchez-Colina, «Introducción Al Filtro De Kalman A Través De La Física Experimental», *Rev. Cuba. Fis.*, vol. 34, pp. 34-38, 2023.
- [8] F. A. Pacala y U. Pili, «Exploring the magnetic field strength of a solenoid using the magnetometer of a smartphone», *Educ. JSMT*, vol. 11, n.º 1, pp. 1-7, 2024.
- [9] R. Hernandez, C. Fernandez, y M. Baptista, *Metodología de la investigación*, Sexta. Mexico, 2014.
- [10] Examobile, «Caja de sensores - Apps en Google Play», 2023. [En línea]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.exatools.sensors&hl=es_VE. [Accedido: 15-ago-2023].
- [11] R. Gempp, «El error estándar de medida y la puntuación verdadera de los tests psicológicos : Algunas recomendaciones prácticas The standard error of measurement and the true score of psychological tests »:, *Ter. Psicológica*, vol. 24, pp. 117-129, 2006.
- [12] F. Pere y C. Anguiano, «El análisis factorial como técnica de investigación en psicología», *Papeles del Psicol.*, vol. 31, n.º 1, pp. 18-33, 2010.
- [13] H. Carretero y C. Pérez, «Normas para el desarrollo y revisión de estudios instrumentales», *Int. J. Clin. Heal. Psychol.*, vol. 5, n.º 3, pp. 521-551, 2005.
- [14] M. Cruz y M. C. Martínez, «Perfeccionamiento de un instrumento para la selección de expertos en las investigaciones educativas», *Rev. electrónica Investig. Educ.*, vol. 14, n.º 2, pp. 167-179, 2012.