

Cifrando el movimiento: evaluación diagnóstica y clasificación de errores en cinemática en el preuniversitario de la Universidad Técnica de Manabí

Encrypting motion: diagnostic assessment and error classification in kinematics at the pre-university program of Universidad Técnica de Manabí

Cifrando o movimento: avaliação diagnóstica e classificação de erros em cinemática no pré-universitário da Universidade Técnica de Manabí

Boris Fernando Calle Fernández¹, <https://orcid.org/0009-0007-7182-0064>

Dayana Valentina Ochoa Mejía², <https://orcid.org/0009-0004-7149-2687>

Maria Alejandra Macías Silva³, <https://orcid.org/0009-0004-9421-5703>

Carlos Andrés Davila Arteaga³, <https://orcid.org/0009-0001-9943-5148>

Andrea Daniela Loor García³, <https://orcid.org/0009-0001-7071-5277>

¹Instituto de Admisión y Nivelación, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador

²Escuela Superior Politécnica del Litoral Portoviejo, Ecuador

³Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador

Autor para correspondencia: boris.calle@utm.edu.ec

RESUMEN

La comprensión de la cinemática en estudiantes que ingresan a la educación superior presenta dificultades persistentes asociadas a vacíos conceptuales arrastradas desde el bachillerato. Se realizó un estudio cuantitativo de alcance descriptivo-correlacional con el objetivo de diseñar evaluaciones diagnósticas para evaluar los errores conceptuales y procedimentales de los estudiantes en la comprensión y resolución de problemas de cinemática, en el que se aplicó una prueba diagnóstica de opción múltiple de 25 ítems a 346 estudiantes del preuniversitario de la Universidad Técnica de Manabí (periodo 2026-S1) y una encuesta de percepción complementaria (n = 150). El bloque de menor desempeño no fue la cinemática (74.3% de aciertos) sino los vectores (65.7%); ambos se asociaron fuertemente ($r = 0.73$, $p < .001$) y los errores se concentraron sistemáticamente en distractores específicos (39-61% por ítem). El 62.5% de los estudiantes identificó los vectores como su principal debilidad. Los errores en cinemática se explican en gran medida por vacíos previos en vectores y por mecanismos procedimentales concretos, como el escaso dominio de los modos grados/radianes de la calculadora (89%) y la conversión inconsistente de unidades (49%). Los resultados fundamentan el diseño de una herramienta diagnóstica mejorada, sujeta a validación por juicio de docentes profesionales, como línea de investigación futura.

Palabras clave: Evaluación diagnóstica, cinemática, vectores, errores procedimentales, conocimientos previos.

ABSTRACT

The understanding of kinematics among students entering higher education shows persistent difficulties associated with conceptual gaps carried over from high school. A quantitative descriptive-correlational study was conducted with the aim of designing diagnostic assessments to evaluate students' conceptual and procedural errors in the comprehension and problem-solving of kinematics. A 25-item multiple-choice diagnostic test was applied to 346 pre-university students at the Technical University of Manabí (2026-S1 period), along with a complementary perception survey (n = 150). The lowest-performing block was not kinematics (74.3% correct) but vectors (65.7%); both were strongly associated ($r = 0.73$, $p < .001$), and errors systematically concentrated on specific distractors (39–61% per item). 62.5% of students identified vectors as their main weakness. Errors in kinematics were largely explained by prior gaps in vectors and by specific procedural mechanisms, such as poor mastery of calculator degree/radian modes (89%) and inconsistent unit conversion (49%). The results

support the design of an improved diagnostic tool, subject to validation by professional teachers' judgment, as a future line of research.

Keywords: Diagnostic assessment, kinematics, vectors, procedural errors, prior knowledge.

RESUMO

A compreensão da cinemática entre estudantes que ingressam no ensino superior apresenta dificuldades persistentes associadas a lacunas conceituais trazidas do ensino médio. Foi realizado um estudo quantitativo de alcance descritivo-correlacional com o objetivo de elaborar avaliações diagnósticas para avaliar os erros conceituais e procedimentais dos estudantes na compreensão e resolução de problemas de cinemática. Aplicou-se uma prova diagnóstica de múltipla escolha com 25 itens a 346 estudantes do pré-universitário da Universidade Técnica de Manabí (período 2026-S1), juntamente com uma pesquisa de percepção complementar ($n = 150$). O bloco de menor desempenho não foi a cinemática (74,3% de acertos), mas sim os vetores (65,7%); ambos se associaram fortemente ($r = 0,73$, $p < .001$), e os erros se concentraram sistematicamente em distratores específicos (39–61% por item). 62,5% dos estudantes identificaram os vetores como sua principal fraqueza. Os erros em cinemática foram em grande parte explicados por lacunas prévias em vetores e por mecanismos procedimentais concretos, como o baixo domínio dos modos graus/radianos da calculadora (89%) e a conversão inconsistente de unidades (49%). Os resultados fundamentam o desenho de uma ferramenta diagnóstica aprimorada, sujeita à validação por julgamento de docentes profissionais, como linha de investigação futura.

Palavras-chave: Avaliação diagnóstica, cinemática, vetores, erros procedimentais, conhecimentos prévios.

Recibido 21/06/2026 Aprobado 3/07/2026

Introducción

La didáctica de la Física en el preuniversitario presenta dificultades persistentes que sugieren pobres niveles de interpretación de los conceptos abstractos de la materia, en especial en la cinemática. Los estudiantes muestran dificultades para interpretar fenómenos, relacionar la parte teórica con la parte práctica y resolver los problemas cuantitativos (Cobeña Cedeño *et al.* 2025). Estas dificultades suelen ser atribuibles al uso más que predominante de las metodologías tradicionales, a la pobre tecnología utilizada y a deficiencias en los procesos de evaluación, que rara vez cumplen una función diagnóstica.

En el preuniversitario del IAN-UTM, la enseñanza de la materia Física está organizada en tres unidades: Introducción a la Física (es decir, la notación científica, las cifras significativas y la conversión de las unidades), Vectores, y Movimiento Rectilíneo, que es precisamente el núcleo de la cinemática. Por lo que, en el entorno práctico, la tercera unidad recibe el menor tiempo de tratamiento del semestre, lo cual hace que el aprendizaje del tema dependa casi por completo de los conocimientos previos que traen consigo los estudiantes al ingresar. La investigación en educación vinculada a la física documentó desde hace décadas que las dificultades en el contenido cinemático eran sistemáticas y persistían tras la instrucción formal. Los trabajos pioneros de Trowbridge y McDermott (1980, 1981) mostraron que los universitarios de cursos introductorios confundían de forma reiterada los conceptos de velocidad y aceleración, a la vez que eran capaces de manipular las fórmulas. Nuevas muestras confirmaron la persistencia del problema: mediante tests diagnósticos de niveles múltiples se ha evidenciado que un porcentaje significativo de estudiantes, incluidos los futuros profesores de física, sostiene concepciones erróneas sobre la cinemática del movimiento y no logra analizar la aceleración de los objetos ni interpretar gráficas de velocidades y aceleraciones negativas (Mellu *et al.*, 2022). La interpretación de gráficas cinemáticas, evaluada mediante el Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K), sigue siendo igualmente fuente de investigación y apareciendo como una de las dificultades más resistentes a la instrucción (Klein *et al.*, 2021).

Una segunda línea de investigación, directamente pertinente para este estudio, ha establecido que el manejo de vectores constituye un conocimiento previo crítico para el aprendizaje de la mecánica, y que las dificultades vectoriales están ampliamente extendidas al ingreso a la universidad (Bani-Salameh *et al.*, 2020; Nguyen y Meltzer, 2003). Con instrumentos validados como el Test of Understanding of Vectors (Barniol y Zavala, 2014; Susac *et al.*, 2018), estudios recientes en distintos contextos han identificado de forma consistente las mismas operaciones críticas: la representación gráfica de vectores unitarios, la suma y resta gráfica, y muy especialmente la interpretación del producto escalar y del producto vectorial (Latifa *et al.*, 2021; Sabah, 2023). Se ha mostrado además que la comprensión vectorial es incoherente entre representaciones: los estudiantes pueden resolver en el registro matemático y fallar en el visual (Taqwa y Rahim, 2022), lo que

subraya la necesidad de instrumentos con múltiples representaciones (Munfaridah *et al.*, 2021). Este cuerpo de evidencia sostiene la hipótesis del presente estudio: los errores en cinemática pueden tener su causa raíz en vacíos de conocimientos previos, particularmente vectoriales, arrastrados desde el Bachillerato.

En el contexto ecuatoriano, los cursos de nivelación cumplen precisamente la función de cerrar esa brecha entre el Bachillerato General Unificado y las exigencias de la educación superior; sin embargo, los docentes suelen carecer de información sistematizada sobre qué errores específicos traen los estudiantes al ingresar, lo que impide focalizar la nivelación en los vacíos reales. Un antecedente directo en la propia provincia de Manabí lo constituye el diagnóstico de Cobeña Cedeño *et al.* (2025), quienes documentaron en estudiantes de Bachillerato del cantón Chone preconcepciones erróneas persistentes sobre los tipos de movimiento —entre ellas la confusión entre velocidad constante y variable en el MRU y errores sobre la dirección de la aceleración en el lanzamiento vertical—, concluyendo que estas concepciones alternativas sobreviven a la instrucción formal. El presente estudio examina el otro extremo de esa misma trayectoria: el estado con el que dichos estudiantes llegan al preuniversitario.

Lo anterior justifica la siguiente pregunta guía: ¿Cómo diseñar evaluaciones diagnósticas que permitan identificar los errores conceptuales y procedimentales de los estudiantes en la resolución de problemas de cinemática en el nivel preuniversitario? El objetivo del estudio es diseñar evaluaciones diagnósticas para evaluar los errores conceptuales y procedimentales de los estudiantes en la comprensión y resolución de problemas de cinemática en el nivel preuniversitario.

Metodología

Enfoque y diseño

Es una investigación de enfoque cuantitativo, alcance descriptivo-correlacional, con diseño no experimental y transversal. Los datos se recolectaron mediante una prueba diagnóstica aplicada al inicio del periodo académico 2026-S1, complementada con una encuesta de percepción aplicada posteriormente en los mismos paralelos.

Población y muestra

La población está conformada por aproximadamente 1500 estudiantes que ingresan al preuniversitario del IAN-UTM en el periodo 2026-S1. La muestra quedó constituida por 346 estudiantes que completaron la prueba diagnóstica (aproximadamente el 23% de la población), mediante muestreo no probabilístico por respuesta voluntaria acumulada a través de un formulario en línea. Se trabajó con el primer intento de cada estudiante (identificado por su número de cédula) a fin de medir el estado inicial real de conocimientos; los 42 registros de reintento se excluyeron del análisis (388 registros totales). Se reconoce como limitación que el muestreo por autoselección restringe la generalización estadística de los resultados.

Instrumentos

El instrumento principal fue una Prueba de Diagnóstico Práctico de 25 preguntas de opción múltiple, administrada mediante formulario en línea, estructurada en cuatro bloques temáticos alineados con las unidades curriculares del preuniversitario: (a) notación científica, prefijos y cifras significativas (ítems 1-8); (b) conversión de unidades (ítems 9-13); (c) vectores: vector unitario, transformación polar-rectangular, suma, producto escalar y producto vectorial (ítems 14-17, 24-25); y (d) cinemática: movimiento rectilíneo uniforme (MRU), movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), caída libre y lanzamiento vertical (ítems 18-23). Aunque el foco del estudio es la cinemática, los bloques restantes evalúan los conocimientos previos requeridos, lo que permite analizar si los errores se asocian a vacíos en dichos prerrequisitos. El instrumento no incluyó ítems de interpretación gráfica, lo cual se declara limitación.

Como instrumento complementario se aplicó, tras la prueba y en los mismos paralelos, una Encuesta de Percepción en línea de 31 ítems ($n = 150$) que recoge autopercepción de preparación por tema en escala de 4 puntos, autodiagnóstico del proceso de resolución, hábitos y trayectoria escolar, percepción del instrumento y dos preguntas abiertas. La encuesta se diseñó para vincularse con la prueba mediante el número de cédula; sin embargo, en la aplicación solo el 10% de las cédulas resultó coincidente entre ambos registros, por lo que el análisis vinculado individual no fue posible y la encuesta se analiza de forma descriptiva y agregada.

Categorías de análisis

Los resultados se clasifican en tres categorías: Desconocimiento (incapacidad de identificar la fórmula o principio adecuado), Confusión/Error Procedimental (confusión de variables o aplicación matemática incorrecta de una fórmula conocida) y Dominio Conceptual (relación correcta entre teoría y resolución cuantitativa). Operativamente, la concentración de errores en un distractor específico se interpreta como indicio de error procedimental sistemático, mientras que la dispersión aleatoria entre distractores se interpreta como indicio de desconocimiento.

Para clasificar a cada estudiante se aplicó el siguiente criterio sobre el bloque de cinemática: se asignó a la categoría de Dominio Conceptual a quienes respondieron correctamente al menos cinco de los seis ítems; entre los restantes, se asignó a Confusión/Error Procedimental a quienes concentraron la mitad o más de sus errores en el distractor dominante del ítem correspondiente, y a Desconocimiento a quienes distribuyeron sus errores entre distractores no dominantes. Se trata de un criterio operativo construido para este estudio, cuya principal limitación deriva del formato cerrado del instrumento —discutida más adelante—, por lo que sus resultados deben interpretarse como una aproximación a la distribución de tipos de error y no como una clasificación diagnóstica individual.

Procedimiento y control de calidad de los datos

Se realizó una auditoría de la clave de calificación del instrumento, verificando la solución física de cada ítem. Se detectó un error de asignación de clave en el ítem 15 (transformación de coordenadas polares a rectangulares): la opción marcada como correcta en el formulario no correspondía a la solución del problema, mientras que la opción físicamente correcta —elegida por el 68% de los estudiantes— estaba calificada como error. La clave fue corregida y todos los registros fueron recalificados antes del análisis. Este episodio se retoma en la discusión como evidencia de la necesidad de validación de instrumentos diagnósticos. El procesamiento estadístico incluyó estadística descriptiva, análisis de distractores, correlaciones (Pearson y Spearman), prueba chi cuadrado de independencia y el coeficiente de confiabilidad KR-20; el análisis de distractores constituye un componente estándar del análisis de ítems, junto con los índices de dificultad y discriminación (Rezigalla *et al.*, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desempeño general y por bloque temático

El puntaje global promedio fue de 69.4% (17.3/25 puntos, DE = 6.7, mediana = 20; rango 2-25). La consistencia interna del instrumento fue excelente (KR-20 = 0.93). El 26.3% de los estudiantes no alcanzó el 50% de la prueba. La Tabla 1 presenta el desempeño por bloque temático.

Tabla 1. Desempeño por bloque temático de la prueba diagnóstica (n = 346)

Bloque temático	N.º de ítems	M (%)	DE
Notación científica y cifras significativas	8	66.4	27.5
Conversión de unidades	5	72.7	32.5
Vectores	6	65.7	31.8
Cinemática	6	74.3	33.3

Nota: M = porcentaje medio de acierto por estudiante; DE = desviación estándar. Cálculos sobre el primer intento de cada estudiante, con la clave del ítem 15 corregida

Contrario a lo esperado, cinemática no fue el bloque más débil: lo fue Vectores y, dentro de este, el producto escalar (ítem 24: 53.5%) y el producto vectorial (ítem 25: 60.4%). A nivel de ítem individual, los dos más débiles de toda la prueba fueron las operaciones con criterios de cifras significativas (ítem 6: 46.2%; ítem 8: 48.0%), seguidas precisamente de los productos vectoriales.

Análisis por ítem de cinemática y distractores

La Tabla 2 resume el desempeño en los seis ítems de cinemática y el distractor dominante de cada uno.

Tabla 2. Desempeño y distractor dominante en los ítems de cinemática (n = 346)

Ítem	Tema	% correcto	Distractor dominante	% de errores que concentra
18	MRU: velocidad (conversión a km/h)	79.2	450 km/h	56
19	Lanzamiento vertical: altura máxima	74.6	18.9 m	61
20	MRUV: desaceleración	68.8	-2.45 m/s²	39
21	MRUV: tiempo de frenado	74.0	60 s	60
22	Caída libre: velocidad en t = 3 s	78.9	35.6 m/s	51
23	MRU: distancia en metros	70.5	42500 m	48

Nota: El distractor dominante es la opción incorrecta más elegida.

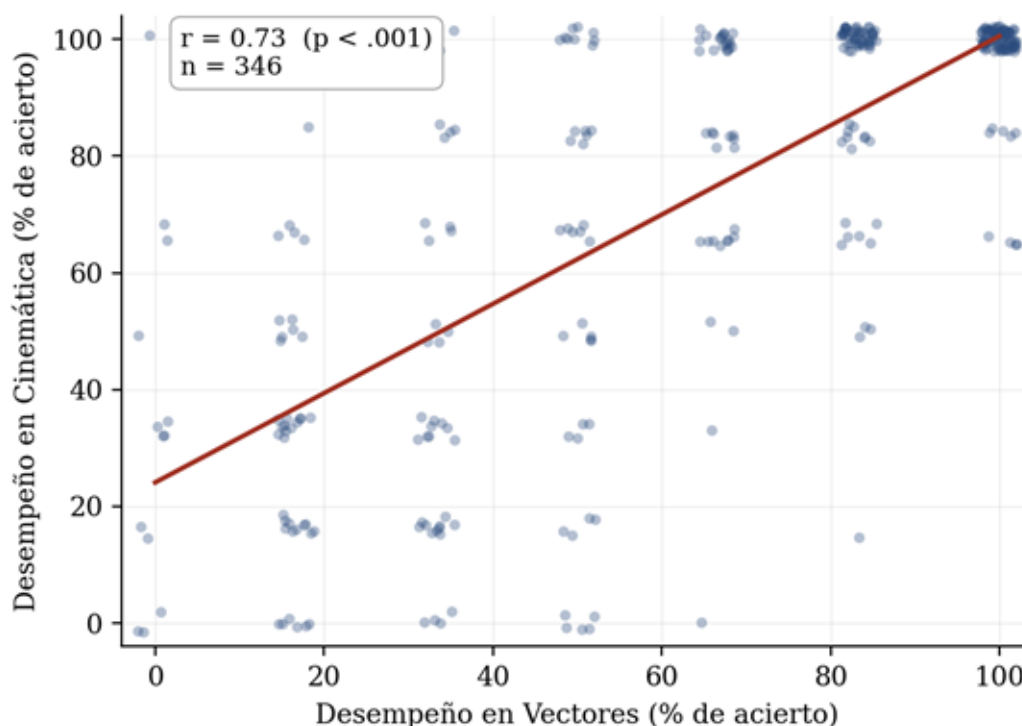
Dos patrones destacan. Primero, los errores no se dispersan al azar: en los seis ítems, entre el 39% y el 61%

de los errores se concentra en un único distractor, patrón que, conforme al criterio operativo definido en materiales y métodos, corresponde a error procedimental sistemático. Segundo, el MRUV es el componente más débil dentro de cinemática (71.4% de acierto frente a 74.9% en MRU y 76.7% en caída libre y lanzamiento vertical; el ítem 20, de desaceleración, es el más difícil del bloque con 68.8%).

Asociación entre vectores y cinemática

La correlación de Pearson entre el desempeño en el bloque de Vectores y el de cinemática fue $r = 0.73$ ($p < .001$; Spearman $\rho = 0.73$). Al agrupar a los estudiantes en terciles según su desempeño en Vectores, el acierto medio en cinemática ascendió de 38.7% en el tercil bajo (0-33%; $n = 94$) a 70.7% en el tercil medio (34-67%; $n = 79$) y a 95.4% en el tercil alto (68-100%; $n = 173$). En términos dicotómicos (alcanzar o no el 50% del bloque), de los estudiantes que no alcanzan el 50% en Vectores, el 63.8% tampoco lo alcanza en cinemática; entre quienes sí lo alcanzan, solo el 6.3% falla en cinemática ($\chi^2(1) = 128.6$, $p < .001$). La Figura 1 representa la relación entre ambos bloques a nivel individual.

Figura 1. Relación entre el desempeño en Vectores y en Cinemática ($n = 346$)



Nota: Cada punto representa un estudiante; se aplicó una leve dispersión aleatoria para evitar el solapamiento de casos idénticos. La línea corresponde al ajuste lineal por mínimos cuadrados.

Clasificación de los estudiantes según categorías de error

La aplicación del criterio operativo definido en materiales y métodos permitió clasificar a los estudiantes en las tres categorías de análisis a partir de su desempeño en el bloque de cinemática (Tabla 3).

Tabla 3. Distribución de estudiantes según categoría de análisis en cinemática ($n = 346$)

Categoría	n	%	% de acierto en Vectores
Dominio conceptual	215	62.1	82.9
Confusión / Error procedimental	84	24.3	38.3
Desconocimiento	47	13.6	35.8

Nota: La última columna corresponde al desempeño medio en el bloque de Vectores de los estudiantes de cada categoría.

Además de cuantificar el predominio del error procedimental sobre el desconocimiento entre quienes no alcanzan el dominio (24.3% frente a 13.6%), la clasificación aporta evidencia convergente sobre la relación entre bloques: los estudiantes clasificados en dominio conceptual de cinemática presentan un desempeño en Vectores (82.9%) más del doble del observado en las otras dos categorías (38.3% y 35.8%).

Percepción de los estudiantes (encuesta complementaria)

Los temas en los que más estudiantes se declaran "poco o nada preparados" son precisamente los vectoriales y los de mayor abstracción: transformación de coordenadas polares-rectangulares (57%), producto escalar y vectorial (45%), interpretación de gráficas de movimiento (42%) y MRUV (41%). En la pregunta abierta sobre el

tema que necesitan reforzar con más urgencia, el 62.5% de las respuestas menciona los vectores (75 de 120), frente a menciones marginales de los demás temas. Sin embargo, la correspondencia percepción-desempeño por tema a nivel agregado resultó débil (ρ de Spearman = 0.25 entre el orden de percepción y el orden de acierto real de los nueve temas comparables). Así, en cifras significativas solo el 24% se declaró poco o nada preparado, siendo el tema con los dos ítems de menor acierto de la prueba (Tabla 4).

Tabla 4 . Autopercepción de preparación por tema y desempeño observado

Tema	M percepción (1-4)	% poco/nada preparado	% de acierto observado
Notación científica y prefijos	2.89	24	72.2
Cifras significativas y redondeo	2.85	24	60.5
Conversión de unidades	3.13	13	72.7
Vectores: componentes y transformación	2.41	57	71.1
Vectores: suma y resta	3.04	22	67.1
Vectores: producto escalar y vectorial	2.57	45	57.0
MRU	2.86	28	74.8
MRUV	2.68	41	71.4
Caída libre y lanzamiento vertical	2.65	39	76.8
Interpretación de gráficas de movimiento	2.61	42	No evaluado

Nota: Percepción: encuesta complementaria (n = 150), escala de 4 puntos donde 4 = muy preparado/a. Desempeño observado: prueba diagnóstica (n = 346), sin vinculación individual entre instrumentos.

La etapa del proceso de resolución señalada como más difícil es "elegir la fórmula o el método adecuado" (47%), coherente con la interpretación procedimental de los errores de MRUV. El 49% admite no convertir unidades de forma consistente antes de aplicar fórmulas (41% "a veces", 7% "rara vez", 2% no sabía que debía hacerlo), lo que corresponde directamente con los distractores dominantes de los ítems 18 y 23. Solo el 11% de los estudiantes sabe cambiar su calculadora entre grados y radianes y sabe cuándo usar cada modo: el 43% no sabe cambiarla, el 37% sabe cambiarla pero no sabe cuándo usar cada modo y el 9% desconocía que existieran esos modos. Adicionalmente, el 38% declara confundirse con los ángulos o evitar por completo los problemas con vectores.

Percepción del instrumento: el 96% considera que las preguntas fueron claras, el 89% no encontró preguntas confusas y el 98% consideró suficiente el tiempo disponible. Respecto al formato, el 77% prefiere la opción múltiple, aunque cerca de un tercio se muestra abierto a la respuesta abierta corta (32%) y a la resolución en papel con registro fotográfico (31%).

Los hallazgos obtenidos permiten valorar el cumplimiento de los objetivos planteados en la introducción: se identificaron los contenidos críticos de la cinemática y los conocimientos previos requeridos para su aprendizaje, se aplicó un instrumento diagnóstico y se reconocieron los errores conceptuales y procedimentales junto con sus patrones de concentración. A continuación, se discuten los aspectos que aporta el trabajo, sus concordancias con la literatura y sus limitaciones.

Causa raíz de los errores: el papel de los vectores

Los resultados sostienen que una parte sustancial de las dificultades observadas en cinemática no se origina en el tema mismo, sino en vacíos de conocimientos previos, particularmente en el manejo vectorial. Este hallazgo es consistente con la literatura reciente: las dificultades vectoriales al inicio de la universidad están ampliamente documentadas (Bani-Salameh *et al.*, 2020; Nguyen y Meltzer, 2003), y resulta especialmente notable que los ítems de menor desempeño del bloque vectorial —el producto escalar y el producto vectorial— coincidan exactamente con las operaciones identificadas como las más difíciles en estudios recientes con el Test of Understanding of Vectors en otros contextos (Latifa *et al.*, 2021; Sabah, 2023). El hallazgo coincide además con la estructura curricular del preuniversitario, donde la unidad de movimiento rectilíneo recibe menor tiempo de tratamiento. Debe precisarse que la asociación es correlacional y no demuestra causalidad; su verificación se propone en el diseño futuro.

Predominio del error procedimental

La concentración de errores en distractores específicos sugiere que la mayoría de los estudiantes que fallan no adivina: aplica procedimientos incorrectos de forma sistemática y repetible. Este patrón tiene congruencia con la tradición de análisis de errores en física educativa, donde las respuestas incorrectas sistemáticas se

interpretan como manifestación de concepciones o procedimientos alternativos estables y no de azar (Trowbridge y McDermott, 1981), principio sobre el que se construyen los distractores de los instrumentos diagnósticos de niveles múltiples (Mellu *et al.*, 2022). Para la nivelación, esto orienta la intervención hacia la corrección de procedimientos más que hacia la reenseñanza completa de los contenidos. La dificultad diferencial del MRUV coincide asimismo con la confusión velocidad-aceleración ampliamente documentada (Trowbridge y McDermott, 1980, 1981).

Limitaciones del instrumento y validez

El formato de opción múltiple sin opción neutra impide distinguir con certeza el desconocimiento de la confusión procedimental, pues quien desconoce el tema igualmente marca una opción. La detección y corrección de un error de clave en el ítem 15 —que penalizaba la respuesta físicamente correcta, elegida por la mayoría— evidencia además el riesgo de aplicar instrumentos sin validación ni pilotaje previos. A ello se suma que la posición de las opciones en los ítems de opción múltiple puede influir por sí misma en la elección de determinados distractores (Lions et al., 2021), factor no controlado en el instrumento aplicado. Estas limitaciones fundamentan directamente la propuesta de la herramienta mejorada.

Ausencia de interpretación gráfica

El instrumento aplicado no evaluó la transición entre la abstracción visual (gráficas x-t, v-t) y la resolución matemática, componente crítico según la matriz de operacionalización y una de las dificultades mejor documentadas del área: la investigación actual con el Test of Understanding Graphs in Kinematics muestra que la interpretación de gráficas cinemáticas sigue siendo un obstáculo persistente incluso tras la instrucción (Klein et al., 2021). La evidencia reciente sobre la incoherencia entre representaciones matemáticas y visuales (Taqwa y Rahim, 2022) y sobre el valor de las representaciones múltiples en física (Munfaridah et al., 2021) refuerza que este componente debe incorporarse al diseño futuro.

Percepción y desempeño: convergencia en el diagnóstico, divergencia en la calibración

Que el 62.5% de los estudiantes nombre espontáneamente a los vectores como su necesidad más urgente valida, desde la voz del estudiante, el hallazgo objetivo central del estudio. La encuesta aporta además mecanismos que la prueba cerrada no podía revelar: el déficit casi universal en el manejo de los modos grados/radianes de la calculadora (89%) explica errores en transformaciones polares-rectangulares, y la conversión inconsistente de unidades (49%) explica los distractores dominantes de los ítems de MRU. No obstante, la débil correspondencia agregada entre percepción y desempeño por tema ($p = 0.25$) —con casos claros de sobreconfianza, como cifras significativas— resulta consistente con lo reportado en cursos introductorios de física, donde los estudiantes de menor rendimiento estiman con menor precisión su propio desempeño y tienden a no mejorar su calibración a lo largo del curso (Morphew, 2021); ello indica que la autopercepción no sustituye al diagnóstico objetivo, y que la medición individual de la calibración metacognitiva (imposibilitada en esta aplicación por la baja coincidencia de cédulas entre instrumentos) es una línea necesaria que requiere un protocolo de aplicación controlada.

Líneas futuras: hacia una herramienta diagnóstica mejorada

A partir de los hallazgos se propone una herramienta con cobertura alineada a las tres unidades del preuniversitario y énfasis reforzado en Vectores, dado su papel predictor del desempeño en cinemática. Debería incorporar ítems de interpretación gráfica y de resolución gráfica manual, así como mecanismos que permitan discriminar el desconocimiento del error procedimental, tales como una opción de respuesta neutra o la justificación breve de la elección. Su aplicación debería estar precedida por la validación mediante juicio de docentes profesionales de Física, quienes evaluarían cada ítem en cuanto a claridad, pertinencia curricular, coherencia con el contenido que declara medir y corrección de la clave, empleando un índice estándar de validez de contenido, seguida de un pilotaje con un grupo reducido de estudiantes. Cualquiera de estos dos filtros habría detectado la incidencia documentada en el ítem 15. Finalmente, la prueba y la encuesta de percepción deberían aplicarse bajo un protocolo controlado que permita medir la calibración metacognitiva individual.

CONCLUSIONES

La aplicación de la prueba diagnóstica a 346 estudiantes permitió establecer una línea base del estado inicial de conocimientos en Física, con una consistencia interna elevada ($KR-20 = 0.93$). Los resultados evidenciaron que el bloque de menor desempeño no fue la cinemática (74.3%), sino los conocimientos previos que la sustentan: los Vectores (65.7%) y el tratamiento numérico con cifras significativas. Se comprobó una asociación fuerte entre ambos bloques ($r = 0.73$), de modo que quienes no alcanzaron el 50% en Vectores reprobaron Cinemática en el 63.8% de los casos, frente al 6.3% de quienes sí lo alcanzaron. Los errores se concentraron

sistemáticamente en distractores específicos, lo que permitió clasificar al 24.3% de los estudiantes en la categoría de confusión o error procedimental y al 13.6% en la de desconocimiento. De este modo se cumplieron los objetivos de identificar los contenidos críticos y los conocimientos previos requeridos, y de reconocer los errores conceptuales y procedimentales junto con sus patrones.

La encuesta complementaria convergió con el diagnóstico objetivo, pues el 62.5% de los estudiantes señaló espontáneamente a los vectores como su necesidad más urgente de refuerzo, y aportó mecanismos procedimentales concretos, como el escaso dominio de los modos grados y radianes de la calculadora y la conversión inconsistente de unidades. No obstante, la débil correspondencia agregada entre percepción y desempeño mostró que la autopercepción no sustituyó a la evaluación objetiva. Las limitaciones identificadas —formato cerrado sin opción de respuesta neutra, ausencia de ítems de interpretación gráfica, la incidencia de clave detectada y corregida, y la imposibilidad de vincular individualmente ambos instrumentos— fundamentaron empíricamente el diseño de una herramienta diagnóstica mejorada. Dicha herramienta, planteada como línea de investigación futura, deberá someterse a validación por juicio de docentes profesionales de Física y a pilotaje previo, incorporar un componente gráfico y aplicarse bajo un protocolo controlado que permita medir la calibración metacognitiva de los estudiantes.

Referencias bibliográficas

Bani-Salameh, H. N., Alkofahi, K. A., Al-Khateeb, H. M., & Alharbi, S. H. (2020). Investigating the knowledge of vector concepts of first year medical students. *Health Professions Education*, 6(3), 428–433. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2020.05.001>

Barniol, P., & Zavala, G. (2014). Test of understanding of vectors: A reliable multiple-choice vector concept test. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 10(1), 010121. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.010121>

Cobeña Cedeño, A. A., Rosado García, T. L., & Mendoza Barreiro, M. M. (2025). Valores éticos en la educación básica media latinoamericana: una revisión de la literatura. *Horizontes Revista De Investigación En Ciencias De La Educación*, 9(38), 1909–1918. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v9i38.1025>

Klein, P., Becker, S., Küchemann, S., & Kuhn, J. (2021). Test of understanding graphs in kinematics: Item objectives confirmed by clustering eye movement transitions. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 013102. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.013102>

Latifa, B. R. A., Purwaningsih, E., & Sutopo, S. (2021). Identification of students' difficulties in understanding of vector concepts using test of understanding of vector. *Journal of Physics: Conference Series*, 2098(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2098/1/012018>

Lions, S., Monsalve, C., Dartnell, P., Godoy, M. I., Córdova, N., Jiménez, D., ... Lemarié, J. (2021). The position of distractors in multiple-choice test items: The strongest precede the weakest. *Frontiers in Education*, 6, 731763. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.731763>

Mellu, R. N. K., Langtang, D., Olbata, Y., & Laos, L. E. (2022). Identification of misconceptions causes of misconceptions of prospective physics teacher candidate using a three-tier diagnostic test with CRI on kinematics of motion static fluids. *AIP Conference Proceedings*, 2542(1), 060008. <https://doi.org/10.1063/5.0104453>

Morphew, J. W. (2021). Changes in metacognitive monitoring accuracy in an introductory physics course. *Metacognition and Learning*, 16(1), 89–111. <https://doi.org/10.1007/s11409-020-09239-3>

Munfaridah, N., Avraamidou, L., & Goedhart, M. (2021). The use of multiple representations in undergraduate physics education: What do we know and where do we go from here? *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(1), em1934. <https://doi.org/10.29333/ejmste/9577>

Nguyen, N.-L., & Meltzer, D. E. (2003). Initial understanding of vector concepts among students in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 71(6), 630–638. <https://doi.org/10.1119/1.1571831>

Rezigalla, A. A., Eleragi, A. M. E. S. A., Elhussein, A. B., Alfaifi, J., ALGhamdi, M. A., Al Ameer, A. Y., ... Adam, M. I. E. (2024). Item analysis: The impact of distractor efficiency on the difficulty index and discrimination power of multiple-choice items. *BMC Medical Education*, 24, 445. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05433-y>

Sabah, S. (2023). Science and engineering students' difficulties in understanding vector concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(8), em2310. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13431>

Susac, A., Planinic, M., Klemencic, D., & Sipus, Z. M. (2018). Using the Rasch model to analyze the test of understanding of vectors. *Physical Review Physics Education Research*, 14(2), 023101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.023101>

Taqwa, M. R. A., & Rahim, H. F. (2022). Students' conceptual understanding on vector topic in visual and mathematical representation: A comparative study. *Journal of Physics: Conference Series*, 2309(1), 012060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2309/1/012060>

Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48(12), 1020–1028. <https://doi.org/10.1119/1.12298>

Trowbridge, D. E., & McDermott, L. C. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*, 49(3), 242–253. <https://doi.org/10.1119/1.12525>

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que pudieran influir en la elaboración o publicación del artículo.

Declaración de contribución de los autores/as utilizando la Taxonomía CRediT:

Boris Fernando Calle Fernández: Conceptualización, análisis formal, investigación, curación de datos.

Dayana Valentina Ochoa Mejía: Metodología, Recursos, Redacción Borrador original.

Maria Alejandra Macías Silva: Software, visualización, adquisición de fondos.

Carlos Andrés Davila Artega: Redacción, revisión y edición, supervisión.

Andrea Daniela Loo García: Validación, administración del proyecto.

Declaración de originalidad del manuscrito: Los autores declaran que la participación fue voluntaria, que se informó el propósito del estudio y que la información se trató de forma confidencial y agregada, sin recopilar datos de identificación directa.