Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Física

Análisis del Aprendizaje del Concepto de Energía Potencial Eléctrica en el Curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo para Carreras de Ingeniería

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

AUTOR

Andersson David DE LA CRUZ ARBILDO

ASESOR

Mg. Erich Víctor MANRIQUE CASTILLO

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

De La Cruz, A. (2026). *Análisis del Aprendizaje del Concepto de Energía Potencial Eléctrica en el Curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo para Carreras de Ingeniería*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Física]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Andersson David De La Cruz Arbildo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74663331
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0002-8574-7463
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Mg. Erich Víctor Manrique Castillo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09608122
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5125-0101
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Mg. Cesar Cabrera Arista
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09650209
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Lic. Jorge Enrique Huayna Dueñas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08807526
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Mg. José Hermenegildo Galarreta Díaz
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	25583872
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.7.2. Enseñanza de la Física desde Diversas Perspectivas
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2026
URL de disciplinas OCDE	Educación general (incluye capacitación, pedagogía) https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#5.03.01

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Siendo las 11:20 horas del sábado 27 de junio de 2026, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Físicas (Auditorio 109), bajo la Presidencia del Mg. Cesar Cabrera Arista (Presidente), Lic. Jorge Enrique Huayna Dueñas (Miembro Titular), Mg. Erich Víctor Manrique Castillo (Asesor) y el Mg. José Hermenegildo Galarreta Díaz (Miembro Suplente), se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Licenciado en Física (según Art. 45.2 de la Ley N° 30220), del bachiller:

ANDERSSON DAVID DE LA CRUZ ARBILDO

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invitó al bachiller Andersson David, De la Cruz Arbildo a realizar su exposición del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: *"Análisis del Aprendizaje del Concepto de Energía Potencial Eléctrica en el Curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo para Carreras de Ingeniería".*

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente, invitó al bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión, para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, el Mg. Cesar Cabrera Arista invitó al candidato y al público a pasar a la Sala de Sesión, para dar lectura al resultado de la deliberación. Ha obtenido la calificación de:

17	DIECISIETE	APROBADO CON HONORES.
(NÚMERO)	(LETRAS)	(MENCIÓN)

Finalmente, el presidente del Jurado, propone al consejo de la Facultad que se le declare Licenciado en Física al bachiller Andersson David, De la Cruz Arbildo Siendo las ...12:04... horas, se levanta la sesión.

Mg. Cesar Cabrera Arista
Presidente

Lic. Jorge Enrique Huayna Dueñas
Miembro Titular

Mg. Erich Víctor Manrique Castillo
Asesor

Mg. José Hermenegildo Galarreta Díaz
Miembro Suplente

Scanned with CamScanner

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Erich Víctor Manrique Castillo** en mi condición de asesor acreditado mediante **ACUERDO DE COMITÉ DE GESTIÓN N° 032-EPF-FCF-26** del Trabajo de Suficiencia Profesional, cuyo título es **Análisis del Aprendizaje del Concepto de Energía Potencial Eléctrica en el Curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo para Carreras de Ingeniería**, presentado por el bachiller **Andersson David De La Cruz Arbildo** para optar el **Título Profesional de Licenciado en Física**,

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **4% de similitud**, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del **Título Profesional de Licenciado en Física.**

Lima, 12 de octubre del 2026

Firma del Asesor: 

Nombres y Apellidos del asesor: Erich Víctor Manrique Castillo

DNI: 09608122

Agradecimientos

A mi esposa, Melissa, gracias por estar conmigo a lo largo de todo este proceso. Su apoyo, su paciencia y su ánimo en los momentos más exigentes fueron fundamentales para que pudiera terminar este trabajo.

A mis padres, a mis suegros y a mi abuela Roberta, les agradezco de corazón por su cariño, su confianza y el apoyo que me han dado. De una u otra manera, todos han sido parte importante de este logro.

Índice

Índice de figuras v

Índice de tablas vi

1. Introducción 1

1.1. Situación problemática . . . 3

1.1.1. Problema general . . . 3

1.1.2. Problemas específicos . . . 3

1.2. Motivación . . . 4

1.3. Justificación . . . 4

1.4. Objetivos . . . 5

1.4.1. Objetivo general . . . 5

1.4.2. Objetivos específicos . . . 5

2. Marco Teórico 6

2.1. Antecedentes de investigación . . . 6

2.2. Bases teóricas . . . 12

2.2.1. Aprendizaje conceptual en física . . . 12

2.2.2. El concepto de energía en la enseñanza de la física . . . 13

2.2.3. Energía potencial eléctrica y su relación con potencial eléctrico, trabajo y campo eléctrico . . . 14

2.2.4. Errores conceptuales y procedimentales en la resolución de problemas de física . . . 16

2.2.5. Evaluación del aprendizaje y uso de rúbricas 18

3. Datos, metodología y contexto de estudio **19**

3.1. Datos 19

3.1.1. Contexto del curso y población 19

3.1.2. Fuente de datos y unidad de análisis 19

3.1.3. Delimitación del estudio y variables consideradas 20

3.2. Metodología 22

3.2.1. Enfoque, tipo y diseño del estudio 22

3.2.2. Estrategia de análisis y consideraciones éticas 23

4. Resultados y discusiones **25**

4.1. Análisis general del rendimiento académico y relación entre evaluaciones . . . 25

4.1.1. Rendimiento académico general de los estudiantes por ciclo 25

4.1.2. Relación entre los componentes de evaluación y los exámenes del curso 27

4.2. Análisis del desempeño en energía potencial eléctrica 30

4.2.1. Desempeño general de los estudiantes en la segunda Evaluación de Aula 31

4.2.2. Desempeño de los estudiantes según los criterios de la rúbrica 33

4.2.3. Errores conceptuales y procedimentales más frecuentes en la resolución de problemas de energía potencial eléctrica 37

5. Propuesta de mejora didáctica **41**

5.1. Propuesta para la mejora del aprendizaje de la energía potencial eléctrica 41

5.2. Descripción de la propuesta didáctica 42

5.3. Implementación de la propuesta 45

5.4. Beneficios esperados de la propuesta 46

5.5. Limitaciones de la propuesta 47

5.6. Evaluación de la propuesta 48

Conclusiones y recomendaciones **49**

Conclusiones generales 49

Implicaciones para la enseñanza y el diseño de evaluaciones 51
Recomendaciones 52
Limitaciones del estudio y recomendaciones para futuras investigaciones 53
Consideraciones finales 54

Referencias **55**

A. Tablas complementarias **60**

B. Tablas de criterios de evaluación **61**

Índice de figuras

1. Porcentaje de aprobados y promedio final por ciclo en el periodo 2021-II al 2025-II. 26

Índice de tablas

1. Indicadores generales del rendimiento académico por ciclo, 2021-II–2025-II . . 26
2. Correlaciones entre componentes de evaluación y exámenes por ciclo 28
3. Desempeño en la pregunta de energía potencial eléctrica por ciclo y grupo . . . 32
4. Tendencias de desempeño según los criterios de la rúbrica 36
5. Errores conceptuales y procedimentales frecuentes en la resolución de problemas de energía potencial eléctrica 39

A1. Correlaciones entre componentes de evaluación, laboratorio y exámenes por ciclo 60

B1. Detalle de los criterios de evaluación de la pregunta de energía potencial eléctrica en el ciclo 2024-I. 61
B2. Detalle de los criterios de evaluación de la pregunta de energía potencial eléctrica en el ciclo 2024-II. 62
B3. Detalle de los criterios de evaluación de la pregunta de energía potencial eléctrica en el ciclo 2025-I, teoría 1. 64
B4. Detalle de los criterios de evaluación de la pregunta de energía potencial eléctrica en el ciclo 2025-I, teoría 2. 66

Resumen

Este trabajo analizó el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica en estudiantes de ingeniería del curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo. El objetivo fue caracterizar su desempeño e identificar las dificultades para relacionar el potencial eléctrico, la energía potencial eléctrica, el trabajo eléctrico y la conservación de la energía durante la resolución de problemas. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, aplicado, no experimental y retrospectivo, con alcance descriptivo-correlacional. La muestra comprendió registros académicos válidos de seis grupos de teoría de los ciclos 2024-I, 2024-II y 2025-I. Mediante análisis documental se examinaron calificaciones, evaluaciones y rúbricas. El procesamiento incluyó estadística descriptiva, correlaciones entre los componentes de evaluación y el examen parcial, el examen final y la nota final, además del análisis por criterios de la rúbrica de la segunda Evaluación de Aula. Los resultados mostraron diferencias entre ciclos y grupos, así como un desempeño predominantemente bajo o intermedio. Los estudiantes obtuvieron mejores resultados al identificar magnitudes y formular expresiones iniciales, pero presentaron dificultades para integrar los conceptos y completar el procedimiento. También se observaron errores en la representación del estado final, la aplicación del principio de superposición, el manejo de signos y la continuidad de la resolución. Se concluyó que el aprendizaje fue parcial y fragmentado; por ello, se propuso una guía didáctica para fortalecer la articulación conceptual y procedimental.

Palabras clave: energía potencial eléctrica; aprendizaje conceptual; resolución de problemas; rúbricas; educación en física.

Abstract

This study analyzed engineering students' learning of electric potential energy in the Fundamentals of Electricity and Magnetism course. The objective was to characterize their performance and identify difficulties in relating electric potential, electric potential energy, electric work, and energy conservation during problem solving. The research used a quantitative, applied, non-experimental, and retrospective approach with a descriptive-correlational scope. The sample comprised valid academic records from six lecture sections in the 2024-I, 2024-II, and 2025-I academic terms. Grade records, assessments, and rubrics were examined through documentary analysis. Data processing included descriptive statistics, correlations between assessment components and the midterm examination, final examination, and final course grade, as well as criterion-based analysis of the rubric for the second Classroom Assessment. The results showed differences across academic terms and groups, together with predominantly low or intermediate performance. Students performed better when identifying physical quantities and formulating initial expressions but had difficulty integrating the concepts and completing the solution procedure. Errors were also found in representing the final state, applying the superposition principle, managing signs, and maintaining continuity in the solution. Learning was therefore considered partial and fragmented; consequently, an instructional guide was proposed to strengthen conceptual and procedural integration.

Keywords: electric potential energy; conceptual learning; problem solving; rubrics; physics education.

Capítulo 1: Introducción

Maloney et al. (2001) señalan que, en la formación de estudiantes de ingeniería, el curso de Electricidad y Magnetismo ocupa un lugar importante porque articula modelos físicos con representaciones matemáticas que ayudan a comprender distintos fenómenos físicos y tecnológicos. Feynman et al. (1987) y Brewe (2011) nos permiten entender la energía como una cantidad presente en la naturaleza que se conserva; es decir, puede transferirse entre sistemas y cambiar de forma sin dejar de conservarse. Por eso, comprender este concepto no supone únicamente recordar definiciones, sino también relacionarlo con otras ideas y con las distintas representaciones que aparecen al resolver problemas.

Asimismo, Odden (2021) sostiene que la enseñanza de la ciencia no debería centrarse solo en transmitir y acumular contenidos, sino que también necesita apoyarse en las ideas previas con las que llegan los estudiantes. Para los estudiantes, integrar estas ideas complejas no siempre es sencillo. Cuando este proceso falla, es posible que finalicen el curso con comprensiones fragmentadas o poco consistentes, más que con un aprendizaje realmente integrado. Esta fragmentación se puede evidenciar, por ejemplo, cuando se les exige justificar sus procedimientos y resultados en problemas que demandan comprender la relación entre los conceptos involucrados. Estas dificultades de integración conceptual se observan con particular claridad en los cursos de Electricidad y Magnetismo.

Mbonyiryivuze et al. (2019) reportan que los temas de electricidad y magnetismo tienden a ser percibidos por los estudiantes como un área difícil. Esto se debe, en parte, a que varios temas de la física son muy abstractos. En esa misma línea, Maries et al. (2022) señalan que los estudiantes pueden llegar a resolver ejercicios sin haber comprendido del todo los conceptos involucrados. Es decir, los estudiantes que son capaces de resolver problemas de tipo cuantitativo no necesariamente logran una comprensión conceptual sólida, y existe una clara diferencia entre

resolver un ejercicio y alcanzar una comprensión completa del principio o fundamento físico aplicado. Esto se evidencia en las evaluaciones escritas, a partir del análisis del procedimiento lógico que sigue el estudiante.

En el caso de la energía potencial eléctrica, Lindsey (2014) muestra que los estudiantes pueden presentar razonamientos incorrectos cuando responden preguntas conceptuales. Asimismo, la comprensión de la energía potencial suele ser superficial e inflexible, porque al estudiante se le dificulta explicarla en otros escenarios. Por su parte, Timmermann y Kautz (2014) evidencian que los estudiantes confunden los conceptos de voltaje y potencial eléctrico, incluso después de haberlos estudiado en clase. Además, Scaife y Heckler (2011) señalan que, en algunos casos, el aprendizaje de nuevos conceptos de electricidad también resulta afectado por ideas previamente trabajadas; es decir, el estudiante puede malinterpretarlos debido a una asociación equivocada con un tema anterior. Todo ello muestra que no se trata solo de una dificultad operativa, sino también conceptual.

En ese contexto, analizar el aprendizaje de este tema en estudiantes de ingeniería resulta pertinente, sobre todo en un curso introductorio, donde estos contenidos sirven de base para aprendizajes posteriores. Mbonyiryivuze et al. (2019) y Aiken et al. (2021) permiten sostener que el análisis del desempeño no debería quedarse solo en promedios generales, ya que también es importante revisar con más detalle cómo responden los estudiantes, qué errores aparecen con mayor frecuencia y qué aspectos del procedimiento muestran mayores dificultades. En este proceso, Moore y Crouch (2019) señalan que el uso de rúbricas puede ser una herramienta útil, porque permite evaluar no solo el resultado final, sino también partes del razonamiento que muchas veces pasan desapercibidas en una calificación global. A partir de ello, el presente trabajo se centra en analizar el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica en el curso de Fundamentos de Electricidad y Magnetismo, tomando como base el desempeño de los estudiantes en sus evaluaciones y buscando identificar dificultades que puedan aportar a una mejor comprensión del problema y a futuras mejoras en la enseñanza.

1.1. Situación problemática

De acuerdo con Maloney et al. (2001), en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de carreras de ingeniería, el curso de Fundamentos de Electricidad y Magnetismo cumple un papel fundamental porque construye un puente entre los conceptos físicos y las representaciones matemáticas necesarias para comprender diversos fenómenos científicos y tecnológicos. Sin embargo, Mbonyiryivuze et al. (2019) reportan que los temas de electricidad y magnetismo suelen percibirse como abstractos, por lo que su aprendizaje resulta difícil para muchos estudiantes. Esta dificultad se observa con claridad en el concepto de energía potencial eléctrica, debido a que se relaciona con el potencial eléctrico, el trabajo y el campo eléctrico. En esa misma línea, Maries et al. (2022) señalan que muchos estudiantes pueden resolver problemas sin tener una comprensión clara de los conceptos involucrados y limitarse solo a aplicar fórmulas. En consecuencia, resulta necesario analizar con mayor detalle las evaluaciones de los estudiantes, considerando especialmente los procedimientos, razonamientos y errores que aparecen al resolver problemas sobre energía potencial eléctrica.

Por lo tanto, resulta necesario analizar con mayor profundidad las evaluaciones de los estudiantes, teniendo en cuenta los procedimientos y los errores que se observan al resolver problemas sobre energía potencial eléctrica. Este análisis también permite identificar qué instrumentos de evaluación tienen mayor relevancia en el curso. Se puede sugerir, a partir de esto, una propuesta de mejora sobre energía potencial eléctrica, con el fin de fortalecer la comprensión conceptual y procedimental de los estudiantes.

1.1.1. Problema general

¿Cómo se caracteriza el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica en los estudiantes del curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo para carreras de ingeniería?

1.1.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál es el rendimiento académico general de los estudiantes del curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo en los ciclos considerados?

2. ¿Qué relación existe entre los principales componentes de evaluación del curso y el desempeño de los estudiantes en el examen parcial, el examen final y la nota final?

3. ¿Cómo es el desempeño de los estudiantes y cuáles son los errores conceptuales y procedimentales más frecuentes en la segunda Evaluación de Aula relacionada con el concepto de energía potencial eléctrica?

4. ¿Qué mejora didáctica puede proponerse a partir de las dificultades identificadas en el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica?

1.2. Motivación

La motivación para desarrollar este trabajo nace del interés por comprender mejor las dificultades que presentan los estudiantes de ingeniería en el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica. Este interés proviene también de mi experiencia como asistente del curso, ya que durante las asesorías semanales he observado dudas recurrentes sobre el cálculo del trabajo y la energía de una partícula al desplazarse entre dos puntos, así como sobre la aplicación correcta de las fórmulas.

Estas asesorías también me permitieron identificar errores similares en la resolución de problemas, especialmente cuando los estudiantes no reconocen adecuadamente la carga que debe considerarse en las ecuaciones. A partir de ello, surgió la necesidad de analizar con mayor detalle estas dificultades y plantear una propuesta de mejora orientada a fortalecer la comprensión conceptual y procedimental en el tema de energía potencial eléctrica.

1.3. Justificación

El presente trabajo se justifica porque busca contribuir a la mejora del aprendizaje en el curso de Fundamentos de Electricidad y Magnetismo, el cual es importante en la formación de los estudiantes de ingeniería y sirve de base para cursos posteriores. En esa línea, el estudio del aprendizaje de la energía potencial eléctrica permite identificar patrones procedimentales y conceptuales que afectan el desempeño de los estudiantes. Para la universidad, este trabajo

resulta relevante porque plantea una mejora didáctica orientada a fortalecer el aprendizaje, con posibilidad de ser adaptada a otros cursos de la institución.

Asimismo, el estudio también es relevante para el país, ya que la formación de ingenieros requiere una preparación sólida para enfrentar retos tecnológicos y científicos. Comprender las dificultades que presentan los estudiantes en conceptos de electricidad puede contribuir a mejorar la enseñanza de la ciencia en la educación superior. De esta manera, el presente trabajo busca aportar, desde una experiencia local, a la formación académica de futuros ingenieros en el Perú.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica en estudiantes del curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo para carreras de ingeniería.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Analizar el rendimiento académico general de los estudiantes del curso en los ciclos considerados.

2. Examinar la relación entre los principales componentes de evaluación del curso y el desempeño de los estudiantes en el examen parcial, el examen final y la nota final.

3. Analizar el desempeño de los estudiantes e identificar los errores conceptuales y procedimentales más frecuentes en la segunda Evaluación de Aula relacionada con el concepto de energía potencial eléctrica.

4. Proponer una mejora didáctica basada en las dificultades identificadas en el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de investigación

Maloney et al. (2001), en su estudio sobre la comprensión conceptual de los estudiantes en electricidad y magnetismo, tuvieron como objetivo diseñar y validar el *Conceptual Survey of Electricity and Magnetism* (CSEM), un instrumento diagnóstico de 32 preguntas de opción múltiple destinado a evaluar ideas fundamentales de este campo antes y después de la enseñanza. En la investigación participaron más de 5000 estudiantes de cursos introductorios de física, provenientes de 30 instituciones diferentes, incluyendo cursos basados en cálculo y también en álgebra/trigonometría. Incluso se consideraron algunos grupos de secundaria y estudiantes de alto rendimiento. En cuanto a la metodología, el estudio pasó por varias etapas de elaboración y validación. Para ello, se trabajó con versiones preliminares del instrumento, preguntas abiertas, revisión de distractores y análisis estadístico de las preguntas, además de la estimación de la confiabilidad mediante KR-20, que permite evaluar la consistencia interna del instrumento, y recogieron la valoración de docentes de física para sustentar su validez.

Entre los resultados principales, los autores encontraron que los puntajes antes de la enseñanza fueron bastante bajos, con promedios de 31 % en los cursos basados en cálculo y 25 % en los de álgebra/trigonometría. Después de la instrucción, los puntajes mejoraron, aunque de manera todavía limitada, alcanzando 47 % y 44 %, respectivamente. Además, identificaron dificultades persistentes en varios temas, entre ellos la distribución de carga en conductores y aislantes, la ley de Coulomb, la superposición de campos y fuerzas, la fuerza magnética, la ley de Faraday y la aplicación de la tercera ley de Newton en contextos electromagnéticos. A partir de ello, los autores concluyen que, incluso después de la enseñanza, los estudiantes siguen mostrando limitaciones importantes en su aprendizaje de la electricidad y el magnetismo. En

particular, los resultados evidencian dificultades en la comprensión conceptual y en el manejo de algunas relaciones básicas del formalismo físico evaluado por el CSEM, más que en el desarrollo matemático detallado de problemas. En ese sentido, el estudio sugiere la necesidad de seguir fortaleciendo las estrategias de enseñanza para favorecer una comprensión más sólida de la electricidad y el magnetismo en este contexto.

Mbonyiryivuze et al. (2019), en su artículo de revisión sobre la comprensión conceptual de la electricidad y el magnetismo, tuvieron como propósito analizar investigaciones previas sobre este tema, junto con las ideas previas, errores conceptuales y estrategias didácticas propuestas para enfrentar estas dificultades. Aquí no se realizó un estudio empírico con una muestra propia, sino que se revisaron investigaciones anteriores que se llevaron a cabo en diversidad de contextos educativos y con estudiantes de diferentes niveles. En la metodología, los autores revisaron investigaciones relacionadas con concepciones erróneas en electricidad y magnetismo, además de diversos instrumentos de evaluación conceptual utilizados en esta área, así como estrategias de enseñanza orientadas al cambio conceptual, como el aprendizaje basado en problemas, la indagación y la participación interactiva.

Entre los hallazgos principales, el artículo señala que resolver problemas numéricos correctamente no necesariamente significa que exista una comprensión conceptual adecuada, porque muchos estudiantes pueden obtener resultados correctos y aun así mantener errores en sus ideas. Además, se indica que la permanencia de estas dificultades está bastante influenciada por las concepciones previas, el lenguaje diario, la metodología de enseñanza y hasta la preparación del docente. En conclusión, el estudio resalta que primero es necesario identificar los conocimientos previos y las concepciones erróneas de los estudiantes para luego plantear estrategias didácticas más efectivas.

Maries et al. (2022), en su estudio sobre la progresión del aprendizaje de la electricidad y el magnetismo en distintos niveles de formación, analizaron cómo cambiaba la comprensión conceptual de los estudiantes a medida que avanzaban en su trayectoria académica. Para eso, aplicaron el Conceptual Survey of Electricity and Magnetism (CSEM) a estudiantes de cursos introductorios, a estudiantes de un curso avanzado de electromagnetismo y también a alumnos de primer año de doctorado, quienes fueron considerados como grupo de referencia. También

no solo se basaron en los resultados de las pruebas, sino que también revisaron explicaciones escritas e hicieron entrevistas para entender mejor qué dificultades conceptuales se repetían. Entre los hallazgos, encontraron que muchos estudiantes de niveles superiores seguían teniendo dificultades con conceptos básicos del electromagnetismo, incluso después de haber recibido una enseñanza tradicional. Esto se observó especialmente en temas como el blindaje eléctrico, la relación entre el campo eléctrico y el potencial, la fuerza magnética y las leyes de Faraday y Lenz. A partir de ello, los autores sostienen que la enseñanza tradicional no siempre logra una comprensión conceptual profunda y que, por ello, es necesario relacionar de manera más clara los aspectos conceptuales y cuantitativos en la enseñanza.

Scaife y Heckler (2011), en su estudio sobre la interferencia entre fuerza eléctrica y fuerza magnética en física introductoria, tuvieron como objetivo analizar si aprender uno de estos contenidos afectaba la comprensión del otro. La investigación se realizó con estudiantes de cursos introductorios de física basada en cálculo de la Universidad Estatal de Ohio, en secciones de mecánica y también de electricidad y magnetismo. En lo metodológico, el estudio utilizó un diseño experimental con preguntas de opción múltiple sobre la dirección de la fuerza que actúa sobre una partícula cargada en campos eléctricos y magnéticos, las cuales fueron aplicadas en distintos momentos de la enseñanza: antes de ver electricidad y magnetismo, después de estudiar fuerza eléctrica pero antes de fuerza magnética, y luego de haber trabajado ambos temas.

Además, usaron dos formas de representación del campo, una con líneas de campo y otra mediante polos, y también variaron el orden de presentación de las preguntas para observar mejor los efectos de interferencia. Entre los resultados, encontraron que antes de la instrucción muchos estudiantes respondían que la fuerza iba en la misma dirección del campo, tanto en situaciones eléctricas como magnéticas. Después de la enseñanza, observaron que el aprendizaje de un tipo de fuerza podía interferir en la comprensión de la otra. A partir de ello, los autores concluyen que existe una interferencia en ambos sentidos entre los conceptos de fuerza eléctrica y fuerza magnética, y que esta también depende del tema enseñado más recientemente y del tipo de representación utilizada.

Timmermann y Kautz (2014), en su estudio sobre el aprendizaje de los conceptos de voltaje y potencial eléctrico en un curso introductorio de ingeniería eléctrica, tuvieron

como objetivo examinar las dificultades que presentan los estudiantes para comprender ambos conceptos. Los autores partieron de la idea de que ambos conceptos están muy relacionados y que entender mejor el potencial podía ayudar también a comprender el voltaje de una forma más cualitativa. La investigación se realizó con estudiantes de un curso introductorio dirigido a carreras de ingeniería mecánica, de procesos y de logística, en su mayoría de primer semestre, en un contexto donde asistían alrededor de 350 estudiantes a las clases magistrales. En lo metodológico, diseñaron e implementaron una hoja de trabajo tutorial para introducir el concepto de potencial eléctrico y compararlo con el voltaje, promoviendo además el trabajo colaborativo en grupos. Después de eso, aplicaron un postest siete semanas más tarde y también analizaron una pregunta de examen de opción múltiple, poniendo atención en si las respuestas de los estudiantes sobre voltaje y potencial eran coherentes entre sí y si además guardaban relación con la Ley de Voltajes de Kirchhoff.

Los resultados mostraron que, aun después de la intervención, los estudiantes seguían presentando dificultades importantes para comprender los conceptos de voltaje y potencial eléctrico. Aunque se aplicó una enseñanza específica sobre estos contenidos, persistieron respuestas incorrectas e inconsistentes entre ambos conceptos, tanto en el postest como en el examen. A partir de ello, los autores concluyen que potencial y voltaje seguían siendo conceptos separados para la mayoría de estudiantes.

Lindsey (2014), en una investigación sobre la energía potencial en el marco electrostático y gravitatorio, tuvo como objetivo analizar el razonamiento de los estudiantes e identificar las dificultades conceptuales que aparecen al interpretar sus cambios. La investigación se realizó con estudiantes de cursos introductorios de física basada en cálculo en dos campus de la Pennsylvania State University, dirigidos principalmente a estudiantes de ingeniería. En cuanto a la metodología, se trabajó con un enfoque mixto, ya que se aplicaron problemas escritos después de la instrucción y también entrevistas individuales. Entre los problemas considerados estuvieron los de “dos bloques cargados”, “dos bloques masivos” y “órbitas”, en los que los estudiantes debían indicar si la energía potencial aumentaba, disminuía o permanecía igual.

Los resultados mostraron que todavía aparecían varios razonamientos incorrectos tanto en electrostática como en gravitación. Muchos estudiantes confundían la energía potencial con

la fuerza, o con qué tan intensa era la interacción entre los objetos. También varios asumían que, si la distancia aumentaba, la energía potencial necesariamente disminuía, y además tenían dificultades para interpretar funciones de energía potencial negativa. Del mismo modo, se observaron respuestas poco consistentes entre problemas parecidos, lo que indica que su comprensión no era tan sólida. La autora concluye que, incluso después de la enseñanza, los estudiantes no logran desarrollar una comprensión flexible de la energía potencial.

Nagel y Lindsey (2015), en una investigación sobre la aplicación de conceptos de energía de la física en cursos de química, buscaron analizar cómo los estudiantes transferían estas ideas al resolver situaciones de química introductoria. El estudio se realizó con estudiantes de Introducción a la Química, Química General I y Química General II en un campus de la Pennsylvania State University. Además, se hicieron cinco entrevistas grupales con 11 estudiantes en total. En cuanto a la metodología, la investigación tuvo un enfoque mixto, ya que combinaron encuestas escritas con entrevistas semiestructuradas en grupos pequeños. Todo esto sirvió para identificar cómo razonaban los estudiantes sobre la energía potencial en contextos gravitacionales y electrostáticos, y también para evaluar una pequeña secuencia de enseñanza con apoyo guiado.

Los resultados mostraron que, después de la enseñanza tradicional, muchos estudiantes no lograban relacionar por sí solos la energía potencial gravitacional con la electrostática. Por ejemplo, en una encuesta sobre conceptos de energía en química, varios estudiantes respondieron de forma incorrecta que el sistema tenía mayor energía cuando dos objetos que se atraen estaban más cerca. Solo 22 % respondió correctamente en la pregunta sobre iones y 28 % en la de moléculas de agua. Sin embargo, el estudio también mostró que una secuencia breve de preguntas guiadas ayudó a varios estudiantes a corregir su razonamiento y darse cuenta de que, en sistemas atractivos, la energía potencial aumenta cuando la distancia entre los objetos también aumenta. En conclusión, se demuestra que muchos estudiantes no logran relacionar de manera adecuada los conceptos de energía entre distintos contextos, incluso después de la enseñanza. Por eso, resulta importante seguir analizando cómo comprenden la energía potencial, especialmente en temas de electricidad, donde estas dificultades también pueden aparecer.

Sirnoorkar et al. (2025), en su estudio sobre analogías personalizadas elaboradas por estudiantes y por inteligencia artificial en física introductoria, buscaron comparar cómo ambos

construían explicaciones para la curva de potencial de Morse. También quisieron ver hasta qué punto los estudiantes podían construir sus propias analogías usando situaciones cotidianas de su preferencia y cómo percibían ese proceso, si les resultaba fácil o difícil. La investigación se realizó con 839 respuestas válidas de estudiantes de un curso introductorio de física basada en cálculo, dirigido sobre todo a futuros ingenieros, en una universidad del Medio Oeste de Estados Unidos. En lo metodológico, se trabajó con una actividad en línea de 14 preguntas abiertas, donde los estudiantes debían explicar la curva con sus propias palabras y luego adaptarla a distintos contextos.

Los resultados mostraron que los estudiantes casi no usaban analogías de manera espontánea cuando tenían que explicar la curva a alguien no especializado. De hecho, cerca del 60 % no hizo comparaciones y solo alrededor de un tercio usó alguna analogía. En cambio, las respuestas generadas por IA sí incluyeron analogías en casi todos los casos. Pero cuando a los estudiantes se les pidió de forma directa que explicaran la curva usando contextos que les gustaban o conocían, la mayoría sí pudo hacerlo, usando ejemplos de deportes, música, lectura o actividades de todos los días. Los autores concluyen que los estudiantes no suelen producir analogías por sí solos, pero sí pueden construirlas cuando se les da un contexto más cercano y una indicación más clara.

Docktor et al. (2016), en su estudio sobre el uso de una rúbrica en física introductoria, tuvieron como objetivo diseñar, desarrollar y validar un instrumento para analizar soluciones escritas de problemas. La idea del estudio era no centrarse solo en si la respuesta final era correcta o incorrecta, sino mirar con más detalle cómo resolvía el estudiante. Para eso, trabajaron con distintas muestras según la etapa de la investigación. Por ejemplo, realizaron entrevistas con 8 estudiantes, analizaron 918 soluciones de problemas de exámenes parciales y también hicieron estudios de confiabilidad con docentes y asistentes de enseñanza. En cuanto a la metodología, elaboraron la rúbrica MAPS, que consideraba categorías como descripción útil, enfoque físico, aplicación de la física, procedimientos matemáticos y progresión lógica.

Los resultados mostraron que los puntajes obtenidos con la rúbrica tenían una relación alta con las calificaciones dadas por los asistentes de docencia, lo cual respaldaba su validez. También se observó que podía alcanzarse un buen nivel de acuerdo entre evaluadores, sobre

todo cuando estos habían recibido entrenamiento previo. En general, esto permitió ver que la rúbrica servía para evaluar de manera más detallada el proceso de resolución de problemas y no solo el resultado final. Los autores concluyen que la rúbrica MAPS constituye un instrumento válido, fiable y útil para evaluar la resolución de problemas en física, ya que permite identificar de forma más detallada las fortalezas y dificultades de los estudiantes en diferentes dimensiones del proceso de solución.

Rodenhausen y Moore (2022), en su estudio sobre la validez y confiabilidad de una rúbrica aplicada a física introductoria, buscaron diseñar y evaluar un instrumento para calificar la resolución de problemas. Esta rúbrica no solo servía para poner una nota, sino también para orientar un poco mejor al estudiante en su forma de resolver. La investigación se realizó con 32 estudiantes de un curso de física basada en cálculo en una universidad del Medio Oeste de Estados Unidos, y se aplicó a 166 soluciones de 6 problemas de tareas sobre mecánica. En la parte metodológica, el estudio siguió un proceso de varias revisiones, porque primero trabajaron con una versión de 12 criterios y luego la ajustaron hasta llegar a una rúbrica final de 8 criterios.

Los resultados mostraron que la rúbrica logró buenos niveles de confiabilidad entre evaluadores y también cuando se volvían a revisar las mismas respuestas, aunque el criterio de “reflection” fue el que generó más diferencias. Además, el análisis permitió encontrar dos grupos de criterios que iban en línea con lo que los autores habían planteado. En general, concluyen que esta rúbrica es un instrumento válido y confiable para evaluar la resolución de problemas en física introductoria y que también puede ayudar a que los estudiantes se acerquen un poco más a una forma de resolver parecida a la de un experto.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aprendizaje conceptual en física

Odden (2021) plantea que el aprendizaje conceptual en física no consiste solo en memorizar fórmulas o definiciones, sino en desarrollar una comprensión más sólida sobre los fenómenos físicos y su relación entre ellos. Desde este punto de vista, aprender física implica reorganizar ideas previas, conectar distintas representaciones y revisar explicaciones cuando

algo no es coherente con lo que el estudiante pensaba antes. Odden y Russ (2019) señala que, dentro de este proceso, el *sensemaking* cumple un papel importante, porque supone que el estudiante procura darle sentido a una situación física a partir de ideas, modelos y explicaciones que va ajustando mientras aprende.

Hestenes et al. (1992) señala que el aprendizaje conceptual en física también se relaciona con las ideas previas de los estudiantes antes de entrar al aula, ya que muchas veces llegan con ideas muy arraigadas sobre diferentes conceptos físicos. Por eso, una enseñanza que busque una comprensión más profunda no debería dejar de lado esas ideas iniciales, sino construir el conocimiento a partir de ellas. Bao y Redish (2006) plantea que la comprensión conceptual, además, se conecta con capacidades como el razonamiento científico y la posibilidad de aplicar lo aprendido en contextos distintos. En ese sentido, el aprendizaje conceptual puede entenderse más como una reconstrucción progresiva del conocimiento que como una simple repetición de información.

Hammer et al. (2005) propone analizar el aprendizaje conceptual desde el enfoque de recursos, que permite entender que el estudiante no razona solo con ideas correctas o equivocadas, sino con recursos conceptuales que pueden resultarle útiles en algunas situaciones. Esta mirada ayuda a explicar por qué a veces un estudiante muestra avances en ciertos temas, pero todavía mantiene dificultades en otros. Redish (2004) sostiene que, desde esta perspectiva, en la enseñanza de la física es oportuno promover espacios en los que el estudiante pueda explicar, comparar y justificar sus ideas, porque eso fomenta un análisis más profundo de sus razonamientos y aporta a una comprensión más fundamental de los fenómenos físicos.

2.2.2. El concepto de energía en la enseñanza de la física

Brewe (2011) señalan que el concepto de energía ocupa un lugar importante en la enseñanza de la física, aunque también suele ser uno de los más difíciles de comprender. Esto ocurre, en parte, porque es un concepto bastante abstracto y porque aparece en muchos contextos distintos. Desde esa idea, proponen que una forma útil de enseñarlo es pensar la energía como una especie de sustancia que fluye. Esto puede ayudar a los estudiantes a entender mejor ideas como transferencia, almacenamiento y conservación. Así, la energía no se presenta solo como

una expresión matemática o como una lista de tipos, sino como una idea más amplia para interpretar procesos físicos.

Scherr et al. (2012) destacan que las representaciones cumplen un papel importante en la comprensión de la energía. Herramientas como diagramas, barras o esquemas de seguimiento pueden aportar bastante cuando ayudan a mostrar cómo la energía se conserva, se transfiere o cambia de sistema. Esto resulta relevante porque muchas veces los estudiantes manejan una idea fragmentada del concepto. En ese sentido, estas representaciones les permiten relacionar mejor lo que está ocurriendo en una situación física. Por eso, enseñar energía no consiste solo en definirla, sino también en ofrecer formas de representarla que faciliten seguir su comportamiento.

Sabo et al. (2016) encontraron que los estudiantes universitarios ya llegan al aula con ciertas ideas sobre energía y las usan para razonar sobre este tema. Desde esa perspectiva, aprender energía no significa únicamente cambiar errores por respuestas correctas. Más bien, también implica reorganizar y afinar formas de pensamiento que ya existían antes. Esta mirada resulta útil porque permite entender la comprensión de la energía como un proceso gradual. Así, algunos razonamientos iniciales pueden servir como base para aprendizajes más complejos, siempre que la enseñanza los oriente de una manera adecuada.

Fortus et al. (2019) proponen una enseñanza de la energía que pone más atención en los sistemas, la transferencia y los campos, en lugar de centrarse solo en clasificaciones fijas de formas de energía. Este enfoque resulta especialmente útil en temas de electricidad, porque permite pensar la energía vinculada con el campo y con las interacciones físicas, y no como una idea aislada. En conjunto, estos aportes permiten sostener que la enseñanza de la energía debería orientarse hacia una comprensión más integradora y relacional. Además, esta comprensión necesita apoyarse en representaciones que ayuden a conectar mejor las explicaciones conceptuales con los procedimientos y el análisis físico.

2.2.3. Energía potencial eléctrica y su relación con potencial eléctrico, trabajo y campo eléctrico

Gomez y Duran (1998) señalan que el concepto de diferencia de potencial eléctrico suele ser difícil de enseñar, sobre todo por lo abstracto que es y por la manera en que normalmente

se presenta en los cursos de física. Por eso, a muchos estudiantes les cuesta entender bien qué significa en realidad el potencial eléctrico. Cuando eso ocurre, también se les hace complicado relacionarlo con la energía potencial eléctrica. Entonces, aprender este tema no debería quedarse solo en usar fórmulas o reemplazar datos, sino en entender que el potencial tiene que ver con cómo se relacionan la carga, la energía y la posición dentro de un sistema eléctrico.

Algo similar sucede con el campo eléctrico. Furió y Guisasola (1998) mencionan que muchos estudiantes lo ven solo como una fórmula para resolver ejercicios, y no tanto como una idea física que sirve para describir cómo interactúan las cargas. Eso termina afectando también la comprensión de la energía potencial eléctrica, porque para entenderla mejor hay que darse cuenta de que los cambios de energía de una carga están relacionados con la acción del campo eléctrico. En otras palabras, el estudiante necesita conectar ideas que no siempre resultan fáciles al comienzo, como el campo, el potencial y la energía, y ahí suelen aparecer varias confusiones.

Además, Li y Singh (2017) muestran que estas dificultades no solo aparecen en niveles básicos, sino también en estudiantes universitarios, que todavía presentan problemas para comprender el campo eléctrico y aplicar bien el principio de superposición en electrostática. Aunque su estudio no se enfoca directamente en la energía potencial eléctrica, sí deja ver que varios conceptos que sirven de base para entender este tema todavía son frágiles. En una línea parecida, Mi et al. (2023) incluyen el potencial eléctrico y la energía potencial eléctrica dentro de un instrumento conceptual sobre electrostática, lo que refuerza la idea de que se trata de contenidos complejos y que no siempre se aprenden con facilidad.

Por su parte, Lindsey (2014) analizan cómo razonan los estudiantes sobre la energía potencial electrostática y gravitatoria, y encuentran que varios tienen dificultades para interpretar el signo de la energía, el sistema de referencia y la relación entre trabajo y cambio de energía potencial. Esto es importante porque muestra que el problema no está solo en recordar una fórmula, como suele pasar en muchos cursos, sino en comprender qué está ocurriendo físicamente. En el caso de la energía potencial eléctrica, eso implica relacionar el trabajo que hace el campo, la distribución de cargas en el sistema y el cambio de posición de la carga. Y justamente esa conexión entre ideas es una de las partes que más cuesta a los estudiantes.

2.2.4. Errores conceptuales y procedimentales en la resolución de problemas de física

Docktor et al. (2016) señalan que la evaluación de problemas en física no debería centrarse únicamente en el resultado final, sino también en las distintas partes del proceso de resolución. En esa línea, la resolución de problemas no depende solo de que el estudiante llegue a una respuesta correcta, sino también de cómo razona durante el proceso. En ese camino, suelen aparecer errores de distintos tipos. Algunos son más conceptuales, porque muestran dificultades para reconocer, interpretar o relacionar bien los principios físicos que entran en juego. Otros, en cambio, son más procedimentales, porque se notan en la forma en que el estudiante organiza la información, elige una estrategia, representa la situación o desarrolla la parte matemática. Por eso, mirar cómo resuelven los estudiantes, y no solo si acertaron o no, permite entender mejor de dónde vienen sus dificultades y qué aspectos de la enseñanza todavía necesitan reforzarse.

Docktor et al. (2016) proponen la rúbrica MAPS como una herramienta para evaluar soluciones escritas en cursos introductorios de física. Este instrumento organiza la resolución de problemas en cinco dimensiones: descripción útil del problema, enfoque físico, aplicación específica de la física, procedimientos matemáticos y progresión lógica. Lo valioso de esta propuesta es que ayuda a ver con más claridad en qué parte aparece la dificultad del estudiante. A veces el problema no está en la matemática, sino en que no comprende bien la situación física o no logra elegir el principio que corresponde. Otras veces sí reconoce la idea general, pero no consigue sostener un razonamiento ordenado. Desde esta mirada, los errores conceptuales suelen hacerse más visibles en el enfoque físico y en la aplicación de la física, mientras que los procedimentales aparecen más en la organización, en el uso de representaciones o en la secuencia del procedimiento.

De manera complementaria, Burkholder et al. (2020) plantean que la resolución de problemas también puede enseñarse y evaluarse usando una plantilla estructurada que sirva a la vez como apoyo y como criterio de evaluación. Su propuesta se basa en estudios sobre cómo trabajan científicos e ingenieros expertos, así que no se trata solo de seguir pasos escolares de manera mecánica. Más bien, busca acercar al estudiante a una forma de pensar más parecida a la de alguien con experiencia. Esto resulta importante porque permite entender los errores no

solo como fallas aisladas, sino como quiebres dentro de un proceso más amplio: comprender la situación, planificar, justificar, ejecutar y revisar. Entonces, un estudiante puede equivocarse no solo porque no sabe un concepto, sino también porque empieza a calcular muy rápido, no planifica o no revisa si lo que hizo tiene sentido físico.

Por su parte, Gjerde et al. (2022) muestran que el aprendizaje en resolución de problemas también mejora cuando el estudiante puede explicarse a sí mismo qué está haciendo y por qué lo está haciendo. En su estudio proponen cuatro elementos que ayudan a que esas autoexplicaciones sean más útiles: las acciones realizadas, los objetivos de cada paso, los principios físicos involucrados y las condiciones en que esos principios se aplican. Esta idea ayuda a entender por qué muchos errores siguen apareciendo, incluso cuando el estudiante ya conoce ciertas fórmulas o procedimientos. A veces el problema es que resuelve casi en automático, sin hacer explícito el sentido físico de lo que está haciendo. En ese caso, el error no es solo una respuesta incorrecta, sino también una señal de que no se está articulando bien el concepto, la acción y la justificación.

Además, los errores procedimentales no deberían verse solo como fallas algebraicas o descuidos en las cuentas. Maries y Singh (2018) muestran que incluso apoyos que parecen útiles, como dar un diagrama ya hecho, no siempre mejoran el desempeño. En los problemas de electrostática que estudiaron, los estudiantes que recibieron el diagrama no necesariamente obtuvieron mejores resultados y, en algunos casos, incluso rindieron peor. Los autores sugieren que esto puede pasar porque algunos estudiantes, al tener ya una representación dada, dedican menos tiempo a pensar la situación y pasan demasiado rápido a resolver. Esto es relevante porque muestra que una ayuda visual, por sí sola, no reemplaza la comprensión del problema. Si el alumno no desarrolla una comprensión física de lo que está sucediendo, el apoyo puede ser superficial.

En resumen, estas investigaciones hacen posible comprender que no todos los errores en física son iguales ni pueden ser reducidos simplemente a respuestas incorrectas. Más bien, muestran problemas de diferentes tipos: algunos en la comprensión de conceptos, otros en la representación de la situación, otros en el proceso de tomar decisiones y también en la realización formal del procedimiento. Para un estudio que se enfoca en aprender el concepto de energía

eléctrica, esta perspectiva es provechosa porque abre las posibilidades a examinar los trabajos de los alumnos y no solamente basándose en el resultado final, sino también considerando cómo emplean los principios físicos, magnitudes, representaciones y formas de razonamiento al solucionar problemas. Por lo tanto, identificar errores de concepto y procedimiento es importante para analizar con eficacia el rendimiento de los estudiantes y concebir mejoras pedagógicas más exactas.

2.2.5. Evaluación del aprendizaje y uso de rúbricas

Cockett y Jackson (2018) señalan que las rúbricas favorecen la comprensión de los criterios de evaluación y hacen más clara la retroalimentación que recibe el estudiante. Desde esta perspectiva, la evaluación del aprendizaje en educación superior no debería verse solamente como una forma de poner una nota, sino también como un medio para orientar al estudiante y darle una idea más clara de cómo está avanzando en su proceso. En ese sentido, las rúbricas ayudan porque muestran con mayor claridad qué aspectos se van a considerar en una tarea, de modo que el estudiante puede reconocer mejor qué se espera de su trabajo.

Asimismo, Cockett y Jackson (2018) sostienen que el aporte de las rúbricas no se limita al momento de calificar, ya que también pueden ayudar a que el estudiante revise su propio trabajo y reconozca en qué aspectos ha avanzado y en cuáles todavía presenta dificultades. Esto permite que la evaluación tenga un sentido más formativo y no solo de control. Sin embargo, su utilidad también depende de cómo se diseñan y cómo se usan en clase, porque una rúbrica demasiado rígida puede sentirse limitante. Aun así, cuando están bien planteadas, las rúbricas permiten que la evaluación sea más transparente y ordenada.

En la enseñanza de la física, resolver un problema implica no solo obtener la respuesta correcta, sino también desarrollar un procedimiento coherente. Por ello, Moore y Crouch (2019) proponen una rúbrica para cursos introductorios que evalúa la identificación de principios, la representación de la situación, la definición de variables y el desarrollo matemático. Así, esta rúbrica permite identificar en qué parte del proceso surgen las principales dificultades y comprender mejor el aprendizaje de los estudiantes.

Capítulo 3: Datos, metodología y contexto de estudio

3.1. Datos

3.1.1. Contexto del curso y población

Esta investigación se lleva a cabo en el curso de Fundamentos de Electricidad y Magnetismo, que forma parte de la formación básica de estudiantes de ingeniería en una universidad privada. En este curso se trabajan temas como por ejemplo electrostática, campo eléctrico, potencial eléctrico, energía potencial eléctrica, entre otros temas relacionados al electromagnetismo. Todos ellos se desarrollan a lo largo del semestre académico mediante diversas actividades, en su mayoría presenciales y, en menor medida, virtuales.

La población de estudio está conformada por los estudiantes matriculados en el curso. En cada semestre, su número oscila entre 188 y 416, lo que permite contar con una población amplia y observar el desempeño académico en distintos periodos.

3.1.2. Fuente de datos y unidad de análisis

La información utilizada en este estudio proviene de la plataforma Gradescope (https://www.gradescope.com/) y de los registros institucionales proporcionados por la universidad. En Gradescope se encuentran las calificaciones de las distintas evaluaciones del curso y el detalle de los criterios considerados en las rúbricas de calificación. Asimismo, la universidad facilitó los registros de notas finales correspondientes a los ciclos 2021-II al 2025-II.

Para algunos ciclos, también se dispuso de una base de datos con los puntajes obtenidos por los estudiantes en las diferentes evaluaciones y componentes del curso, lo que permitió organizar la información académica de manera ordenada para su posterior análisis.

En ese sentido, la unidad de análisis está conformada por los puntajes obtenidos por los estudiantes en las evaluaciones del curso y, de manera específica, por los desempeños observados en los criterios de la rúbrica de la segunda Evaluación de Aula, en la que se evalúa el tema de energía potencial eléctrica. Estos registros permiten analizar el desempeño estudiantil tanto a nivel general como en relación con el tema específico abordado en la investigación.

3.1.3. Delimitación del estudio y variables consideradas

Aunque en el curso se desarrollan distintos temas de electricidad y magnetismo, el presente estudio se delimita al análisis del aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica en estudiantes del curso de Fundamentos de Electricidad y Magnetismo. De manera específica, este análisis se centra en la segunda Evaluación de Aula, ya que en esta evaluación se aborda dicho contenido y se dispone de información detallada de los criterios de la rúbrica para algunos ciclos académicos.

No obstante, el estudio no se restringe únicamente a esta evaluación. Con el fin de situar el análisis específico dentro del contexto general del curso, primero se realiza una revisión descriptiva del rendimiento académico en el periodo comprendido entre 2021-II y 2025-II. En esta parte se consideran indicadores como el promedio final, el número de estudiantes aprobados y el número de estudiantes retirados por ciclo. Esta revisión permite contar con una visión general del comportamiento académico del curso antes de abordar el análisis específico del tema de energía potencial eléctrica.

En una segunda etapa, se desarrolló un análisis correlacional con información correspondiente a los ciclos 2024-I, 2024-II, 2025-I y 2025-II. Para ello, se emplearon los puntajes registrados en los distintos componentes de evaluación del curso, con el propósito de examinar la relación entre estas notas y el desempeño en el examen parcial, el examen final y la nota final. En este análisis no se consideraron los estudiantes retirados.

Finalmente, el análisis detallado de la segunda Evaluación de Aula, orientado a identificar dificultades frecuentes en el tema de energía potencial eléctrica, se realizó principalmente con información de los ciclos 2024-I, 2024-II y 2025-I, ya que en estos casos dicho tema fue evaluado mediante una pregunta completa dentro de la prueba. En el ciclo 2025-II, aunque

también se consideró el tema de energía potencial eléctrica en la segunda Evaluación de Aula, este solo fue incluido como un subítem con un valor de 3.5 puntos dentro de una pregunta más amplia. Esta diferencia en la estructura de la evaluación fue tomada en cuenta al delimitar el análisis específico del estudio. Para esta parte del estudio, se trabajó únicamente con los registros de estudiantes que contaban con información completa en la evaluación analizada.

Entre las variables e indicadores considerados se encuentran el puntaje total obtenido en la segunda Evaluación de Aula, los puntajes alcanzados en cada criterio de la rúbrica y los errores frecuentes identificados en las resoluciones de los estudiantes. En conjunto, estos elementos permiten analizar el desempeño estudiantil en el tema de energía potencial eléctrica a partir de evidencias específicas de la evaluación seleccionada.

Para el análisis correlacional se consideraron los principales componentes de evaluación del curso:

- Prom EA1: promedio de las evaluaciones en aula antes del examen parcial.
- Prom EA2: promedio de las evaluaciones en aula después del examen parcial.
- Prom TA1: promedio de las tareas antes del examen parcial.
- Prom TA2: promedio de las tareas después del examen parcial.
- AG1 y AG2: actividades grupales antes y después del parcial, respectivamente.
- EC1 y EC2: evaluaciones continuas.
- EP: examen parcial.
- EF: examen final.
- NF: nota final del curso.

Si bien en las bases de datos también se incluye información de laboratorio, este componente no se incorpora como eje principal del análisis, ya que evalúa capacidades distintas de las consideradas en el presente estudio.

3.2. Metodología

3.2.1. Enfoque, tipo y diseño del estudio

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que trabajó con notas y puntajes obtenidos por los estudiantes en las distintas evaluaciones del curso. Asimismo, corresponde a un estudio aplicado, porque parte de una situación observada en la práctica docente y busca aportar una propuesta de mejora a partir del análisis de los resultados.

Por su alcance, este estudio es principalmente descriptivo, debido a que busca caracterizar el rendimiento académico de los estudiantes en el curso y, de manera más específica, en el tema de energía potencial eléctrica. De manera complementaria, incorpora un alcance correlacional, ya que se examinan relaciones entre distintos componentes de evaluación del curso, así como su vínculo con el examen parcial, el examen final y la nota final.

En la presente investigación no se formularon hipótesis, debido a que su propósito principal no fue comprobar relaciones causales, establecer el efecto de una variable sobre otra ni contrastar una predicción estadística planteada previamente. El estudio se orientó a describir y analizar las evidencias de aprendizaje disponibles, identificar las dificultades conceptuales y procedimentales más frecuentes y, a partir de los hallazgos obtenidos, elaborar una propuesta de mejora didáctica. Las correlaciones calculadas se utilizaron de manera complementaria para explorar la relación entre los componentes de evaluación y el rendimiento académico, sin constituir pruebas destinadas a aceptar o rechazar una hipótesis.

El estudio corresponde a un diseño no experimental y retrospectivo. Es no experimental porque no implica manipulación de variables ni intervención directa sobre los estudiantes, y es retrospectivo porque se trabaja con registros de evaluación ya existentes correspondientes a los ciclos analizados.

Una característica central de esta investigación es que se basa en datos generados en el desarrollo regular del curso. En ese sentido, el análisis se centra en el desempeño evidenciado en las evaluaciones y en los registros académicos disponibles, sin considerar otros factores externos al proceso de evaluación.

3.2.2. Estrategia de análisis y consideraciones éticas

En la primera etapa, se realizó un análisis general del rendimiento académico de los estudiantes en los distintos ciclos considerados. Para ello, se tomaron en cuenta indicadores como el número de estudiantes matriculados, retirados, aprobados y desaprobados por ciclo, así como el promedio final y el porcentaje de aprobados. Este análisis permitió identificar variaciones en el comportamiento académico del curso a lo largo del periodo estudiado.

En la segunda etapa, se desarrolló un análisis correlacional a partir de los principales componentes de evaluación del curso, con el propósito de examinar la relación entre estas notas y el desempeño en el examen parcial, el examen final y la nota final.

Finalmente, se realizó un análisis más específico de la segunda Evaluación de Aula, considerando el puntaje total, los puntajes por criterio de la rúbrica y los errores frecuentes identificados en las resoluciones de los estudiantes, con el fin de reconocer las principales dificultades en el tema de energía potencial eléctrica.

En los ciclos 2024-I, 2024-II, 2025-I y 2025-II, la evaluación continua de cada etapa se calculó a partir de los promedios de evaluaciones en aula, tareas y actividad grupal, según las siguientes expresiones:

$$\text{EC1} = 0{,}60(\text{Prom EA1}) + 0{,}20(\text{Prom TA1}) + 0{,}20(\text{AG1}) \tag{3.1}$$

$$\text{EC2} = 0{,}60(\text{Prom EA2}) + 0{,}20(\text{Prom TA2}) + 0{,}20(\text{AG2}) \tag{3.2}$$

La nota final del curso se calculó de la siguiente manera:

$$\text{NF} = 0{,}125(\text{EC1}) + 0{,}125(\text{EC2}) + 0{,}125(\text{L1}) + 0{,}125(\text{L2}) + 0{,}20(\text{EP}) + 0{,}30(\text{EF}) \tag{3.3}$$

Para la interpretación del análisis correlacional, se consideró que los contenidos evaluados hasta el examen parcial corresponden al eje de electricidad, mientras que el examen final

se centra en contenidos vinculados con magnetismo. Esta diferenciación resultó relevante para interpretar la relación entre los distintos componentes de evaluación del curso.

En cuanto a las consideraciones éticas, los datos se utilizaron únicamente con fines académicos. Asimismo, se resguardó la confidencialidad de la información de los estudiantes, evitando el uso de datos que permitieran su identificación.

Capítulo 4: Resultados y discusiones

4.1. Análisis general del rendimiento académico y relación entre evaluaciones

En esta sección se presenta una revisión general del rendimiento académico de los estudiantes en el curso y de la relación entre los principales componentes de evaluación. Primero se analizan indicadores globales por ciclo, como el promedio final y el porcentaje de aprobados. Luego, se examina la relación entre distintos componentes de evaluación y el desempeño alcanzado en el examen parcial, el examen final y la nota final.

4.1.1. Rendimiento académico general de los estudiantes por ciclo

La Tabla 1 presenta los principales indicadores del rendimiento académico del curso en los ciclos 2021-II al 2025-II. En general, se observa que el número de estudiantes matriculados, retirados, aprobados y desaprobados presentó variaciones entre ciclos, lo que evidencia que el comportamiento académico del curso no fue igual en todos los ciclos analizados. Estas diferencias también se aprecian en el promedio final y en el porcentaje de aprobados, indicadores que permiten identificar cambios en el desempeño global de los estudiantes de un ciclo a otro.

En relación con estos dos últimos indicadores, la Figura 1 permite identificar una tendencia general. El ciclo 2022-I registró los valores más bajos del periodo, con un promedio final de 8,84 y un porcentaje de aprobados de 46,01 %. Posteriormente, en los ciclos 2022-II, 2023-I, 2023-II y 2024-I, se observó una recuperación del rendimiento, con porcentajes de aprobación cercanos o superiores al 69 % y promedios finales entre 11,48 y 11,80. Sin embargo,

Tabla 1

Indicadores generales del rendimiento académico por ciclo, 2021-II–2025-II

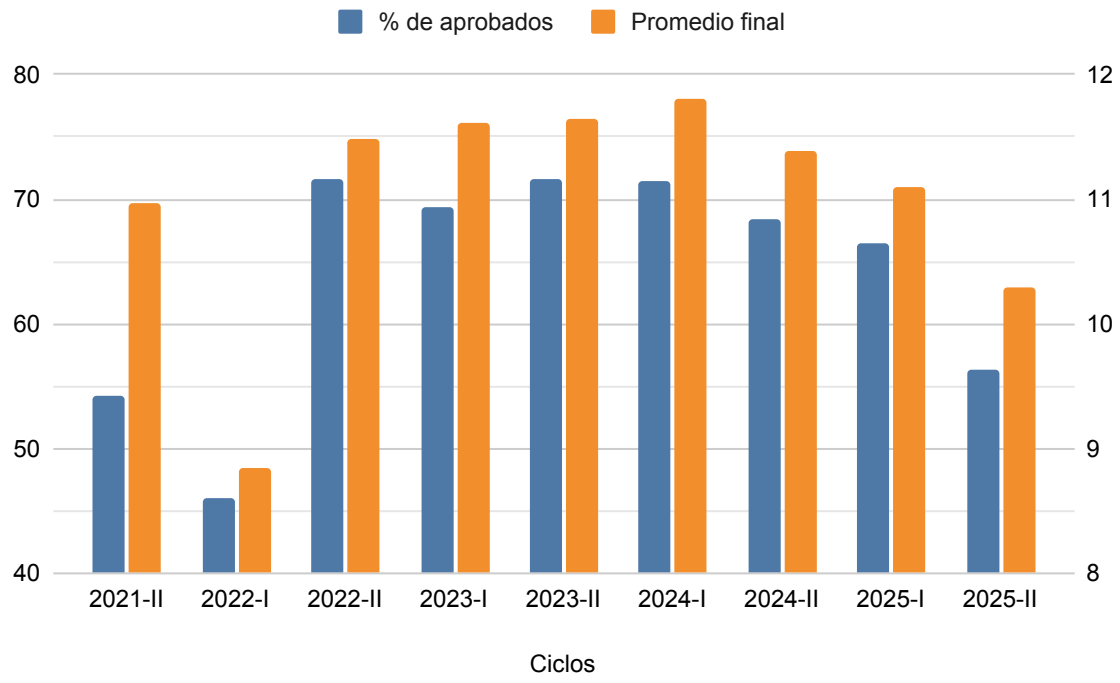
Ciclo	Matriculados	Retirados	Aprobados	Desaprobados	Promedio final	% de aprobados
2021-II	188	35	83	70	10,97	54,25
2022-I	364	101	121	142	8,84	46,01
2022-II	398	35	260	103	11,48	71,63
2023-I	361	31	229	101	11,61	69,39
2023-II	416	22	282	112	11,65	71,57
2024-I	311	23	206	82	11,80	71,53
2024-II	275	25	171	79	11,38	68,40
2025-I	285	47	158	80	11,10	66,39
2025-II	249	52	111	86	10,30	56,35

Nota. El porcentaje de aprobados se calculó con base en los estudiantes que completaron el ciclo académico.

a partir de 2024-II se aprecia una nueva disminución, que se hace más notoria en 2025-II, ciclo en el que el promedio final descendió a 10,30 y el porcentaje de aprobados a 56,35 %.

Figura 1

Porcentaje de aprobados y promedio final por ciclo en el periodo 2021-II al 2025-II.



Estos resultados sugieren que existe una correspondencia general entre el promedio final del curso y el porcentaje de aprobados, ya que los ciclos con menores porcentajes de aprobación

también tienden a presentar promedios finales más bajos, como ocurre especialmente en 2022-I y 2025-II. En ese sentido, el rendimiento académico del curso presenta variaciones entre ciclos que no parecen ser aleatorias, sino parte de una dinámica más amplia del desarrollo del curso en distintos periodos académicos.

Voorhees y Lee (2009) señalan que el seguimiento de cohortes a lo largo del tiempo constituye una herramienta útil para identificar diferencias en la progresión y en el desempeño académico de los estudiantes entre periodos sucesivos. Por ello, esta forma de análisis resulta pertinente para observar cómo varía el rendimiento del curso en los ciclos considerados. Además, Kara et al. (2021) reportan que, en la educación superior, el rendimiento académico puede verse influido por condiciones del curso, como el tamaño de clase. De manera similar, Harper et al. (2024) muestran que las variaciones en las modalidades de enseñanza y evaluación entre años académicos también pueden relacionarse con diferencias en los resultados de los estudiantes. Si bien en el presente estudio no se busca establecer relaciones causales directas entre estos factores y los resultados observados, estas referencias permiten situar las diferencias encontradas dentro de un marco más amplio de análisis del desempeño académico.

En consecuencia, esta revisión descriptiva permite no solo contextualizar el estudio del aprendizaje de la energía potencial eléctrica, sino también sustentar la necesidad de analizar con mayor detalle la relación entre los componentes de evaluación del curso y el desempeño alcanzado por los estudiantes en los distintos ciclos.

4.1.2. Relación entre los componentes de evaluación y los exámenes del curso

La Tabla 2 presenta los coeficientes de correlación (r) entre los principales componentes de evaluación del curso y el desempeño de los estudiantes en el examen parcial (EP), el examen final (EF) y la nota final (NF) en los ciclos 2024-I, 2024-II, 2025-I y 2025-II, sin considerar a los retirados. Para facilitar la lectura, la magnitud de r se interpreta con base en la escala de cinco niveles indicada en la nota de la tabla (muy baja a muy alta).

En conjunto, se observa un patrón consistente: los componentes de evaluación aplicados de manera individual y sostenida durante el semestre (Prom EA1, Prom EA2, EC1 y EC2)

Tabla 2

Correlaciones entre componentes de evaluación y exámenes por ciclo

	2024-I			2024-II			2025-I			2025-II		
Componente	**EP**	**EF**	**NF**	**EP**	**EF**	**NF**	**EP**	**EF**	**NF**	**EP**	**EF**	**NF**
Prom EA1	0,64	0,65	0,82	0,63	0,51	0,77	0,76	0,65	0,80	0,75	0,66	0,81
Prom TA1	0,25	0,22	0,59	0,46	0,23	0,59	0,47	0,42	0,59	0,31	0,12	0,54
AG1	0,32	0,36	0,68	0,36	0,24	0,50	0,39	0,30	0,64	0,29	0,25	0,33
EC1	0,61	0,62	0,85	0,65	0,52	0,81	0,75	0,64	0,85	0,74	0,60	0,87
Prom EA2	0,58	0,75	0,89	0,56	0,63	0,79	0,70	0,76	0,88	0,75	0,74	0,85
Prom TA2	0,32	0,36	0,72	0,32	0,21	0,55	0,30	0,39	0,61	0,31	0,17	0,61
AG2	0,38	0,49	0,71	0,42	0,38	0,63	0,43	0,40	0,68	0,28	0,26	0,33
EC2	0,54	0,72	0,90	0,55	0,60	0,82	0,64	0,71	0,88	0,69	0,67	0,88

Nota. La intensidad de color representa la magnitud del coeficiente de correlación: muy baja (0,00–0,29), baja (0,30–0,49), moderada (0,50–0,69), alta (0,70–0,79) y muy alta (0,80–1,00). Se excluyeron los estudiantes retirados.

exhiben las asociaciones más altas con el rendimiento global. En particular, las evaluaciones continuas muestran relaciones muy altas y estables con la NF en los cuatro ciclos (EC1: r = 0,81–0,87; EC2: r = 0,82–0,90). De forma similar, los promedios de evaluaciones en aula presentan correlaciones altas o muy altas con la NF (Prom EA1: r = 0,77–0,82; Prom EA2: r = 0,79–0,89). En términos descriptivos, este resultado sugiere que el desempeño sostenido en evaluaciones desarrolladas durante el semestre se asocia estrechamente con el rendimiento acumulado del curso.

Al distinguir por tipo de examen, se aprecia una distribución coherente con la secuencia temporal del curso. Los componentes correspondientes a la primera parte del semestre tienden a relacionarse más con el EP que con el EF: por ejemplo, Prom EA1 y EC1 alcanzan con EP valores moderados a altos (Prom EA1: r = 0,63–0,76; EC1: r = 0,61–0,75), mientras que con EF se mantienen, en general, en magnitudes moderadas (Prom EA1: r = 0,51–0,66; EC1: r = 0,52–0,64). En contraste, los componentes de la segunda parte del semestre muestran asociaciones relativamente mayores con el EF y con la NF, destacando Prom EA2 y EC2 (Prom EA2 con EF: r = 0,63–0,76; EC2 con EF: r = 0,60–0,72). Esta distribución es consistente con la proximidad temporal entre los instrumentos de evaluación y los exámenes sumativos correspondientes.

En comparación, las tareas (Prom TA1 y Prom TA2) y las actividades grupales (AG1 y AG2) presentan correlaciones generalmente más bajas con EP y EF, así como mayor variabilidad entre ciclos. Por ejemplo, en varios casos los coeficientes con EF se ubican en rangos muy bajos o bajos (p. ej., Prom TA1 con EF: $r = 0{,}12$–$0{,}42$; Prom TA2 con EF: $r = 0{,}17$–$0{,}39$), y se observa una caída marcada en 2025-II para las actividades grupales respecto de la NF (AG1 y AG2 con NF: $r = 0{,}33$). Una interpretación plausible es que estos componentes reflejan condiciones de trabajo distintas a las de los exámenes (por ejemplo, resolución de actividades fuera del aula o desarrollo grupal), por lo que su asociación con el desempeño en evaluaciones sumativas puede ser menos directa o menos estable.

Black y Wiliam (1998), Nicol y Macfarlane-Dick (2006) y Gibbs y Simpson (2005) destacan la relevancia de la evaluación formativa, el seguimiento continuo y la retroalimentación para comprender y promover el progreso académico. En ese sentido, los resultados obtenidos son consistentes con esta perspectiva, ya que muestran que las evaluaciones en aula y las evaluaciones continuas presentan asociaciones importantes con el rendimiento global del curso. Asimismo, Kontur et al. (2015) señalan que, en contextos de física introductoria, la relación entre tareas y desempeño en exámenes puede no ser uniforme y puede depender de las características del estudiantado y del diseño de las actividades. En cualquier caso, las correlaciones descritas permiten identificar qué componentes se asocian más estrechamente con EP, EF y NF, aunque no permiten establecer relaciones causales directas (Holmes et al., 2023).

Finalmente, Henrysson (1963) y Berk (1978) permiten sostener que la interpretación de las correlaciones con la nota final debe realizarse con cautela, especialmente cuando existe relación entre una parte evaluada y el puntaje total. En este caso, la NF se construye a partir de la agregación de los propios componentes de evaluación. Por ello, parte de la asociación componente–NF puede reflejar solapamiento y ponderación dentro del esquema de calificación, además de una posible alineación con el aprendizaje. En ese sentido, la relación con EP y EF ofrece una lectura complementaria sobre la consistencia entre evaluaciones distribuidas y resultados sumativos.

En síntesis, el análisis correlacional sugiere que las evaluaciones en aula y las evaluaciones continuas constituyen los componentes más consistentemente asociados con el desempeño

global del curso. Este hallazgo es relevante, ya que indica que instrumentos aplicados de manera individual y sostenida durante el semestre proporcionan una señal más clara del rendimiento académico que otros componentes de naturaleza distinta, como tareas virtuales o actividades grupales.

4.2. Análisis del desempeño en energía potencial eléctrica

En la sección anterior se identificaron, a partir del análisis correlacional, patrones consistentes entre los distintos componentes de evaluación del curso y el rendimiento de los estudiantes en el examen parcial (EP), el examen final (EF) y la nota final (NF). De manera particular, los componentes vinculados con evaluaciones individuales y desarrolladas de forma sostenida durante el semestre, como Prom EA2 y EC2, presentaron correlaciones altas o muy altas con la NF, de acuerdo con la escala cromática consignada en la Tabla 2. En términos descriptivos, este resultado sugiere que el desempeño observado de manera continua a lo largo del semestre mantiene una relación estrecha con el rendimiento global del curso.

Sin embargo, conviene precisar dos aspectos metodológicos. En primer lugar, las correlaciones reportadas describen asociaciones entre variables, pero no permiten establecer relaciones causales directas (Holmes et al., 2023). En segundo lugar, Henrysson (1963) y Berk (1978) permiten sostener que la interpretación de relaciones entre un componente evaluado y un puntaje total debe realizarse con cautela, debido al posible efecto de solapamiento parte–todo. En este caso, dado que la NF se obtiene a partir de la agregación ponderada de varios componentes del curso, entre ellos evaluaciones continuas y exámenes, parte de la relación entre un componente y la NF podría estar influida por dicho solapamiento, lo que incrementaría su magnitud. Por ello, el análisis correlacional presentado en la sección previa se complementa aquí con una revisión más específica del desempeño en un contenido particular del curso.

En ese marco, se examina el aprendizaje de la *energía potencial eléctrica* a partir de la segunda Evaluación de Aula (EA2), por tratarse de una evidencia correspondiente a la segunda parte del semestre y por su pertinencia para analizar el desempeño en un contenido conceptual y procedimental relevante. Este análisis permite pasar de una mirada global, centrada en la

relación entre los componentes de evaluación, a una revisión más detallada del rendimiento en el tema de interés, con el propósito de identificar patrones de logro y dificultades recurrentes.

La presente subsección se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se describe el desempeño general de los estudiantes en la pregunta de energía potencial eléctrica de la EA2. En segundo lugar, se analiza dicho desempeño a partir de los criterios establecidos en la rúbrica de calificación. Finalmente, se sistematizan los errores conceptuales y procedimentales más frecuentes observados en las resoluciones.

Black y Wiliam (1998), Nicol y Macfarlane-Dick (2006) y Gibbs y Simpson (2005) destacan la importancia de la evaluación formativa y la retroalimentación para comprender el progreso del aprendizaje y orientar decisiones de mejora. En ese sentido, la secuencia propuesta permite pasar de una revisión general del desempeño a un análisis más específico de los criterios de la rúbrica y de las dificultades observadas en las resoluciones. Asimismo, Kontur et al. (2015) señalan que, en el campo de la física introductoria, la relación entre algunas actividades del curso, como las tareas, y el desempeño en exámenes no siempre es uniforme. Esto refuerza la necesidad de analizar evidencias específicas de desempeño, especialmente cuando se busca comprender cómo los estudiantes enfrentan un contenido particular del curso.

4.2.1. Desempeño general de los estudiantes en la segunda Evaluación de Aula

La Tabla 3 presenta los estadísticos descriptivos del desempeño de los estudiantes en la pregunta de energía potencial eléctrica de la segunda Evaluación de Aula (EA2), desagregados por ciclo y teoría. Además de la media, se reporta el *puntaje relativo* con el fin de facilitar la lectura cuando el puntaje máximo difiere entre grupos, así como la desviación estándar (DE) y los valores mínimo y máximo, que permiten apreciar la dispersión del rendimiento.

En términos generales, el desempeño obtenido muestra diferencias marcadas entre ciclos y teorías. En primer lugar, el *puntaje relativo* varía desde 12,6 % (2024-II, teoría 1) hasta 60,3 % (2024-I, teoría 1), lo que evidencia que el nivel de logro en esta pregunta no fue uniforme en el periodo analizado. En 2024-I se registra el mayor rendimiento promedio, especialmente en teoría 1 (Media = 6,03 sobre 10), mientras que en 2024-II se observa el rendimiento más bajo,

Tabla 3

Desempeño en la pregunta de energía potencial eléctrica por ciclo y grupo

Ciclo	Teoría	Puntaje máximo	N	Media	Puntaje relativo (%)	DE (σ)	Mínimo	Máximo
2024-I	T1	10	208	6,03	60,3	3,03	0,00	10,00
2024-I	T2	11	80	4,08	37,1	3,45	0,00	11,00
2024-II	T1	10	157	1,26	12,6	2,15	0,00	9,00
2024-II	T2	10	84	2,61	26,1	2,29	0,00	8,00
2025-I	T1	10	147	2,64	26,4	2,11	0,00	8,25
2025-I	T2	10	113	3,53	35,3	2,83	0,00	10,00

Nota. El puntaje relativo (%) se calculó como (Media/Puntaje máximo) $\times$ 100. El ciclo 2025-II no se incluyó porque la energía potencial eléctrica se evaluó como un subítem de 3,5 puntos dentro de un problema más amplio, lo que limita la comparación directa.

con una caída importante en teoría 1 (Media = 1,26 sobre 10) y un desempeño aún limitado en teoría 2 (Media = 2,61 sobre 10). Para 2025-I, los resultados se ubican en un nivel intermedio: teoría 1 alcanza una media de 2,64 (26,4 %) y teoría 2 una media de 3,53 (35,3 %).

Al comparar teorías dentro de cada ciclo, se aprecian diferencias que también deben ser consideradas. En 2024-I, teoría 1 supera a teoría 2 tanto en la media (6,03 frente a 4,08) como en el puntaje relativo (60,3 % frente a 37,1 %); sin embargo, es necesario recordar que en teoría 2 el puntaje máximo fue 11 y no 10, lo que puede influir en la lectura directa de los promedios. En 2024-II y 2025-I, la tendencia se invierte: teoría 2 presenta medias mayores que teoría 1 (2,61 vs. 1,26 en 2024-II; 3,53 vs. 2,64 en 2025-I), aunque ambas teorías se mantienen, en conjunto, en niveles de logro relativamente bajos.

Respecto a la dispersión, las desviaciones estándar oscilan entre 2,11 y 3,45, lo que sugiere una variabilidad apreciable dentro de cada grupo. Asimismo, el hecho de que el puntaje mínimo sea 0,00 en todos los casos confirma la presencia de estudiantes que no lograron iniciar o sostener una resolución válida. En contraste, los puntajes máximos indican que sí existieron estudiantes que alcanzaron desempeños altos o incluso el puntaje completo (por ejemplo, 10,00 en 2024-I T1 y 2025-I T2, y 11,00 en 2024-I T2), aunque en 2024-II los máximos se mantienen por debajo del total (9,00 y 8,00), lo cual es consistente con el bajo rendimiento promedio observado en ese ciclo.

Finalmente, debe señalarse que estas diferencias pueden estar condicionadas, al menos en parte, por variaciones en la estructura de la evaluación (formulación del ítem y ponderación). Por ello, los estadísticos descritos se interpretan principalmente como evidencia para caracterizar el desempeño y reconocer su variabilidad, más que como una comparación estrictamente equivalente entre todas las versiones aplicadas.

De acuerdo con Black y Wiliam (1998), Nicol y Macfarlane-Dick (2006) y Gibbs y Simpson (2005), la evaluación formativa, el seguimiento del aprendizaje y la retroalimentación permiten comprender mejor el progreso de los estudiantes y orientar decisiones de mejora. En conjunto, este análisis descriptivo establece un marco cuantitativo inicial del desempeño en energía potencial eléctrica. Sobre esta base, en el siguiente apartado se examina el desempeño según los criterios de la rúbrica, con el propósito de precisar en qué aspectos del proceso de resolución se concentran las principales dificultades.

4.2.2. Desempeño de los estudiantes según los criterios de la rúbrica

El análisis del desempeño estudiantil se basa en los criterios específicos considerados en las rúbricas de evaluación correspondientes a cada ciclo. Debido a que estos criterios no fueron exactamente los mismos en todas las teorías ni en todos los periodos analizados, la comparación no se plantea como una correspondencia estricta entre ítems, sino como una lectura de tendencias comunes en el desempeño. En ese sentido, el interés no está únicamente en identificar qué porcentaje de estudiantes resolvió correctamente cada criterio, sino también en reconocer en qué partes del procedimiento se concentraron los mayores logros y en cuáles aparecieron más dificultades. Este análisis permite observar con mayor detalle cómo los estudiantes enfrentaron los problemas relacionados con energía potencial eléctrica y qué aspectos del proceso de resolución resultaron más exigentes.

En el ciclo 2024-I se observa que el desempeño no fue homogéneo entre teoría 1 y teoría 2, aunque en ambos casos aparece una diferencia entre los criterios iniciales del problema y aquellos que exigían sostener una resolución más completa. En teoría 1, los mayores porcentajes de logro se registraron en la identificación de los potenciales inicial y final (85,9 %) y en la determinación del trabajo de la fuerza eléctrica (88,8 %). Sin embargo, estos valores

disminuyeron en los criterios asociados con la relación entre trabajo y energía (41,7 %), el planteamiento de las energías cinéticas (36,9 %) y la determinación de la rapidez final (35,4 %). En teoría 2, el patrón fue menos favorable desde el inicio: los porcentajes vinculados con el potencial inicial y final fueron de 25,6 % y 24,4 %, respectivamente, mientras que el trabajo de la fuerza eléctrica alcanzó 50,0 % y la rapidez final 43,6 %. En conjunto, este ciclo sugiere que los estudiantes mostraron un mejor desempeño cuando el problema exigía reconocer magnitudes o establecer relaciones inmediatas, pero encontraron mayores dificultades cuando debían articular esas relaciones dentro de una secuencia de resolución más amplia.

En el ciclo 2024-II, el desempeño fue más bajo que en 2024-I en casi todos los criterios observados. En teoría 1, el mayor porcentaje de logro se encuentra en el planteamiento del teorema de trabajo y energía en función de los potenciales y las energías cinéticas (27,4 %), seguido por el potencial eléctrico inicial (22,9 %). A partir de ahí, los porcentajes descienden de manera marcada, hasta llegar a 6,4 % en la determinación de la distancia máxima y 1,3 % en el cálculo del trabajo realizado sobre la carga. Además, en el segundo apartado, la categoría "No responde a la pregunta" alcanzó 48,4 %. En teoría 2 se repite un comportamiento similar: el mayor porcentaje de logro corresponde al planteamiento del teorema de trabajo y energía (44,0 %), pero los valores disminuyen en los criterios posteriores, especialmente en el potencial final (11,9 %) y en la determinación de la distancia máxima (8,3 %), mientras que la ausencia de respuesta llega a 48,8 % en el segundo apartado. Estos resultados muestran que en este ciclo no solo disminuyó el porcentaje de respuestas correctas, sino que también aumentó la dificultad para sostener la resolución hasta el final del problema.

En el ciclo 2025-I, las rúbricas se organizaron en cuatro apartados, lo que permite observar con más claridad cómo varió el desempeño a medida que el problema exigía una mayor elaboración conceptual y matemática. En teoría 1, los mejores resultados se concentraron en el apartado inicial, referido al potencial eléctrico en el punto A: la expresión del potencial debido a Q_1 alcanzó 65,3 %, la correspondiente a Q_2, 57,8 %, y la determinación del potencial total, 48,3 %. En teoría 2, estos porcentajes fueron incluso mayores: 69,0 %, 62,8 % y 61,9 %, respectivamente. Sin embargo, en ambos grupos el desempeño disminuyó cuando el problema exigía pasar del potencial eléctrico a la energía potencial eléctrica, plantear la conservación de la

energía y determinar la distancia d o el trabajo final. En teoría 1, por ejemplo, la determinación correcta de d alcanzó solo 0,7 % y la categoría "No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta" llegó a 93,2 % en el último apartado. En teoría 2, aunque los porcentajes fueron ligeramente mayores, el patrón general se mantuvo: la determinación de d llegó a 7,1 % y la ausencia de respuesta en el apartado final alcanzó 72,6 %.

Considerados en conjunto, los tres ciclos muestran una tendencia consistente. Los mejores resultados se concentran en criterios asociados con la identificación de magnitudes, el reconocimiento de expresiones iniciales o la resolución de pasos parciales del problema. En cambio, las mayores dificultades aparecen cuando los estudiantes deben relacionar potencial eléctrico, energía potencial eléctrica, trabajo y conservación de la energía dentro de una misma secuencia de razonamiento.

Maloney et al. (2001) y Mbonyiryivuze et al. (2019) han mostrado que, en electricidad y magnetismo, los estudiantes pueden resolver partes aisladas de un problema sin lograr necesariamente una comprensión conceptual integrada del fenómeno. Este patrón resulta coherente con los resultados encontrados en el presente estudio, ya que los estudiantes mostraron mejores desempeños en etapas iniciales, pero mayores dificultades cuando debían articular varios conceptos en una resolución completa. De manera más específica, Lindsey (2014) encontró que muchos estudiantes presentan dificultades para interpretar de forma consistente la energía potencial en contextos electrostáticos, mientras que Maries et al. (2022) señalan que incluso después de la instrucción formal persisten dificultades conceptuales en contenidos básicos de electricidad y magnetismo. Desde la evaluación de problemas escritos, Docktor et al. (2016) también destacan que el análisis por criterios permite distinguir entre el reconocimiento parcial de principios físicos y la capacidad de sostener un razonamiento completo y coherente hasta el resultado final.

En síntesis, el análisis según los criterios de la rúbrica muestra que el desempeño de los estudiantes no dependió solo de la presencia o ausencia de respuestas correctas, sino también del tipo de exigencia cognitiva involucrada en cada parte del problema. Cuando la tarea requería reconocer datos, escribir expresiones iniciales o resolver una etapa concreta, los porcentajes de logro tendieron a ser mayores. Por el contrario, cuando la resolución exigía integrar conceptos,

mantener la coherencia del procedimiento y alcanzar un resultado final con sentido físico, los porcentajes disminuyeron de manera importante y aumentaron las categorías de planteamiento incorrecto o ausencia de respuesta. Este hallazgo resulta central para la presente investigación, ya que permite identificar con mayor claridad en qué momentos del proceso de resolución aparecen las dificultades más persistentes en torno al aprendizaje de la energía potencial eléctrica.

Con el fin de sintetizar las tendencias más relevantes observadas en los distintos ciclos y teorías, la Tabla 4 resume los criterios con mayor y menor logro, así como la tendencia principal identificada en cada caso. Esta síntesis permite reconocer con mayor claridad los patrones de desempeño que se repiten en la resolución de problemas de energía potencial eléctrica.

Tabla 4
Tendencias de desempeño según los criterios de la rúbrica

Ciclo / teoría	Criterios con mayor logro	Criterios con menor logro	Tendencia principal
2024-I / T1	Identificación de potenciales inicial y final (85,9 %); trabajo de la fuerza eléctrica (88,8 %)	Relación trabajo–energía (41,7 %); energías cinéticas (36,9 %); rapidez final (35,4 %)	El mejor desempeño se concentró en la identificación de magnitudes y en relaciones iniciales del problema; sin embargo, disminuyó cuando la resolución exigía sostener el procedimiento hasta obtener el resultado final.
2024-I / T2	Trabajo de la fuerza eléctrica (50,0 %); rapidez final (43,6 %)	Potencial inicial (25,6 %); potencial final (24,4 %); relación entre trabajo, energía y energías cinéticas (28,2 %)	Se observaron dificultades desde etapas tempranas de la resolución, especialmente en la identificación de magnitudes físicas relevantes, lo que afectó la continuidad del procedimiento.
2024-II / T1	Teorema de trabajo y energía (27,4 %); potencial eléctrico inicial (22,9 %)	Distancia máxima (6,4 %); trabajo realizado sobre la carga (1,3 %)	El desempeño general fue bajo en casi todos los criterios. Las mayores dificultades aparecieron en los apartados finales y se incrementó el porcentaje de estudiantes que no logró completar la resolución.

Ciclo / teoría	Criterios con mayor logro	Criterios con menor logro	Tendencia principal
2024-II / T2	Teorema de trabajo y energía (44,0 %); diferencia de potencial inicial menos final (34,5 %)	Potencial eléctrico final (11,9 %); distancia máxima (8,3 %)	Aunque algunos estudiantes lograron plantear relaciones iniciales, el rendimiento disminuyó cuando debían mantener la coherencia conceptual y procedimental del problema hasta el final.
2025-I / T1	Expresión del potencial eléctrico en el punto A debido a Q_1 (65,3 %) y Q_2 (57,8 %); potencial total en A (48,3 %)	Energía potencial final en función de d (3,4 % y 2,0 %); determinación de d (0,7 %)	El desempeño fue relativamente mejor en los apartados iniciales, pero cayó de manera marcada cuando la evaluación exigía articular potencial, energía potencial y conservación de la energía.
2025-I / T2	Expresión del potencial eléctrico en el punto A debido a Q_1 (69,0 %) y Q_2 (62,8 %); potencial total en A (61,9 %)	Determinación de d (7,1 %); trabajo final (5,3 %)	Se repite el patrón observado en teoría 1: mejor desempeño en etapas iniciales y descenso progresivo conforme aumenta la complejidad conceptual y matemática del problema.

Nota. T1 = teoría 1; T2 = teoría 2; Q_1 y Q_2 = cargas eléctricas consideradas; d = distancia evaluada. Los porcentajes representan el logro observado en cada criterio de la rúbrica.

A partir de ello, en la siguiente subsección se profundiza en los errores conceptuales y procedimentales que se repiten con mayor frecuencia en las resoluciones de los estudiantes.

4.2.3. Errores conceptuales y procedimentales más frecuentes en la resolución de problemas de energía potencial eléctrica

A partir de los patrones de desempeño identificados en la subsección anterior y de la revisión de las resoluciones de los estudiantes, se reconocieron errores recurrentes en la resolución de problemas de energía potencial eléctrica. Estos errores no se definieron a partir de respuestas aisladas, sino de regularidades observadas en distintos ciclos y teorías, especialmente en aquellos criterios donde los porcentajes de logro fueron más bajos o donde aumentó la ausencia de respuesta. En este sentido, la identificación de errores permite complementar el

análisis cuantitativo de la rúbrica con una interpretación más cualitativa de las dificultades que enfrentan los estudiantes.

La clasificación propuesta distingue entre errores conceptuales y procedimentales. Los primeros se relacionan con dificultades para comprender, interpretar y articular los principios físicos involucrados en el problema, mientras que los segundos se asocian con la organización, desarrollo y ejecución de la resolución.

Docktor et al. (2016) señalan que, en la resolución de problemas en física, las dificultades de los estudiantes no se reducen al resultado final, sino que también se expresan en la manera en que seleccionan principios, representan la situación y sostienen la secuencia de razonamiento hasta alcanzar una solución. En ese sentido, la distinción entre errores conceptuales y procedimentales resulta pertinente para interpretar con mayor claridad las dificultades observadas en las resoluciones. Asimismo, Maloney et al. (2001) y Mbonyiryivuze et al. (2019) reportan que, en el campo de electricidad y magnetismo, muchos estudiantes mantienen comprensiones fragmentadas de los conceptos involucrados, incluso después de la instrucción formal.

La Tabla 5 sintetiza los errores más frecuentes identificados en este estudio, así como una interpretación general de su significado en el proceso de resolución.

Tabla 5

Errores conceptuales y procedimentales frecuentes en la resolución de problemas de energía potencial eléctrica

Tipo	Error frecuente	Interpretación
Conceptual	Dificultad para articular potencial eléctrico, energía potencial eléctrica, trabajo eléctrico y energía cinética	El estudiante suele reconocer datos o fórmulas aisladas, pero tiene dificultad para integrarlas dentro de una sola secuencia de razonamiento físico.
Conceptual	Dificultad para representar correctamente la situación final del problema, especialmente cuando interviene una distancia variable d o una condición como $v = 0$	El principal problema no es solo operar, sino traducir la situación física final a expresiones matemáticas correctas.
Conceptual	Dificultad para plantear correctamente la conservación de la energía o el teorema trabajo–energía	La dificultad persiste cuando el estudiante debe pasar de un cálculo puntual a una ley de conservación que vincula dos estados del sistema.
Conceptual	Dificultad para considerar correctamente el aporte de más de una carga al potencial o a la energía potencial	El estudiante no siempre consolida el principio de superposición como herramienta para construir el potencial o la energía del sistema.
Procedimental	Resolución incompleta o abandono del problema en los apartados finales	Muchos estudiantes inician el problema, pero no logran sostener el procedimiento cuando deben encadenar varios pasos.
Procedimental	Error al trabajar con el signo de las cargas, del potencial o del trabajo eléctrico	Aunque no es el error principal, sí afecta fuertemente la coherencia física y el resultado final.
Procedimental	Errores de cálculo, sustitución de datos, notación científica y unidades	Son errores frecuentes, pero en conjunto parecen secundarios frente a las dificultades de articulación conceptual.

Nota. d = distancia considerada en el estado final; v = rapidez de la partícula, de modo que $v = 0$ representa la condición de reposo.

En conjunto, los errores que aparecen con mayor fuerza en este estudio son de carácter conceptual. Entre ellos destacan la dificultad para articular potencial eléctrico, energía potencial eléctrica, trabajo y energía cinética; la dificultad para representar correctamente la situación final del problema; y los problemas para formular la conservación de la energía o el teorema trabajo–energía. Lindsey (2014) y Maries et al. (2022) señalan que los estudiantes suelen presentar dificultades persistentes para interpretar la energía potencial en contextos electrostáticos y para conectar distintas magnitudes físicas dentro de un mismo razonamiento. En ese sentido, los hallazgos del presente estudio resultan consistentes con estas investigaciones, ya que las principales dificultades observadas no se limitaron al cálculo, sino a la articulación conceptual entre las magnitudes involucradas.

Los errores procedimentales también estuvieron presentes, especialmente en la resolución incompleta de los apartados finales y en algunos problemas de signo o de cálculo. Sin embargo, a partir del análisis realizado, estos errores parecen ocupar un lugar secundario frente a las dificultades de comprensión y articulación conceptual. En otras palabras, el principal obstáculo no estuvo únicamente en ejecutar operaciones matemáticas, sino en sostener un razonamiento físico coherente desde el inicio hasta el final del problema.

Este resultado es relevante para la presente investigación porque permite precisar que las dificultades en energía potencial eléctrica no pueden entenderse solo como fallas operativas, sino como manifestaciones de una comprensión parcial o fragmentada de los conceptos involucrados. A partir de ello, en la discusión final se retoman estos hallazgos para plantear sus implicancias en la enseñanza del tema y en la propuesta de mejora didáctica.

Capítulo 5: Propuesta de mejora didáctica

5.1. Propuesta para la mejora del aprendizaje de la energía potencial eléctrica

A partir de los resultados obtenidos en el Capítulo 4, se plantea una propuesta de mejora didáctica orientada a fortalecer el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica en estudiantes del curso Fundamentos de Electricidad y Magnetismo. La propuesta se sustenta en las dificultades identificadas en el análisis del desempeño estudiantil, especialmente en aquellos momentos de la resolución en los que los estudiantes deben articular el potencial eléctrico, la energía potencial eléctrica, el trabajo de la fuerza eléctrica y la variación de la energía cinética dentro de una misma secuencia de razonamiento.

En efecto, los resultados mostraron que una parte importante de los estudiantes logra reconocer magnitudes o escribir expresiones iniciales, pero presenta mayores dificultades cuando debe sostener el procedimiento hasta el resultado final. De manera particular, se identificaron problemas en la representación del estado final, en el planteamiento de la conservación de la energía o del teorema trabajo–energía, en el uso del principio de superposición y en la continuidad del procedimiento, ya que muchos estudiantes abandonan la resolución en los apartados finales. Maloney et al. (2001), Mbonyiryivuze et al. (2019), Lindsey (2014) y Maries et al. (2022) reportan dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad y el magnetismo, así como en la articulación conceptual de la energía potencial en contextos electrostáticos. En ese sentido, los hallazgos del presente estudio son consistentes con estas investigaciones, ya que las principales dificultades observadas se concentran precisamente en la integración de conceptos y en la continuidad del razonamiento físico hasta el resultado final.

No obstante, la propuesta debe entenderse dentro de las condiciones reales del curso. En este caso, no se plantea una modificación de la programación oficial ni de la secuencia de temas desarrollada por los docentes responsables, ya que el curso se desarrolla de manera coordinada entre varios profesores y debe conservar una estructura homogénea en sus distintas secciones. En ese sentido, la propuesta no busca reemplazar ni alterar la enseñanza regular del curso, sino complementarla mediante un espacio ya existente: las asesorías semanales a cargo del asistente.

Por ello, la propuesta consiste en fortalecer una estrategia complementaria de reforzamiento académico en asesorías semanales, con una duración de dos a cuatro horas, dirigida principalmente a los estudiantes que participan de manera regular en dicho espacio. Esta estrategia se apoya en el uso de guías de apoyo con problemas modelo semejantes a los que suelen aparecer en la segunda Evaluación de Aula (EA2), con el fin de reforzar los puntos del proceso de resolución en los que se concentran las principales dificultades.

5.2. Descripción de la propuesta didáctica

La propuesta se concreta en el uso sistemático de guías de apoyo para asesorías, orientadas al reforzamiento del tema de energía potencial eléctrica a partir de problemas modelo semejantes a los que suelen aparecer en la segunda Evaluación de Aula. Estas guías no se plantean como un material aislado, sino como parte de una estrategia de acompañamiento académico que permite complementar la clase regular y atender, de manera más focalizada, las dificultades identificadas en el análisis del Capítulo 4.

Un aspecto importante es que esta propuesta no parte únicamente de una formulación teórica, sino también de una práctica que ya viene siendo desarrollada durante el presente año. En el marco de las asesorías, se vienen elaborando y utilizando guías de apoyo que incluyen problemas modelo para la EA2, con la finalidad de ofrecer a los estudiantes oportunidades adicionales de resolución guiada y de reforzamiento conceptual. En ese sentido, la propuesta no supone crear desde cero una intervención completamente nueva, sino más bien sistematizar, fortalecer y orientar de manera más explícita un recurso que ya ha mostrado ser pertinente dentro del acompañamiento académico del curso.

La finalidad de estas guías es ayudar a los estudiantes a organizar el razonamiento físico antes de iniciar el desarrollo algebraico y, al mismo tiempo, hacer visibles las relaciones entre las magnitudes involucradas. En lugar de reducir la resolución a una secuencia mecánica de fórmulas, se busca que el estudiante comprenda la relación entre el potencial eléctrico, la energía potencial eléctrica, el trabajo de la fuerza eléctrica y la variación de la energía cinética, ya que fue precisamente en esta articulación donde se observaron las mayores dificultades.

En términos conceptuales, la guía busca reforzar la siguiente secuencia de ideas: primero, reconocer cómo se determina el potencial eléctrico en un punto; luego, cómo ese potencial se relaciona con la energía potencial eléctrica de una carga; después, cómo el cambio en dicha energía se vincula con el trabajo de la fuerza eléctrica; y, finalmente, cómo esta relación permite interpretar la variación de la energía cinética o la condición física del estado final. Presentada de esta forma, la secuencia resulta más clara para el estudiante y más útil para la resolución de problemas que una cadena simbólica aislada.

De manera general, cada guía de apoyo puede estructurarse en los siguientes apartados:

1. **Título y propósito de la guía.** Debe indicar con claridad el tema a reforzar y el objetivo puntual del material, por ejemplo: relacionar potencial eléctrico, energía potencial eléctrica y trabajo eléctrico en problemas de electrostática.

2. **Recordatorio conceptual breve.** Incluye definiciones y relaciones fundamentales necesarias para abordar el problema, como potencial eléctrico, energía potencial eléctrica, principio de superposición, trabajo de la fuerza eléctrica y conservación de la energía. Este apartado debe ser breve y funcional, de modo que sirva como apoyo y no como reemplazo de la teoría desarrollada en clase.

3. **Problema modelo resuelto de manera guiada.** Presenta un ejercicio semejante a los de la EA2 y desarrolla la resolución paso a paso, explicando no solo qué operación se realiza, sino por qué se realiza. Aquí conviene hacer explícitos momentos como la identificación de datos, la representación del estado inicial y final, la construcción del potencial, el paso hacia la energía potencial, la relación con el trabajo o con la conservación de la energía y la verificación del resultado final.

4. **Observaciones sobre errores frecuentes.** Después del problema modelo, puede incluirse un breve apartado donde se señalen errores usuales detectados en los estudiantes, como confundir potencial con energía potencial, omitir una de las cargas en la superposición, asignar incorrectamente los signos o plantear de manera inadecuada la condición final del problema.

5. **Problemas propuestos.** Se incorporan uno o más ejercicios similares para que los estudiantes intenten resolverlos durante la asesoría o de manera posterior. Estos problemas deben variar gradualmente en dificultad, pero conservar la misma lógica conceptual del problema modelo.

6. **Espacio de verificación final.** La guía debe cerrar con una breve lista de verificación, por ejemplo: ¿se consideraron todas las cargas?, ¿el signo del potencial o de la energía tiene sentido físico?, ¿la condición final fue representada correctamente?, ¿el resultado obtenido es coherente con la situación planteada?

Esta estructura busca que la guía cumpla una doble función. Por un lado, sirve como material de apoyo para el estudiante que necesita revisar nuevamente el proceso de resolución. Por otro lado, funciona como herramienta de mediación en la asesoría, ya que permite que la explicación del asistente mantenga una secuencia estable y centrada en los puntos donde suelen aparecer las mayores dificultades.

Asimismo, para mantener la coherencia entre las distintas secciones del curso, estas guías deben formularse como materiales breves, claros y compatibles con la enseñanza impartida por los docentes. Su función no es introducir una metodología paralela ni modificar la programación del curso, sino reforzar, mediante problemas modelo y ejercicios guiados, aquellos aspectos que en la clase regular no siempre pueden trabajarse con el mismo nivel de detalle. Docktor et al. (2016), Burkholder et al. (2020) y Moore y Crouch (2019) destacan la utilidad de las estructuras explícitas de resolución y del análisis por criterios para mejorar el desempeño en física. En ese sentido, la orientación de la propuesta resulta consistente con estos aportes, ya que busca guiar al estudiante en el proceso de resolución y ayudarlo a reconocer con mayor claridad en qué parte aparecen sus principales dificultades.

5.3. Implementación de la propuesta

La implementación de la propuesta se plantea exclusivamente en el espacio de asesorías semanales, sin modificar la programación oficial del curso. Esto responde a dos razones principales. En primer lugar, el autor del presente trabajo participa en el curso en calidad de asistente y no de docente responsable. En segundo lugar, el curso se desarrolla de manera coordinada entre los docentes, por lo que las clases deben conservar una estructura homogénea.

En este marco, la propuesta puede ponerse en práctica como complemento académico en las asesorías, aprovechando un espacio ya existente y compatible con el funcionamiento regular del curso. Dado que estas asesorías tienen una duración de entre dos y cuatro horas semanales, y que la asistencia suele variar entre 15 y 40 estudiantes por sesión, se plantea una implementación flexible, centrada en actividades de reforzamiento más que en sesiones formales de clase.

En la práctica, la propuesta se apoya en el uso de guías de apoyo con problemas modelo para la EA2, las cuales pueden ser trabajadas durante las asesorías semanales y, posteriormente, compartidas con los estudiantes como material complementario. De este modo, la asesoría no se limita a responder dudas puntuales, sino que incorpora un recurso estructurado que permite reforzar de manera más sistemática el razonamiento necesario para resolver este tipo de problemas.

De manera general, cada asesoría podría organizarse en tres momentos:

1. **Breve reforzamiento teórico** (15 a 25 minutos), orientado a aclarar relaciones conceptuales puntuales, como la diferencia entre potencial eléctrico y energía potencial eléctrica, el significado físico del signo, o la interpretación del estado final del problema.

2. **Resolución guiada de un problema representativo** (30 a 45 minutos), en la que se trabaje un problema modelo contenido en la guía y se haga explícito el razonamiento en cada etapa.

3. **Resolución acompañada de ejercicios similares** (tiempo restante), en la que los estudiantes resuelvan problemas propuestos en la guía, de manera individual o en grupos pequeños, con retroalimentación inmediata del asistente sobre errores frecuentes.

Debido a que no todos los estudiantes del curso asisten a las asesorías, la propuesta no debe entenderse como una intervención universal para toda la población matriculada, sino como una estrategia focalizada de apoyo para quienes participan en estos espacios. Aun así, su alcance puede ampliarse parcialmente mediante la elaboración y difusión de materiales breves de consulta, como hojas de resolución modelo, resúmenes conceptuales o problemas comentados que puedan compartirse después de cada asesoría.

En términos institucionales, esta forma de implementación resulta viable porque no exige cambios en el sílabo, en la distribución de contenidos ni en la evaluación formal del curso. Más bien, aprovecha un recurso académico ya disponible y lo orienta de manera más sistemática hacia las dificultades que el estudio ha permitido identificar.

5.4. Beneficios esperados de la propuesta

Se espera que la implementación de esta propuesta contribuya, en primer lugar, a fortalecer la articulación conceptual entre potencial eléctrico, energía potencial eléctrica, trabajo de la fuerza eléctrica y variación de la energía cinética. Este punto resulta central, ya que el análisis del Capítulo 4 mostró que las principales dificultades no se concentran tanto en los pasos iniciales, sino en la capacidad de sostener un razonamiento coherente hasta el final del problema.

En segundo lugar, se espera una disminución de errores conceptuales frecuentes, especialmente aquellos relacionados con la representación del estado final, la formulación de la conservación de la energía, la relación entre trabajo y cambio de energía potencial, y el uso del principio de superposición.

En tercer lugar, la propuesta podría contribuir a reducir la frecuencia de resoluciones incompletas o abandonadas en los apartados finales. Esto sería especialmente relevante, dado que una de las regularidades observadas en el estudio fue que muchos estudiantes iniciaban correctamente el problema, pero no lograban concluirlo de manera consistente.

En cuarto lugar, se espera una mejora en la revisión y validación de resultados, particularmente en aspectos como signos, unidades y coherencia física de la respuesta final. Aunque estos

errores no fueron los más importantes del estudio, sí afectaron en varios casos la consistencia global del procedimiento.

Además, el uso de guías con problemas modelo puede favorecer una mayor familiaridad de los estudiantes con el tipo de exigencia académica presente en la EA2. Esto resulta importante porque no solo permite practicar procedimientos, sino también anticipar la forma en que deben organizarse y justificarse las resoluciones en una evaluación escrita.

Finalmente, la propuesta presenta un beneficio adicional desde el punto de vista institucional: al desarrollarse en el espacio de asesorías, permite ofrecer apoyo académico sin alterar la organización común del curso. Esto la convierte en una alternativa realista, viable y compatible con el funcionamiento coordinado de las distintas secciones.

5.5. Limitaciones de la propuesta

La principal limitación de la propuesta es su alcance parcial. Dado que se implementa en asesorías semanales y no en las sesiones regulares del curso, su efecto directo se restringe a los estudiantes que participan en dicho espacio, cuya asistencia suele variar entre 15 y 40 estudiantes por sesión. En consecuencia, no puede asumirse que sus beneficios alcancen automáticamente a la totalidad de la población matriculada.

Una segunda limitación es que la propuesta depende de la disponibilidad real del tiempo de asesoría. Aunque el espacio semanal de dos a cuatro horas ofrece posibilidades de reforzamiento, también debe atender dudas diversas del curso, por lo que no siempre será posible dedicar toda la sesión al tema de energía potencial eléctrica.

Una tercera limitación tiene que ver con la heterogeneidad de los asistentes. En las asesorías suelen confluir estudiantes con niveles de avance distintos, lo que obliga a equilibrar la explicación conceptual con la resolución de ejercicios y la atención individual, sin que siempre sea posible profundizar del mismo modo con todos.

Asimismo, al no tratarse de una modificación de la enseñanza formal del curso, la propuesta funciona como apoyo complementario y no como una intervención integral sobre todas las condiciones que influyen en el aprendizaje del tema.

Pese a estas limitaciones, la propuesta mantiene su pertinencia, porque se ajusta al margen real de intervención del autor y aprovecha un espacio académico ya establecido para atender una necesidad concreta identificada en el análisis del desempeño estudiantil.

5.6. Evaluación de la propuesta

La evaluación de la propuesta debería plantearse de manera gradual y con un alcance coherente con el espacio en el que será aplicada. Dado que la intervención se desarrollaría en asesorías y no en las clases regulares, su valoración tendría un carácter principalmente exploratorio.

Una primera forma de evaluación consiste en comparar el desempeño de los estudiantes asistentes en ejercicios similares antes y después de trabajar con las guías de apoyo, observando especialmente si mejora la capacidad para completar la resolución y si disminuyen errores como el abandono, la mala representación del estado final o el uso incorrecto de relaciones entre potencial, energía y trabajo.

Una segunda posibilidad es analizar, mediante una rúbrica breve o una lista de cotejo, si los estudiantes comienzan a mostrar mejoras en aspectos específicos del proceso de resolución, por ejemplo: identificación de magnitudes, uso correcto del principio de superposición, planteamiento de la conservación de la energía y verificación final del resultado.

Asimismo, podría recogerse evidencia complementaria a partir de la observación sistemática en asesorías, registrando qué dificultades aparecen con mayor frecuencia al inicio del uso de las guías y cuáles tienden a disminuir conforme los estudiantes se familiarizan con este recurso.

Finalmente, si en futuros ciclos se dispone de condiciones institucionales más favorables, la propuesta podría evaluarse con mayor amplitud, comparando cohortes o incluyendo instrumentos adicionales de seguimiento. Por ahora, su evaluación debe entenderse como una primera aproximación aplicada, orientada a valorar su utilidad práctica como estrategia de reforzamiento académico.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones generales

Las conclusiones que se presentan a continuación se elaboran a partir de los resultados obtenidos en el Capítulo 4 y de la propuesta de mejora didáctica desarrollada en el Capítulo 5. Primero se recogen los hallazgos vinculados con los objetivos específicos del estudio y, finalmente, se presenta una conclusión general sobre el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica.

1. El rendimiento académico del curso mostró variaciones entre ciclos. Sin embargo, el análisis focalizado en la energía potencial eléctrica permitió identificar una heterogeneidad interna importante dentro de los propios grupos evaluados. Esta heterogeneidad se expresó tanto en las diferencias de puntaje relativo entre teorías como en la dispersión de los resultados, lo que sugiere que el aprendizaje del tema no fue homogéneo y que coexistieron distintos niveles de comprensión y dominio procedimental entre los estudiantes.

2. Los componentes de evaluación aplicados de forma individual y sostenida durante el semestre, como las evaluaciones en aula y las evaluaciones continuas, fueron los que mostraron relaciones más consistentes con el rendimiento global del curso. Este hallazgo sugiere que los instrumentos distribuidos a lo largo del semestre ofrecen una señal más clara del desempeño académico que otros componentes de naturaleza distinta. Asimismo, el análisis específico de la EA2 mostró que una calificación global puede ocultar quiebres concretos del razonamiento, los cuales se hacen visibles cuando se analiza el desempeño por criterios.

3. El análisis de la segunda Evaluación de Aula permitió identificar un patrón de desempeño recurrente. Los estudiantes mostraron mejores resultados en los primeros pasos del problema, como la identificación de datos relevantes y la escritura de expresiones asociadas al potencial eléctrico. No obstante, el desempeño disminuyó cuando debían relacionar el potencial eléctrico con la energía potencial eléctrica, el trabajo de la fuerza eléctrica y la conservación de la energía. Esto evidencia que varios estudiantes lograron iniciar la resolución, pero tuvieron dificultades para desarrollar una secuencia completa de razonamiento físico. Los errores más frecuentes fueron de tipo conceptual, especialmente en la representación del estado final, el planteamiento de la conservación de la energía y el uso del principio de superposición. También se observaron errores procedimentales vinculados con el abandono de la resolución, el manejo de signos y algunos aspectos de cálculo.

4. La propuesta de mejora didáctica formulada en este trabajo resulta pertinente porque responde directamente a las dificultades identificadas en el análisis del desempeño. No obstante, a diferencia de una intervención pensada para modificar la programación general del curso, la propuesta fue redefinida como una estrategia complementaria y realista de acompañamiento académico en asesorías semanales, mediante el uso de guías de apoyo con problemas modelo para la EA2. Esta reformulación la hace más coherente con el contexto institucional del curso y con el margen real de intervención del autor, quien participa en calidad de asistente. En ese sentido, la propuesta constituye una alternativa viable para reforzar la articulación conceptual del tema y reducir las dificultades observadas en la resolución de problemas.

5. Finalmente, el aprendizaje del concepto de energía potencial eléctrica se evidenció como limitado y parcialmente fragmentado en los estudiantes analizados. Los resultados mostraron un desempeño general bajo o intermedio en la pregunta evaluada, con diferencias importantes entre ciclos y teorías, así como presencia de puntajes nulos. Esto indica que una parte de los estudiantes no logró iniciar adecuadamente la resolución o no consiguió sostenerla hasta el final, lo que pone en evidencia dificultades persistentes en la comprensión del tema. Por ello, el estudio permite concluir que el principal problema no se

encuentra únicamente en el uso de fórmulas o en errores de cálculo, sino en la dificultad para integrar de manera coherente el potencial eléctrico, la energía potencial eléctrica, el trabajo eléctrico y la conservación de la energía dentro de una misma resolución.

Implicaciones para la enseñanza y el diseño de evaluaciones

Los hallazgos de esta investigación permiten plantear algunas implicaciones relevantes para la enseñanza del tema de energía potencial eléctrica y para el diseño de las evaluaciones del curso.

En primer lugar, los resultados permiten ver que las dificultades de los estudiantes no se describen solo por errores matemáticos. También hay problemas cuando deben relacionar de manera coherente las magnitudes físicas involucradas. Por eso, la enseñanza de este tema no debería quedarse únicamente en el uso de las fórmulas, sino que también tendría que ayudar a hacer más clara la relación entre potencial eléctrico, energía potencial eléctrica, trabajo de la fuerza eléctrica y variación de la energía cinética.

En segundo lugar, la frecuencia con la que aparecen errores al representar el estado final del problema y al cerrar el procedimiento muestra que todavía hace falta reforzar, dentro de los espacios de acompañamiento académico, el paso de la situación física a su expresión matemática. En este sentido, trabajar con problemas modelo resueltos de manera guiada podría ser útil para que los estudiantes vean con más claridad cómo se organiza una resolución completa y con sentido físico.

En tercer lugar, los resultados también muestran que el análisis por criterios mediante rúbricas resulta útil, porque permite reconocer con mayor precisión en qué parte del proceso de resolución aparecen las principales dificultades. Desde esa mirada, la evaluación no sirve solo para poner una nota, sino también para ofrecer información que puede orientar mejor las decisiones de mejora.

Finalmente, el estudio sugiere que, en cursos con grupos numerosos y varias secciones coordinadas, las asesorías académicas pueden convertirse en un espacio adecuado para desarrollar acciones de reforzamiento más focalizadas, siempre que estas se mantengan dentro de la estructura general del curso.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y de la propuesta formulada, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Mantener el análisis del aprendizaje de la energía potencial eléctrica no solo a partir del puntaje final de las evaluaciones, sino también considerando criterios específicos del proceso de resolución, ya que ello permite identificar con mayor claridad las dificultades conceptuales y procedimentales de los estudiantes.

2. Fortalecer el espacio de asesorías semanales como instancia de acompañamiento académico, orientándolo de manera más explícita al reforzamiento de temas que presentan mayores dificultades, como la energía potencial eléctrica.

3. Sistematizar el uso de guías de apoyo con problemas modelo semejantes a los de la EA2, de modo que los estudiantes dispongan de materiales breves y estructurados que les permitan revisar no solo el resultado, sino también la lógica de la resolución.

4. Diseñar estas guías de manera coherente con la enseñanza impartida por los docentes del curso, evitando introducir metodologías paralelas que generen contradicciones entre secciones. En este sentido, el material de apoyo debe cumplir una función complementaria y no sustitutiva.

5. Considerar, en futuros ciclos, la posibilidad de evaluar exploratoriamente el impacto de estas guías en el desempeño de los estudiantes que asisten a asesorías, mediante comparaciones pre y post o mediante el análisis de errores recurrentes en ejercicios similares.

6. Procurar, en la medida de lo posible, una mayor estabilidad en la estructura de los problemas evaluados sobre energía potencial eléctrica entre ciclos, ya que ello facilitaría comparaciones más consistentes y permitiría un mejor seguimiento del aprendizaje del tema.

Limitaciones del estudio y recomendaciones para futuras investigaciones

El presente estudio presenta limitaciones propias de su diseño y del contexto en el que se desarrolló. En primer lugar, se trata de una investigación no experimental y retrospectiva, basada en registros ya existentes del curso, por lo que no es posible establecer relaciones causales directas entre la enseñanza y el desempeño observado.

En segundo lugar, el análisis específico del tema se realizó a partir de evaluaciones que no fueron idénticas en todos los ciclos, ya sea por cambios en la formulación del problema, en la estructura de la prueba o en la ponderación del ítem. Esta situación obliga a interpretar los resultados con cautela y limita la posibilidad de establecer comparaciones estrictamente equivalentes entre todos los grupos analizados.

En tercer lugar, aunque la propuesta formulada resulta viable, su alcance es necesariamente parcial, pues se plantea en el espacio de asesorías semanales y no en las sesiones regulares del curso. Por ello, su efecto directo se restringe a los estudiantes que participan en dichas asesorías, cuya asistencia suele variar entre 15 y 40 estudiantes por sesión.

En cuarto lugar, la evidencia sobre errores se obtuvo a partir de resoluciones escritas, lo que permite identificar patrones frecuentes, pero no siempre acceder al razonamiento completo del estudiante. En futuras investigaciones, esta limitación podría reducirse mediante entrevistas breves, protocolos de pensamiento en voz alta o revisiones más detalladas de casos seleccionados.

Apesar de estas limitaciones, el estudio permite describir de manera útil cómo se manifiesta el aprendizaje de la energía potencial eléctrica en un contexto universitario concreto.

Asimismo, plantea una propuesta de mejora pensada de acuerdo con el margen de intervención que realmente se tiene.

Consideraciones finales

En conjunto, los hallazgos del Capítulo 4 permiten sostener que las dificultades observadas en energía potencial eléctrica no se explican únicamente por fallas operativas o errores aislados de cálculo, sino por una comprensión todavía parcial de las relaciones entre potencial eléctrico, energía potencial eléctrica, trabajo de la fuerza eléctrica y variación de la energía cinética. Esta dificultad se manifiesta con especial claridad cuando los estudiantes deben representar correctamente el estado final del problema y sostener el procedimiento hasta el cierre de la resolución.

Frente a ello, el Capítulo 5 reformuló la propuesta de mejora didáctica en términos más realistas y viables, situándola en el espacio de asesorías semanales mediante el uso de guías de apoyo con problemas modelo para la EA2. Esta reformulación resulta relevante porque recoge las dificultades identificadas en el estudio y, al mismo tiempo, se ajusta a las condiciones reales del curso y al papel que cumple el autor dentro de ese espacio. No se trata solo de proponer una mejora en abstracto, sino de plantear una alternativa que pueda ponerse en práctica dentro del margen de intervención que realmente existe.

En ese sentido, el principal aporte de esta investigación no está únicamente en describir dificultades en el aprendizaje de un tema específico, sino también en plantear una forma concreta de acompañamiento académico que podría ayudar a fortalecer la comprensión conceptual y procedimental de los estudiantes. Aunque su alcance es limitado, la propuesta puede servir como punto de partida para futuras acciones de mejora y también para otros estudios sobre la enseñanza y el aprendizaje de la electricidad en educación superior.

Referencias

Aiken, J. M., De Bin, R., Lewandowski, H. J., & Caballero, M. D. (2021). Framework for evaluating statistical models in physics education research. *Physical Review Physics Education Research*, *17*(2), 020104.

Bao, L., & Redish, E. F. (2006). Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, *2*(1), 010103.

Berk, R. A. (1978). Empirical Evaluation of Formulae for Correction of Item-Total Point-Biserial Correlations. *Educational and Psychological Measurement*, *38*(3), 647-652. https://doi.org/10.1177/001316447803800305

Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: principles, policy & practice*, *5*(1), 7-74.

Brewe, E. (2011). Energy as a substancelike quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, *7*(2), 020106. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020106

Burkholder, E., Miles, J., Layden, T., Wang, K., Fritz, A., & Wieman, C. (2020). Template for teaching and assessment of problem solving in introductory physics. *Physical Review Physics Education Research*, *16*(1), 010123.

Cockett, A., & Jackson, C. (2018). The use of assessment rubrics to enhance feedback in higher education: An integrative literature review. *Nurse education today*, *69*, 8-13.

Docktor, J. L., Dornfeld, J., Frodermann, E., Heller, K., Hsu, L., Jackson, K. A., Mason, A., Ryan, Q. X., & Yang, J. (2016). Assessing student written problem solutions: A problem-solving rubric with application to introductory physics. *Physical review physics education research*, *12*(1), 010130.

Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1987). *Física. Volumen I: Mecánica, radiación y calor* (Vol. 1). Addison-Wesley Iberoamericana.

Fortus, D., Kubsch, M., Bielik, T., Krajcik, J., Lehavi, Y., Neumann, K., Nordine, J., Opitz, S., & Touitou, I. (2019). Systems, transfer, and fields: Evaluating a new approach to energy instruction. *Journal of research in science teaching*, *56*(10), 1341-1361.

Furió, C., & Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, *82*(4), 511-526.

Gibbs, G., & Simpson, C. (2005). Conditions under which assessment supports students' learning. *Learning and teaching in higher education*, 3-31.

Gjerde, V., Havre Paulsen, V., Holst, B., & Kolstø, S. D. (2022). Problem solving in basic physics: Effective self-explanations based on four elements with support from retrieval practice. *Physical Review Physics Education Research*, *18*(1), 010136.

Gomez, E. J., & Duran, E. F. (1998). Didactic problems in the concept of electric potential difference and an analysis of its philogenesis. *Science & Education*, *7*(2), 129-141.

Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2005). Resources, Framing, and Transfer. En J. P. Mestre (Ed.), *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective* (pp. 89-119). Information Age Publishing.

Harper, C. V., McCormick, L. M., & Marron, L. (2024). Face-to-face vs. blended learning in higher education: a quantitative analysis of biological science student outcomes. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *21*(1), 2.

Henrysson, S. (1963). Correction of Item-Total Correlations in Item Analysis. *Psychometrika*, *28*(2), 211-218. https://doi.org/10.1007/BF02289618

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, *30*(3).

Holmes, A., Illowsky, B., & Dean, S. (2023). *The Correlation Coefficient r*. OpenStax. Consultado el 5 de abril de 2026, desde https://openstax.org/books/introductory-business-statistics-2e/pages/13-1-the-correlation-coefficient-r

Kara, E., Tonin, M., & Vlassopoulos, M. (2021). Class size effects in higher education: Differences across STEM and non-STEM fields. *Economics of Education Review*, *82*, 102104.

Kontur, F., de La Harpe, K., & Terry, N. (2015). Benefits of completing homework for students with different aptitudes in an introductory electricity and magnetism course. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, *11*(1), 010105.

Li, J., & Singh, C. (2017). Investigating and improving introductory physics students' understanding of the electric field and superposition principle. *European Journal of Physics*, *38*(5), 055702.

Lindsey, B. A. (2014). Student reasoning about electrostatic and gravitational potential energy: An exploratory study with interdisciplinary consequences. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, *10*(1), 013101.

Maloney, D. P., O'Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, *69*(S1), S12-S23.

Maries, A., Brundage, M. J., & Singh, C. (2022). Using the Conceptual Survey of Electricity and Magnetism to investigate progression in student understanding from introductory to advanced levels. *Physical Review Physics Education Research*, *18*(2), 020114.

Maries, A., & Singh, C. (2018). Case of two electrostatics problems: Can providing a diagram adversely impact introductory physics students' problem solving performance? *Physical Review Physics Education Research*, *14*(1), 010114.

Mbonyiryivuze, A., Yadav, L. L., & Amadalo, M. M. (2019). Students' conceptual understanding of electricity and magnetism and its implications: A review. *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences*, *15*(2), 55-67. https://doi.org/10.4314/ajesms.v15i2.5

Mi, S., Ye, J., Yan, L., & Bi, H. (2023). Development and validation of a conceptual survey instrument to evaluate senior high school students' understanding of electrostatics. *Physical Review Physics Education Research*, *19*(1), 010114.

Moore, J. C., & Crouch, T. (2019). Development and validation of a pedagogy-specific problem-solving process rubric. *2018 Physics Education Research Conference Proceedings*, 283-286.

Nagel, M. L., & Lindsey, B. A. (2015). Student use of energy concepts from physics in chemistry courses. *Chemistry Education Research and Practice*, *16*(1), 67-81.

Nicol, D. J., & Macfarlane-Dick, D. (2006). Formative Assessment and Self-Regulated Learning: A Model and Seven Principles of Good Feedback Practice. *Studies in Higher Education*, *31*(2), 199-218. https://doi.org/10.1080/03075070600572090

Odden, T. O. B. (2021). How conceptual blends support sensemaking: A case study from introductory physics. *Science Education*, *105*(5), 989-1012.

Odden, T. O. B., & Russ, R. S. (2019). Defining sensemaking: Bringing clarity to a fragmented theoretical construct. *Science education*, *103*(1), 187-205.

Redish, E. F. (2004). A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. *arXiv preprint physics/0411149*.

Rodenhausen, K., & Moore, J. C. (2022). Reliability and Validity of an Introductory Physics Problem-Solving Grading Rubric. *2022 Physics Education Research Conference Proceedings*, 389-394.

Sabo, H. C., Goodhew, L. M., & Robertson, A. D. (2016). University student conceptual resources for understanding energy. *Physical Review Physics Education Research*, *12*(1), 010126.

Scaife, T. M., & Heckler, A. F. (2011). Interference between electric and magnetic concepts in introductory physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, *7*(1), 010104.

Scherr, R. E., Close, H. G., Close, E. W., & Vokos, S. (2012). Representing energy. II. Energy tracking representations. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, *8*(2), 020115.

Sirnoorkar, A., Allen, W., Hashmi, S. F. A., & Rebello, N. S. (2025). Examining Student and AI Generated Personalized Analogies in Introductory Physics. *arXiv preprint arXiv:2511.04290*.

Timmermann, D., & Kautz, C. (2014). Investigating student learning of the voltage and potential concepts in introductory electrical engineering. *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, 1-4.

Voorhees, R., & Lee, J. (2009). Basics of Longitudinal Cohort Analysis. Principles and Practices of Student Success. *Lumina Foundation for Education*.

Apéndice A: Tablas complementarias

La Tabla A1 amplía el análisis de correlaciones al incorporar los componentes de laboratorio.

Tabla A1

Correlaciones entre componentes de evaluación, laboratorio y exámenes por ciclo

	2024-I			2024-II			2025-I			2025-II		
Componente	**EP**	**EF**	**NF**	**EP**	**EF**	**NF**	**EP**	**EF**	**NF**	**EP**	**EF**	**NF**
Prom EA1	0,64	0,65	0,82	0,63	0,51	0,77	0,76	0,65	0,80	0,75	0,66	0,81
Prom TA1	0,25	0,22	0,59	0,46	0,23	0,59	0,47	0,42	0,59	0,31	0,12	0,54
AG1	0,32	0,36	0,68	0,36	0,24	0,50	0,39	0,30	0,64	0,29	0,25	0,33
L1	0,31	0,27	0,48	0,20	0,42	0,37	0,07	0,03	0,41	0,18	0,06	0,53
EC1	0,61	0,62	0,85	0,65	0,52	0,81	0,75	0,64	0,85	0,74	0,60	0,87
Prom EA2	0,58	0,75	0,89	0,56	0,63	0,79	0,70	0,76	0,88	0,75	0,74	0,85
Prom TA2	0,32	0,36	0,72	0,32	0,21	0,55	0,30	0,39	0,61	0,31	0,17	0,61
AG2	0,38	0,49	0,71	0,42	0,38	0,63	0,43	0,40	0,68	0,28	0,26	0,33
L2	0,10	0,13	0,28	0,10	0,16	0,29	0,17	0,04	0,64	0,28	0,12	0,67
EC2	0,54	0,72	0,90	0,55	0,60	0,82	0,64	0,71	0,88	0,69	0,67	0,88

Nota. La intensidad de color representa la magnitud del coeficiente de correlación: muy baja (0,00–0,29), baja (0,30–0,49), moderada (0,50–0,69), alta (0,70–0,79) y muy alta (0,80–1,00). Se excluyeron los estudiantes retirados.

Apéndice B: Tablas de criterios de evaluación

Las Tablas B1, B2, B3 y B4 presentan el detalle de los criterios de evaluación analizados por ciclo y grupo.

Tabla B1

Detalle de los criterios de evaluación de la pregunta de energía potencial eléctrica en el ciclo 2024-I.

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2024-I, Teoría 1								
2024-I	T1	a	1	Identifica correctamente los potenciales inicial y final	2,5	206	177	85,9
2024-I	T1	a	2	Determina correctamente el trabajo de la fuerza eléctrica	2,0	206	183	88,8
2024-I	T1	a	3	Indica correctamente las unidades	0,5	206	140	68,0
2024-I	T1	a	4	La respuesta o procedimiento no son correctos	0	206	8	3,9
2024-I	T1	b	5	Plantea correctamente la relación de trabajo y energía	1,0	206	86	41,7
2024-I	T1	b	6	Plantea correctamente las energías cinéticas	1,5	206	76	36,9
2024-I	T1	b	7	Determina correctamente la rapidez final	2,0	206	73	35,4
2024-I	T1	b	8	Indica correctamente las unidades	0,5	206	86	41,7
2024-I	T1	b	9	La respuesta o procedimiento no son correctos	0	206	80	38,8
2024-I	T1	general	10	Error de cálculo	-1	206	12	5,8
2024-I	T1	general	11	Error de signo	-1	206	8	3,9
2024-I	T1	general	12	No hizo el problema	0	206	10	4,9
2024-I, Teoría 2								
2024-I	T2	a	1	Determina correctamente el potencial inicial	2,0	78	20	25,6
2024-I	T2	a	2	Determina correctamente el potencial final	2,0	78	19	24,4

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2024-I	T2	a	3	Determina correctamente el trabajo de la fuerza eléctrica	2,0	78	39	50,0
2024-I	T2	a	4	Indica correctamente las unidades	0,5	78	44	56,4
2024-I	T2	a	5	La respuesta o procedimiento no son correctos	0	78	28	35,9
2024-I	T2	b	6	Plantea correctamente la relación de trabajo y energía y las energías cinéticas	2,0	78	22	28,2
2024-I	T2	b	7	Determina correctamente la rapidez final	2,0	78	34	43,6
2024-I	T2	b	8	Indica correctamente las unidades	0,5	78	36	46,2
2024-I	T2	b	9	La respuesta o procedimiento no son correctos	0	78	14	17,9
2024-I	T2	b	10	Parcial: procedimiento parcialmente correcto	1,0	78	10	12,8
2024-I	T2	general	11	Error de cálculo	-1	78	11	14,1
2024-I	T2	general	12	Error de signo	-1	78	8	10,3
2024-I	T2	general	13	No hizo el problema	0	78	2	2,6

Nota. Apart. = apartado; *Frec.* = frecuencia; *N* = número de estudiantes; % logro = porcentaje de logro respecto del criterio evaluado.

Tabla B2

Detalle de los criterios de evaluación de la pregunta de energía potencial eléctrica en el ciclo 2024-II.

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2024-II, Teoría 1								
2024-II	T1	a	1	Plantea correctamente el teorema de trabajo y energía en función de los potenciales y las energías cinéticas	1,0	157	43	27,4
2024-II	T1	a	2	Plantea correctamente el potencial eléctrico inicial	1,0	157	36	22,9
2024-II	T1	a	3	Plantea correctamente el potencial eléctrico final	1,0	157	21	13,4
2024-II	T1	a	4	Establece que cuando la carga llega a su distancia máxima, la rapidez de la carga es de 0 m/s	1,0	157	24	15,3
2024-II	T1	a	5	Reemplaza los valores y determina la distancia máxima	2,0	157	10	6,4

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2024-II	T1	a	6	Parcial: Reemplaza los valores, pero no toma en cuenta el signo correcto de la carga	1,0	157	5	3,2
2024-II	T1	a	7	Planteamiento incorrecto	0	157	71	45,2
2024-II	T1	a	8	No responde a la pregunta	0	157	24	15,3
2024-II	T1	b	9	Relaciona el trabajo con la diferencia de potenciales	1,0	157	21	13,4
2024-II	T1	b	10	Determina el potencial inicial	1,0	157	15	9,6
2024-II	T1	b	11	Determina el potencial final	1,0	157	10	6,4
2024-II	T1	b	12	Calcula el trabajo realizado sobre q	1,0	157	2	1,3
2024-II	T1	b	13	Parcial: Calcula el trabajo realizado sobre q con el signo incorrecto	0,5	157	4	2,5
2024-II	T1	b	14	Planteamiento incorrecto	0	157	43	27,4
2024-II	T1	b	15	No responde a la pregunta	0	157	76	48,4
2024-II	T1	general	16	Error de cálculo	0	157	3	1,9
2024-II	T1	general	17	Faltan unidades	0	157	0	0,0
2024-II, Teoría 2								
2024-II	T2	a	1	Plantea correctamente el teorema de trabajo y energía en función de los potenciales y las energías cinéticas	2,0	84	37	44,0
2024-II	T2	a	2	Determina la diferencia de potencial inicial menos final	2,0	84	29	34,5
2024-II	T2	a	3	Parcial: Determina la diferencia de potencial inicial menos final con el signo incorrecto	1,0	84	14	16,7
2024-II	T2	a	4	Planteamiento incorrecto	0	84	18	21,4
2024-II	T2	a	5	No responde a la pregunta	0	84	15	17,9
2024-II	T2	b	6	Plantea correctamente el teorema de trabajo y energía en función de los potenciales y las energías cinéticas	1,0	84	20	23,8
2024-II	T2	b	7	Plantea correctamente el potencial eléctrico inicial	1,0	84	12	14,3
2024-II	T2	b	8	Parcial: Plantea el potencial eléctrico inicial con el signo incorrecto	0,5	84	3	3,6
2024-II	T2	b	9	Plantea correctamente el potencial eléctrico final	1,0	84	10	11,9
2024-II	T2	b	10	Parcial: Plantea el potencial eléctrico final con el signo incorrecto	0,5	84	2	2,4
2024-II	T2	b	11	Establece que cuando la carga llega a su distancia mínima, la rapidez de la carga es de 0 m/s	1,0	84	22	26,2

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2024-II	T2	b	12	Reemplaza los valores y determina la distancia máxima	2,0	84	7	8,3
2024-II	T2	b	13	Planteamiento incorrecto	0	84	11	13,1
2024-II	T2	b	14	No responde a la pregunta	0	84	41	48,8
2024-II	T2	general	15	Error de cálculo	-0,5	84	29	34,5
2024-II	T2	general	16	Faltan unidades	-0,5	84	12	14,3

Nota. Apart. = apartado; *Frec.* = frecuencia; *N* = número de estudiantes; % logro = porcentaje de logro respecto del criterio evaluado.

Tabla B3

Detalle de los criterios de evaluación de la pregunta de energía potencial eléctrica en el ciclo 2025-I, teoría 1.

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2025-I	T1	a	1	Escribe correctamente la expresión del potencial eléctrico en el punto A debido a Q1, incluyendo magnitud, signo y distancia correspondiente	1,0	147	96	65,3
2025-I	T1	a	2	Escribe correctamente la expresión del potencial eléctrico en el punto A debido a Q2, incluyendo magnitud, signo y distancia correspondiente	1,0	147	85	57,8
2025-I	T1	a	3	Determina el potencial total en el punto A	1,0	147	71	48,3
2025-I	T1	a	4	Faltan unidades o unidades incorrectas	-0,25	147	25	17,0
2025-I	T1	a	5	Error de cálculo	-0,25	147	17	11,6
2025-I	T1	a	6	No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta	0	147	50	34,0
2025-I	T1	b	7	Plantea correctamente la expresión de la energía potencial eléctrica en el punto A, reemplazando correctamente los valores	1,0	147	58	39,5
2025-I	T1	b	8	Determina correctamente la energía potencial en el punto A	1,0	147	56	38,1

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2025-I	T1	b	9	Calcula correctamente solo la energía potencial de una de las dos cargas	0,5	147	8	5,4
2025-I	T1	b	10	Error de signo en alguna de las cargas	-0,5	147	1	0,7
2025-I	T1	b	11	Faltan unidades o unidades incorrectas	-0,25	147	27	18,4
2025-I	T1	b	12	Error de cálculo	-0,25	147	10	6,8
2025-I	T1	b	13	No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta	0	147	80	54,4
2025-I	T1	c	14	Plantea correctamente la conservación de energía (o el teorema de trabajo y energía cinética) en función de las energías cinéticas y las energías potenciales	0,5	147	47	32,0
2025-I	T1	c	15	Plantea correctamente la energía potencial debida a la carga Q1 en el instante final, en función de la distancia d con los signos correctos	1,0	147	5	3,4
2025-I	T1	c	16	Plantea correctamente la energía potencial debida a la carga Q2 en el instante final, en función de la distancia d con los signos correctos	1,0	147	3	2,0
2025-I	T1	c	17	Determina correctamente la distancia d	1,0	147	1	0,7
2025-I	T1	c	18	Coloca un valor correcto de d, pero que no tiene sentido físico o fuerza el signo	0,5	147	0	0,0
2025-I	T1	c	19	Faltan unidades o unidades incorrectas	-0,25	147	0	0,0
2025-I	T1	c	20	Error de cálculo	-0,25	147	0	0,0
2025-I	T1	c	21	No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta	0	147	100	68,0
2025-I	T1	d	22	Forma 1: Por el teorema de trabajo y energía cinética. Plantea correctamente el teorema de trabajo y energía cinética, reemplazando correctamente los valores	1,0	147	0	0,0
2025-I	T1	d	23	Forma 1: Por el teorema de trabajo y energía cinética. Determina correctamente el trabajo que realiza la fuerza eléctrica	0,5	147	0	0,0

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2025-I	T1	d	24	Forma 2: A partir de la energía potencial. Calcula correctamente la energía potencial eléctrica final o el potencial eléctrico en el punto final	0,5	147	0	0,0
2025-I	T1	d	25	Forma 2: A partir de la energía potencial. Relaciona correctamente el trabajo con la energía potencial eléctrica o el potencial eléctrico	0,5	147	8	5,4
2025-I	T1	d	26	Forma 2: A partir de la energía potencial. Determina correctamente el trabajo que realiza la fuerza eléctrica	0,5	147	0	0,0
2025-I	T1	d	27	Forma 2: A partir de la energía potencial. Error en el signo en alguna de las cargas	-0,5	147	0	0,0
2025-I	T1	d	28	Faltan unidades o unidades incorrectas	-0,25	147	0	0,0
2025-I	T1	d	29	Error de cálculo	-0,25	147	0	0,0
2025-I	T1	d	30	No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta	0	147	137	93,2

Nota. Apart. = apartado; *Frec.* = frecuencia; *N* = número de estudiantes; % logro = porcentaje de logro respecto del criterio evaluado.

Tabla B4

Detalle de los criterios de evaluación de la pregunta de energía potencial eléctrica en el ciclo 2025-I, teoría 2.

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2025-I	T2	a	1	Escribe correctamente la expresión del potencial eléctrico en el punto A debido a Q1, incluyendo magnitud, signo y distancia correspondiente	1,0	113	78	69,0
2025-I	T2	a	2	Escribe correctamente la expresión del potencial eléctrico en el punto A debido a Q2, incluyendo magnitud, signo y distancia correspondiente	1,0	113	71	62,8

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2025-I	T2	a	3	Determina el potencial total en el punto A	1,0	113	70	61,9
2025-I	T2	a	4	Faltan unidades o unidades incorrectas	-0,25	113	12	10,6
2025-I	T2	a	5	Error de cálculo	-0,25	113	13	11,5
2025-I	T2	a	6	No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta	0	113	34	30,1
2025-I	T2	b	7	Plantea correctamente la expresión de la energía potencial eléctrica en el punto A, reemplazando correctamente los valores	1,0	113	51	45,1
2025-I	T2	b	8	Determina correctamente la energía potencial en el punto A	1,0	113	44	38,9
2025-I	T2	b	9	Calcula correctamente solo la energía potencial de una de las dos cargas	0,5	113	3	2,7
2025-I	T2	b	10	Error de signo en alguna de las cargas	-0,5	113	1	0,9
2025-I	T2	b	11	Faltan unidades o unidades incorrectas	-0,25	113	14	12,4
2025-I	T2	b	12	Error de cálculo	-0,25	113	7	6,2
2025-I	T2	b	13	No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta	0	113	60	53,1
2025-I	T2	c	14	Plantea correctamente la conservación de energía (o el teorema de trabajo y energía cinética) en función de las energías cinéticas y las energías potenciales	0,5	113	33	29,2
2025-I	T2	c	15	Plantea correctamente la energía potencial debida a la carga Q1 en función de la distancia d con los signos correctos	1,0	113	23	20,4
2025-I	T2	c	16	Plantea correctamente la energía potencial debida a la carga Q2 en función de la distancia d con los signos correctos	1,0	113	22	19,5
2025-I	T2	c	17	Determina correctamente la distancia d	1,0	113	8	7,1
2025-I	T2	c	18	Parcial: Coloca un valor correcto de d, pero que no tiene sentido físico o fuerza el signo	0,5	113	0	0,0
2025-I	T2	c	19	Faltan unidades o unidades incorrectas	-0,25	113	3	2,7
2025-I	T2	c	20	Error de cálculo	-0,25	113	4	3,5

Ciclo	Teoría	Apart.	Orden	Criterio original	Puntaje máximo	N	Frec.	% logro
2025-I	T2	c	21	No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta	0	113	76	67,3
2025-I	T2	d	22	Forma 1: Por el teorema de trabajo y energía cinética. Plantea correctamente el teorema de trabajo y energía cinética, reemplazando correctamente los valores	1,0	113	9	8,0
2025-I	T2	d	23	Forma 1: Por el teorema de trabajo y energía cinética. Determina correctamente el trabajo que realiza la fuerza eléctrica	0,5	113	5	4,4
2025-I	T2	d	24	Forma 2: A partir de la energía potencial. Calcula correctamente la energía potencial eléctrica final o el potencial eléctrico en el punto final	0,5	113	7	6,2
2025-I	T2	d	25	Forma 2: A partir de la energía potencial. Relaciona correctamente el trabajo con la energía potencial eléctrica o el potencial eléctrico	0,5	113	22	19,5
2025-I	T2	d	26	Forma 2: A partir de la energía potencial. Determina correctamente el trabajo que realiza la fuerza eléctrica	0,5	113	6	5,3
2025-I	T2	d	27	Forma 2: A partir de la energía potencial. Error en el signo en alguna de las cargas	-0,5	113	0	0,0
2025-I	T2	d	28	Faltan unidades o unidades incorrectas	-0,25	113	2	1,8
2025-I	T2	d	29	Error de cálculo	-0,25	113	2	1,8
2025-I	T2	d	30	No responde a la pregunta o pregunta mal planteada o no justifica su respuesta	0	113	82	72,6

Nota. Apart. = apartado; *Frec.* = frecuencia; *N* = número de estudiantes; % logro = porcentaje de logro respecto del criterio evaluado.