



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

Desempeño de los estudiantes de física en dos problemas de
mecánica que requieren pensamiento crítico

Tesis presentada al

Colegio de Física

como requisito parcial para la obtención del grado de

Licenciado en Física

por

María Fernanda García Cárdenas

Asesorada por

Dr. Josip Slisko Ignjatov

Puebla Pue.
Junio 2023



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

Desempeño de los estudiantes de física en dos problemas de
mecánica que requieren pensamiento crítico

Tesis presentada al

Colegio de Física

como requisito parcial para la obtención del grado de

Licenciado en Física

por

María Fernanda García Cárdenas

Asesorada por

Dr. Josip Slisko Ignjatov

Puebla Pue.
Junio 2023

Título: Desempeño de los estudiantes de física en dos problemas de mecánica que requieren pensamiento crítico

Estudiante: MARÍA FERNANDA GARCÍA CÁRDENAS

COMITÉ

Dr. Justiniano Lorenzo Díaz Cruz
Presidente

Lic. Raúl Cuellar del Águila
Secretario

Dr. Oscar Mario Martínez Bravo
Vocal

Dr. Humberto Antonio Salazar Ibargüen
Vocal

Dr. Josip Slisko Ignjatov
Asesor

Dedicatoria

Este trabajo va para aquellas personas que han creído en mí, pero en especial, para el ángel y estrella más bonita que me cuida y observa desde los cielos.

"Tanto escándalo que hubo por una niña"

Abuelita Teresa Jiménez Hernández, lo logré.

Agradecimientos

Lo que empezó como una ilusión y sueño hace unos años, se culmina con este trabajo. A lo largo de estos 4 años; conocí a personas maravillosas, tuve experiencias que me dejaron importantes lecciones y que me hicieron sacar y dar una mejor versión de mí en todos los aspectos. Este logro no es solamente mío, también lo es para aquellas personas que mencionaré a continuación:

A mis **maravillosos padres**: Genaro García Hurtado y Francisca Cárdenas Jiménez. **Papi**, gracias por decirme desde el primer día que estudiara lo que a mí me gustara y que recibiría tu apoyo total en lo que yo decidiera, por cada ida a Puebla y de motivarme siempre a seguir; ya que, todo tendría su recompensa al final. **Mami**, gracias por estar siempre al tanto de mí, por ser mi hombro en mis días más nublosos y de apoyarme en cada proyecto que realizo, como el de *MariPhysics*. Para ustedes, que han estado en cada momento de mi trayectoria académica y personal, y que siempre estoy en sus oraciones, **gracias papás por su apoyo incondicional y total en todo.**

A mi **tío**: Carlos Kato. Tío, gracias por llegar a la familia hace 2 décadas y de ser un miembro importante en ella, en especial, de la mía. Lo que empezó en una mesita de plástico debajo de un árbol de guayaba, sigue dando sus frutos. Gracias por ser mi *sensei* y de ser como otro papá, de haberme dado clases durante muchos años y darme las bases de mis estudios. Para usted, que me formó como estudiante desde el kinder y me sigue guiando en este viaje que se llama "vida", gracias tío.

A la **familia**: Kato Cárdenas, por apoyarme en mis aventuras y de siempre tomar una actitud positiva y buscar el lado bueno ante cualquier situación. A mi tía Lucía y a mis primas: Valeria, Aremi y Laura, les dedico este trabajo.

A la **familia**: Herrera Maldonado. Don Ulises (QEPD), Doña Gloria, Pau y Lalo, gracias por abrirnos siempre las puertas de sus hogares, del apoyo dado y de hacerme sentir siempre como si estuviese en casa, en familia. Por no dejarme ir sin antes comer, de ofrecerme un abrazo cuando lo necesitaba y de escucharme. Gracias por todo, son una familia maravillosa y que Dios nos permitió conocer al inicio de esta trayectoria.

Así como la salud física es importante, también lo es la salud mental. Este reconocimiento va para mi **psicóloga**: Athenai Sánchez Millán. Gracias Athe por estar y acompañarme en estos años, de haberme guiado al mejor camino cuando yo no podía hacerlo, de escucharme y en seguir ayudándome en sacar una mejor versión de mí. Por todo ello, este triunfo es igual tuyo.

A mis **amigos** que conocí en la carrera que hicieron más agradable esta experiencia; refiriéndome a: Enrique Armenta, Kath Manzano, David Remigio y en especial, a Arturo Márquez. Arturo, gracias por ser como un hermano para mí, de estar cuando me sentía perdida, de ayudarme a resolver mis dudas de las materias y de formar conmigo, bonitos recuerdos. A todos ustedes,

gracias por acompañarme en esta etapa. También a mis amigos de Chiapas: Priscila Canseco y Ramón Hernández, que estuvieron conmigo a pesar de la distancia.

A mi **asesor** por apoyarme y guiarme en este trabajo.

A **Dios** por haberme permitido tener y vivir esta experiencia junto con mis seres queridos, de cuidarme, protegerme en cada camino y alejar a las personas con malas intenciones y deseos hacia mí. Él sabe el por qué de las cosas; ya que, mis caminos no son los de él.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecerme. Quiero agradecerme por creer en mí, por hacer todo este arduo trabajo, por no rendirme nunca, por no tener días libres, por siempre dar y tratar más de lo que recibo, por ser yo misma.

Estudiar y vivir en otro estado, dejar mi tierra natal: Tapachula, Chiapas; para cumplir mis sueños, no fue nada fácil. De pasar mis días en cuatro paredes en solitario, de no dormir por estudiar y comprender este campo de las ciencias exactas, de enfrentarme por primera vez sola a varias situaciones al mismo tiempo y de tratar de cumplir con las expectativas de los demás, pero sobre todo, las mías. Todo esto fue necesario para estar y conseguir lo que alguna vez anhelaba.

Al entregar y aprobar este trabajo que me forma ante la sociedad como *Licenciada en Física*, no es el final de un viaje que apenas he iniciado. Más bien, el comienzo de grandes éxitos y triunfos que deseo que Dios me permita tener y vivir junto a mis seres queridos, amigos y futuras personas que logre conocer a lo largo de esos futuros viajes que tendré.

Por amor a las ciencias exactas, por hacer y estudiar lo que me apasiona: ha valido la pena por la dedicación, esfuerzo y sacrificios que realicé.

Índice general

Resumen	VII
Introducción	VIII
1. ¿Qué es el pensamiento crítico y por qué es importante?	1
2. Pensamiento crítico como una de las habilidades del siglo XXI	4
2.1. Pensamiento creativo	6
3. Maneras de promover el pensamiento crítico en el aprendizaje y enseñanza de la física	7
3.1. Estrategia didáctica para el desarrollo del pensamiento crítico	7
4. ¿Cómo se suele medir o evaluar el pensamiento crítico?	10
4.1. Rúbrica para evaluar el pensamiento crítico	11
4.2. Evaluación del pensamiento crítico en los problemas de física	11
5. Movimiento en una dimensión	13
5.1. Posición, velocidad y rapidez	13
5.2. Modelos de análisis: La partícula bajo velocidad constante	14
5.3. Aceleración	14
5.3.1. Aceleración constante: un caso especial	15
6. Fuerza y movimiento	18
6.1. ¿Qué es la física?	18
6.2. Algunas fuerzas particulares	18
6.2.1. La fuerza gravitacional	18
6.2.2. Fricción	18
6.2.3. Propiedades de fricción	19
7. Planteamiento del problema	21
7.1. Objetivos	21
7.1.1. Objetivo general	21
7.1.2. Objetivos específicos	21
7.2. Método de trabajo	21
8. Resultados	23
8.1. Individual	23
8.1.1. Enseñanza de la física	23
8.1.2. Desarrollo de Habilidades del Pensamiento Complejo (DHPC)	26
8.2. Grupales	28

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	v
8.2.1. Enseñanza de la Física	28
8.2.2. Desarrollo de Habilidades del Pensamiento Complejo (DHPC)	30
9. Soluciones expertas de los problemas presentados	32
10. Discusión de resultados	34
11. Conclusión	36

Índice de figuras

3.1. Características conductuales del Pensamiento Crítico y sus habilidades correspondientes.	9
5.1. a) Posición $x(t)$ de una partícula que se mueve con aceleración constante. b) Su velocidad $v(t)$, dada en cada punto por la pendiente de la curva en a). c) Su aceleración	15
6.1. Una fuerza de fricción \vec{f} se opone al supuesto deslizamiento de un cuerpo sobre una superficie	18
6.2. Fuerzas sobre un bloque inmóvil	20
8.1. Respuestas de los alumnos de 'Enseñanza de la Física' para demostrar la imposibilidad de la situación	23
8.2. Respuesta de los alumnos de 'DHPC' para demostrar la imposibilidad de la situación	26
11.1. Rúbrica (traducida al español) para evaluar el pensamiento crítico de los compañeros de grupo y el propio durante el proceso	41
11.2. Ejemplo de un problema de imposibilidad	42
11.3. DHPC: Primer problema	46
11.4. DHPC: Primer problema	46
11.5. DHPC: Primer problema	47
11.6. DHPC: Primer problema	47
11.7. DHPC: Segundo problema	47
11.8. DHPC: Segundo problema	48
11.9. DHPC: Segundo problema	48
11.10 Enseñanza: Primer problema	48
11.11 Enseñanza: Primer problema	48
11.12 Enseñanza: Primer problema	49
11.13 Enseñanza: Segundo problema	49
11.14 Enseñanza: Segundo problema	49
11.15 Enseñanza: Segundo problema	50
11.16 DHPC: Primer problema	51
11.17 DHPC: Segundo problema	51
11.18 DHPC: Segundo problema	52
11.19 Enseñanza: Primer problema	52
11.20 Enseñanza: Primer problema	52
11.21 Enseñanza: Segundo problema	53
11.22 Enseñanza: Segundo problema	53

Resumen

El pensamiento crítico en problemas de física se refiere a la capacidad de analizar y evaluar información de manera objetiva, razonada y lógica, para llegar a conclusiones basadas en la evidencia disponible.

En el caso de la física, el pensamiento crítico implica comprender y aplicar los conceptos y principios fundamentales de la materia, así como analizar los datos experimentales y las ecuaciones matemáticas relacionadas. Esto requiere la capacidad de identificar y cuestionar las suposiciones subyacentes, y de evaluar la validez y la precisión de los datos y las fuentes de información.

El presente trabajo muestra los resultados de la aplicación de una prueba de "papel y lápiz", aplicada en alumnos de nuevo ingreso y de los últimos semestres, de manera individual y por equipos, de la licenciatura en física de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

En dicha prueba se plantearon dos problemas de mecánica extraídos de la novena edición del libro *"Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics"*, escritos por Serway y Jewett. Los problemas son del tipo "*¿Por qué es imposible la siguiente situación?*" que requieren del uso de pensamiento crítico.

Se analizaron, categorizaron y compararon las respuestas tanto individuales como grupales para evaluar el pensamiento crítico de los grupos de muestra anteriormente mencionados.

Introducción

El pensamiento crítico, en general, es “un pensamiento razonado y reflexivo, orientado a una decisión de qué creer o hacer” [1].

El pensamiento crítico en problemas de física tiene sus raíces en la historia de la ciencia y en la evolución del pensamiento filosófico.

La historia del pensamiento crítico en la física es rica y está estrechamente ligada al desarrollo de esta disciplina científica a lo largo de los siglos. El pensamiento crítico en la física implica la capacidad de cuestionar las teorías existentes, proponer nuevas ideas, realizar experimentos y análisis rigurosos, y estar dispuesto a modificar o rechazar ideas aceptadas si los datos y la evidencia los respaldan. A continuación, se da un resumen de algunos hitos importantes en la historia del pensamiento crítico en la física.

1. **La revolución científica:** El pensamiento crítico en la física moderna tuvo su origen en la revolución científica del siglo XVII. Galileo Galilei desempeñó un papel fundamental al cuestionar las ideas aristotélicas predominantes y defender el uso de la observación y la experimentación para comprender el mundo natural. Su trabajo sentó las bases para el pensamiento científico moderno y la adopción del método científico en la física.
2. **Isaac Newton y la mecánica clásica:** Isaac Newton es conocido por su formulación de las leyes del movimiento y la ley de la gravitación universal. Su enfoque riguroso y matemático sentó las bases para el desarrollo de la mecánica clásica. Newton demostró un pensamiento crítico al desafiar las creencias aceptadas hasta ese momento y proporcionar un marco teórico coherente respaldado por evidencia experimental.
3. **La teoría de la relatividad de Einstein:** A principios del siglo XX, Albert Einstein propuso la teoría de la relatividad, que revolucionó nuestra comprensión del espacio, el tiempo y la gravedad. Einstein cuestionó las concepciones tradicionales de la física y desarrolló una nueva teoría basada en principios fundamentales y razonamiento lógico. Su pensamiento crítico fue crucial para superar las limitaciones de la física clásica y abrir el camino hacia nuevas ideas y descubrimientos.
4. **La mecánica cuántica:** A medida que avanzaba el siglo XX, los físicos se enfrentaron a fenómenos que no podían explicarse adecuadamente con la física clásica. La mecánica cuántica emergió como una nueva teoría que describía el comportamiento de partículas subatómicas. Pioneros como Max Planck, Niels Bohr, Werner Heisenberg y Erwin Schrödinger desafiaron las concepciones clásicas de la física y desarrollaron un marco teórico basado en probabilidades y la dualidad onda-partícula. El pensamiento crítico fue esencial para comprender y aceptar las implicaciones radicales de la mecánica cuántica.
5. **Teoría de la relatividad general y la física moderna:** En 1915, Einstein presentó su teoría de la relatividad general, que proporcionó una nueva descripción de la gravedad en

términos de la curvatura del espacio-tiempo. Esta teoría expandió los límites de la física y ha sido sometida a numerosas pruebas y verificaciones a lo largo de los años.

Además, el pensamiento crítico es cada vez más importante para la sociedad en general; ya que, la física y otras ciencias tienen un impacto cada vez mayor en nuestra vida diaria y en las decisiones políticas y sociales que tomamos. Por eso, el pensamiento crítico se considera como una de las habilidades del siglo XXI [2].

Diferentes estrategias para la mejora del pensamiento crítico, como una habilidad importante en el aprendizaje de la física y en la resolución de problemas físicos, son temas de muchos artículos didácticos y de investigación en la enseñanza de la física

En la actualidad, el pensamiento crítico sigue desempeñando un papel fundamental en la física. A medida que la ciencia avanza y se enfrenta a nuevos desafíos y preguntas, los físicos deben cuestionar y examinar constantemente las teorías existentes, así como proponer y desarrollar nuevas ideas. Algunos aspectos destacados de la actualidad del pensamiento crítico en física son los siguientes:

1. **Investigación en fronteras de conocimiento:** Los físicos están constantemente explorando nuevas áreas de investigación y abordando preguntas sin resolver. Esto requiere un pensamiento crítico para desarrollar nuevas teorías y modelos, así como diseñar experimentos y recopilar datos para poner a prueba estas ideas.
2. **Crítica de teorías establecidas:** Aunque muchas teorías físicas han sido ampliamente aceptadas y validadas, siempre existe la posibilidad de que puedan ser modificadas o incluso reemplazadas por nuevas ideas. Los físicos ejercen el pensamiento crítico para evaluar continuamente la validez y el alcance de las teorías establecidas, y están abiertos a considerar nuevos enfoques si surgen pruebas o evidencia que desafían las teorías existentes.
3. **Interpretación de resultados experimentales:** En la física, la interpretación correcta de los resultados experimentales es esencial. Los físicos aplican el pensamiento crítico para analizar y evaluar los datos experimentales, considerando posibles fuentes de error, sesgos y limitaciones. También deben evaluar la consistencia de los resultados con las teorías existentes y, si es necesario, reconsiderar o desarrollar nuevas interpretaciones.
4. **Cuestionamiento de conceptos fundamentales:** Los físicos también se dedican al cuestionamiento de conceptos y principios fundamentales en el campo. A medida que se descubren nuevas fenomenologías o se exploran situaciones extremas, es posible que se requiera una re-evaluación de los conceptos básicos y la formulación de nuevas teorías o enfoques.
5. **Participación en debates y colaboración científica:** El pensamiento crítico se promueve a través del debate, la discusión y la colaboración científica. Los físicos se reúnen en conferencias, simposios y grupos de investigación para compartir ideas, criticar constructivamente el trabajo de otros y colaborar en proyectos. Estas interacciones fomentan el pensamiento crítico y el desarrollo de nuevas perspectivas.

En resumen, el pensamiento crítico sigue siendo esencial en la física contemporánea. Los físicos continúan cuestionando y examinando las teorías existentes, proponiendo nuevas ideas y abordando preguntas sin respuesta para avanzar en nuestro entendimiento del universo. El pensamiento crítico impulsa la innovación y el progreso científico en la búsqueda de una comprensión más profunda de las leyes que rigen el mundo natural.

Capítulo 1

¿Qué es el pensamiento crítico y por qué es importante?

El pensamiento crítico es el proceso de pensamiento que involucra la evaluación analítica de una determinada situación. El pensar críticamente permite mejores desempeños y logros más importantes, a la vez que fortalece la creatividad. Todo ello optimiza las habilidades para resolver problemas y tomar decisiones.

El pensamiento crítico involucra tres importantes etapas a seguir por el individuo cuando es enfrentado a una nueva información:

1. Análisis inicial
2. Evaluación de la información
3. Desarrollo de una posición personal sobre el problema basada en las propias lecturas, clases, tutoriales e investigaciones al respecto.

Su principal función no es generar ideas sino revisarlas, evaluarlas y repasar qué es lo que se entiende, se procesa y se comunica mediante los otros tipos de pensamiento (verbal, matemático, lógico, etcétera). Por lo tanto, el pensador crítico es aquel capaz de pensar por sí mismo [3-6].

Aunque existen muchas descripciones de lo que califica como habilidades del siglo XXI, las habilidades de los estudiantes en el razonamiento científico y el pensamiento crítico son las más comúnmente observadas y ampliamente estudiadas. Están altamente conectados con otras habilidades cognitivas de resolución de problemas, toma de decisiones y pensamiento creativo [7-10], y han sido importantes objetivos educativos desde la década de 1980 [11].

Como resultado, juegan un papel fundamental en la definición, evaluación y desarrollo de las habilidades del siglo XXI.

La literatura sobre pensamiento crítico es extensa [12-13]. Existen varias definiciones con principios subyacentes comunes. En términos generales, el pensamiento crítico es la aplicación de habilidades y estrategias cognitivas que apuntan y respaldan la toma de decisiones basada en evidencia. Es el pensamiento involucrado en la resolución de problemas, la formulación de inferencias, el cálculo de probabilidades y la toma de decisiones [14].

¿Qué es el pensamiento crítico y por qué es importante?

El pensamiento crítico se reconoce como una forma de comprender y evaluar un tema; producir conocimiento fiable y mejorar el propio pensamiento [15-16].

La noción de razonamiento científico se usa a menudo para etiquetar el conjunto de habilidades que respaldan el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad en STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). En términos generales, el razonamiento científico incluye las habilidades de pensamiento y razonamiento involucradas en la investigación, la experimentación, la evaluación de evidencia, la inferencia y la argumentación que respaldan la formación y modificación de conceptos y teorías sobre el mundo natural; tales como la capacidad de explorar sistemáticamente un problema, formular y probar hipótesis, manipular y aislar variables y observar y evaluar consecuencias [17].

El pensamiento crítico y el razonamiento científico comparten muchas características, donde ambos enfatizan la toma de decisiones basada en evidencia en condiciones causales multivariadas. El pensamiento crítico se puede promover a través del desarrollo del razonamiento científico, que incluye la capacidad del estudiante para llegar a una conclusión confiable después de identificar una pregunta, formular hipótesis, recopilar datos relevantes y probar y evaluar lógicamente la hipótesis. De esta manera, el razonamiento científico puede verse como una instanciación del dominio científico del pensamiento crítico en el contexto del aprendizaje STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics).

El pensamiento crítico es de vital importancia en la resolución de problemas de física por varias razones:

1. **Evaluación de teorías existentes:** El pensamiento crítico permite evaluar las teorías físicas existentes de manera objetiva y rigurosa. Los físicos deben cuestionar si una teoría puede explicar y predecir los fenómenos observados de manera coherente y si es consistente con otras teorías bien establecidas. Esto implica analizar y evaluar la evidencia experimental, identificar posibles limitaciones o contradicciones y buscar áreas donde las teorías actuales puedan no ser suficientes.
2. **Generación de nuevas ideas y enfoques:** El pensamiento crítico es fundamental para la generación de nuevas ideas y enfoques en física. Permite a los físicos proponer hipótesis, plantear preguntas desafiantes y desarrollar modelos alternativos para abordar problemas no resueltos o fenómenos inexplorados. La capacidad de pensar de manera crítica ayuda a explorar diferentes enfoques y perspectivas, lo que puede conducir a avances científicos significativos.
3. **Análisis de datos experimentales:** En la física, el análisis de datos experimentales es esencial para validar o refutar teorías y modelos. El pensamiento crítico ayuda a los físicos a evaluar y examinar los datos cuidadosamente, considerando posibles fuentes de error, sesgos o interpretaciones incorrectas. Esto garantiza que los resultados experimentales se interpreten correctamente y que las conclusiones extraídas sean sólidas y confiables.
4. **Resolución de problemas complejos:** La física a menudo se enfrenta a problemas complejos y desafiantes que requieren un enfoque analítico y crítico. El pensamiento crítico permite descomponer problemas complicados en componentes más manejables, identificar patrones, relaciones y similitudes, y desarrollar estrategias efectivas para abordarlos. También ayuda a descartar soluciones inválidas o improbables y a buscar conexiones entre diferentes áreas de la física para resolver problemas interdisciplinarios.
5. **Adaptación y actualización del conocimiento:** El pensamiento crítico en física implica estar abierto a nuevas ideas y evidencias, incluso si desafían las creencias o teorías establecidas. Los físicos deben estar dispuestos a modificar o rechazar conceptos previos si los datos

¿Qué es el pensamiento crítico y por qué es importante?

y la evidencia los respaldan. El pensamiento crítico fomenta la flexibilidad intelectual y la disposición a revisar y actualizar el conocimiento científico a medida que se obtiene nueva información.

El pensamiento crítico es fundamental para la resolución de problemas en física. Fomenta la rigurosidad, la objetividad y la creatividad necesarias para avanzar en nuestra comprensión de las leyes y principios fundamentales del universo.

Se clasifica el pensamiento crítico como una actividad de pensamiento de orden superior que requiere un conjunto de habilidades cognitivas. En una revisión exhaustiva de 1987 de la literatura existente, se postuló que el pensamiento crítico requiere un conjunto de habilidades y enfoques para ser efectivo [18]. Las habilidades de pensamiento crítico incluyen:

1. Distinguir entre hechos verificables y reclamos de valor
2. Distinguir la información, las afirmaciones y los motivos relevantes de los irrelevantes
3. Determinación de la precisión fáctica de una declaración
4. Determinar la credibilidad de una fuente
5. Identificar afirmaciones o argumentos ambiguos
6. Identificación de suposiciones no declaradas
7. Detección de sesgo
8. Identificar falacias lógicas
9. Reconocer inconsistencias lógicas en una línea de razonamiento
10. Determinar la fuerza de un argumento o afirmación [5]

En un esfuerzo por aclarar el proceso del pensamiento crítico, el pensamiento crítico es una forma de pensamiento única y con un propósito que se practica de manera sistemática y con un propósito. El pensador impone normas y criterios sobre el proceso de pensamiento y los utiliza para construir el pensamiento [19].

Capítulo 2

Pensamiento crítico como una de las habilidades del siglo XXI

El uso del pensamiento crítico es una de las más importantes habilidades necesarias para el buen desempeño de las personas durante el siglo XXI. Esto se debe a que el pensamiento crítico involucra plantearse preguntas, analizar y evaluar –o emitir juicios de valor– basados en la información presentada. Todas estas características lo convierten en una de las habilidades primordiales a ser adquiridas por los estudiantes de todos los niveles educativos [3].

Los universitarios del siglo XXI en México muestran gran interés por tomar conciencia de sus aprendizajes, los docentes coadyuvan a que se desarrolle el pensamiento crítico para resolver problemas y tomar decisiones apropiadas para cada situación dentro y fuera de la universidad. Pues la sociedad globalizada demanda profesionales con autonomía y pensamiento crítico [20].

Los estudiantes con habilidad de pensamiento crítico se caracterizan por tener diferentes disposiciones: disposición a la osadía mental, hacia la curiosidad intelectual, a clarificar y perseguir la comprensión, planificar y diseñar estrategias, ser intelectualmente cuidadoso, buscar y evaluar razones y ser metacognitivo. En el caso de los estudiantes universitarios mexicanos estas disposiciones son evidentes, pero aún más, en los niveles de posgrado, pues se requiere planificar, clarificar y ser metacognitivos porque realizan investigaciones [21].

El desarrollo del pensamiento crítico estaría determinado por el cumplimiento de tres etapas como se muestra a continuación:

Actitud + Conocimiento + Habilidades del pensamiento = Pensamiento Crítico

Es el tipo de pensamiento que se caracteriza por manejar y dominar las ideas. El pensador crítico es aquel capaz de pensar por sí mismo.

Finalmente, el pensador crítico debe evaluar las teorías y relacionarlas con las prácticas para llegar a una propuesta bien pensada y provocativa. Habiendo adquirido estas habilidades, los resultados lo ayudarán a entender los conocimientos importantes desarrollados en el siglo XXI, con posibilidades de participar en las decisiones importantes como ciudadano responsable y comprometido con el bienestar de toda la sociedad [3].

En el siglo XXI, el mundo que cambia rápidamente requiere un nuevo enfoque para la enseñanza y el aprendizaje de la educación científica. La educación en física para el siglo XXI tiene como objetivo fomentar habilidades cognitivas de alto nivel, como el pensamiento crítico, la metacognición y la comprensión conceptual profunda [22]. Varios documentos de políticas y estudios de investiga-

ción recientes sugieren que comprender el contenido científico es insuficiente para comprender un tema a fondo.

En cambio, es importante profundizar en una comprensión conceptual más profunda del contenido, adquirir habilidades específicas del contenido (pensamiento crítico) y tomar conciencia del conocimiento propio del contenido, lo que se conoce como metacognición.

Además, la educación en física debe enfatizar la importancia de vincular el conocimiento previo con los nuevos fenómenos físicos sugieren que una comprensión conceptual profunda es crucial para equipar a los estudiantes para que apliquen sus conocimientos a escenarios del mundo real y fomenten la innovación [22].

A pesar del énfasis en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y metacognición en los estándares científicos del siglo XXI, existe una investigación limitada sobre el desarrollo de estas habilidades en cursos específicos como introducción a la física [23].

Los estudios anteriores se han centrado principalmente en la enseñanza del pensamiento crítico general y las habilidades metacognitivas en lugar de integrarlas en cursos de dominio específico para mejorar el pensamiento crítico y las habilidades metacognitivas específicas del dominio. Esta brecha en la investigación se puede atribuir a la falta de herramientas de evaluación apropiadas para medir estas habilidades en el contexto del aprendizaje de las ciencias y a la falta de consenso entre los investigadores sobre si estas habilidades son de dominio específico o de dominio general.

Sin embargo, estudios recientes sugieren que el pensamiento crítico y la metacognición dependen del dominio y deben integrarse en entornos de aprendizaje específicos del dominio [23].

Aunque existen muchas descripciones de lo que califica como habilidades del siglo XXI, las habilidades de los estudiantes en el razonamiento científico y el pensamiento crítico son las más comúnmente observadas y ampliamente estudiadas. Están altamente conectados con otras habilidades cognitivas de resolución de problemas, toma de decisiones y pensamiento creativo, y han sido importantes objetivos educativos desde la década de 1980. Como resultado, juegan un papel fundamental en la definición, evaluación y desarrollo de las habilidades del siglo XXI [22].

El pensamiento crítico suele considerarse crucial para el aprendizaje de la física. Esto está claramente establecido en los propósitos de muchos currículos de Física. Varios autores sostienen que el pensamiento crítico es fundamental para el aprendizaje de las ciencias [24].

Unido al trabajo en equipo, cada vez es más importante el que se forme a los estudiantes para que desarrollen habilidades que les permitan reflexionar (críticamente) sobre el proceso que han seguido durante una tarea y los resultados finales obtenidos además de que sean capaces de evaluar su trabajo y el de sus compañeros. De ahí que una de las funciones más importantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje sea la de enseñar a los estudiantes a pensar, a que vean todo cuanto existe a su alrededor; enseñarles a observar y lograr que, de manera simultánea, sean capaces de detectar y resolver problemas [25-26].

2.1. Pensamiento creativo

Otra habilidad que debe desarrollarse en los estudiantes es el pensamiento creativo. Las habilidades de pensamiento creativo son la base de la ciencia, lo cual es muy importante para los estudiantes. La optimización de las habilidades de pensamiento de orden superior es esencial porque es una habilidad para la vida que debe desarrollarse. Se requiere superar problemas complejos junto con los tiempos, especialmente en esta era del siglo XXI [27].

La generación y el uso de un pensamiento crítico y creativo involucran factores de enseñanza que promueva un aprendizaje autónomo que activan actividades de aprendizaje relacionadas con cosas prácticas para alcanzar la resignificación del conocimiento con base en un conocimiento sensorial que favorece la construcción de un conocimiento que engloba toda la dimensión de la persona en el acto de conocer y producir conceptos [28].

Capítulo 3

Maneras de promover el pensamiento crítico en el aprendizaje y enseñanza de la física

Aprender física, con referencia al cerebro como órgano del aprendizaje, supone que éste no necesita repeticiones innecesarias cuando el material bajo estudio, o la manera como se maneja en el aula, es accesible, interesante en sí mismo, y útil con aplicaciones a la vida diaria [29].

El tipo de pensamiento a que se refiere es el llamado *Pensamiento Crítico* (PeCr), el cual ha sido discutido y analizado desde muchas perspectivas [30]. Aparte de diversos materiales encontrados en el sitio de esta comunidad, existen pocos trabajos encaminados a desarrollar habilidades de pensamiento crítico en el área de la física [21], de donde surge la idea del presente trabajo cuyos objetivos son:

1. Contribuir a las ciencias de la educación en el área de las ciencias
2. Proponer un modelo pedagógico para las nuevas generaciones de estudiantes que ingresan a nivel superior

Se afirma que el PeCr se refiere a una serie de procesos de razonamiento lógico abstracto, los cuáles sólo pueden desarrollarse en la práctica [24]. Como ejemplos de ellos se tiene la habilidad de poner atención, seguir un argumento, detectar una ambigüedad o una inferencia falsa, organizar y administrar el tiempo para el estudio. La cuestión es que, como se escribió unas líneas antes, tales habilidades no pueden enseñarse “en el aire”, sino sólo a través de las dificultades y problemas de una asignatura concreta, y lo más importante, no pueden enseñarse ni aprenderse en un curso, sino deben adquirirse gradualmente a lo largo de varios ciclos de aprendizaje [27].

3.1. Estrategia didáctica para el desarrollo del pensamiento crítico

De la discusión anterior, concluimos que definir el PeCr no es una tarea fácil y que, además, no parece existir una única definición [30]. El PeCr solamente puede caracterizarse contextualmente. Por consiguiente, para los propósitos de este trabajo sostenemos que una persona ha desarrollado

Maneras de promover el pensamiento crítico en el aprendizaje y enseñanza de la física

3.1 Estrategia didáctica para el desarrollo del pensamiento crítico

y posee PeCr si muestra las características conductuales y sus correspondientes habilidades que presentamos en la tabla 1.

Además, otra habilidad esencial pero no considerada en la tabla 1, es la de comunicación oral. La verbalización, por parte de los estudiantes, es una manera de evaluar sus aprendizajes, su forma de pensar y el orden intelectual interno (pensamientos organizados y estructurados).

De acuerdo con lo anterior, se requiere que, en cada ocasión pertinente, el docente:

1. Procure que sus estudiantes expliquen un concepto o idea. Si tienen problemas para explicar, entonces se evidencia una falta de claridad y/o comprensión del concepto. Esta situación requerirá que el docente ayude al aprendiz a aclarar sus ideas para expresarlas adecuadamente.
2. Ponga en práctica alguna técnica grupal (aprendizaje colaborativo/cooperativo) y proporcione un problema. El docente ha de asegurarse que los integrantes de los grupos (equipos) sigan lineamientos lógicos y empleen términos y palabras correctamente.
3. Evalúe el vocabulario básico. Para ello es recomendable proporcionar una lista de términos y palabras a usarse rutinariamente en el curso [18].

Los estudios anteriores se han centrado principalmente en la enseñanza del pensamiento crítico general y las habilidades metacognitivas en lugar de integrarlas en cursos de dominio específico para mejorar el pensamiento crítico y las habilidades metacognitivas específicas del dominio. Esta brecha en la investigación se puede atribuir a la falta de herramientas de evaluación apropiadas para medir estas habilidades en el contexto del aprendizaje de las ciencias y a la falta de consenso entre los investigadores sobre si estas habilidades son de dominio específico o de dominio general [22].

Sin embargo, estudios recientes sugieren que el pensamiento crítico y la metacognición dependen del dominio y deben integrarse en entornos de aprendizaje específicos del dominio. . Argumentamos que las habilidades de pensamiento crítico y metacognición se enseñan de manera más efectiva en el contexto de un dominio específico de la educación física en lugar de habilidades genéricas o no específicas de una disciplina [30].

Maneras de promover el pensamiento crítico en el aprendizaje y enseñanza de la física

3.1 Estrategia didáctica para el desarrollo del pensamiento crítico

Característica Conductual	Habilidad
CC1. Puede diferenciar entre fuentes de información confiables (de personas o instituciones con autoridad académica o moral) y no confiables (de personas o instituciones sin autoridad académica o moral)	H1. Apertura a nuevas ideas H2. Aprender términos y hechos, conceptos y teorías de la materia en cuestión H3. Buscar, interpretar y utilizar información científica
CC2. Reconoce afirmaciones carentes de sentido; esto es, afirmaciones que no son definiciones, que no son verificables por observación directa o indirecta, o que no son proposiciones lógicas o matemáticas	H4. Desarrollar argumentaciones válidas en el ámbito de la física (en el nivel de aprendizaje pertinente)
CC3. Evita definiciones circulares; distingue entre un mero nombre o etiqueta y el concepto que lo caracteriza o lo define	H5. Describe y explica fenómenos naturales y procesos tecnológicos en términos de conceptos, principios y teorías físicas
CC4. Selecciona datos relevantes o pertinentes para la solución de un problema	H6. Destreza algebraica y analítica H7. Destreza para resolver problemas H8. Habilidad para aplicar principios y generalizaciones aprendidas a problemas y situaciones nuevas
CC5. Critica inferencias obtenidas de observaciones, lo que significa que puede reconocer si las inferencias se obtienen directamente de las observaciones, si no están relacionadas con éstas, o si las inferencias y las observaciones se contradicen	H9. Demostrar una comprensión adecuada de los conceptos y principios fundamentales de la física (en el nivel de aprendizaje pertinente) H10. Habilidad para sintetizar e integrar información e ideas H11. Habilidad para distinguir entre observación e inferencia y entre hecho y opinión
CC6. Selecciona una hipótesis de entre un conjunto de ellas para explicar adecuadamente los resultados de observaciones	H12. Habilidad para aplicar principios y generalizaciones aprendidas a problemas y situaciones nuevas

Figura 3.1: Características conductuales del Pensamiento Crítico y sus habilidades correspondientes.

Capítulo 4

¿Cómo se suele medir o evaluar el pensamiento crítico?

En general, la evaluación del pensamiento crítico en los problemas de física debe ser una combinación de la resolución de problemas numéricos, la aplicación de conceptos físicos a situaciones del mundo real, y la capacidad de los estudiantes para analizar, sintetizar y evaluar información de manera crítica [31].

Medir el pensamiento crítico es complejo. El pensamiento crítico tiene elementos que son tanto específicos de dominio como genéricos. El pensamiento crítico también involucra habilidades y disposiciones cognitivas.

Los investigadores y profesionales han utilizado dos tipos principales de instrumentos para evaluar el pensamiento crítico: pruebas estandarizadas y evaluaciones basadas en el desempeño.

1. Pruebas estandarizadas

Hay muchas pruebas estandarizadas de habilidades de pensamiento crítico, como la prueba de evaluación de pensamiento crítico de Watson-Glaser y la prueba de habilidades de pensamiento crítico de California. También hay algunos para evaluar las disposiciones de pensamiento crítico, como el: Inventario de Disposiciones de Pensamiento Crítico de California. Y luego están las evaluaciones recientes basadas en computadora del pensamiento crítico, como las habilidades de razonamiento y la mentalidad de pensamiento. La evaluación de habilidades de razonamiento se enfoca en el dominio cognitivo del pensamiento crítico y la mentalidad de pensamiento en el dominio afectivo (ambas usan preguntas de opción múltiple).

La subrepresentación del constructo es la debilidad inherente de muchas pruebas estandarizadas. Esto es particularmente relevante para el pensamiento crítico, ya que muchas de las medidas existentes se enfocan en habilidades genéricas de pensamiento crítico. Además, es posible que un formato de opción múltiple no capture adecuadamente las características de disposición de los examinados. Se argumenta que las pruebas de pensamiento crítico de opción múltiple solo miden el reconocimiento y, por lo tanto, no pueden “revelar el razonamiento subyacente de los examinados para elegir una respuesta en particular. . . [o] reflejan la capacidad de los examinados para pensar críticamente en situaciones espontáneas” (p. 70).

2. Evaluaciones basadas en el desempeño

Las evaluaciones basadas en el desempeño de alta calidad requieren que los estudiantes apliquen (o transfieran) sus conocimientos y habilidades a contextos novedosos. Las evaluaciones de desempeño implican que los estudiantes produzcan algo (p. ej., un informe, un producto, un experimento o una demostración), que luego se evalúa según los criterios específicos que se encuentran en una rúbrica o guía de calificación. Tales medidas son adecuadas para recopilar evidencia del nivel de sofisticación de los estudiantes en la aplicación de habilidades y disposiciones de pensamiento crítico.

Varias organizaciones e investigadores han creado rúbricas de pensamiento crítico para acompañar la evaluación basada en el desempeño o el aprendizaje basado en proyectos. Reflejando la definición de pensamiento crítico del Informe Delphi, la Rúbrica analítica de pensamiento crítico comprende seis dimensiones: interpretación, análisis, evaluación, inferencia, explicación y disposición, y se califica en una escala de 6 puntos. Se han informado niveles aceptables de confiabilidad intraevaluador e interevaluador, aunque no se puede encontrar evidencia con respecto a la validez [34-37].

4.1. Rúbrica para evaluar el pensamiento crítico

La rúbrica para evaluar el pensamiento crítico es esencial para medir las habilidades clave. Mejora la calidad de las evaluaciones y fomenta el pensamiento crítico en los estudiantes.

El pensamiento crítico es una habilidad esencial que permite a los estudiantes analizar, evaluar y sintetizar información para tomar decisiones informadas y resolver problemas de manera efectiva.

Al utilizar una rúbrica para valorar el pensamiento crítico, los educadores pueden proporcionar una retroalimentación específica y constructiva a los estudiantes y también evaluar de manera justa y consistente el trabajo de los estudiantes.

El pensamiento crítico de los universitarios puede evaluarse fundamentalmente de dos maneras: bien siguiendo métodos similares a los que se emplean para valorar otras habilidades como las destrezas comunicativas, la resolución de problemas, etc. o pidiendo al propio estudiante que complete una escala de valoración [38].

4.2. Evaluación del pensamiento crítico en los problemas de física

La evaluación del pensamiento crítico en los problemas de física implica la evaluación de la capacidad de los estudiantes para analizar, sintetizar y evaluar la información relevante, identificar y resolver problemas, y tomar decisiones informadas. A continuación, se presentan algunas sugerencias para evaluar el pensamiento crítico en los problemas de física:

1. Problemas basadas en situaciones del mundo real: La física tiene muchas aplicaciones en la vida diaria. Por lo tanto, los problemas basados en situaciones del mundo real pueden ayudar a evaluar la capacidad de los estudiantes para aplicar conceptos físicos a situaciones cotidianas.
2. Problemas abiertos: En los problemas abiertos, los estudiantes tienen que resolver un problema sin tener una solución predefinida. Los problemas abiertos pueden evaluar la capacidad de los estudiantes para pensar de forma creativa y resolver problemas complejos.

¿Cómo se suele medir o evaluar el pensamiento crítico?
4.2 Evaluación del pensamiento crítico en los problemas de física

3. Problemas que requieren la identificación de supuestos y el análisis crítico de la información: Los estudiantes pueden ser evaluados en su capacidad para identificar supuestos, cuestionar la validez de las afirmaciones y el razonamiento detrás de una solución propuesta.
4. Problemas que requieren la integración de múltiples conceptos: Los problemas que requieren la integración de múltiples conceptos físicos pueden evaluar la capacidad de los estudiantes para conectar y aplicar conceptos y teorías en diferentes áreas de la física.
5. Problemas que requieren la resolución de problemas numéricos y análisis de datos: La resolución de problemas numéricos y el análisis de datos son habilidades esenciales para los estudiantes de física. Por lo tanto, los problemas que requieren la resolución de problemas numéricos y el análisis de datos pueden evaluar la capacidad de los estudiantes para aplicar las matemáticas a la física y analizar y sintetizar datos experimentales.

El pensar críticamente implica analizar, evaluar y conectar. El estudiante piensa críticamente cuando analiza argumentos; clasifica objetos; identifica supuestos e ideas principales y encuentra secuencias; juzga o evalúa; soluciona problemas; toma decisiones o hace inferencias de manera deductiva o inductiva a través de tareas con final abierto, problemas auténticos o mal estructurados que precisen ir más allá del simple recuerdo de la información aprendida con anterioridad, como ocurre con la multitarea de aprendizaje basado en problemas de esta investigación [37].

Por todo ello consideramos que cada vez que se le den oportunidades para reflexionar, evaluar, determinar criterios, priorizar, verificar, etc., mejorará dicha destreza; motivo por el cual planteamos la experiencia de modo que fueran los propios participantes quienes analizaran, evaluaran, conectaran, propusieran soluciones razonadas, se comunicaran y tomaran decisiones sobre un pensamiento complejo que tendrían que poner en práctica,

Se coloca en el Apéndice 1 la Rúbrica para evaluar el pensamiento crítico de los compañeros de grupo y el propio durante el proceso [39].

Capítulo 5

Movimiento en una dimensión

Como una primera etapa en el estudio de la mecánica clásica, se describe el movimiento de un objeto mientras se ignoran las interacciones con agentes externos que pueden causar o modificar dicho movimiento. Esta parte de la mecánica clásica se llama *cinemática*.

En este capítulo se considera sólo el movimiento en una dimensión, esto es, el movimiento de un objeto a lo largo de una línea recta.

5.1. Posición, velocidad y rapidez

El movimiento de una partícula se conoce por completo si la posición de la partícula en el espacio se conoce en todo momento. La **posición** de una partícula es la ubicación de la partícula respecto a un punto de referencia elegido que se considera el origen de un sistema coordenado.

El desplazamiento de una partícula se define como su cambio en posición en algún intervalo de tiempo. Conforme la partícula se mueve desde una posición inicial x_i a una posición final x_f , su desplazamiento se conoce por

$$\Delta x \equiv x_f - x_i \quad (5.1)$$

La **velocidad promedio** v_{xprom} de una partícula se define como el desplazamiento Δx de la partícula dividido entre el intervalo de tiempo Δt durante el que ocurre dicho desplazamiento

$$v_{x,prom} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5.2)$$

donde el subíndice x indica movimiento a lo largo del eje x . A partir de esta definición es claro que la velocidad promedio tiene dimensiones de longitud divididas entre el tiempo (L/T), y sus unidades son metros por segundo en el SI.

En el uso cotidiano, la *rapidez* y la *velocidad promedio* son intercambiables. De cualquier modo, en física, hay una clara distinción entre estas dos cantidades

La rapidez promedio v_{prom} de una partícula, una cantidad escalar, se define como la distancia total recorrida dividida entre el intervalo de tiempo total requerido para recorrer dicha distancia:

$$v_{prom} \equiv \frac{d}{\Delta t} \quad (5.3)$$

La unidad del SI de la rapidez promedio es la misma que la unidad de velocidad promedio: metros por segundo. Sin embargo, a diferencia de la velocidad promedio, la rapidez promedio no

tiene dirección y siempre se expresa como un número positivo. Advierta la clara distinción entre las definiciones de velocidad promedio y rapidez promedio: la velocidad promedio (ec. 5.2) es el *desplazamiento* dividido entre el intervalo de tiempo, mientras que la rapidez promedio (ec. 5.3) es la *distancia* dividida entre el intervalo de tiempo.

5.2. Modelos de análisis: La partícula bajo velocidad constante

Una técnica importante en la solución de problemas físicos es usar modelos de análisis. Tales modelos ayudan a analizar situaciones comunes en problemas físicos y lo guían hacia una solución. Un modelo de análisis es un problema que se ha resuelto. Es una de cualquiera de las dos descripciones siguientes: 1) el comportamiento de alguna entidad física o 2) la interacción entre dicha entidad y el entorno. Cuando encuentre un nuevo problema, debe identificar los detalles fundamentales del mismo e intentar reconocer cuál de los tipos de problemas que ya resolvió sirve como modelo para el nuevo.

Si encuentra un caso resuelto con anterioridad que sea muy similar, en cuanto a lo legal, al actual, se ofrece como modelo y se plantea un argumento en la corte que los ligue en términos lógicos. Por lo tanto el fallo en el caso previo se usa para influir en el fallo del caso actual. En física sucederá algo similar. Para un problema determinado busque un “precedente físico”, un modelo con el que ya esté familiarizado y que sea aplicable al problema actual [40].

5.3. Aceleración

Cuando cambia la velocidad de una partícula se dice que ésta experimenta **aceleración** (o acelera). Para movimiento a lo largo de un eje, la **aceleración promedio** a_{prom} en un intervalo de tiempo Δt es:

$$a_{prom} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (5.4)$$

donde la partícula tiene velocidad v_1 en el tiempo t_1 y luego velocidad v_2 en el tiempo t_2 .

La **aceleración instantánea** (o simplemente **aceleración**) es

$$a = \frac{dv}{dt}. \quad (5.5)$$

En otras palabras, la aceleración de una partícula en cualquier instante es la rapidez con la que su velocidad está cambiando en ese instante. Gráficamente, la aceleración en cualquier punto es la pendiente de la curva $v(t)$ en ese punto.

O bien, dicho de otro modo, la aceleración de una partícula en cualquier instante es la segunda derivada de su posición $x(t)$ con respecto al tiempo.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (5.6)$$

La aceleración tiene magnitud y dirección (es otra cantidad vectorial). Su signo algebraico representa su dirección en un eje sólo para desplazamiento y velocidad; es decir, la aceleración con un valor positivo, y la aceleración con un valor negativo está en la dirección negativa [41].

5.3.1. Aceleración constante: un caso especial

En muchos tipos de movimiento, la aceleración es constante o casi constante. Por ejemplo, podría acelerarse un auto a una razón aproximadamente constante cuando un semáforo cambia de rojo a verde. Entonces, las gráficas de su posición, velocidad y aceleración se asemejarían a las de la figura 5.1:

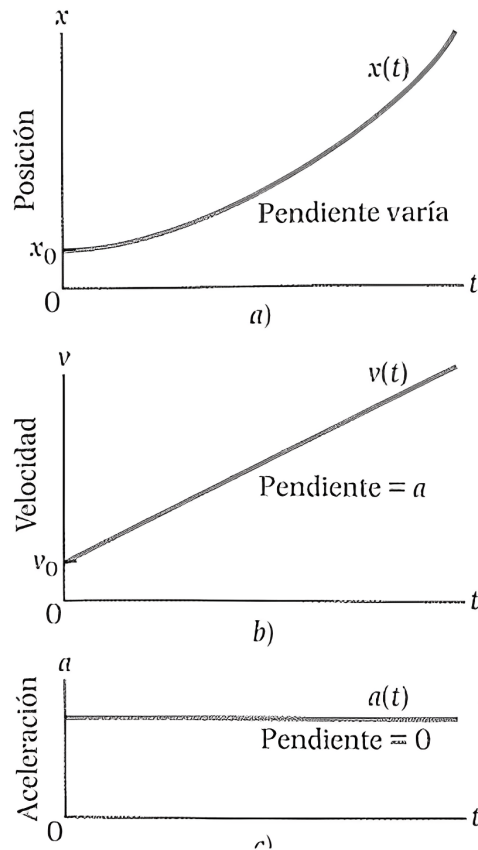


Figura 5.1: a) Posición $x(t)$ de una partícula que se mueve con aceleración constante. b) Su velocidad $v(t)$, dada en cada punto por la pendiente de la curva en a). c) Su aceleración

Cuando la aceleración es constante, la aceleración promedio y la aceleración instantánea son iguales y podemos escribir la ecuación

$$a_{prom} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5.7)$$

con algunos cambios en notación, como

$$a = a_{prom} = \frac{v - v_o}{t - 0} \quad (5.8)$$

Aquí v_o es la velocidad en el tiempo $t = 0$ y v es la velocidad en cualquier tiempo posterior t . También se puede escribir esta ecuación como

$$v = v_o + at \quad (5.9)$$

Como prueba, nótese que esta ecuación se reduce a $v = v_o$ para $t = 0$, como debe ser.

Como prueba adicional, tome la derivada de la ecuación (5.9) que resulta en $dv/dt = a$, que es la definición de a .

La figura 5.1, *b*) muestra una gráfica de la ecuación (5.9), la función $v(t)$; la función es lineal, por lo que la gráfica es una recta.

De manera similar, podemos escribir la ecuación

$$v_{prom} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}, \quad (5.10)$$

(con pocos cambios en la notación) como

$$v_{prom} = \frac{x - x_o}{t - 0} \quad (5.11)$$

y entonces como:

$$x = x_o + v_{prom}t, \quad (5.12)$$

en donde x_o es la posición de la partícula en $t = 0$, y v_{prom} es la velocidad promedio entre $t = 0$ y un tiempo posterior t .

Para la función de velocidad lineal de la ecuación (5.9), la velocidad promedio sobre cualquier intervalo de tiempo (por ejemplo, de $t = 0$ hasta un tiempo posterior t) es la velocidad promedio al principio del intervalo ($= v_o$) y la velocidad al final del intervalo ($= v$). Entonces, para el intervalo de $t = 0$ al tiempo posterior t , la velocidad promedio es

$$v_{prom} = \frac{1}{2}(v_o + v) \quad (5.13)$$

Al sustituir el lado derecho de la ecuación (5.9) por v tendremos, tras un poco de reacomodo,

$$v_{prom} = v_o + \frac{1}{2}at \quad (5.14)$$

Finalmente, al sustituir la ecuación (5.14) en la (5.12) resulta

$$x - x_o = v_o t + \frac{1}{2}at^2 \quad (5.15)$$

Las ecuaciones básicas para aceleración constante son la (5.9) y la (5.15); que se pueden emplear para resolver cualquier problema de aceleración constante.

Sin embargo, las ecuaciones (5.9) y (5.15) contienen, cada una, cuatro de estas cantidades, pero no son las mismas. En la ecuación (5.9), el “ingrediente faltante” es el desplazamiento, $x - x_o$.

En la ecuación (5.15), es la velocidad v . Estas dos ecuaciones también se pueden combinar en tres formas para obtener otras tres ecuaciones, cada una con una “variable faltante” diferente. Primero, podemos eliminar t para obtener

$$v^2 = v_o^2 + 2a(x - x_o) \quad (5.16)$$

Esta ecuación es útil si no conocemos t y no nos piden hallarla. En segundo término, podemos eliminar la aceleración a entre las ecuaciones (5.9) y (5.15) para producir una ecuación en la que a no aparece:

$$x - x_o = \frac{1}{2}(v_o + v)t \quad (5.17)$$

Finalmente, podemos eliminar v_o , para obtener

$$x - x_o = vt - \frac{1}{2}at^2 \quad (5.18)$$

Nótese la sutil diferencia entre esta ecuación y la (5.15). Una contiene la velocidad inicial v_o y, la otra, la velocidad v en el tiempo t [41].

Capítulo 6

Fuerza y movimiento

6.1. ¿Qué es la física?

Hemos visto que parte de la física es el estudio del movimiento, incluyendo aceleraciones, que son cambios en velocidades. Pero, la física también estudia lo que puede causar que un objeto acelere. Esa causa es una **fuerza**, que en términos generales es un empuje o tracción ejercidos sobre un objeto; se dice que una fuerza actúa sobre el objeto para cambiar su velocidad.

6.2. Algunas fuerzas particulares

6.2.1. La fuerza gravitacional

Una fuerza gravitacional \vec{F}_g aplicada sobre un cuerpo es una tracción que está dirigida hacia un segundo cuerpo. Cuando hablamos de la fuerza gravitacional \vec{F}_g sobre un cuerpo, queremos decir que se trata de una fuerza que tira de él directamente hacia el centro de la Tierra, es decir, hacia el suelo.

6.2.2. Fricción

Si deslizamos o tratamos de deslizar un cuerpo sobre una superficie, ese movimiento es resistido por una interacción entre el cuerpo y la superficie. La resistencia se considera una sola fuerza \vec{f} llamada *fuerza de fricción* o simplemente *fricción*.

Esta fuerza se mueve a lo largo de la superficie, en dirección opuesta al supuesto movimiento (figura 6.1). A veces, para simplificar una superficie en una situación, se supone que la fricción es despreciable (la superficie es sin fricción) [41].

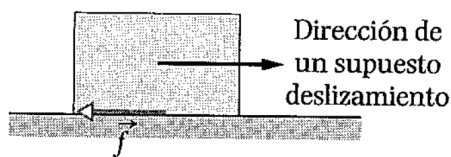


Figura 6.1: Una fuerza de fricción \vec{f} se opone al supuesto deslizamiento de un cuerpo sobre una superficie

La figura 6.2. muestra en detalle una situación semejante. En la figura 6-1a, un bloque descansa sobre la parte superior de una mesa, con la fuerza gravitacional \vec{F}_g equilibrada por una fuerza normal \vec{F}_N . En la figura 6-1b, se ejerce una fuerza \vec{F} sobre el bloque, con la intención de jalarlo a la izquierda. En respuesta, una fuerza de fricción \vec{f}_s se dirige a la derecha, lo cual equilibra de manera exacta nuestra fuerza, f_s se llama *fuerza de fricción estática*. El bloque no se mueve.

Las figuras 6-1c y 6-1d muestran que, a medida que aumenta la magnitud de la fuerza aplicada, la magnitud de la fuerza de fricción estática \vec{f}_s también aumenta y el bloque permanece en reposo. Sin embargo, cuando la fuerza aplicada alcanza cierta magnitud, el bloque “rompe” su íntimo contacto con la mesa y acelera hacia la izquierda (figura 6-1e). La fuerza de rozamiento que se opone, entonces, al movimiento se llama fuerza de fricción cinética \vec{f}_k .

Por lo general, la magnitud de la fuerza de fricción cinética, que actúa cuando hay movimiento, es menor que la magnitud máxima de la fuerza de fricción estática, que actúa cuando no hay movimiento. Por tanto, si deseamos que el bloque se mueva por la superficie con una rapidez constante, se debe reducir la magnitud de la fuerza aplicada una vez que el bloque empiece a moverse, como en la figura 6-1f. Como ejemplo, la figura 6-1g muestra los resultados de un experimento en el que la fuerza sobre un bloque se aumenta ligeramente hasta que ocurre la rotura. Nótese la reducida fuerza necesaria para mantener el bloque en movimiento a rapidez constante después de la rotura [41].

6.2.3. Propiedades de fricción

Un experimento muestra que cuando un cuerpo seco y no lubricado presiona contra una superficie en las mismas condiciones, y una fuerza \vec{F} trata de deslizarlo a lo largo de la superficie, la fuerza de rozamiento resultante tiene tres propiedades:

1. *Propiedad 1:* Si el cuerpo no se mueve, se equilibran la fuerza estática de rozamiento \vec{f}_s y la componente de F que es paralelo a la superficie. Son iguales en magnitud y \vec{f}_s se dirige en sentido opuesto a la componente de \vec{F} .
2. *Propiedad 2:* La magnitud de \vec{f}_s tiene un valor máximo $f_{s,max}$ que está dado por

$$f_{s,max} = \mu_s F_N \tag{6.1}$$

donde μ_s es el coeficiente de fricción estática y F_N es la magnitud de la fuerza normal sobre el cuerpo desde la superficie. Si la magnitud de la componente de \vec{F} , que es paralela a la superficie, excede $f_{s,max}$, el cuerpo empieza a deslizarse a lo largo de la superficie.

3. *Propiedad 3:* Si el cuerpo empieza a deslizarse a lo largo de la superficie, la magnitud de la fuerza de fricción decrece rápidamente a un valor f_k dado por:

$$f_k = \mu_k F_N \tag{6.2}$$

donde μ_k es el coeficiente de fricción cinética. De allí en adelante, durante el deslizamiento, una fuerza de fricción cinética f_k , con magnitud dada por la ecuación 6-2, se opone al movimiento [41].

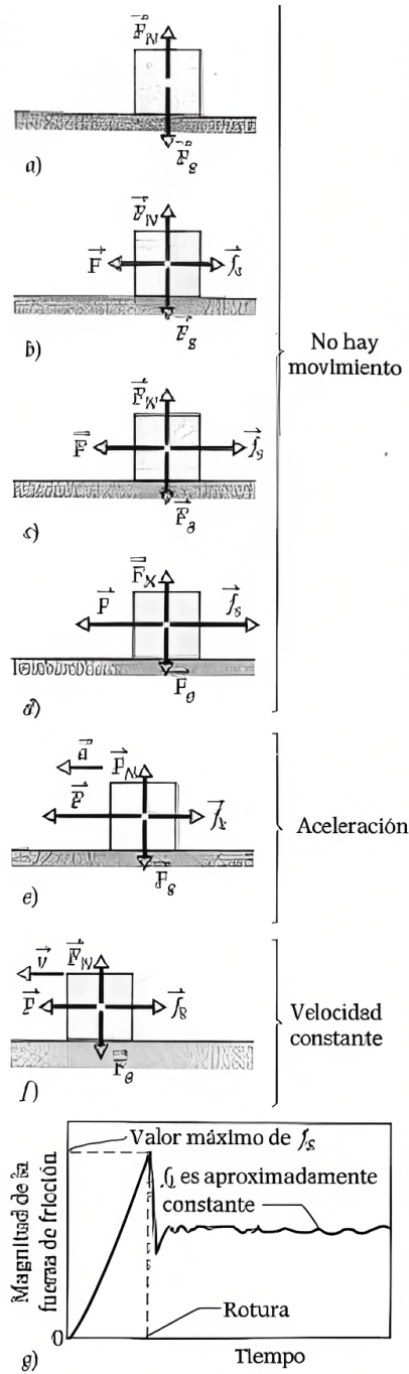


Figura 6.2: Fuerzas sobre un bloque inmóvil

Capítulo 7

Planteamiento del problema

7.1. Objetivos

7.1.1. Objetivo general

Aplicar una prueba de “papel y lápiz” a los estudiantes de nuevo ingreso y de último semestre que estudian física de la FCFM de la BUAP, para recopilar, analizar, categorizar y comparar los niveles del pensamiento crítico de estos estudiantes.

La prueba consiste en dos problemas de mecánica de la novena edición del libro "Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics" escrito por Serway y Jewett [42]. Los problemas son del tipo: "*¿Por qué es imposible la siguiente situación?*", uno de aceleración y el otro de fricción.

Una información completa acerca de este tipo de problemas está en el Apéndice 2.

7.1.2. Objetivos específicos

- a) Determinar diferentes procedimientos que usan los estudiantes al resolver los problemas en que se requiere el uso del pensamiento crítico.
- b) Determinar la influencia de la actividad grupal en la calidad del pensamiento crítico

7.2. Método de trabajo

Se les pidió a los estudiantes de la licenciatura de física de la BUAP que cursaron la materia de “Enseñanza de la Física” del periodo Primavera 2023 y de “Desarrollo de Habilidades del Pensamiento Complejo (DHPC)” del periodo Otoño 2022, que demostraran la imposibilidad de dos situaciones de manera individual y en equipo. Donde, dichos problemas fueron los siguientes:

- a) *Problema 1:* Partiendo del reposo, un rinoceronte se mueve 50.0 m en línea recta en 10.0 s. Su aceleración es constante durante todo el movimiento y su rapidez final es de 8.00 m/s.

- b) *Problema 2:* Tu libro de física de 3.80 kg está colocado junto a ti en el asiento horizontal de tu automóvil. El coeficiente de fricción estática entre el libro y el asiento es 0.650 y el coeficiente de fricción cinética es 0.550. Usted viaja hacia adelante a 72.0 km/h y frena hasta detenerse con aceleración constante en una distancia de 30.0 m. Su libro de física permanece en el asiento en lugar de deslizarse hacia el suelo [27].

Contestando lo siguiente para cada problema:

- a) ¿Qué piensas calcular para demostrar la imposibilidad de esta situación?
- b) ¿Por qué crees que esos cálculos demostrarán la imposibilidad de la situación?
- c) Realiza los cálculos pensados
- d) ¿Por qué los cálculos realizados demuestran la imposibilidad de la situación?
- e) ¿Qué dato numérico del problema se debe cambiar para que la situación se vuelva posible?

Véase el Apéndice 3 del cuestionario aplicado a los estudiantes.

Capítulo 8

Resultados

Se obtuvieron 23 formularios individuales en “Enseñanza de la Física” y 9 en “DHPC” y los resultados fueron los siguientes.

8.1. Individual

8.1.1. Enseñanza de la física

Primer problema: Rinoceronte (Aceleración)

Del primer problema, los estudiantes contestaron que para demostrar la imposibilidad de la situación tenían que calcular la aceleración, velocidad final y distancia recorrida. Las respuestas se analizan a través de una gráfica de barras:

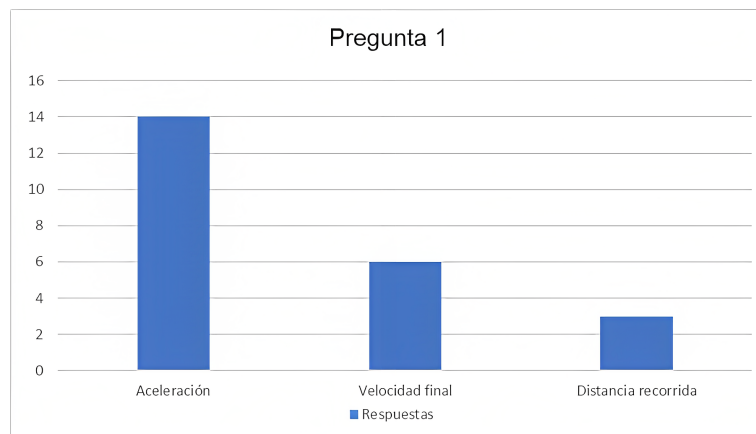


Figura 8.1: Respuestas de los alumnos de ‘Enseñanza de la Física’ para demostrar la imposibilidad de la situación

En relación con la segunda pregunta, todos los alumnos contestaron que para demostrar la imposibilidad de la situación tenían que comprobar si los datos congruentes entre sí; es decir, de los ya establecidos a de los que se calcularían.

Por otro lado, al realizar los cálculos pensados para demostrar la imposibilidad del primer problema; los cálculos que realizaron los estudiantes fueron los siguientes:

Primera manera

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8m/s}{10s} = 0.8 \frac{m}{s^2} \quad (8.1)$$

Calcularon primero la aceleración del sistema para después; sustituirla en una de las ecuaciones para calcular la distancia total recorrida:

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_o + x_o \quad (8.2)$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)(0.8 \frac{m}{s^2})(10s) = 40m \neq 50m \quad (8.3)$$

Segunda manera

Calcular directamente la velocidad final del rinoceronte con los datos proporcionados del problema; empleando una ecuación de distancia y despejar la incógnita deseada que es “ v_f ”:

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_f + v_o)t \quad \rightarrow \quad v_f = \frac{2\Delta x}{t} \quad (8.4)$$

Entonces:

$$v_f = \left[\frac{2(50m)}{10s}\right] = 10 \frac{m}{s} \neq 8 \frac{m}{s} \quad (8.5)$$

Tercera manera

Emplear una ecuación donde no incluya la aceleración:

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_o + v_f)t = \frac{1}{2}(v_f)t \quad (8.6)$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}(8m/s)(10s) = 40m \quad \rightarrow \quad \Delta x = 40m \neq 50m \quad (8.7)$$

Donde, dichos cálculos son correctos.

Al realizar los cálculos pensados para demostrar la imposibilidad de la situación; es debido a que, la aceleración basada en el cambio de velocidad en el tiempo dado, no se recorre la distancia total. O bien, que al calcular la velocidad final no es igual a la proporcionada por el problema.

Los alumnos concluyeron que, para que dicha situación se vuelva posible, el dato numérico que debe cambiarse debe ser la velocidad final del rinoceronte, el tiempo de trayectoria, la distancia recorrida o bien, dependiendo de qué valor se quiera mantener fijo el problema.

Segundo problema: Libro (Fricción)

Los cálculos que realizaron algunos alumnos fueron los siguientes:

Primer solución

$$p = N \quad (8.8)$$

$$N = mg = (9.8m/s^2)(3.8kg) = 37.24N \quad \rightarrow \quad N = 37.24N \quad (8.9)$$

$$f_1 = \mu N = (0.650)(37.24N) = 24.22N \quad \rightarrow \quad f_1 = 24.22N \quad (8.10)$$

$$f_2 = \mu N = (0.550)(37.27N) = 20.49N \quad \rightarrow \quad f_2 = 20.49N \quad (8.11)$$

$$a = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2d} \quad \rightarrow \quad a = -6.66m/s^2 \quad (8.12)$$

$$F = ma = -25.30N \quad |F| = 25.3N \quad (8.13)$$

$$|F| > f_1, f_2 \quad (8.14)$$

Segunda solución

$$\vec{F} = -\mu\vec{N} \quad (8.15)$$

$$m\vec{a}_\mu = -\mu mg \quad (8.16)$$

$$\vec{a}_\mu = -\mu g = -(0.650)(9.8m/s^2) \quad \rightarrow \quad \vec{a}_\mu = -6.3765m/s^2 \quad (8.17)$$

$$\vec{a}_v = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2d} \quad \rightarrow \quad \vec{a}_v = -6.66m/s^2 \quad (8.18)$$

$$\rightarrow \quad |\vec{a}_\mu| < |\vec{a}_v| \quad (8.19)$$

Al realizar los cálculos pensados para demostrar la imposibilidad de la situación; los alumnos contestaron que como se tenía previsto, al ser la magnitud de la aceleración obtenida con el coeficiente de fricción es menor a la obtenida del cambio de velocidades además de que la fuerza aplicada es mayor que a la fuerza cinética y estática, el libro debería moverse.

Por último, los alumnos contestaron que, el dato numérico que se debe cambiar para que la situación se vuelva posible es reducir el coeficiente de fricción estática; de tal manera que, la magnitud de la aceleración obtenida sea mayor a la magnitud de la de cambio de velocidades. O bien, cambiar la distancia que recorrió el automóvil a una mayor para que la magnitud de esa aceleración sea menor que la del coeficiente de fricción.

8.1.2. Desarrollo de Habilidades del Pensamiento Complejo (DHPC)

Primer problema: Rinoceronte (Aceleración)

Del primer problema, los estudiantes contestaron que para demostrar la imposibilidad de la situación tenían que calcular la aceleración, velocidad final y distancia recorrida; sin embargo, se tuvo una respuesta en blanco. Las respuestas se analizan a través de una gráfica de barras:

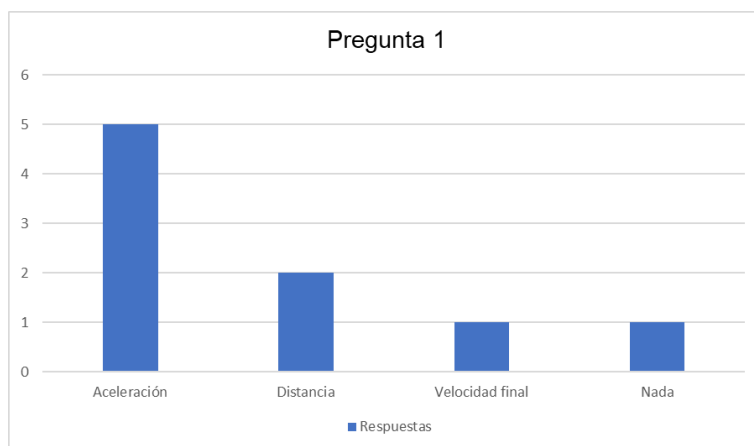


Figura 8.2: Respuesta de los alumnos de 'DHPC' para demostrar la imposibilidad de la situación

Al igual que los alumnos encuestados de "Enseñanza de la Física"; todos los alumnos contestaron que para demostrar la imposibilidad de la situación tenían que comprobar si los datos eran congruentes entre sí; es decir, de los ya establecidos a de los que se calcularían.

Los cálculos pensados a realizar de los estudiantes fueron los siguientes:

Primer solución

$$v_f = v_o + at \quad (8.20)$$

Se despeja la incógnita, a (aceleración), de la anterior ecuación:

$$a = \frac{v_f - v_o}{t} = \frac{8m/s}{10s} = 0.8m/s^2 \rightarrow a = 0.8m/s^2 \quad (8.21)$$

Por lo que:

$$x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(0.8m/s^2)(10s)^2 = 40m \quad (8.22)$$

$$x = 40m \neq 50m \quad (8.23)$$

Segunda solución

Empleando una ecuación de cinemática en donde esté involucrada la *aceleración*, sea entonces que:

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_f + v_o)t \rightarrow v_f = \frac{2\Delta x}{t} \quad (8.24)$$

Por lo que, sustituyendo los datos iniciales sea v_f a:

$$v_f = \frac{2(50m)}{10s} = 10m/s \rightarrow v_f = 10 \frac{m}{s} \neq 8 \frac{m}{s} \quad (8.25)$$

Contestaron que los cálculos realizados demuestran la imposibilidad de la situación es porque al realizar dichos cálculos, se llega a una contradicción con los datos dados del problema.

Por último, los alumnos contestaron que, el dato numérico que se debe cambiar para que la situación se vuelva posible es la distancia recorrida, la velocidad final o el tiempo total de la trayectoria.

Segundo problema: Libro (Fricción)

Los estudiantes encuestados contestaron que para demostrar la imposibilidad de la situación tenían que calcular:

- a) Si la fuerza de fricción es suficiente para hacer que el libro no se mueva de lugar
- b) La fuerza de fricción que actúa en el libro, la fuerza del automóvil al frenar y la distancia en que lo hace

Ya que, estos cálculos demostrarán la imposibilidad de la situación porque si la fuerza de fricción no es suficientemente fuerte para detener el movimiento del libro entonces este no puede quedarse en el asiento.

Sin embargo, al llegar a la parte de realizar los cálculos pensados para demostrar la imposibilidad de la situación, solamente respondieron 5 de los 9 encuestados con la solución completa que se mostrará a continuación; por otro lado, los restantes alumnos, llegaron solamente a calcular la aceleración del sistema.

Como primer paso, calcularon la fuerza normal del libro; es decir:

$$F_N = mg = (3.8kg)(9.8m/s^2) \quad (8.26)$$

$$F_N = 37.24N \quad (8.27)$$

Después, calcularon la fuerza de fricción estática:

$$f_e = \mu F_N = (0.65)(37.24N) = 24.2N \rightarrow f_e = 24.2N \quad (8.28)$$

Como siguiente paso, calcularon la aceleración del sistema:

$$a = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2d} = \frac{-(v_o)^2}{2d} = \frac{-(20m/s)^2}{2(30m)} = -6.66m/s^2 \quad (8.29)$$

$$a = -6.66m/s^2 \quad (8.30)$$

Ahora, sustituyendo el VALOR ABSOLUTO de la aceleración en la ecuación $F = ma$; sea entonces que:

$$F = ma = (3.8kg)(6.66m/s^2) = 25.38N \quad \rightarrow F = 25.38N \quad (8.31)$$

$$F > f_e \quad (8.32)$$

Al demostrar que F es mayor que f_e se demuestra que sí se mueve

Los alumnos contestaron que el dato numérico del problema que se debe cambiar para que la situación se vuelva posible, podría ser aumentar el coeficiente de fricción estática entre el libro y el asiento.

Se anexan los gráficos y procedimientos de los alumnos en el Apéndice 4.

8.2. Grupales

8.2.1. Enseñanza de la Física

Se formaron equipos de 3 integrantes y una pareja para responder las mismas incógnitas para cada problema.

Primer Problema: Rinoceronte (Aceleración)

Los equipos dieron 2 alternativas para demostrar la imposibilidad de la situación:

- a) Calcular la distancia que se obtiene considerando los datos proporcionados del problema
- b) Calcular la aceleración y a partir de ella, la velocidad final que debería tener, a través de las ecuaciones de movimiento rectilíneo.

Con la finalidad de comprobar que la distancia y velocidad final dada en el problema, es distinta a la que se obtiene haciendo los cálculos a realizar.

Los cálculos que realizaron los equipos fueron los mismos presentados en la sección de resultados de manera individual.

Los equipos contestaron que los cálculos realizados demuestran la imposibilidad de la situación; debido que, los datos que da el problema no coinciden con la distancia y velocidad final obtenidos de las operaciones hechas.

Por último, llegaron a la conclusión que el dato numérico que deberían cambiar para que la situación se vuelva posible, debe ser la distancia, velocidad final o el tiempo.

Segundo Problema: Libro (Fricción)

Los equipos llegaron a la conclusión que para demostrar la imposibilidad de la situación tenían que:

- a) Calcular la fuerza necesaria para romper la fricción estática del libro-asiento y la aceleración para encontrar la fuerza de desaceleración

Creen que esos cálculos demostrarán la imposibilidad de la situación porque:

- a) Se espera que la fuerza a calcular sea mayor que la fuerza de fricción
- b) Decidirían si se mueve o no el libro.

Los cálculos que realizaron los estudiantes fueron los siguientes:

$$F = ma \quad (8.33)$$

donde: F = Fuerza que actúa sobre el libro, debido a la aceleración del coche; m = masa del libro; a = aceleración del sistema

$$F_c = \mu_c N = \mu_c (mg) \quad (8.34)$$

donde: F_c = fuerza de fricción cinética; μ_c = coeficiente de fricción cinética

$$F_e = \mu_e N = \mu_e (mg) \quad (8.35)$$

donde: F_e = fuerza de fricción estática; μ_e = coeficiente de fricción estática

Entonces:

$$F_c = (0.55)(9.8m/s^2)(3.8kg) = 20.482N \rightarrow F_c = 20.482N \quad (8.36)$$

$$F_e = (0.65)(9.8m/s^2)(3.8kg) = 24.206N \rightarrow F_e = 24.206N \quad (8.37)$$

Partiendo de la ecuación:

$$v_f^2 = v_o^2 + 2ad \quad (8.38)$$

Y despejando "a" y conociendo que " $v_f = 0$ ", sea que:

$$a = \frac{-v_o^2}{2d} = -6.66 \frac{m}{s^2} \quad (8.39)$$

$$F = ma = (3.8kg)(-6.66m/s^2) = -25.33N \rightarrow |F| = 25.33N \quad (8.40)$$

$$|F| > F_c, F_e \quad (8.41)$$

Donde, la ecuación 8.41 nos dice que el objeto se mueve; la fuerza aplicada en el libro es mayor a la fuerza estática y cinética, por ende, se tiene que mover el objeto.

Como se tenía prevista al ser la magnitud de la aceleración obtenida con el coeficiente de fricción, es menor a la obtenida del cambio de velocidades, el libro debería moverse.

Finalmente, el dato numérico del problema se debe cambiar para que la situación se vuelva posible es reducir el coeficiente de fricción estática de tal manera que, la magnitud de la aceleración obtenida con ese método sea mayor a la magnitud de la de cambio de velocidades. También se puede cambiar la distancia que recorrió el automóvil a una mayor para que la magnitud de esa aceleración sea menor que la del coeficiente de fricción.

8.2.2. Desarrollo de Habilidades del Pensamiento Complejo (DHPC)

Se formaron equipos de 3 integrantes, resultando así 3 equipos.

Primer problema: Rinoceronte (Aceleración)

Los 3 equipos optaron por demostrar la imposibilidad de esta situación, calculando la distancia que recorrió según la velocidad que se da el problema.

Hubieron 2 maneras distintas para calcular la distancia:

- Directamente de una ecuación de cinemática que no incluya a la aceleración
- Calcular primero la aceleración del sistema y después, sustituirla en una ecuación de cinemática donde esté dicha variable encontrada.

Primera manera (Sin aceleración):

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_o + v_f)t = \frac{1}{2}(v_f)t \quad (8.42)$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}(8m/s)(10s) = 40m \rightarrow \Delta x = 40m \neq 50m \quad (8.43)$$

Segunda manera (Con aceleración):

$$a = \frac{v_f - v_o}{t} = \frac{v_f}{t} \quad (8.44)$$

$$a = \frac{8m/s}{10s} = 0.8m/s^2 \quad (8.45)$$

$$d = (v_o)t + \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}at^2 \quad (8.46)$$

$$d = \frac{1}{2}(0.8m/s^2)(10s)^2 = 40m \rightarrow d = 40m \neq 50m \quad (8.47)$$

Observando los estudiantes que dicha situación es imposible porque los datos no coinciden.

Respondieron que el dato numérico del problema que se debe cambiar para que la situación se vuelva posible es la rapidez final.

Segundo problema: Libro (Fricción)

Los equipos contestaron que para demostrar la imposibilidad de esta situación deben calcular la fuerza estática máxima y la fuerza que ejerce el libro con respecto a la aceleración del sistema.

Los 3 equipos realizaron el mismo procedimiento que se presenta a continuación:

La fuerza estática máxima es:

$$f_e = \mu F_N = \mu(m)(g) = (0.65)(3.8kg)(9.8m/s^2) = 24.2N \rightarrow f_e = 24.2N \quad (8.48)$$

Partiendo de la ecuación:

$$v_f^2 = v_o^2 + 2ad \quad (8.49)$$

Y despejando "a" y conociendo que "v_f = 0", sea que:

$$a = \frac{-v_o^2}{2d} = -6.66 \frac{m}{s^2} \quad (8.50)$$

$$F = ma = (3.8kg)(-6.66m/s^2) = -25.33N \rightarrow |F| = 25.33N \quad (8.51)$$

$$|F| > F_e \quad (8.52)$$

Los equipos contestaron que los cálculos realizados que demuestran la imposibilidad de esta situación es porque f_e debe ser mayor que $|F|$, pero al realizar los cálculos $|F| > f_s$; por lo tanto, se demuestra que es imposible.

Por último, contestaron que el dato numérico del problema que se debe cambiar para que la situación se vuelva posible son los siguientes:

- a) El coeficiente de fricción estática
- b) La velocidad final
- c) La distancia

Se anexan los gráficos y procedimientos de los grupos en el Apéndice 5.

Capítulo 9

Soluciones expertas de los problemas presentados

En el *Instructor Solutions Manual* del libro: "*Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. Serway and Jewett. 9th Edition*" [43], las respuestas que ofrece el manual para los problemas del tipo: "*¿Por qué la siguiente situación es imposible?*" que fueron implementados en los alumnos son las siguientes:

Problema 1 (Rinoceronte): Nos preguntamos si la aceleración constante del rinoceronte desde el reposo durante un período de 10.0 s puede dar como resultado una velocidad final de 8.00 m/s y un desplazamiento de 50.0 m. Para verificar, resolvemos la aceleración de dos maneras.

(1)

$$t_i = 0, \quad v_i = 0, \quad t = 10s, \quad v_f = 8m/s \quad (9.1)$$

$$v_f = v_i + at \quad \rightarrow \quad a = \frac{v_f}{t} \quad (9.2)$$

$$a = \frac{8.00m/s}{10s} = 0.8m/s^2 \quad \rightarrow \quad a = 0.8m/s^2 \quad (9.3)$$

(2)

$$t_i = 0, \quad x_i = 0, \quad v_i = 0, \quad t = 10s, \quad x_f = 50m \quad (9.4)$$

$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2 \quad \rightarrow \quad x_f = \frac{1}{2}at^2 \quad (9.5)$$

$$a = \frac{2x_f}{t^2} = \frac{2(50m)}{(10s)^2} = 1m/s^2 \quad \rightarrow \quad a = 1m/s^2 \quad (9.6)$$

R. Las aceleraciones no coinciden, por lo tanto la situación es imposible.

Problema 2 (Libro): Encuentra la aceleración del carro, que es la misma que la aceleración del libro porque el libro no se desliza.

Para el carro:

$$v_i = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}, \quad v_f = 0, \quad \Delta x = (x_f - x_i) = 30 \text{ m} \quad (9.7)$$

Usando:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i) \quad (9.8)$$

encontramos la aceleración del coche:

$$a = -6.67 \text{ m/s}^2 \quad (9.9)$$

Ahora, encuentre la aceleración máxima que puede proporcionar la fricción. Debido a que el libro no se desliza, la fricción estática proporciona la fuerza que frena el libro. Tenemos el coeficiente de fricción estática, $\alpha_s = 0.550$ y sabemos que, $f_s \leq \alpha_s n$. El libro está sobre un asiento horizontal, por lo que la fricción actúa en dirección horizontal, y la fuerza normal vertical que el asiento ejerce sobre el libro es igual en magnitud a la fuerza de gravedad sobre el libro: $n = F_g = mg$. Para una aceleración máxima, la fuerza de fricción estática será máxima, por lo que $f_s = \alpha_s n = \alpha_s mg$. Aplicando la segunda ley de Newton, encontramos la aceleración que la fricción puede proporcionar al libro:

$$\sum F_x = ma_x : \quad (9.10)$$

$$-f_s = ma \quad (9.11)$$

$$-\alpha_s mg = ma \quad (9.12)$$

lo que nos da: $a = -\alpha_s g = (0.550)(9.80 \text{ m/s}^2) = -5.39 \text{ m/s}^2$, que es demasiado pequeño para las condiciones establecidas.

R. La situación es imposible porque la fricción estática máxima no puede proporcionar la aceleración necesaria para mantener el libro estacionario en el asiento.

Capítulo 10

Discusión de resultados

Respecto a los resultados obtenidos de manera individual de los alumnos de Enseñanza de la Física y Desarrollo de Habilidades del Pensamiento Crítico (DHPC), se hacen las siguientes observaciones:

Primer problema: Rinoceronte (Aceleración)

Similitudes

1. Coincidieron ambos grupos en las respuestas en todas las incógnitas de este problema, donde dichas preguntas fueron presentadas en el Capítulo 7.

Diferencias

1. Hubieron respuestas en blanco en *DHPC*; mientras que en *Enseñanza* todos los alumnos contestaron.
2. Al realizar los cálculos para demostrar la imposibilidad de la situación; hubo más variedad de maneras de demostrar este apartado. Es decir; en *Enseñanza* se obtuvo 3 tipos de soluciones, mientras que en *DHPC*, solamente 2.

Segundo problema: Libro (Fricción)

Similitudes

1. Coincidieron ambos grupos en las respuestas y en algunos cálculos a las incógnitas de este problema.
2. Hubieron respuestas en blanco tanto en *DHPC* como en *Enseñanza* a la hora de realizar los cálculos pensados para demostrar la imposibilidad de la situación. Aunque, también hubieron cálculos incompletos.

Diferencias

1. Hubieron 2 maneras de solución en *Enseñanza* mientras que en *DHPC* solo hubo 1.

Por otro lado, las observaciones de los resultados por equipos de los alumnos encuestados fueron las siguientes:

Primer problema: Rinoceronte (Aceleración)

1. En *Enseñanza* se llegaron a las mismas conclusiones a que cuando se trabajó de manera individual; es decir, tanto en las respuestas y cálculos personales.
2. Llegaron a ser más específicas y claras las respuestas de los alumnos de *DHPC* después de trabajar en equipo.
3. Los equipos de *DHPC* se enfocaron más en calcular la distancia recorrida con 2 maneras distintas; mientras que en *Enseñanza* de igual forma se hizo, pero los equipos agregaron otra solución pero empleando la velocidad final para demostrar la imposibilidad de la situación

Segundo problema: Libro (Fricción)

1. A pesar de que en los trabajos individuales de *Enseñanza* hubieron 2 maneras sobre qué cálculos realizar para demostrar la imposibilidad de la situación, al trabajar en equipos, todos ellos llegaron a optar por presentar una. Haciendo a un lado al comparar las aceleraciones propuestas.
2. En *DHPC* se llegaron a las mismas conclusiones que en *Enseñanza*.
3. No hubieron respuestas en blanco en ambos grupos de muestra.

En *DHPC* y en *Enseñanza*, tanto de manera individual como grupal, no emplearon el método de solución a como lo fue propuesto en el Instructor Manual del Serway para ambos problemas (Aceleración y Fricción)

A pesar de ello, usaron diferentes métodos para demostrar la imposibilidad de las situaciones (pensamiento crítico y creativo)

Notamos que trabajar en equipo fue una experiencia muy enriquecedora y desafiante. Ya que, se puede observar la variedad y claridad de las respuestas a que cuando se trabajó de manera individual. Además, de que hay más claridad y orden en las respuestas del grupo de *Enseñanza de la Física* que en *DHPC*.

Podemos notar la presencia del pensamiento creativo tanto de manera individual y grupal; ya que, ayudó a los estudiantes de física a desarrollar nuevas soluciones y enfoques para resolver problemas, lo que les permitió explorar diferentes perspectivas y posibilidades.

Capítulo 11

Conclusión

En la actualidad, los problemas de lápiz y papel son una actividad habitual en la clase de Física, cuyo valor formativo es ampliamente reconocido por los docentes de la especialidad; con esta actividad se promueve la adquisición del conocimiento y el aplicar los aspectos teóricos a situaciones prácticas específicas.

Estas actividades ayudan al estudiante a aprender a aprender, permitiendo aplicar sus conocimientos en la resolución de problemas de la vida diaria y a promover el desarrollo del pensamiento creativo. La resolución de problemas es una de las características más relevantes de la enseñanza de la Física, su importancia en el contexto de aula también se ha trasladado al ámbito de la investigación del aprendizaje, encontrándonos con una de las líneas tradicionales más prolíficas y presentes [45-46].

El pensamiento crítico es importante en problemas de física y matemáticas porque permite a las personas reconstruir su pensamiento para encontrar respuestas distintas gracias a su capacidad de reflexión y creación. Cambiar de sistema de referencia, deducir, inducir y buscar soluciones lógicas a una cuestión propuesta hace del estudio de la física y las matemáticas una práctica mental sana.

El cómo ayuda el pensamiento creativo a los alumnos después de trabajar en equipos es que les proporciona habilidades y mentalidades que pueden aplicar en diversas situaciones y contextos, promoviendo su desarrollo personal y profesional.

El trabajo en equipo fomenta la colaboración, la comunicación efectiva y la capacidad de escucha activa, lo cual son elementos fundamentales para el pensamiento creativo. Al trabajar con otros, los alumnos aprenden a valorar y aprovechar la diversidad de ideas, perspectivas y enfoques, lo que estimula su capacidad para generar soluciones novedosas y fuera de lo convencional.

El pensamiento creativo también implica la capacidad de encontrar conexiones inesperadas y de pensar más allá de los límites establecidos. Trabajar en equipos brinda a los alumnos la oportunidad de explorar diferentes enfoques y soluciones, y de aprender a romper con los paradigmas existentes. Esto fomenta su capacidad para pensar de manera divergente, generar ideas originales y desarrollar soluciones innovadoras.

En última instancia, el pensamiento creativo cultivado a través del trabajo en equipo les proporciona a los alumnos una ventaja competitiva en su vida académica y profesional. Les ayuda a enfrentar los desafíos de manera más creativa y a encontrar soluciones efectivas, lo que puede conducir a resultados exitosos en proyectos, presentaciones, resolución de problemas y toma de decisiones.

Notando así, una mayor variedad en las respuestas grupales que personales de los alumnos encuestados.

Se puede notar el diferente nivel de respuestas de los alumnos de *DHPC* (estudiantes de nuevo ingreso) en comparación de los alumnos de *Enseñanza de la Física* (estudiantes de últimos semestres de Física). Esto se debe a que cuando el alumno comienza una licenciatura en física, generalmente tiene un conocimiento básico de los conceptos fundamentales de la física. Sin embargo, a medida que avanza en el programa de licenciatura y completa sus estudios, adquiere un conocimiento mucho más profundo y especializado en diversas áreas de la física.

Bibliografía

1. Ennis, R. H. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. En J. B. Baron, & R. J. Sternberg (Eds.), *Teaching Thinking Skills*, 9-26. New York: Freeman and Company.
2. Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st Century Skills: Learning for Life in Our Times*. San Francisco, CA: John Wiley & Sons.
3. Chrobak, R. (2017). El aprendizaje significativo para fomentar el pensamiento crítico. *Archivos de Ciencias de la Educación*, 11(12), pág 2-3
4. Ennis & Halone (2011). Pensamiento crítico en el aula. Recuperado de: educacion.to.uclm.es/pdf/revistaDI/3_22_2012.pdf
5. McPeck, J. E. (1990). *Teaching Critical Thinking: Dialogue and Dialectic*. Front Cover. J. E. McPeck. Routledge, Chapman y Hall, Incorporated.
6. Kuhn, D., Weinstock, M. (2002). What is epistemological thinking and why does it matter? Department of Psychology, Teachers College, Columbia University, Box 119, NY 10027, USA
7. Bailin, S. (1996). Critical thinking. In J. J. Chambliss (Ed.), *Philosophy of education: An encyclopedia*, (vol. 1671, pp. 119–123). Routledge
8. Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction – The Delphi report*. Millbrae: California Academic Press.
9. Fisher, A. (2001). *Critical thinking: An introduction*. Cambridge: Cambridge University Press.
10. Lipman, M. (2003). *Thinking in education*, (2nd ed.,). Cambridge: Cambridge University Press.
11. Marzano, R. J., Brandt, R. S., Hughes, C. S., Jones, B. F., Presseisen, B. Z., Rankin, S. C., et al. (1988). *Dimensions of thinking, a framework for curriculum and instruction*. Alexandria: Association for Supervision and Curriculum Development
12. Bangert-Drowns, R. L. (1986) . A review of developments in metaanalytic method. *Psychological Bulletin*, 99, 388-399.
13. Facione, Peter A. (1990). *Executive summary of critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction*, Berkeley: The California Academic Press.
14. Halpern, D. F. *Thought and Knowledge: An Introduction to Critical Thinking*. (3rd ed.) Mahwah, N.J.: Erlbaum, 1996.

-
15. Burden, P.R., & Byrd, D.M. (1994). *Methods for effective teaching*. Boston, MA: Allyn and Bacon, Inc
 16. Siegel, H. (1988), *Educating Reason. Rationality, critical thinking and education*. Londres: Routledge.
 17. Panadero, E., & Alonso-Tapia, J. (2014). ¿Cómo autorregulan nuestros alumnos? Modelo de Zimmerman sobre estrategias de aprendizaje. *Anales de Psicología / Annals of Psychology*, 30(2), 450–462. <https://doi.org/10.6018/analesps.30.2.167221>
 18. Burden, P. R., & Byrd, D. M. (1994). *Methods for effective teaching*. Allyn & Bacon.
 19. Paul, R. W. (1995). *Critical thinking: How to prepare students for a rapidly changing world*. Santa Rosa, CA: Foundation for Critical Thinking.
 20. Sánchez, M. Z. (2012). Los estudiantes universitarios del siglo XXI en México: de la pasividad a la autonomía y al pensamiento crítico. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 13(2), pág 424-440.
 21. Castellano, M. H. (2007). *El pensamiento crítico en la escuela*. Buenos Aires, Argentina: Prometeo libros.
 22. Bao, L. and Koenig, K. (2019) *Physics Education Research for 21st Century Learning. Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1, Article No. 2. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>
 23. Dessie, E., Gebeyehu, D., & Eshetu, F. (2023). Enhancing critical thinking, metacognition, and conceptual understanding in introductory physics: The impact of direct and experiential instructional models. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(7), em2287.
 24. Rodrigues, A., & Oliveira, M. (2008). The role of critical thinking in physics learning. *Thinking through Physics education*.
 25. Bordas, I., & Cabrera, F. A. (2001). Estrategias de evaluación de los aprendizajes centrados en el proceso, *Revista Española de Pedagogía*, 32(3), 25-48.
 26. Pompa, A., Mohar, F., Lam, F., Pérez, G., López, E., Falcón, M., Trujillo, A., Álvarez, A., Peraza, M., De la Cruz, T., & Pérez, H. (1999). Contribución al desarrollo del componente investigativo en los estudiantes del primer año de la carrera de Medicina Veterinaria. *Revista Pedagogía Universitaria*, 4(3), 36-42.
 27. Fatmawati, A., Zubaidah, S., & Mahanal, S. (2019, December). Critical thinking, creative thinking, and learning achievement: How they are related. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1417, No. 1, p. 012070). IOP Publishing.
 28. Chica, F (2010). Factores de la enseñanza que favorecen el aprendizaje autónomo en torno a las actividades de aprendizaje. *Reflexiones Teológicas*, 6 (1),167-195.
 29. OECD, *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science* <www.sourceoecd.org/education/9789264029125>, consultado 30/03/2009.
 30. Behar-Horenstein, L. S. and Niu, L., *Teaching Critical Thinking Skills In higher Education: A Review Of The Literature*, *Journal of College Teaching % Learning* 8, 25-41 (2007).
 31. Laiton Poveda, I., ¿Es posible desarrollar el pensamiento crítico a través de la resolución de problemas en física mecánica?, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8, 54-70 (2011).
-

-
32. Gómez, A. L. B., y Cortés, G. C. (2014). Enseñanza de la Física y desarrollo del Pensamiento Crítico. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(1).
 33. Arons, A. B., *Teaching Introductory Physics* (John Wiley & Sons, Inc., USA, 1997)
 34. Evans, C. (2020). *Measuring Student Success Skills: A Review of the Literature on Critical Thinking*. 21st Century Success Skills. National Center for the Improvement of Educational Assessment.
 35. The California Academic Press. (n.d.). *Educate INSIGHT: K-12 School Assessments*. Retrieved from <https://www.insightassessment.com/Products/Products-Summary/EDUCATE-INSIGHTK12-School-Assessments>
 36. Ku, K. Y. L. (2009). Assessing students' critical thinking performance: Urging for measurements using multiresponse format. *Thinking Skills and Creativity*, 4(1), 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2009.02.00>
 37. American Association of Colleges and Universities. (2009). *Critical thinking VALUE rubric*. Retrieved from <https://www.aacu.org/value/rubrics/critical-thinking>
 38. Wal, A. V. D. (1999, julio). *Critical thinking as a core skill: Issues and discussion*. Ponencia presentada en la HERDSA Annual International Conference, Melbourne (Australia).
 39. Andreu-Andrés, M. Á., & García-Casas, M. (2014). Evaluación del pensamiento crítico en el trabajo en grupo. *Revista de investigación educativa*, 32(1), 203-222.
 40. Raymond A. Serway & John W. Jewett, *FÍSICA para ciencias e ingeniería con la física moderna*, Vol. I, Séptima edición, Ed THOMSON.
 41. Resnick, Halliday & Krane, (2010). *Fundamentos de Física*, 8a Edición, Vol I, México. Editorial Patria.
 42. Serway and Jewett, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, 9th Edition, Creative Commons, ISBN10: 1-133-94727-1, 2014
 43. Serway & Jewett, *PHYSICS for Scientists and Engineers with Moderns physics: Instructor Solutions Manual*, 9th Edition, Creative Commons, ISBN10: 1-133-94727-1, 2014
 44. Sánchez, I. R. (2012). Evaluación de una Renovación Metodológica para un Aprendizaje Significativo de la Física. *Formación universitaria*, 5(5), 51-65.
 45. Pozo, J. I., M. Pérez, J., Domínguez, M. A. Gómez, y Y. Postigo,. *Solución de problemas: Santillana/ Aula XXI*. Madrid. España. (1994).
 46. Garret, R. M. Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículum de ciencias. *Enseñanza de las ciencias* 6(3), 224-230 (1988).

Apéndice 1

CRITERIOS	D (2) Limitada o ninguna competencia	C (3) Alguna competencia	B (4) Competencia	A (5) Gran competencia
NÚMERO DE ARGUMENTOS	Cuando ofrece argumentos no son válidos.	A menudo da opiniones sin dar argumentos válidos.	A menudo trata de dar algún argumento al ofrecer opiniones o juicios.	Siempre da argumentos válidos junto a opiniones y juicios.
CALIDAD DE LOS ARGUMENTOS	No le preocupa la calidad de los argumentos que pueda llegar a ofrecer.	Rara vez se cuestiona la calidad de sus argumentos.	Sabe identificar los argumentos válidos aunque a veces se olvide de aportarlos.	Se cuestiona la fortaleza de los argumentos a la hora de ofrecerlos y de escucharlos.
HACERSE ENTENDER	No sabe comunicarse. Es tímido.	Se esfuerza por comunicarse. Hace lo que puede con su timidez. Comparte ideas con los demás.	Consigue por lo general comunicarse adecuadamente y con cierta convicción.	Sabe comunicarse de manera eficaz, con entusiasmo y convicción.
ESCUCHAR A LOS DEMÁS	No suele escuchar a los demás.	Escucha a aquellos que le interesan únicamente.	A veces le resulta difícil escuchar a los demás pero se esfuerza por hacerlo generalmente.	Escucha a los demás y está dispuesto a cambiar sus opiniones al estudiar sus argumentos.

Figura 11.1: Rúbrica (traducida al español) para evaluar el pensamiento crítico de los compañeros de grupo y el propio durante el proceso

Apéndice 2

Problemas de imposibilidad: La investigación en educación de la física se ha centrado en gran medida en las habilidades de resolución de problemas de los estudiantes.

Aunque la mayoría de los problemas en este texto (Serway and Jewett, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, 10th Edition, Creative Commons, 2019) están estructurados en la forma de proporcionar datos y pedir un resultado de cálculo, dos problemas en cada capítulo, en promedio, están estructurados como problemas de imposibilidad.

Comienzan con la frase: *¿Por qué es imposible la siguiente situación?* A esto le sigue la descripción de una situación.

El aspecto llamativo de estos problemas es que no se les hace ninguna pregunta a los estudiantes, aparte de la que está en cursiva inicial. El estudiante debe determinar qué preguntas se deben hacer y qué cálculos se deben realizar. Con base en los resultados de estos cálculos, el estudiante debe determinar el por qué la situación descrita no es posible. Esta determinación puede requerir información de la experiencia personal, el sentido común, Internet o investigación impresa, medición, habilidades matemáticas, conocimiento de las normas humanas o pensamiento científico.

Estos problemas se pueden asignar para **desarrollar habilidades de pensamiento crítico en los estudiantes**.

También son divertidos, tienen el aspecto de *misterios* de la física para ser resueltos por los estudiantes individualmente o en grupos. Un ejemplo de un problema de imposibilidad aparece aquí (Ver Figura 11.2):

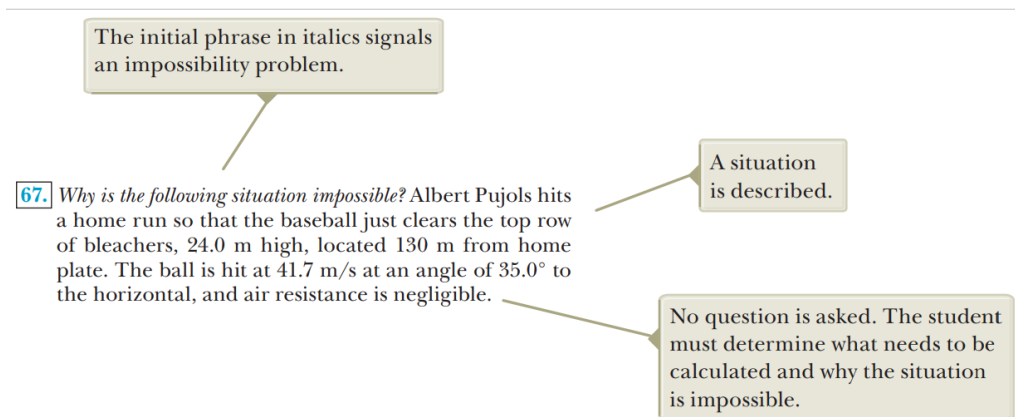


Figura 11.2: Ejemplo de un problema de imposibilidad

A continuación se presentan ejemplos de algunos problemas del tipo "*¿Por qué es imposible la siguiente situación?*" del Serway:

1. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? El dormitorio de un estudiante mide 3.8 m por 3.6 m y su techo tiene 2.5 m de altura. Después de que el estudiante completa su curso de física, muestra su dedicación empapelando completamente las paredes de la habitación con las páginas de su copia del volumen 1 (Capítulos 1–22) de este libro de texto. Incluso cubre la puerta y la ventana [Cap 1, pág 16].
2. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? En un esfuerzo por aumentar el interés en un programa de juegos de televisión, a cada ganador semanal se le ofrece un premio de bonificación adicional de 1 millón de dólares si él o ella puede contar personalmente esa cantidad exacta de un suministro de billetes de un dólar. El ganador debe realizar esta tarea bajo la supervisión de los ejecutivos del programa de televisión y dentro de una semana laboral de 40 horas. Para consternación de los productores del programa, la mayoría de los concursantes tienen éxito en el desafío [Cap 1, pág 19].
3. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Partiendo del reposo, un rinoceronte que carga se mueve 50.0 m en línea recta en 10.0 s. Su aceleración es constante durante todo el movimiento y su rapidez final es de 8.00 m/s [Cap 2, pág 53].
4. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Un tren de carga avanza pesadamente a una velocidad constante de 16.0 m/s. Detrás del tren de carga en la misma vía hay un tren de pasajeros que viaja en la misma dirección a 40.0 m/s. Cuando la parte delantera del tren de pasajeros está a 58.5 m de la parte trasera del tren de carga, el maquinista del tren de pasajeros reconoce el peligro y aplica los frenos de su tren, lo que hace que el tren se mueva con una aceleración de 23.00 m/s^2 . Por la acción del maquinista, los trenes no chocan [Cap 2, pág 56].
5. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Un patinador se desliza por una trayectoria circular. Ella define un cierto punto en el círculo como su origen. Más tarde, pasa por un punto en el que la distancia que ha recorrido a lo largo de la trayectoria desde el origen es menor que la magnitud de su vector de desplazamiento desde el origen [Cap 3, pág 72].
6. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Un comprador que empuja un carrito a través de un mercado sigue las instrucciones hacia los productos enlatados y se mueve con un desplazamiento de $8.00\hat{i}$ m por un pasillo. Luego hace un giro de 90.0° y se mueve 3.00 m a lo largo del eje y . Luego hace otro giro de 90.0° y se mueve 4.00 m a lo largo del eje x . Todo comprador que sigue correctamente estas indicaciones llega a 5.00 m del punto de partida [Cap 3, pág 75].
7. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Albert Pujols pega un jonrón para que la pelota de béisbol pase por encima de la fila superior de las gradas, de 24.0 m de altura, ubicadas a 130 m del plato de home. La pelota es golpeada a 41.7 m/s en un ángulo de 35.0° con la horizontal y la resistencia del aire es despreciable [Cap 4, pág 107].
8. Tu libro de física de 3.80 kg está colocado junto a ti en el asiento horizontal de tu automóvil. El coeficiente de fricción estática entre el libro y el asiento es 0.650 y el coeficiente de fricción cinética es 0.550. Usted viaja hacia adelante a 72.0 km/h y frena hasta detenerse con aceleración constante en una distancia de 30.0 m. Su libro de física permanece en el asiento en lugar de deslizarse hacia el suelo [Cap 5, pág 144].
9. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Un libro se encuentra en un plano inclinado sobre la superficie de la Tierra. El ángulo del plano con la horizontal es de 60.0° . El coeficiente de

fricción cinética entre el libro y el plano es 0.300. En el tiempo $t = 0$, el libro se suelta desde el reposo. Luego, el libro se desliza una distancia de 1.00 m, medida a lo largo del plano, en un intervalo de tiempo de 0.483 s [Cap 5, pág 145-146].

10. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Una tostadora de 1.30 kg no está enchufada. El coeficiente de fricción estática entre la tostadora y una encimera horizontal es de 0.350. Para hacer que la tostadora comience a moverse, tiras descuidadamente de su cable eléctrico. Desafortunadamente, el cable se ha deshilachado debido a sus acciones similares anteriores y se romperá si la tensión en el cable supera los 4.00 N. Al tirar del cable en un ángulo particular, puede poner en marcha la tostadora con éxito sin romper el cable [Cap 5, 149].

Apéndice 3

Cuestionario aplicado

SITUACIONES IMPOSIBLES

Nombre(s): _____

Fecha: _____

En esta actividad debes demostrar la imposibilidad de dos situaciones.

1. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Partiendo del reposo, un rinoceronte se mueve 50.0 m en línea recta en 10.0 s. Su aceleración es constante durante todo el movimiento y su rapidez final es de 8.00 m/s.
 1. ¿Qué piensas calcular para demostrar la imposibilidad de esta situación?
 2. ¿Por qué crees que esos cálculos demostrarán la imposibilidad de la situación?
 3. Realiza los cálculos pensados
 4. ¿Por qué los cálculos realizados demuestran la imposibilidad de la situación?
 5. ¿Qué dato numérico del problema se debe cambiar para que la situación se vuelva posible?
2. ¿Por qué es imposible la siguiente situación? Tu libro de física de 3.80 kg está colocado junto a ti en el asiento horizontal de tu automóvil. El coeficiente de fricción estática entre el libro y el asiento es 0.650 y el coeficiente de fricción cinética es 0.550. Usted viaja hacia adelante a 72.0 km/h y frena hasta detenerse con aceleración constante en una distancia de 30.0 m. Su libro de física permanece en el asiento en lugar de deslizarse hacia el suelo.
 1. ¿Qué piensas calcular para demostrar la imposibilidad de esta situación?
 2. ¿Por qué crees que esos cálculos demostrarán la imposibilidad de la situación?
 3. Realiza los cálculos pensados
 4. ¿Por qué los cálculos realizados demuestran la imposibilidad de la situación?
 5. ¿Qué dato numérico del problema se debe cambiar para que la situación se vuelva posible?

Apéndice 4

Ejemplos ilustrativos de algunas soluciones obtenidas de manera individual de los alumnos encuestados

Realiza los cálculos pensados

$v_0 = 0$
 $v_f = 8 \text{ m/s}$
 $a = ?$
 $d = 50 \text{ m}$
 $t = 10 \text{ s}$

$v = v_0 + at$
 $\frac{v_f}{t} = a$
 $\frac{8}{10} = a = .8 \text{ m/s}^2$

$x - x_0 = vt - \frac{1}{2}at^2$
 $= 8(10) - \frac{1}{2}(.8)(10)^2$
 $= 80 - \frac{1}{2}(.8)(100)$
 $= 80 - \frac{80}{2}$
 $= 80 - 40 = 40 \text{ m}$

¿Por qué los cálculos realizados demuestran la imposibilidad de la situación?

Figura 11.3: DHPC: Primer problema

Realiza los cálculos pensados

$a = \frac{8 \text{ m/s} - 0}{10 \text{ s}} = .8 \text{ m/s}^2$

$x = 0 + 8(10) + \frac{(.8)(10)^2}{2} = 40 \text{ m} \nabla$

Este nos es el valor que nos dan en el desplazamiento

¿Por qué los cálculos realizados demuestran la imposibilidad de la situación?
 con ellos llegamos a una contradicción en el problema

Figura 11.4: DHPC: Primer problema

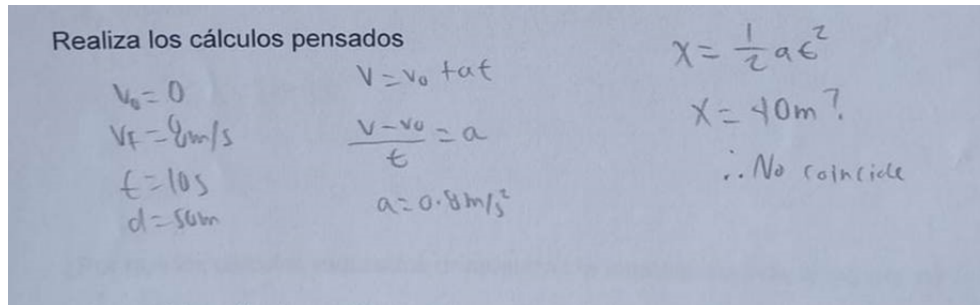


Figura 11.5: DHPC: Primer problema

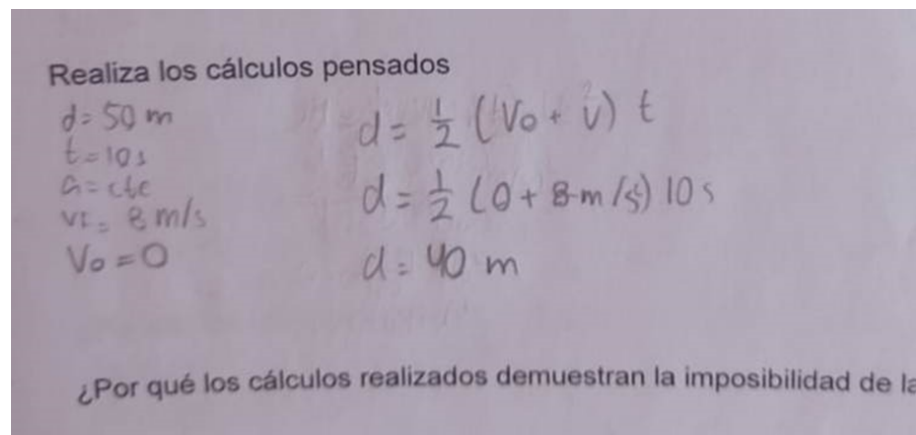


Figura 11.6: DHPC: Primer problema

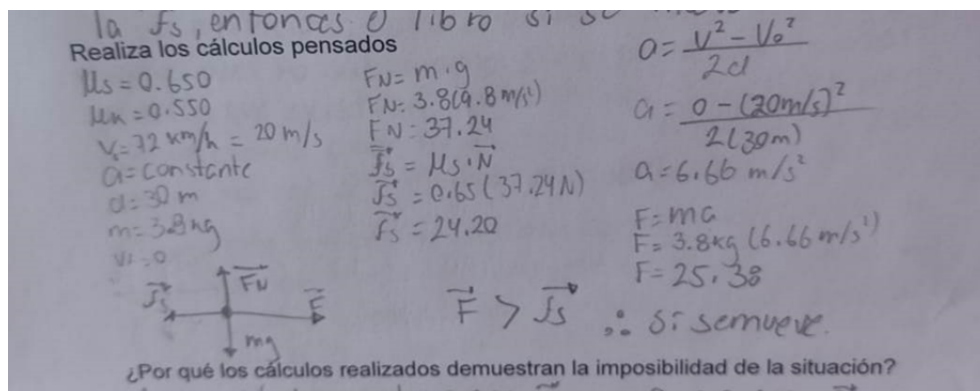


Figura 11.7: DHPC: Segundo problema

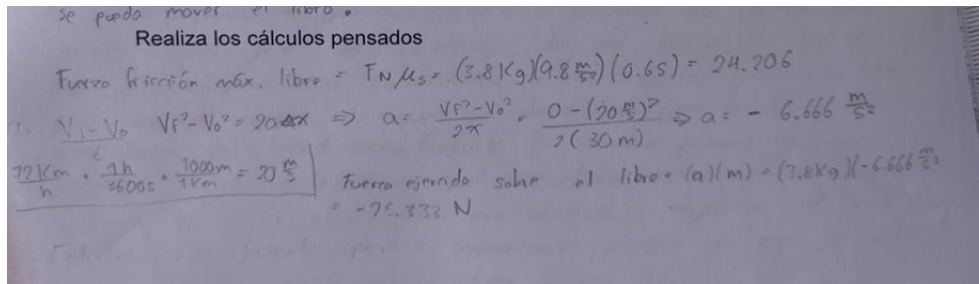


Figura 11.8: DHPC: Segundo problema

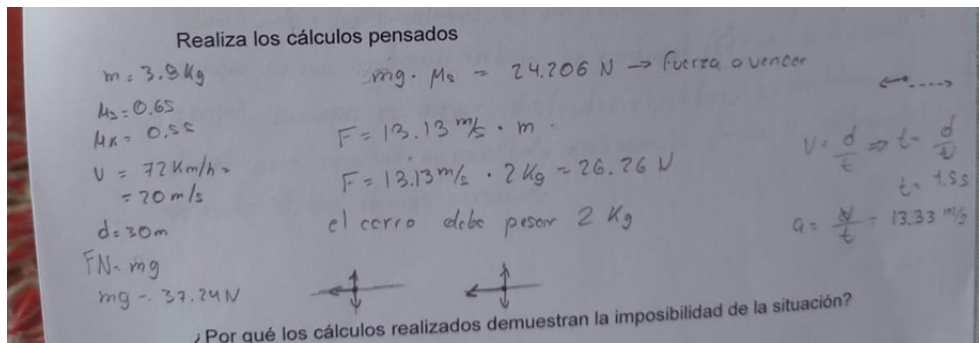


Figura 11.9: DHPC: Segundo problema

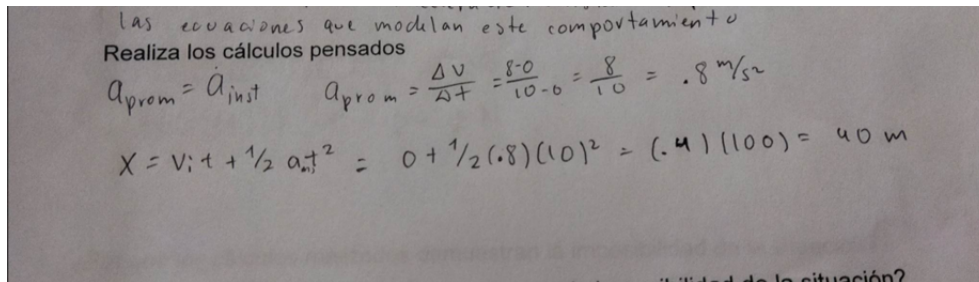


Figura 11.10: Enseñanza: Primer problema

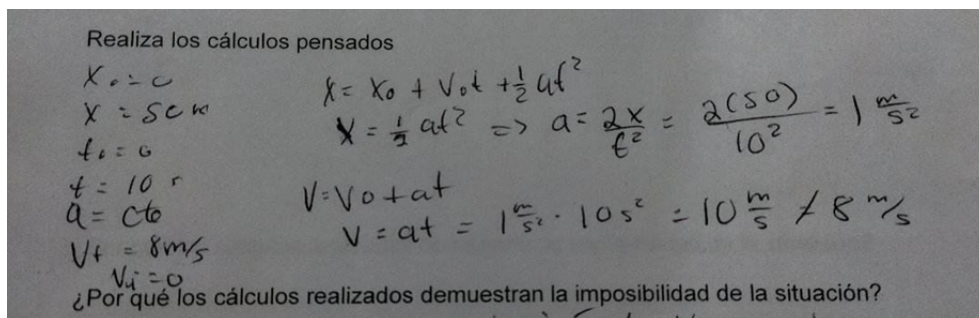


Figura 11.11: Enseñanza: Primer problema

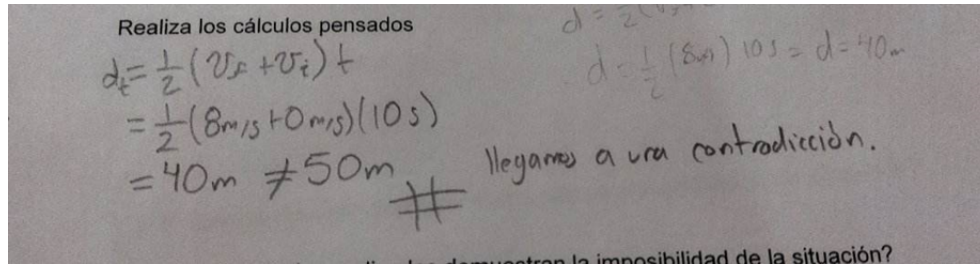


Figura 11.12: Enseñanza: Primer problema

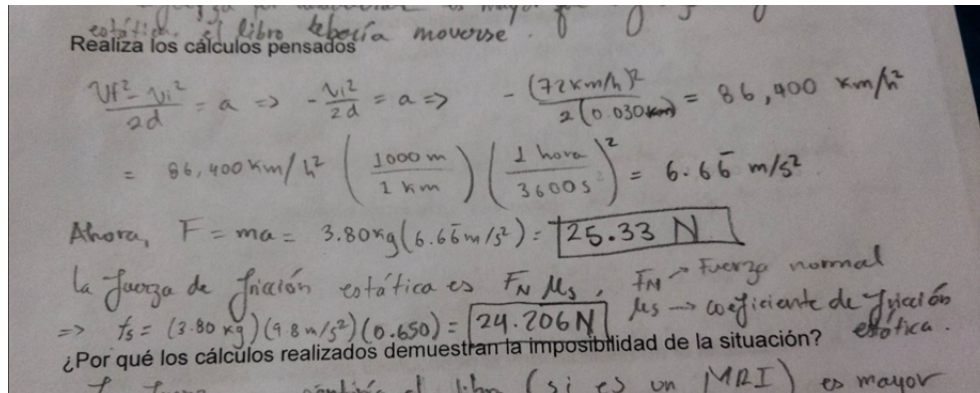


Figura 11.13: Enseñanza: Segundo problema

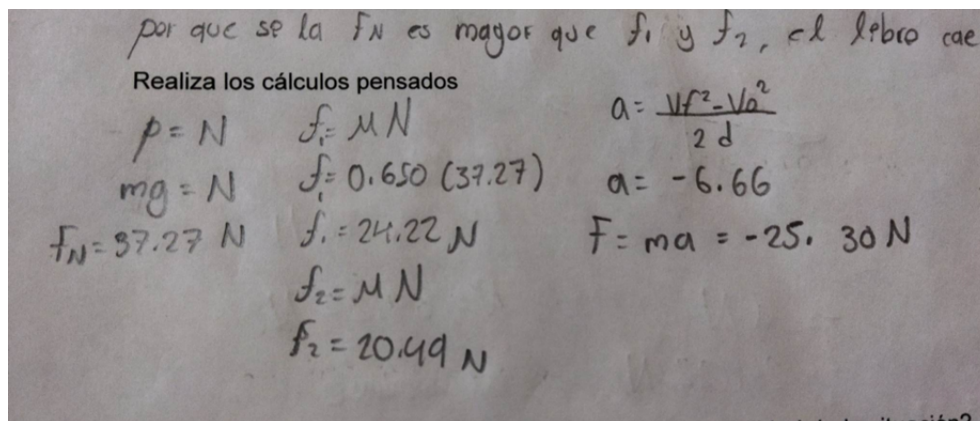


Figura 11.14: Enseñanza: Segundo problema

¿Crees que esos cálculos demostrarán la imposibilidad de la situación?
 Con la aceleración obtenida calcular la distancia de frenado.
 y comparar con la velocidad.
 Realiza los cálculos pensados

$$a = \frac{F_s}{m} = \mu_s W = \frac{0.650 \times 3.8 \text{ kg} \times (9.81 \text{ m/s}^2)}{3.8 \text{ kg}} = 6.37 \text{ m/s}^2$$

$$v_0 = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s} \quad v(t) = 20 \text{ m/s} - 6.37 \text{ m/s}^2 t = 0 \Rightarrow t = 3.14 \text{ s}$$

$$x(3.14) = 20t - \frac{6.37t^2}{2} = 31.40 \text{ m}$$

Figura 11.15: Enseñanza: Segundo problema

Apéndice 5

Ejemplos ilustrativos de algunas soluciones obtenidas de manera grupal de los alumnos encuestados

Desarrollo de Habilidades del Pensamiento Complejo

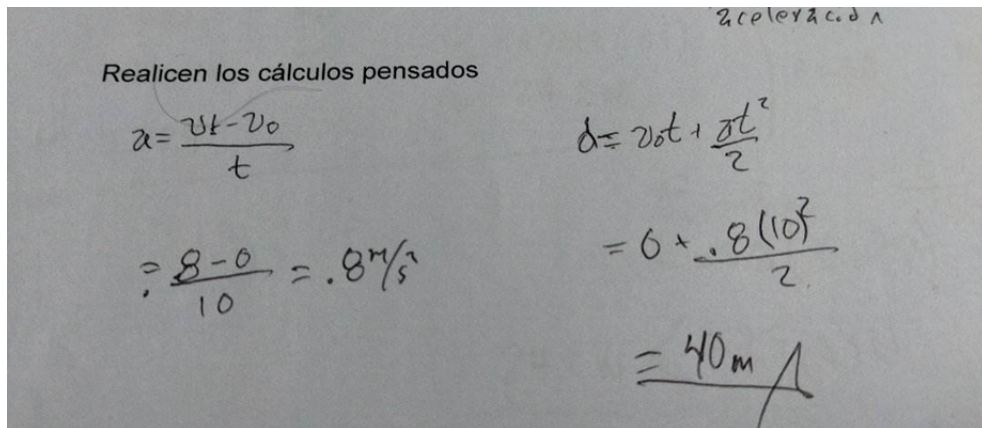


Figura 11.16: DHPC: Primer problema

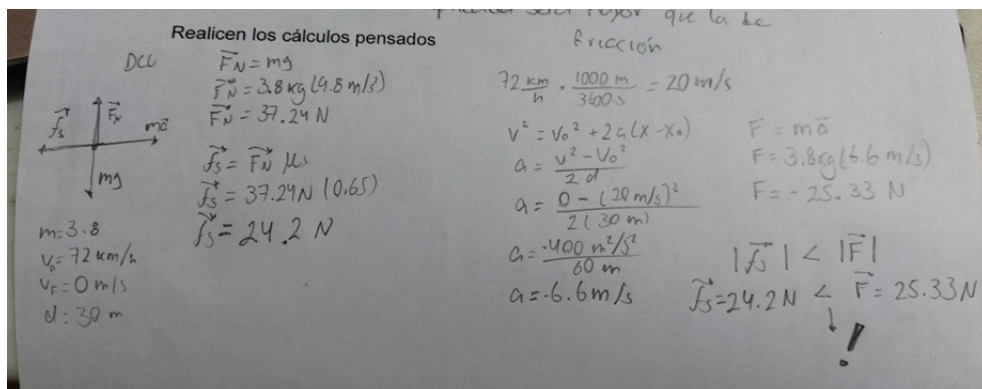


Figura 11.17: DHPC: Segundo problema

Enseñanza de la Física

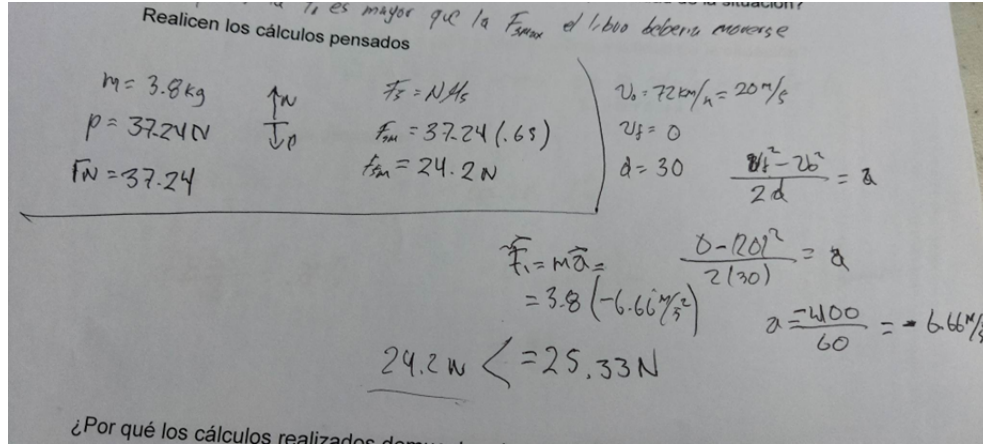


Figura 11.18: DHPC: Segundo problema

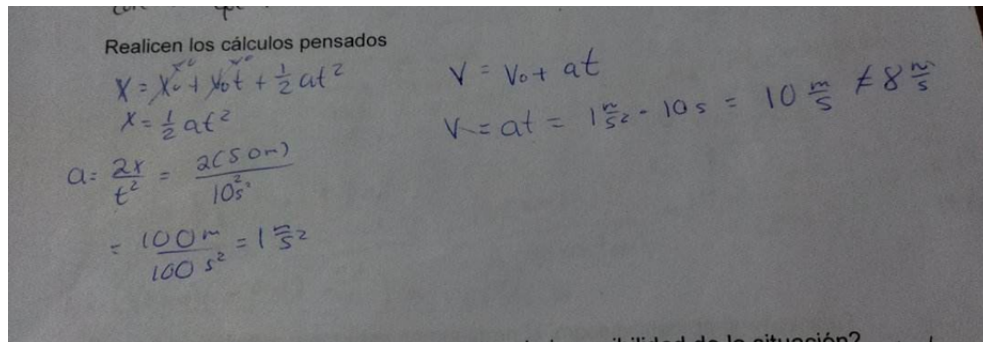


Figura 11.19: Enseñanza: Primer problema

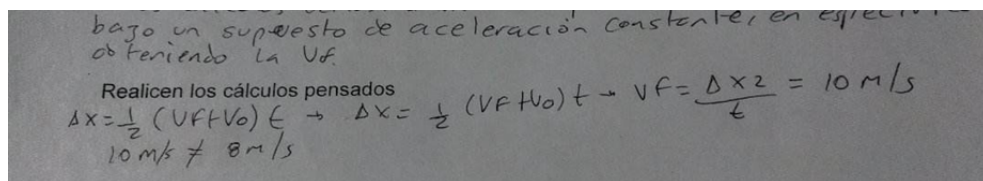


Figura 11.20: Enseñanza: Primer problema

Realicen los cálculos pensados

$$a = \frac{0^2 - 20^2}{2(30)}$$

$$a = -6.66 \text{ m/s}^2$$

$$F = 3.8(-6.66 \text{ m/s}^2)$$

$$F = -25.33 \text{ N}$$

$$f = \mu N, N = mg = 37.27 \text{ N}$$

$$f_1 = 20.49 \text{ N}$$

$$f_2 = 24.22 \text{ N}$$

$$|F| > |f_1| \text{ y } |f_2|$$

Figura 11.21: Enseñanza: Segundo problema

... ¿creen que esos cálculos demostrarán la imposibilidad de la situación?
 Si la fuerza aplicada es menor a la fuerza de fricción estática, el libro no se mueve.
 Realicen los cálculos pensados

$$\frac{v_f^2 - v_0^2}{2x} = a \rightarrow a = \frac{-400 \text{ m}^2/\text{s}^2}{60 \text{ m}} = -6 \frac{2}{3} \text{ m/s}^2$$

$$72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$F = ma = 3.8 \text{ Kg} \cdot (-6 \frac{2}{3} \text{ m/s}^2) = 25 \frac{1}{3} \text{ N}$$

$$F_{fr} = \mu_e \cdot m \cdot g = 0.65 \cdot 3.8 \text{ Kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 = 24.206 \text{ N}$$

$$F_{ap} > F_{fr} \rightarrow \text{el objeto se mueve!}$$

Figura 11.22: Enseñanza: Segundo problema