Nuevas Perspectivas
Revista de Educación en Ciencias Naturales y Tecnología
ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Heurísticas en la resolución de problemas cualitativos de estática: estudio de caso en formación docente

Heuristics in the Resolution of Qualitative Statics Problems: A Case Study in Teacher Ed

Claudia Mariela Zang[1], Silvia Marta Salomón[2], Gabriela Marilyn Gaona[3] y María Florencia Kramer[4]

Zang, C. et al. (2026). *Heurísticas en la resolución de problemas cualitativos de estática: estudio de caso en formación docente*. Revista Nuevas Perspectivas, 5 (10), 1-18

Fecha de recepción: 05/08/2025
Fecha de aceptación: 24/06/2026

Resumen: se presenta un estudio de caso centrado en el uso de heurísticas en la resolución de un problema cualitativo de estática, llevado a cabo con estudiantes de una asignatura de Física I en un profesorado universitario de Física. La actividad tuvo como propósito explorar los procesos de razonamiento, las dificultades y las estrategias que despliegan los estudiantes al enfrentarse a un problema realista y no numérico, vinculado a las condiciones de equilibrio de una escalera apoyada contra una pared. A diferencia de los problemas tradicionales de lápiz y papel habitualmente empleados en la enseñanza de la física, la propuesta requería explicaciones razonadas y esquemas, promoviendo la comprensión conceptual. Los datos se recolectaron a partir de las producciones escritas de los estudiantes y se analizaron para identificar las heurísticas utilizadas y su correspondencia con las distintas fases del modelo de resolución de problemas. Los resultados muestran que, aun sin una enseñanza explícita sobre heurísticas, los estudiantes apelan a estrategias como: recurrir a teoría relacionada, realizar diagramas, subdividir el problema en subproblemas, reinterpretar el problema en otro lenguaje, introducir elementos auxiliares, entre otras. Sin embargo, no vuelven sobre sus producciones para evaluar el trabajo que han efectuado ni la solución que han

[1] Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Contacto: claudiamzang@gmail.com
[2] Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Contacto: silvia.salomón@fceqyn.unam.edu.ar
[3] Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Contacto: gaonagabrielamarilyn@gmail.com
[4] Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. Contacto: salascandelajael@gmail.com

hallado, lo cual evidencia dificultades en el uso de estrategias metacognitivas. Se considera importante incluir propuestas cualitativas que fomenten el uso de estrategias heurísticas en la formación docente en física, para favorecer una mejor comprensión conceptual y preparar a los futuros docentes para los desafíos de la enseñanza.

Palabras clave: resolución de problemas, estática, Modelo de Pólya, heurísticas

Abstract: This paper presents a case study focused on the use of heuristics in solving a qualitative statics problem, carried out with students from a first-year Physics I course in a university-level Physics teacher education program. The activity aimed to explore students' reasoning processes, difficulties, and strategies when faced with a realistic, non-numerical problem related to the equilibrium conditions of a ladder leaning against a wall. Unlike traditional pencil-and-paper problems commonly used in physics education, this task required reasoned explanations and diagrams, promoting conceptual understanding. Data were collected from students' written productions and analyzed to identify the heuristics employed and their correspondence with the different phases of the problem-solving model. The results show that, even without explicit instruction on heuristics, students resorted to strategies such as recalling related theory, drawing diagrams, breaking the problem into subproblems, reinterpreting the problem in another form, and introducing auxiliary elements, among others. However, they did not revisit their work to assess the reasoning or verify their solutions, revealing difficulties in applying metacognitive strategies. The study highlights the importance of incorporating qualitative tasks that encourage the use of heuristic strategies in physics teacher education, in order to foster deeper conceptual understanding and better prepare future educators for the challenges of teaching.

Keywords: problem solving, statics, Pólya's model, Heuristics

Introducción

La enseñanza de la Física en general, y de estática en particular, presenta el reto de lograr que los estudiantes construyan un conocimiento significativo que les permita interpretar y analizar situaciones del mundo real. La experiencia docente ha permitido constatar que, a pesar de la frecuente inclusión de problemas de lápiz y papel en la enseñanza universitaria, muchos estudiantes presentan dificultades al enfrentarse a este tipo de actividades, especialmente cuando se espera de ellos que utilicen argumentos y no la mera reproducción de teoría desarrollada previamente. En particular, las situaciones cualitativas, como la abordada en este trabajo que involucra una escalera que podría deslizarse, exigen explicar por qué un sistema se encuentra en equilibrio o por qué deja de estarlo, permiten a los estudiantes recurrir a sus conocimientos previos e identificar fuerzas y relaciones entre ellas.

Se presentan reflexiones en torno al diseño, implementación y análisis de una actividad áulica centrada en un problema de estática que involucra una escalera con dos puntos de apoyo, uno sobre una superficie horizontal rugosa y otro, sobre una pared vertical lisa. El objetivo fue analizar las estrategias utilizadas por los estudiantes al enfrentarse a una consigna formulada en términos

cualitativos, sin datos numéricos, que requería construir una explicación del fenómeno. La propuesta se diseñó teniendo en cuenta el modelo de resolución de problemas de Pólya (1945), que contempla las fases de comprensión, planificación, ejecución y revisión. El análisis de las estrategias utilizadas por los estudiantes en cada fase se realizó mediante una adaptación de la tabla de descriptores generales y heurísticas propuesta por Rodríguez *et al.* (2019).

El objetivo principal de este trabajo es describir las producciones escritas de los estudiantes a partir de la resolución individual de un problema, identificando tanto las fases del modelo de Pólya como las heurísticas desplegadas en el proceso, con el propósito de reflexionar sobre como diseñar y gestionar las consignas de manera que se favorezca un aprendizaje significativo de la física.

Marco teórico y antecedentes

La resolución de problemas es una de las líneas de investigación clásica en Educación Matemática y en Didáctica de las Ciencias. El concepto de "problema" ha sido abordado desde diversas perspectivas. En términos generales, se entiende por problema a toda situación que representa un desafío cuya solución no es inmediata ni evidente (Gil y Torregrosa, 1983; Villegas y Benegas, 2004). No obstante, como advierte Rodríguez (2015), esta definición no es absoluta: una situación puede constituir un verdadero problema para un estudiante, mientras que, para otro, con mayor experiencia o conocimientos previos más sólidos, puede no representar ninguna dificultad. En consonancia con Marino y Rodríguez (2008, p. 216), puede afirmarse que:

> Una situación en la que aparece una pregunta, implícita o explícita, será percibida por un sujeto como un problema en la medida en que, si bien el sujeto cuenta con los elementos cognitivos necesarios para comprenderla y abordarla, éstos no son suficientes para responder a dicha pregunta de manera inmediata.

En la enseñanza de las ciencias, y especialmente en la de la Física, es frecuente recurrir a actividades escritas que requieren la aplicación de conceptos teóricos mediante cálculos matemáticos. Estas actividades, conocidas como problemas de lápiz y papel (Gil Pérez, 1988), constituyen una práctica habitual tanto en la enseñanza como en la evaluación académica. La resolución de este tipo de problemas ocupa un lugar central en los planes de estudio de diversas carreras universitarias, particularmente en Matemáticas, Física e Ingeniería (Gangoso *et al*, 2013). Sin embargo, a pesar de su notable y constante presencia en las propuestas de enseñanza y en la evaluación, numerosos estudios han señalado que los problemas de lápiz y papel representan una tarea compleja para muchos estudiantes universitarios. En efecto, enfrentarse a este tipo de situaciones requiere tanto la comprensión conceptual como destreza matemática y razonamiento lógico que, a veces, no es suficientemente desarrollada durante su formación previa. Este panorama ha motivado un importante número de investigaciones centradas en el análisis de la resolución de problemas, con el objetivo de comprender las dificultades que enfrentan los estudiantes, así como de identificar estrategias pedagógicas que puedan mejorar su desempeño y promover aprendizajes más significativos. En relación a esto, Perales Palacios (1994), brinda una clasificación de los problemas atendiendo a diferentes criterios. Para este investigador, los problemas pueden clasificarse, según:

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

1) El campo de conocimiento implicado: *Física, Química, Matemática*, etc.
2) La solución:
   *cerrado*s, aquellos en los que es posible hallar la solución
   abiertos, las situaciones que carecen de una solución definida y admiten una variedad de resultados provechosos.
3) La tarea requerida:
   cuantitativos, demandan determinaciones numéricas;
   cualitativos, requieren de razonamientos lógicos deductivos que llevan a una explicación científica de la cuestión;
   experimentales, requieren para su resolución realizar actividades específicas de experimentación con procedimientos que son válidos dentro de una disciplina y creativos.
   creativos, serían aquellas situaciones enigmáticas que no son solucionables ni resolubles, sino simplemente comprensibles.
4) El procedimiento seguido.
   Ejercicios, son problemas de aplicación directa, se utilizan, entre otras cuestiones, para la comprobación de leyes, cálculos matemáticos, unidades, etc.
   Algorítmicos, son aquellos problemas en los que se proporciona un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas para realizar una operación mediante pasos sucesivos
   Heurísticos, aluden a problemas que enfrentan los individuos en su vida cotidiana y para cuya solución se necesita recurrir a estrategias de resolución basadas en técnicas de indagación y descubrimiento sustentadas, principalmente, en experiencias previas con problemas similares.

A pesar de no ser actuales, resultan pertinentes los aportes de George Pólya. En su obra *How to Solve It* (1945), ampliamente citada en la literatura, Pólya propone un modelo sistemático del proceso de resolución de problemas, compuesto por cuatro fases: comprensión del problema, planificación, ejecución y revisión de la solución. Posteriormente, autores como Schoenfeld, Kilpatrick, Lester y Guzmán, lo han retomado y ampliado. Las fases pueden ser descritas como sigue:

1. Comprensión del problema. En esta etapa, el estudiante debe identificar cuál es la pregunta a responder y qué incógnita se busca determinar; reconocer los datos disponibles; clarificar el significado de los términos utilizados y el contexto del problema. Cuando sea posible, se recomienda representar la situación mediante esquemas, gráficos o diagramas, y reformular el enunciado en palabras propias, lo que facilita su apropiación.

2. Planificación de una estrategia de resolución. Implica identificar caminos posibles hacia la solución, recordar problemas similares resueltos anteriormente, reconocer los principios teóricos o leyes físicas aplicables, y/o descomponer el problema en partes más manejables.

3. Ejecución del plan. Consiste en poner en práctica la estrategia previamente diseñada. Incluye realizar cálculos, aplicar fórmulas, utilizar modelos o procedimientos con orden y precisión, y verificar cada paso durante el proceso.

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

4. Revisión de la solución (mirar hacia atrás). Implica reflexionar sobre la solución obtenida. Aquí se evalúa si el resultado tiene sentido en términos físicos, si se han seguido los pasos de manera correcta, y si existen métodos alternativos que podrían haber sido más eficaces. Esta instancia también ofrece la oportunidad de consolidar aprendizajes y valorar la aplicabilidad de lo aprendido a nuevos contextos.

Cada una de estas fases demanda la activación de heurísticas específicas, es decir, estrategias cognitivas orientadas a facilitar la toma de decisiones durante el proceso de resolución. En este sentido, Marino y Rodríguez (2008) destacan que el despliegue de heurísticas por parte del estudiante, puede marcar la diferencia entre una resolución exitosa y una aproximación fallida. Si bien las heurísticas pueden facilitar el proceso de resolución, su aplicación no garantiza por sí sola el logro de una solución correcta al problema (Monereo, 1998, citado por Marino y Rodríguez, 2009).

Así, la resolución de problemas en Física, y particularmente en estática, no se limita a una aplicación mecánica de fórmulas, sino que implica una articulación compleja entre comprensión conceptual, estrategias de análisis, razonamiento lógico y capacidad crítica. En esta investigación se consideraron las heurísticas descritas por Rodríguez et al (2019).

En lo que respecta a la delimitación del estado del arte, y a pesar del consenso sobre la relevancia de los problemas como recurso didáctico, especialmente en disciplinas como matemática, física y química, distintas investigaciones evidencian que muchos estudiantes universitarios experimentan dificultades al enfrentarse con problemas tradicionales de lápiz y papel. Estas situaciones, generalmente descontextualizadas, limitan la posibilidad de transferir aprendizajes a nuevos escenarios, y refuerzan un enfoque mecánico y repetitivo de la resolución (Malaspina, 2017).

La revisión de la literatura realizada por el equipo de investigación muestra que uno de los principales obstáculos radica en la forma en que los estudiantes abordan los problemas. Frecuentemente, reducen su actuación a la aplicación de fórmulas o algoritmos en busca de una única solución correcta, sin evaluar la coherencia o pertinencia de los resultados obtenidos (Gil y Torregrosa, 1983; Villegas y Benegas, 2004). Esta tendencia se vuelve especialmente visible ante problemas cuantitativos. Además, investigaciones en educación matemática (Malaspina y Vallejo, 2014; Malaspina, 2017; Ellerton, 2013; Grabinger y Dunlap, 1995) también han documentado el bajo desempeño de los estudiantes cuando deben aplicar sus conocimientos en contextos nuevos o no rutinarios.

En un trabajo de revisión reciente se resume la investigación sobre la resolución de problemas relevante para la educación en física y se la organiza en tres amplias categorías: organización del conocimiento, procesamiento de la información y carga cognitiva, y metacognición y heurísticas de resolución de problemas (Maries y Singh, 2023). En dicho artículo se concluye que, para ser efectivos en la resolución de problemas, los estudiantes necesitan desarrollar y practicar heurísticas que les ayuden a avanzar en el proceso de solución de manera sistemática. La metacognición, que incluye habilidades como planificar, monitorear y evaluar el proceso de resolución de problemas, es crucial. Esto ayuda a los estudiantes a ser conscientes de su propio proceso de pensamiento y a mejorar sus

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

estrategias de resolución de problemas. En una línea semejante, Rodríguez (2015) señala que el pensamiento metacognitivo es esencial en la resolución de problemas porque permite el monitoreo, la vigilancia y la dirección del propio pensamiento y la autorregulación de sus acciones.

Aspectos metodológicos y contexto educativo

Siguiendo los lineamientos metodológicos propuestos por Bardin (1996) y Ander-Egg (2010), este estudio adopta un enfoque descriptivo basado en el análisis de contenido. La actividad se llevó a cabo en el marco de una clase de Física I, correspondiente al segundo año del Profesorado en Física de la Universidad Nacional de Misiones. Esta asignatura anual aborda contenidos fundamentales de mecánica, como estática, cinemática, dinámica e intercambios de energía entre partículas y sistemas de partículas.

El corpus de análisis estuvo conformado por cinco producciones elaboradas por estudiantes. Si bien se trata de una muestra reducida, su elección resulta consistente con el enfoque cualitativo del estudio, orientado al análisis intensivo de casos y no a la generalización estadística de resultados. En este sentido, la profundidad del análisis permite examinar con mayor detalle las estrategias, procedimientos, argumentos y dificultades que emergen en las producciones, aportando evidencias relevantes para los objetivos de la investigación. En esta segunda implementación de la propuesta, participaron cinco estudiantes que actualmente cursan la materia. Todos ellos resolvieron la actividad de forma individual, durante un tiempo aproximado de dos horas, una vez concluida la unidad didáctica sobre estática. Los estudiantes fueron instruidos previamente sobre los fines de la experiencia y dieron su consentimiento informado para participar. Cabe señalar que esta actividad había sido realizada antes con estudiantes de cuarto año de la carrera, que ya han logrado la aprobación de Física I a través de un examen final. En esa primera versión, el problema se planteaba en torno a un andamio, pero dicha formulación generó dificultades de interpretación. Por ese motivo, en esta nueva implementación se optó por reformular el problema utilizando una escalera como elemento central, con el objetivo de facilitar su comprensión (los resultados obtenidos en aquella primera experiencia no forman parte del presente trabajo). Se presentó en términos cualitativos, sin datos numéricos, y se solicitó una resolución argumentada a través de explicaciones escritas y/o esquemas. Los datos se obtuvieron a través de las producciones escritas, que fueron examinadas considerando la presencia de las etapas del modelo de resolución de problemas de Pólya (aunque dicho modelo no se hubiera enseñado explícitamente) y las heurísticas desplegadas por los estudiantes durante la resolución.

Descripción del problema propuesto y análisis preliminar

El problema que se presentó a los estudiantes en la clase se exhibe en la figura 1. Fue diseñado tomando como referencia los materiales publicados en las secciones *Problemas comentados* (Asociación de Profesores de Física de la Argentina (APFA), 1999) y *Comentario de los lectores* (APFA, 2000) de la *Revista de Enseñanza de la Física.*

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Durante una restauración en la fachada de un edificio, una escalera se apoya contra una pared. La base de la escalera reposa sobre el suelo rugoso, mientras que la parte superior simplemente se apoya contra la pared, sin estar atada ni asegurada. La superficie de la pared es lisa y pulida. Cuando uno de los operarios sube por la escalera, esta comienza a deslizarse hacia afuera desde la base hasta que cae, provocando un accidente. Afortunadamente no hay heridos graves, pero se abre una discusión entre los trabajadores sobre qué pudo haber fallado. Algunos sugieren que el ángulo era muy inclinado. Otros opinan que la base estaba mal colocada. Otros creen que el peso del operario desestabilizó la estructura. Un ingeniero de obra propone discutirlo con ayuda de principios físicos.

Analicen la situación de la escalera desde una perspectiva física, considerando las condiciones de equilibrio. Elaboren una explicación que responda, entre otras cosas:

1) ¿Qué fuerzas están en juego en esta situación?
2) ¿Qué condiciones deberían cumplirse para que la escalera no se deslice?
3) ¿Qué papel juegan la fricción, la inclinación de la escalera y el punto donde se ubica el operario?
4) ¿Qué cambios podrían haberse hecho para evitar el accidente?
5) ¿Podría explicarse el accidente sin necesidad de suponer un error humano?

Justifiquen su análisis con argumentos basados en conceptos de la estática, como equilibrio de fuerzas y de momentos. Pueden incluir esquemas o diagramas si lo consideran útil.

Figura 1. Problema presentado a los estudiantes.

Los estudiantes tuvieron que enfrentar una situación que involucró el equilibrio de fuerzas y de torques, en un sistema con dos puntos de apoyo. Atendiendo a la clasificación de Perales (1994), se elaboró una síntesis de la información didáctica sobre el problema, que se exhibe en la tabla 1.

Criterio	Categoría	Justificación
Campo de conocimiento	Física	Centrado en conceptos fundamentales de la estática: equilibrio de fuerzas, torque, fricción e influencia del ángulo de inclinación.
Según la solución	Abierto	No hay una única solución numérica. El problema admite múltiples formas de análisis y explicación, fomenta la argumentación.
Según la tarea requerida	Cualitativo	No se solicita cálculo numérico, sino una explicación razonada basada en leyes físicas.
Según el procedimiento	Heurístico	Los estudiantes deben explorar, argumentar, representar, proponer hipótesis y aplicar conocimientos previos para resolverlo.

Tabla 1. Información didáctica sobre el problema propuesto.

El problema habilita la ejecución de las distintas fases del modelo de resolución de problemas de Pólya, tal como se describen en el marco teórico. Cuando el estudiante identifica el cuerpo o sistema bajo análisis, comprende qué tipo de equilibrio se estudia (traslacional, rotacional o ambos), reconoce las fuerzas actuantes y su naturaleza (peso, tensiones, fuerzas normales, reacciones en apoyos), así como las condiciones de contorno, representa el sistema mediante un diagrama de cuerpo libre, etc.

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

está *comprendiendo el problema*. Una vez comprendido el problema, cuando el estudiante elige el sistema de referencia, aplica las condiciones de equilibrio, identifica puntos de aplicación de fuerzas o ejes de rotación estratégicos para simplificar el análisis, y selecciona las ecuaciones para abordar el sistema o recuerda situaciones similares previamente resueltas, está *elaborando un plan*. Cuando lleva adelante el cálculo o análisis diseñado, aplicando las leyes de la estática, realizando sumas vectoriales de fuerzas o torques, resolviendo sistemas de ecuaciones si es necesario, está *ejecutando el plan*. Cuando se analiza críticamente si la solución tiene sentido físico, si los valores obtenidos son razonables, si se verifican las condiciones de equilibrio, si se podría haber resuelto de otra manera, etc. se está *revisando el plan*. Esto hace que los resultados puedan ser validados y transferidos a futuras situaciones problemáticas. Estas fases no se presentan necesariamente en forma lineal ni rígida, sino que los estudiantes pueden ir y venir entre ellas.

Como parte del análisis previo a la implementación de la actividad, se construyó un conjunto de indicadores orientativos con el propósito de anticipar posibles estrategias que los estudiantes podrían desplegar al resolver el problema, y de facilitar posteriormente el análisis de sus producciones. Estos indicadores se integraron y adaptaron a la tabla de descriptores y heurísticas presentada por Rodríguez *et al*. (2019), a la cual se añadió una columna destinada a ejemplificar su aplicación en el contexto específico del problema propuesto (equilibrio de una escalera en estática). Esta versión adaptada se presenta a continuación en la tabla 2.

Descripción	**Descriptores generales**	**Heurísticas esperadas en el ejemplo específico de estática**
Planificar	Trabajar hacia adelante	Identificar fuerzas, superficies de apoyo, ángulo y ubicación del operario.
	Trabajar empezando por el final	Imaginar qué condiciones evitarían el accidente e inferir qué elementos faltaron
Activar experiencia previa	Recurrir a teoría relacionada	Aplicar principios de la estática: $\sum F = 0, \sum \tau = 0$
	Razonar por analogía	Comparar con casos conocidos (vigas, planos inclinados, objetos que deslizan).
Seleccionar una representación adecuada para el problema	Realizar un dibujo	Dibujar la escalera, marcar fuerzas, ángulos y distancias.
	Reinterpretar el problema en un lenguaje diferente	Explicar en lenguaje coloquial lo que ocurre en la situación.
Modificar el problema	Reducir a problemas ya resueltos	Analizar el caso sin operario, con una escalera más liviana o en reposo perfecto.
	Reducir a un problema más sencillo	Asumir masa nula o posición central del operario para facilitar el análisis de torque.

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

	Dividir el problema en subproblemas	Analizar el equilibrio en suelo y pared por separado, y vincularlos mediante el torque
	Introducir una variable o elemento auxiliar no dado	Definir variables como L, θ, μ, d o un punto de pivote para facilitar el análisis.
Examinar casos particulares	Análisis sistemático de casos (Inducción)	Asignarles valores a los parámetros del problema (ángulo o posición del operario), para extraer pautas y realizar una generalización que permita avanzar en la resolución (evaluar pérdida de equilibrio)
	Analizar casos límites o especiales	Considerar que ocurre para ángulos pequeños, o para un operario que está en la punta de la escalera.
	Analizar ejemplos	Imaginar escalera corta, superficie rugosa y operario liviano para analizar estabilidad
Examinar la solución obtenida	Verificar utilizando distintos registros de representación	Si se usó un argumento verbal, contrastar con un diagrama; si se usó torque, verificar con equilibrio de fuerzas.
	Verificar usando casos particulares.	Comprobar la explicación usando un ángulo o posición específica para verificar el equilibrio

Tabla 2. Descriptores y heurísticas, adaptada de la propuesta en Rodríguez *et al* (2019).

Discusión de los resultados

Para cada una de las producciones escritas, las investigadoras realizaron una descripción del procedimiento utilizado, reconocieron patrones y volcaron la información en tablas. A modo de ejemplo, se mostrarán las producciones de dos estudiantes, la primera fue seleccionada como representativa de un caso en el que se exhibe el despliegue de varias heurísticas y la segunda, como representativa de lo opuesto. En la figura 2 se expone parte del trabajo realizado por el primero de los estudiantes mencionado, identificado como A1. También se incluye la transcripción del fragmento relevante para el análisis, ya que la imagen es poco legible por estar escrita a lápiz.

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

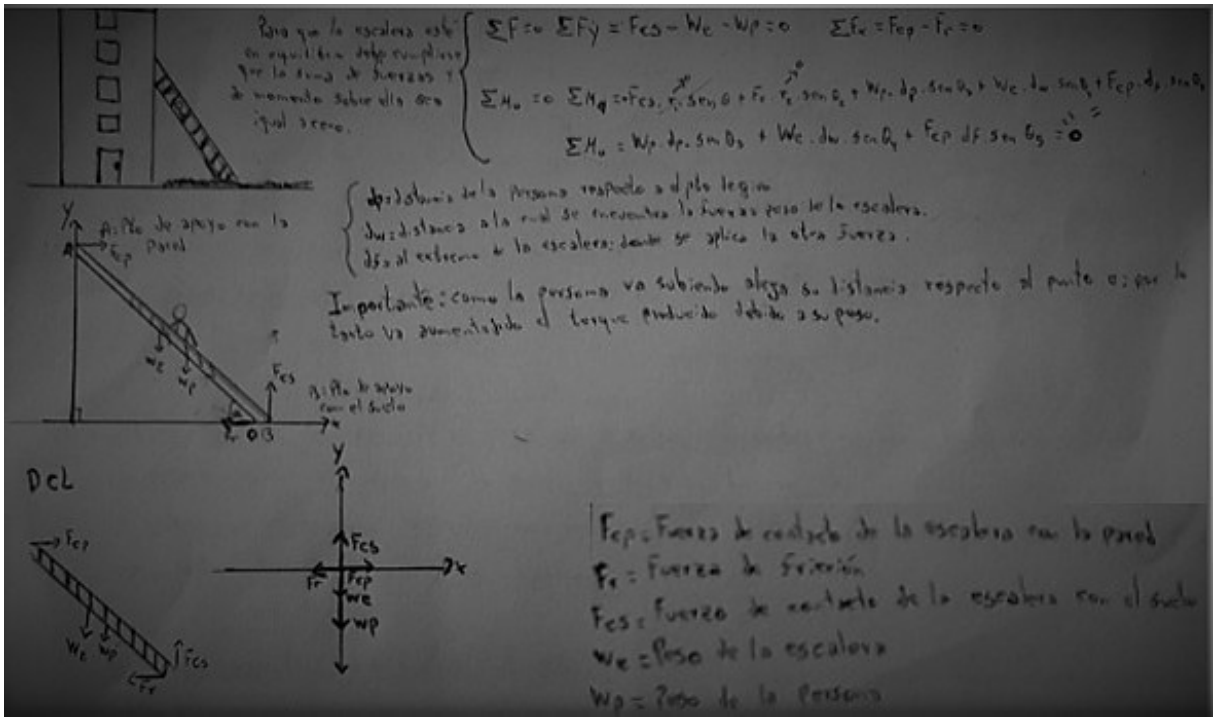


Figura 2. Respuesta dada por el estudiante identificado como A1.

Transcripción de la respuesta:

"[…] Otra fuerza que juega un papel muy importante es el peso que tienen estas partes (la barra y la persona), ya que, al existir una inclinación en la barra, el peso produce una componente que tiende a girar la escalera hacia abajo. Debido a esto se produce un torque que depende de la perpendicularidad, por eso es que al existir un mayor ángulo en la inclinación de la barra y de la persona subiendo, el torque se hace mayor, haciendo que las demás fuerzas no puedan contrarrestar este efecto y la escalera resbale. En esta situación no solo se genera un torque en el cuerpo, sino también en la barra al tener una masa determinada. En conclusión, la parte más importante para el equilibrio es la base, ya que es la que se encuentra en contacto directo con el suelo y donde se genera la fricción que estabiliza el sistema, además es la que está en contacto con la superficie donde se transfiere todo el peso que contiene la barra (la masa de la barra y el cuerpo)".

Con fines ilustrativos, se presenta el análisis realizado de la respuesta de A1, resumido en la tabla 3.

Descripción	**Heurística aplicada**	**Evidencia en A1**
Planificar	Trabajar hacia adelante	Planteo de condiciones físicas conocidas (fuerzas, apoyos), avanza hacia el sistema de ecuaciones.
	Trabajar empezando por el final	
Activar experiencia previa	Recurrir a teoría relacionada	Utiliza correctamente las leyes de la estática: equilibrio de fuerzas y torques.
	Razonar por analogía	

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Seleccionar representación adecuada	Realizar un dibujo	Realiza tres representaciones gráficas: situación física, DCL y sistema de ejes.
	Reinterpretar el problema en un lenguaje diferente	Pasa del lenguaje verbal al simbólico (ecuaciones), complementa con texto explicativo.
Modificar el problema	Reducir a problemas ya resueltos	
	Reducir a un problema más sencillo	
	Dividir el problema en subproblemas	Divide en tres subproblemas independientes: Fuerzas horizontales (equilibrio en el eje *x)* Fuerzas verticales (equilibrio en el eje *y*) Torque respecto de un punto (torque neto nulo)
	Introducir un elemento auxiliar	Variables auxiliares no dadas en el enunciado**.** d_p (distancia de la persona al punto de giro), d_w (distancia a la cual se encuentra el peso de la escalera), $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ (ángulos), W_E (peso de la escalera), W_p (peso de la persona), F_{es} (fuerza de contacto de la escalera con el suelo), F_r (fuerza de fricción) Elección de punto auxiliar para calcular el torque**.** el cálculo del momento lo hace respecto al punto **B** Representación gráfica auxiliar. DCL
Examinar casos particulares	Análisis sistemático de casos (inducción)	
	Analizar casos límites o especiales	Argumenta que, si la persona está más lejos del punto de apoyo, el torque es mayor y el riesgo de deslizamiento también.
	Analizar ejemplos	
Examinar la solución obtenida	Verificar usando distintos registros de representación	
	Verificar con casos particulares.	

Tabla 3. Análisis de la respuesta dada por un estudiante empleando heurísticas.

Con respecto a la producción del estudiante, vale hace un par de comentarios. La heurística "Introducir elementos auxiliares" está presente, pero su implementación es incompleta. El estudiante introduce variables que podrían enriquecer el modelo (los ángulos), pero no las vincula ni les da un papel funcional en la resolución; tampoco establece ninguna relación con las distancias. En cuanto a la introducción del punto con respecto al cual evaluar el torque, que no está especificado en el enunciado, decide hacerlo con respecto al punto de apoyo inferior de la escalera. Esto es una **decisión**

estratégica que le permite eliminar incógnitas en la ecuación del momento (no aparece F_{es}, F_r en ese torque).

Por otra parte, algunas de las otras heurísticas merecen algo de atención. Por ejemplo, la heurística "Analizar casos límite o especiales" está desarrollada en forma parcial. El estudiante afirma *"Como la persona va subiendo, aleja el sistema respecto al punto, o sea, le transfiere un aumento del torque producido debido a su peso", con lo cual reconoce* que, a medida que la persona asciende por la escalera, su peso ejerce un torque mayor respecto al punto de apoyo en el suelo. Reconoce que esto se debe a que el torque que una fuerza produce depende directamente de la distancia perpendicular entre la línea de acción de la fuerza y el punto de rotación. En este caso, cuanto mayor es la distancia horizontal desde el pie de la escalera hasta la posición del operario, mayor es el brazo de palanca, y por lo tanto mayor el torque que su peso genera. Este aumento del torque tiende a girar la escalera, debilitando el equilibrio. Como consecuencia, se requiere una fuerza de fricción mayor en la base para compensar ese giro. Si la fricción disponible en el suelo no es suficiente, la escalera comienza a deslizarse. Esta argumentación muestra que el alumno comprende que no es sólo el peso lo que importa, sino su ubicación dentro del sistema, y que el desplazamiento del operario hacia el extremo superior de la escalera aumenta la exigencia del sistema para mantenerse en equilibrio. Aunque el alumno muestra una buena comprensión de que el torque aumenta al alejarse del punto de apoyo, no menciona ni considera que el torque también depende del ángulo de inclinación θ. En el caso analizado, el **peso actúa verticalmente**, y el **brazo de palanca** es la **distancia perpendicular al punto de apoyo**. Esa distancia **depende de la inclinación de la escalera**, lo que hace que el **torque sea proporcional a** $cos\ \theta$.

Con respecto a las heurísticas vinculadas a la fase de revisión/evaluación de la solución encontrada, las mismas no se evidencian en la respuesta analizada. Recordemos que la definición de la heurística "Verificar la respuesta usando un registro de representación distinto de aquel en el que se produjo dicha respuesta" implica que el estudiante desarrolla una respuesta en un registro (por ejemplo, simbólico), luego la contrasta o comprueba en otro registro (por ejemplo, gráfico o verbal), con el fin de verificar su validez o coherencia. Si bien el estudiante hace uso de múltiples registros, no hay evidencia de que **usa un registro para verificar otro.** Por ejemplo, en la parte verbal que se exhibe en la figura 2, escribe: *"Como la persona va subiendo, aleja el sistema respecto al punto, o sea, le transfiere un aumento del torque producido debido a su peso".* Esta frase **explica verbalmente** lo que **ya había planteado simbólicamente** en la ecuación de torque: $W_p \cdot d_p \cdot sin\theta_3$. **Sin embargo**, no es claro que esté *verificando* la ecuación simbólica con el texto. Por tanto, las investigadoras concluyeron que n**o hay evidencia clara** de que el estudiante **use un registro diferente con intención explícita de verificar lo que hizo en otro.** Sí, hay uso complementario de registros, pero no una verificación cruzada.

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

La respuesta dada por el segundo estudiante, identificada como A2, se muestra en la figura 3.

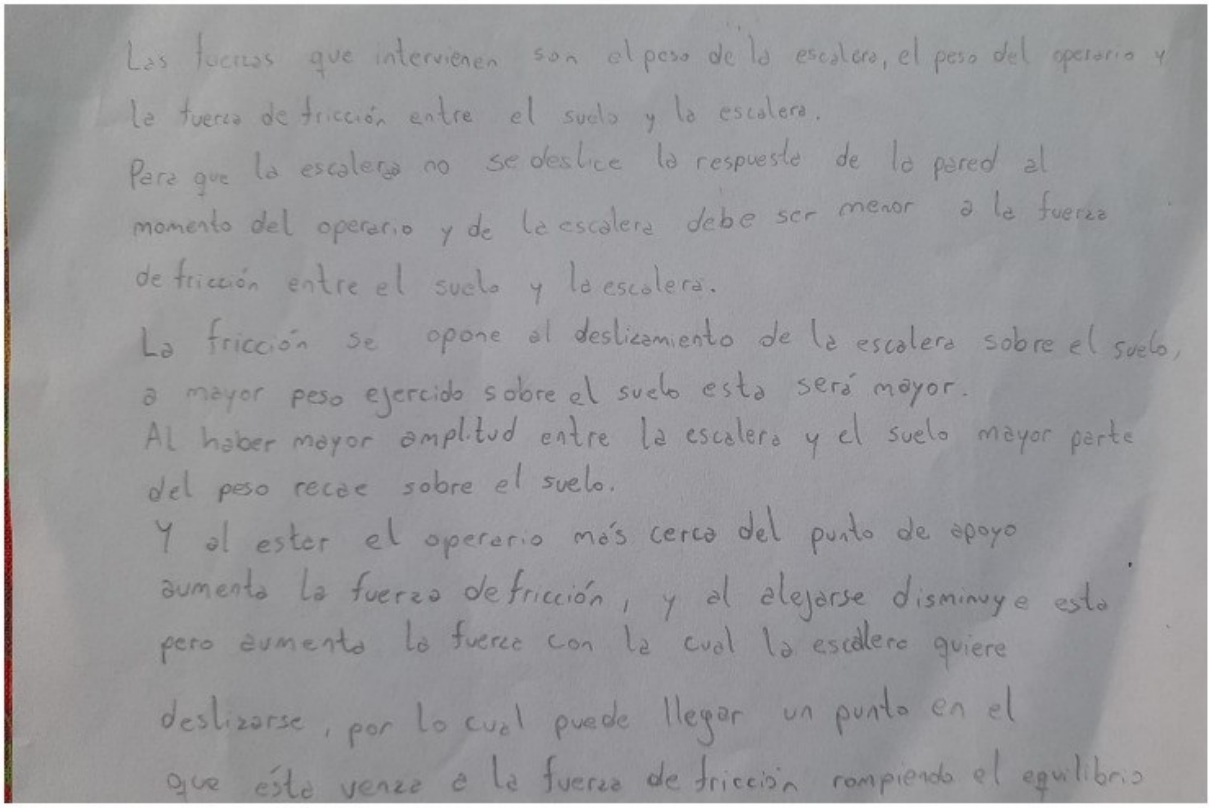


Figura 3. Respuesta dada por el estudiante A2.

En esta respuesta se detectó el uso de tres heurísticas. Estas son “Recurrir a teoría relacionada” (cuando usa nociones de fricción, peso, torque y equilibrio estático, aun cuando no formula ninguna ecuación), “Reinterpretar el problema en un lenguaje diferente” (cuando usa explicaciones verbales como "quiere deslizarse", "vence la fuerza de fricción", etc.) y “Analizar casos límites o especiales”. Esta última implica imaginar qué ocurre si una variable relevante alcanza un valor muy alto o muy bajo, para prever el comportamiento del sistema. En su respuesta, A2 escribe:

“Y al estar el operario más cerca del punto de apoyo aumenta la fuerza de fricción, y al alejarse disminuye esta pero aumenta la fuerza con la cual la escalera quiere deslizarse, por lo cual puede llegar un punto en el que esta vence a la fuerza de fricción, rompiendo el equilibrio”.

En esa oración, el estudiante: considera **valores extremos de la posición del operario** (muy cerca vs. muy lejos del punto de apoyo), describe cómo **al alejarse**, el efecto de torque aumenta, y puede **superar la fricción disponible**. La frase “**puede llegar un punto en el que**...” es una formulación característica del análisis de un **caso límite**. Construye una explicación **coherente**, mostrando que comprende cómo actúan las fuerzas involucradas y qué condiciones pueden llevar al accidente, pero todo el razonamiento se desarrolla en el **registro verbal**, sin representación gráfica ni simbólica. Las afirmaciones, si bien son **físicamente plausibles**, **no se verifican ni justifican analíticamente.**

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

La tabla 4 resume los resultados obtenidos del análisis de las producciones de los cinco estudiantes. Cuando se evidenció la heurística se ha indicado mediante una letra "X", cuando no se evidenció esta heurística se ha señalado mediante un guion " - ".

		Estudiantes				
Descriptor	**Heurística**	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**
Planificar	Trabajar hacia adelante	X	X	X	X	X
	Trabajar empezando por el final	-	-	-	-	-
Activar experiencia previa	Recurrir a teoría relacionada	X	X	X	X	X
	Razonar por analogía	-	-	-	-	-
Seleccionar representación adecuada	Realizar un dibujo	X	-	X	X	X
	Reinterpretar el problema en un lenguaje diferente	X	X	X	X	X
Modificar el problema	Reducir a problemas ya resueltos	-	-	-	-	-
	Reducir a un problema más sencillo	-	-	-	-	-
	Dividir el problema en subproblemas	X	-	X	X	X
	Introducir un elemento auxiliar	X	-	X	X	X
Examinar casos particulares	Análisis sistemático de casos (inducción)	-	-	-	-	-
	Analizar casos límites o especiales	X	X	X	X	-
	Analizar ejemplos	-	-	-	-	-
Examinar la solución obtenida	Verificar usando distintos registros de representación	X	-	X	-	-
	Verificar con casos particulares.	-	-	X	-	-

Tabla 4. Heurísticas aplicadas por cada estudiante.

A partir del análisis de la tabla 4, puede inferirse un predominio de heurísticas en las fases iniciales del modelo de Pólya: planificar - trabajar hacia adelante, **activar experiencia previa -recurrir a teoría relacionada, reinterpretar el problema en otro lenguaje**, fueron aplicadas por todos los estudiantes. Esto sugiere que el grupo tiene incorporado conceptos básicos de estática y la habilidad para traducir el problema a registros verbales y simbólicos.

La heurística r**ealizar un dibujo** fue utilizada por 4 estudiantes (todos excepto A2), al igual que d**ividir en subproblemas** e **Introducir un elemento auxiliar** también fueron bastante utilizadas (por 3 de los 5 estudiantes), esto sugiere un buen manejo de estrategias para **organizar y simplificar** el problema.

Se revela p**oca presencia de heurísticas asociadas a "mirar hacia atrás"**. La heurística v**erificar usando distintos registros de representación fue usada por** 2 estudiantes y la heurística **verificar con casos particulares** por uno solo.

Las heurísticas r**azonar por analogía, reducir a problemas resueltos**, **reducir a problemas más sencillos**, y **analizar ejemplos no fueron utilizadas por ningún estudiante**.

Aun cuando usaron varias heurísticas, ninguno logró encontrar la solución, esto es, una relación explícita entre el ángulo de inclinación de la escalera y las magnitudes de las fuerzas involucradas.

Reflexiones e implicancias para la docencia

Este estudio muestra que, incluso sin enseñanza explícita, los estudiantes de profesorado apelan a heurísticas relevantes para abordar problemas de estática. Los resultados de otros estudios revelan la utilidad de los problemas cualitativos para favorecer el pensamiento reflexivo y el uso de competencias metacognitivas para la formación docente, aunque esto último no se logró en el caso analizado.

Del análisis realizado se observa que las heurísticas vinculadas a las primeras fases del modelo de Pólya -comprensión del problema y planificación de la resolución- están relativamente consolidadas en el grupo de estudiantes. En cambio, se evidencia una ausencia notable de heurísticas asociadas al uso de analogías y a la reducción a problemas ya resueltos o más simples, lo que sugiere que los estudiantes tienden a abordar los problemas de forma aislada y sin apoyarse en prácticas previas. Asimismo, la escasa presencia de heurísticas correspondientes a las etapas finales del modelo de Pólya, como la revisión y evaluación de la solución, indica que los estudiantes, si bien logran comprender y abordar adecuadamente los problemas, rara vez vuelven sobre sus respuestas para validarlas desde otras perspectivas. A pesar de haber utilizado varias heurísticas, ninguno de los estudiantes logró encontrar la solución. Esto sugiere que el uso de heurísticas no garantiza por sí solo una resolución exitosa, en consonancia con lo señalado desde la investigación educativa (Moreneo, 1998, citado por Marino y Rodríguez, 2009).

Las dificultades heurísticas y metacognitivas identificadas en las producciones analizadas adquieren relevancia si se considera que los participantes se encuentran en proceso de formación docente. Un futuro profesor que no ha desarrollado suficientemente estrategias de revisión, control, validación y reformulación corre el riesgo de reproducir una enseñanza centrada en la obtención de respuestas, en la aplicación mecánica de procedimientos o en la aceptación acrítica de resultados. Por el contrario, formar docentes capaces de interrogar sus propios procedimientos, detectar inconsistencias, justificar decisiones y revisar sus argumentos podría contribuir a una práctica de enseñanza más reflexiva. En este sentido, se recomienda incorporar actividades específicas de revisión, donde los estudiantes deban reexaminar sus soluciones utilizando diferentes registros de representación (verbal, simbólico, gráfico o numérico). Además, sería beneficioso entrenarlos en el uso de analogías y casos similares a través de ejercicios comparativos. Fomentar el análisis de casos extremos o particulares, así como promover estrategias de reformulación y simplificación de problemas, podría contribuir al desarrollo de un pensamiento más sólido y transferible.

Sería pertinente replicar esta experiencia con una muestra más amplia, o bien incorporar entrevistas en profundidad para triangular datos. También podría explorarse el impacto de una enseñanza explícita de heurísticas sobre el desempeño de los estudiantes en tareas cualitativas.

Referencias bibliográficas

Ander-Egg, E. (2010). Métodos y técnicas de investigación social, Vol. III: Cómo organizar el trabajo de investigación. Lumen.

Asociación de Profesores de Física de la Argentina. (1999). Problemas comentados. Revista de Enseñanza de la Física, 12(1), 57-59.

Asociación de Profesores de Física de la Argentina. (2000). Comentario de los lectores. Revista de Enseñanza de la Física, 13(1), 59-60.

Bardin, L. (1996). El análisis de contenido. Akal.

Ellerton, N. (2013). Engaging pre-service middle-school teacher-education students in mathematical problem posing: Development of an active learning framework. Educational Studies in Mathematics, 83(1), 87-101.

Gangoso, Z.; Moyano, T. ; Buteler, L.; Coleoni, E.; Gattoni, A. (2013). *Enseñar a resolver problemas de física: algunos elementos útiles para la práctica*. En Memorias XIII Reunión Nacional de Educación en la Física (REF XVIII), Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Gil, D., y Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. European Journal of Science Education, 5(4), 447-455

Gil Pérez, D. (1988). La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. Investigación en la escuela, 6, 3-20.

Grabinger, S., y Dunlap, J. (1995). Entornos ricos para el aprendizaje activo: una definición. ALT-J, 3(2), 5-34.

Malaspina, U. (2017). La creación de problemas como medio para potenciar la articulación de competencias y conocimientos del profesor de matemáticas. CIVEOS, 2, 47-58.

Malaspina, U., y Vallejo, E. (2014). Creación de problemas en la docencia e investigación. En U. Malaspina (Ed.), Reflexiones y propuestas en educación matemática (pp. 7-54). REM-PUCP.

Maries, A., y Singh, C. (2023). Helping Students Become Proficient Problem Solvers Part I: A Brief Review. Education Sciences.

Marino, T. y Rodríguez, M. (2008). Heurísticas en la resolución de problemas matemático: análisis de un caso. En Ascheri, M. E., Pizzaro, R. A y Ferreyra, N. II Reunión Pampeana de Educación matemática (REPEM) - Memorias. La Pampa. Argentina, 213-222.

Marino, T., & Rodríguez, M. (2009). Un estudio exploratorio sobre heurísticas en estudiantes de un curso de matemática de nivel pre-universitario. *Paradigma*, *30*(2), 159-178.

Perales Palacios, J. (1994) Enseñanza-aprendizaje de una heurística en la resolución de problema de Física: un estudio cuasiexperimental. Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado, 1, 201-209.

Rodríguez, M. (2015). Resolución de problemas. En M. Pochulu y M. Rodríguez (Comps.), Educación Matemática. Aportes a la formación docente desde distintos enfoques teóricos (pp.153-174). Ediciones UNGS y EDUVIM.

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Rodríguez, M. Barreiro, P. Casseta, I. Chacón, M. González, V. Zuvialde, D. Leonian, P. Marino, T. (2019) *Heurísticas en la resolución de problemas matemáticos*. Educación: educación en ciencias Nro. 2. Ediciones Universidad Nacional de General Sarmiento.

Villegas, M., y Benegas, J. (2004). Adquisición de habilidades de expertos en la resolución de problemas en alumnos ingresantes a la Universidad. En *Memorias del SIEF VII* (pp. 78-87).

ISSN 2953-3996
IIES ADUBA | CIAEC | UBA

Anexo. Se incluye una tabla de análisis correspondientes a A3, A4 y A5

Descripción	Heurística	Evidencia en A3	Evidencia en A4	Evidencia en A5
Planificar	Trabajar hacia adelante	Parte de condiciones físicas (fuerzas, torque) y desarrolla relaciones	Parte de condiciones físicas (fuerzas, torque) y desarrolla relaciones	Parte de las condiciones físicas (fuerzas y torques) para analizar el riesgo de deslizamiento
	Trabajar empezando por el final			
Activar experiencia previa	Recurrir a teoría relacionada	Usa nociones de torque, fuerza normal, peso y equilibrio estático	Usa nociones de torque, fuerza normal, peso y equilibrio estático	Utiliza las leyes de la estática: equilibrio de fuerzas y torques.
	Razonar por analogía			
Seleccionar representación adecuada	Realizar un dibujo	Realiza un esquema de la escalera e identifica las fuerzas	Realiza un esquema de la escalera e identifica las fuerzas	Representa el sistema con un esquema de la escalera inclinada y un DCL.
	Reinterpretar el problema en un lenguaje diferente	Justifica con lenguaje físico cómo influyen la fricción, la altura y la posición del operario	Justifica con lenguaje físico cómo influyen la fricción, la altura de apoyo de escalera y posición del operario	Utiliza lenguaje físico para explicar cómo influyen la fricción, el ángulo y la posición del operario
Modificar el problema	Reducir a problemas ya resueltos			
	Reducir a un problema más sencillo			
	Dividir el problema en subproblemas	Divide el problema en dos partes: Equilibrio en B y equilibrio en A	Separa en subproblemas: fuerzas horizontales, verticales y momento	Separa el análisis en fuerzas verticales, horizontales, y momento
	Introducir un elemento auxiliar	Introduce variables y define el significado de cada una ellas	Introduce variables, sin explicitar el significado de cada una de ellas	Utiliza símbolos como F_r, F_e, W, R_P, N, pero no define todas las relaciones
Examinar casos particulares	Análisis sistemático de casos			
	Analizar casos límites o especiales	Plantea qué pasa si el operario se aleja mucho o si no hay fricción suficiente	Plantea qué pasa si el operario se aleja mucho o si no hay fricción suficiente	
	Analizar ejemplos			
Examinar la solución obtenida	Verificar usando distintos registros de representación	Combina representación gráfica, simbólica y verbal		
	Verificar con casos particulares	Considera que el peso de la escalera es despreciable		