

# Razonamiento de los estudiantes al abordar fenómenos de transferencia y transformación de la energía en el contexto de la mecánica

Student reasoning when solving problems dealing with transformation and transfer of energy in the context of mechanics

Nicolás Gandolfo<sup>1\*</sup>, Laura Buteler<sup>1,2</sup>, Jenaro Guisasola<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba, Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Física Enrique Gaviola, FAMAFA - CONICET, Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>Escuela de Ingeniería Dual, Instituto de Máquina Herramienta (IMH) y Donostia Physics Education Research Group. Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

\*E-mail: [ngandolfo@unc.edu.ar](mailto:ngandolfo@unc.edu.ar)

## Resumen

En este estudio se analiza el razonamiento de estudiantes de quinto año de la escuela secundaria en Córdoba, Argentina, sobre la transformación y transferencia de energía, y la aplicación del principio de conservación de la energía en el contexto de la mecánica. Hemos analizado las respuestas de 33 estudiantes a dos situaciones problemáticas comúnmente abordadas en cursos introductorios de física y relacionadas con la energía en la mecánica. Se eligió la fenomenografía como metodología de análisis de los datos. Este método está diseñado específicamente para investigar las diferentes formas en que las personas comprenden un fenómeno particular. Los resultados muestran que un porcentaje significativo de estudiantes no considera necesario que al analizar un fenómeno de transferencia de energía se deba definir explícitamente el sistema y el entorno entre los que se produce.

**Palabras clave:** Transferencia de energía; Transformación de energía; Conservación de la energía en la mecánica; Razonamiento de estudiantes de secundaria; Fenomenografía.

## Abstract

In this study, the reasoning of fifth-year high school students in Córdoba, Argentina, regarding the transformation and transfer of energy and the application of the principle of energy conservation in the context of mechanics is analyzed. We have analyzed the responses of 33 students to two problematic situations commonly addressed in introductory physics courses related to energy in mechanics. Phenomenography was chosen as the methodology for data analysis. This method is specifically designed to investigate the different ways in which people experience and understand a particular phenomenon. The results show that a significant percentage of students do not consider it necessary to explicitly define the system and the environment between which the energy transfer occurs when analyzing such a phenomenon.

**Keywords:** Energy transfer; Energy transformation; Conservation of energy in Mechanics; High school students reasonings; Phenomenography.

## I. INTRODUCCIÓN

El concepto de energía y los procesos de transformación y transferencia de energía en la mecánica newtoniana son un tema central en el programa de estudios de física general en los cursos de ciencias e ingeniería, en la escuela secundaria y en cursos introductorios de física (López Simó y Couso Lagarón, 2022). Además, el concepto de energía, su transformación y transferencia son esenciales en una alfabetización de los ciudadanos para tomar decisiones informadas sobre el desarrollo social (Vilches y Gil, 2003). Esto puede explicar que la comprensión del concepto de energía se haya convertido en un objetivo de aprendizaje prioritario en los currículos de ciencias de numerosos países (Leaton Gray, Scott y Mehisto, 2018; Diseño curricular para la educación secundaria de la provincia de Córdoba, 2012). Sin embargo, enseñar el concepto de energía, sus procesos de transformación y transferencia, y su conservación está lejos de ser una tarea sencilla. Se ha dedicado una cantidad considerable de investigación educativa a la enseñanza de la energía y los fenómenos energéticos, pero su enseñanza es una cuestión compleja que sigue planteando importantes retos didácticos (Doménech *et al.*, 2007). Por estos motivos, el conocimiento de las dificultades de los estudiantes de los cursos en educación secundaria es crucial para diseñar el tema de energía en mecánica newtoniana.

Uno de los temas más analizados en la literatura sobre las concepciones de los estudiantes recae en la comprensión acerca del concepto de energía y sus ideas alternativas (Neumann y Nordine, 2023). Tong *et al.* (2023) muestran que la energía es un concepto transversal a fenómenos de todas las ramas de la física y en diferentes contextos, lo que puede favorecer que los estudiantes presenten ideas compartimentadas y dificultades en la comprensión unificada del concepto. En una revisión sobre recursos utilizados por los estudiantes al explicar el concepto de energía, Sabo, Goodhew y Robertson (2016) concluyen que los estudiantes presentan confusión entre conceptos y el papel de la energía en los cambios. Atribuyen esta confusión a que el concepto de energía está incluido en una red conceptual muy compleja donde es necesario distinguir entre fuentes, formas, transformaciones y transferencia de energía. Otras investigaciones muestran que los estudiantes tienen dificultades de comprensión de los conceptos de transformación, transferencia y disipación de la energía, lo que implica errores en la aplicación del principio de conservación de la energía (Chabay, Sherwood y Titus, 2019; Colonnese, Heron, Michelini, Santi y Stefanel, 2012; Solbes, Guisasola y Tarín, 2009). Sin embargo, faltan avances respecto a investigaciones en razonamiento de los estudiantes y dificultades de comprensión en fenómenos básicos de transformación y transferencia de energía que aporten clarificación conceptual para una aplicación comprensiva del principio de conservación de la energía. Por ello, en este trabajo, nos centramos en indagar sobre los razonamientos que utilizan los estudiantes y las dificultades de comprensión que tienen cuando analizan fenómenos de transformación y transferencia de energía y aplican el principio de conservación de la energía en un contexto de Mecánica.

El objetivo de nuestro estudio es analizar el razonamiento de un grupo de 33 estudiantes de secundaria de un quinto año en Córdoba, Argentina, cuando analizan fenómenos de transformación y transferencia de energía y aplican el principio de conservación de la energía para justificar sus argumentos. Nuestra pregunta de investigación se formula como: ¿Cuáles son los razonamientos y la comprensión de los estudiantes de secundaria cuando analizan fenómenos de transformación y transferencia de energía mecánica? En los siguientes apartados, en primer lugar, informamos sobre el proceso de recopilación de datos y la metodología de análisis de datos. A continuación, exponemos los resultados de nuestra investigación y discutimos ideas relevantes. Finalmente, concluimos el estudio destacando algunas implicaciones para la enseñanza de los procesos de transformación y transferencia de energía y, la aplicación del principio de conservación de la energía mecánica en los mismos.

## II. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

El enfoque utilizado para responder a la pregunta de investigación comparte los supuestos de la llamada "Teoría Marco" propuesta por Vosniadou (2012) que afirma que los estudiantes a menudo construyen "marcos intermedios" porque utilizan el razonamiento basado en su conocimiento previo para asimilar nueva información que resulta ser incompatible con la estructura de conocimiento normativo. Este tipo de razonamiento se caracteriza por la

fragmentación, la inconsistencia interna y los conceptos erróneos, algunos de los cuales pueden interpretarse como "marcos intermedios o híbridos" (Vosniadou, Vamvakoussi y Skopeliti, 2008).

De acuerdo con el marco teórico elegido, cuando en este estudio aparece el término "categoría explicativa" se refiere al modelo que utilizan los estudiantes para interpretar los fenómenos estudiados y cómo de alejado está su razonamiento de las características de uno científico para explicar dichos fenómenos, como así también, qué conocimiento utilizar para comprenderlos. No se puede esperar que los estudiantes asimilen los contenidos conceptuales si no se consideran los aspectos procedimentales y ontológicos (Gil Pérez *et al.*, 1999). Para analizar el razonamiento de los estudiantes, hemos identificado aquellos argumentos utilizados en la construcción de teoría sobre el tema curricular. Clasificamos como razonamientos relevantes para los objetivos del currículo aquellos basados en los datos proporcionados en la pregunta, en el conocimiento previo de la teoría, en la verificación de los supuestos que hacen argumentando con evidencia, y en la consideración de la coherencia explicativa. Asimismo, consideramos como razonamientos deficientes aquellos que brindan la respuesta sin explicar las inferencias que hacen, se basan en afirmaciones memorísticas inapropiadamente respaldadas por autoridad o no utilizan argumentos basados en evidencia.

Según el enfoque teórico, hemos elegido la fenomenografía como metodología de análisis de los datos. Este método está diseñado específicamente para investigar las diferentes formas en que las personas experimentan y comprenden un fenómeno particular. La fenomenografía es particularmente útil para reconocer y apreciar la singularidad de las experiencias y la comprensión individual, identificando experiencias y concepciones comunes que pueden agruparse para describir una comprensión colectiva. Este método ha demostrado ser valioso en la investigación en enseñanza de la física, particularmente cuando se analizan preguntas escritas, para identificar cómo razona cada estudiante y sus dificultades de aprendizaje (Guisasola, Campos, Zuza y Zavala, 2023).

El proceso de análisis fue realizado por dos de los investigadores y comenzó estudiando las respuestas de un grupo inicial de 33 estudiantes. Gracias al consenso entre los investigadores, identificamos "categorías explicativas" emergentes que cumplían con ciertas características esenciales en el contexto del análisis fenomenográfico. Las mismas debían reflejar variaciones en la comprensión de los estudiantes, revelando diferentes aspectos de cómo entendían el tema, organizados lógicamente mediante el establecimiento de relaciones jerárquicas y estructuralmente inclusivas. Además, el conjunto de categorías tenía que ser lo más pequeño posible, representando la variación crítica de las experiencias observadas en los datos. Luego, cada investigador analizó las respuestas restantes de forma independiente y, finalmente, comparamos los resultados. Para evaluar la fiabilidad de nuestro análisis utilizamos el coeficiente kappa de Cohen, una medida que cuantifica el grado de acuerdo entre evaluadores, considerando la posibilidad de coincidencias aleatorias. Obtuvimos un valor medio de 0,95. Se considera que un valor kappa superior a 0,80 indica un acuerdo significativo.

### III. DISEÑO EXPERIMENTAL

Siguiendo el enfoque teórico descrito, diseñamos un cuestionario con seis preguntas que se convirtió en la principal fuente de recopilación de datos para explorar las dificultades de los estudiantes. Los estudiantes deben utilizar un "razonamiento creativo" basado en el contenido científico de la tarea en lugar de un "razonamiento imitativo" (razonamiento memorizado, recordar un algoritmo y calcular la respuesta) basado en propiedades superficiales de la tarea (Lithner, 2008). Se sabe que el análisis de las respuestas escritas se ha utilizado frecuentemente para evaluar el nivel de comprensión de los estudiantes. Sin embargo, también se ha utilizado con frecuencia para categorizar la comprensión y el razonamiento para justificarlo. Las "categorías explicativas de los estudiantes" describen no sólo su interpretación de los fenómenos que se estudian sino también el razonamiento que utilizan para comprenderlos (Vosniadou, 2012).

El cuestionario se compone de 6 preguntas o cuestiones sobre la energía, su transformación, transferencia y conservación. El diseño del mismo respeta las orientaciones y objetivos de los diseños curriculares oficiales. Aquí por cuestiones de espacio, presentamos solo dos de ellas, sus resultados y análisis. El cuestionario fue validado por la revisión por pares y por un estudio piloto previo para constatar la coherencia entre las preguntas y los objetivos, así como la comprensión de los enunciados por los estudiantes. Una vez atendidas las sugerencias de los revisores y de cambiar algo la redacción de alguna cuestión que no fue bien comprendida por algunos estudiantes, se realizó la versión final que se presenta en este artículo. El cuestionario se implementó a una muestra de 33 estudiantes correspondientes al quinto año de la educación secundaria pocas semanas luego de haber recibido la instrucción sobre la temática de interés. El grupo estaba constituido por 20 mujeres y 13 varones. El estudiantado participó voluntariamente y era consciente de que los resultados a los cuestionarios aportarían información para una

investigación. Dejamos que el docente a cargo decida de qué manera los mismos se tendrían en cuenta para las notas de cierre del tema.

A continuación, mostramos dos de las seis cuestiones del cuestionario que denominamos aquí Q1 y Q2. A lo largo de la cuestión Q1 los estudiantes deben identificar los factores importantes para calcular el trabajo que hace la escalera mecánica (ver cuadro 1).

**CUADRO 1.** Q1. Abordaje del concepto de trabajo, su relación con la energía, con el sistema y el entorno. Fuente: Autores.

**Q1:** Una escalera mecánica que se mueve a velocidad constante te lleva de un nivel al siguiente en un centro comercial. El nivel superior está a 6,0 m sobre el nivel inferior, y la longitud de la escalera mecánica es de 7,0 m. ¿Cuánto trabajo hace la escalera mecánica sobre una persona de 70kg cuando la conduce desde el nivel inferior al nivel superior?

Para resolver la cuestión propuesta, los estudiantes deben darse cuenta de que se trata de calcular el trabajo interpretando una transferencia de energía. Es decir, hay que analizar un fenómeno de transferencia de energía y por tanto, el análisis energético obliga a definir el sistema y el entorno entre los que se hace dicha transferencia. En este trabajo entendemos por sistema el cuerpo o conjunto de cuerpos que son objeto de análisis. Debe quedar en claro que en la cuestión presentada se pueden definir diferentes sistemas. Una opción es considerar el sistema formado por “la persona” y centrarse en el trabajo realizado por las fuerzas externas que actúan sobre él (la persona). Este análisis lleva a concluir que las fuerzas externas son las que ejerce el planeta Tierra (fuerza gravitatoria) y la escalera. Por tanto, el trabajo sobre el sistema “persona” es:

$$W_{ext} = W_{esc} + W_{fg} \quad (1)$$

Para calcular el trabajo se recurre a su definición operativa,

$$W = \int_{h1}^{h2} \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (2)$$

que acorde al nivel educativo de esta investigación sería,

$$W_{ext} = F d \cos(\theta) \quad (3)$$

donde  $\vartheta$  es el ángulo formado entre la dirección de la fuerza y la del desplazamiento (dato que el enunciado no proporciona). El problema aquí es que tanto la fuerza de la escalera (la cual por cierto deberíamos interpretarla como la suma de las contribuciones de la reacción del suelo de la escalera junto con la fuerza de roce) como la fuerza dada por la gravedad, deben ser calculadas mediante un buen manejo de descomposición vectorial que dependerá a su vez del sistema de coordenadas elegido. Todo ello lleva a considerar que este camino es demasiado complejo para que los estudiantes de secundaria alcancen una buena resolución, aunque es necesario indicar que, si encontraran los datos necesarios y con el correspondiente cálculo numérico, se obtendría el valor del trabajo con un resultado igual al que se puede obtener eligiendo otros sistemas.

Una segunda opción es considerar el sistema “persona-Tierra” que considera como trabajo externo el realizado por la fuerza de la escalera. En este caso tenemos que la escalera invierte una cierta cantidad de trabajo en cambiar el estado potencial gravitacional del sistema (diferencia de altura respecto a la Tierra) y el cual debe interpretarse (cuando no tenemos cambios de masa ni del factor “g”) como:

$$\Delta E_{pg} = m g \Delta h \quad (4)$$

Además, dado que el sistema no modifica su velocidad y el planeta Tierra relativamente no se mueve, tampoco tenemos variaciones de energía cinética. Esta descripción cualitativa de la transferencia de energía definida a través

del trabajo mecánico y de las formas de energía cinética y potencial, se puede expresar en forma cuantitativa con el principio de conservación de la energía para el contexto de la Mecánica:

$$\Delta E_c + \Delta E_{pg} + \Delta E_i = W_{ext} \quad (5)$$

$$0 + \Delta E_{pg} + 0 = W_{esc} \quad (6)$$

$$m g \Delta h = W_{esc} \quad (7)$$

Por supuesto, eligiendo el sistema “persona” y teniendo los datos para realizar el cálculo numérico el resultado sería el mismo, puesto que es bien sabido que independientemente del sistema elegido para analizar un fenómeno el principio de conservación se cumple.

Hemos elegido la cuestión Q2 para poder entender de qué manera los estudiantes interpretan la transferencia de energía producida en el fenómeno y utilizan explícitamente el concepto de energía interna, además del de energía potencial y cinética (ver cuadro 2).

**CUADRO 2.** Q2. Abordaje del principio de conservación de la energía y su vínculo con el sistema y el entorno. Fuente: Autores.

**Q2.** Una chica de 30 kg se desliza por un tobogán con rozamiento desde lo alto, que tiene una altura de 5 m. Su velocidad al llegar al suelo es de 8,0 m/s. ¿Cuánto ha sido la variación de energía interna entre la chica y la superficie del tobogán?

Los estudiantes deben elegir un sistema y el entorno donde se produce la transferencia de energía para realizar el análisis energético. Aquí también se puede elegir diferentes sistemas, aunque en unos puede ser más sencillo el análisis que en otros. Si el sistema elegido es “chica-tobogán-Tierra”, entonces no hay fuerzas externas al sistema (se ha elegido todo el universo del fenómeno) y hay variación de energía cinética (debido al cambio de velocidad), variación de energía potencial gravitatoria (debido al cambio de altura) y variación de energía interna térmica (debido al roce entre la superficie del tobogán y la chica). En este caso el principio de conservación de la energía toma la siguiente forma:

$$\Delta E_c + \Delta E_{pg} + \Delta E_i = W_{ext} \quad (8)$$

$$\Delta E_c + \Delta E_{pg} + \Delta E_i = 0 \quad (9)$$

$$m\left(\frac{1}{2}v_f^2 - 0\right) + mg(0 - h_o) + \Delta E_i = 0 \quad (10)$$

$$m\left(-\frac{1}{2}vf^2 + gh_f\right) = \Delta E_i \quad m\left(-\frac{1}{2}v_f^2 + gh_o\right) = \Delta E_i \quad (11)$$

Otra posibilidad es que los estudiantes elijan el sistema “chica”, entonces tenemos que la fuerza gravitatoria es externa al sistema, por lo que produce un trabajo. No hay energía potencial gravitatoria, porque en el sistema no se encuentra incluido el planeta Tierra. Debido al rozamiento hay variación de energía interna térmica que denotaremos con una tilde ya que no es la misma que en la configuración anterior, una parte se transferirá a la chica y otra parte a la rampa. Al aplicar el principio de conservación de la energía, tenemos que:

$$\Delta E_c + \Delta E_{pg} + \Delta E_i = W_{ext} \quad (12)$$

$$m\left(\frac{1}{2}v_f^2 - 0\right) + 0 + \Delta E_i' = W_{fg} + W_{roce} \quad (13)$$

$$m\left(-\frac{1}{2}v_f^2 + gh_o\right) + W_{roce} = \Delta E_i' \quad (14)$$

En este caso es común pensar que podemos calcular el trabajo de la fuerza de rozamiento, no obstante, se ha mostrado en la literatura que al menos no podemos hacerlo mediante la usual expresión de trabajo presentada

anteriormente como ecuación (2) (Besson, Borghi, De Ambrosis y Mascheretti, 2007). Por lo tanto, no podemos calcular la parte de  $E_i$  que se le transfiere a la chica. Si los estudiantes eligen el sistema “chica-rampa”, tenemos que la única fuerza externa es la gravitatoria, siendo esta la única capaz de aportar con trabajo. Debido al rozamiento hay variación de energía interna térmica. Al aplicar el principio de conservación de la energía, tenemos que:

$$\Delta E_c + \Delta E_{pg} + \Delta E_i = W_{ext} \tag{15}$$

$$\left(m \frac{1}{2} v_f^2 - 0\right) + 0 + \Delta E_i = W_{fg} \tag{16}$$

$$m\left(-\frac{1}{2} v_f^2 + gh_0\right) = \Delta E_i \quad m\left(-\frac{1}{2} v_f^2 + gh_0\right) = \Delta E_i \tag{17}$$

Como se puede ver, el resultado obtenido (no el análisis energético) es el mismo, como no puede ser de otra manera al cumplirse el principio de conservación independientemente del sistema elegido.

#### IV. RESULTADOS

En este apartado se agruparon en diferentes categorías los resultados obtenidos tras analizar las respuestas dadas por los estudiantes a las dos cuestiones. Se ha representado a cada categoría con una letra de la “A” a la “D” y sub categorías agregando a la letra asignada un número del 1 al 9. La simbolización es dada acorde a la dificultad que le llevaría al docente llevar el razonamiento de una respuesta al canon de la física (categorías tipo “A” presentan menos dificultad que categorías tipo “D”). La Tabla I resume los resultados que se obtuvieron para la pregunta Q1.

**TABLA I.** La columna izquierda muestra las categorías correspondientes a las respuestas de los estudiantes a la pregunta Q1. La columna de la derecha muestra la frecuencia que obtuvimos para cada categoría.

Categoría explicativa	Estudiantes N=33
<b>B1.</b> <i>Aplica ecuaciones sin justificar o de manera incorrecta: <math>W = \bar{F} \cdot \bar{d}</math></i>	18
<b>B2.</b> <i>Explicita que el trabajo es una transferencia de energía, pero no lo aplica.</i>	3
<b>D1.</b> <i>Incoherentes</i>	6
<b>D2.</b> <i>No contesta (no explica lo que pone) o en blanco</i>	6

No hemos encontrado ninguna respuesta que incluya explicaciones que interpreten adecuadamente el fenómeno de transferencia de energía entre un sistema y el entorno y, que apliquen adecuadamente el principio de conservación de la energía mecánica.

La categoría B1 incluye más de la mitad de las respuestas (N=18). Estas son explicaciones que abordan incorrectamente la resolución de la cuestión, a partir de la definición operativa de trabajo. Se indica, sin justificar, que el trabajo es  $W=F \cdot d$ , donde la fuerza que hace la escalera es igual al peso de la persona, y el desplazamiento “d” por el cual actúa dicha fuerza es “h”, lo cual no es correcto. Además, no se tiene en cuenta el producto escalar de las dos magnitudes. Un ejemplo estándar de este tipo de respuesta es: *Para resolver el trabajo hay que utilizar la fórmula de trabajo  $T = F \cdot d$  y por tanto:  $T = 70 \text{ kg } 6,0 \text{ m}$ ; por tanto la solución es:  $T = 420 \text{ J}$ . (Estudiante 15).*

La categoría B2 incluye una minoría de respuestas (N=3) que muestran un aprendizaje incompleto, con un abordaje cualitativo y muy general que no concreta la resolución del problema. Por ejemplo:  *$W = \text{Transferencia de energía desde un sistema empujando mediante fuerzas. La escalera para subir a la persona tiene que hacer la misma fuerza que la  $F_g$ .$  (Estudiante 19).*

La categoría D1 incluye una sexta parte de las respuestas (N=6), presentando contradicciones que dificultan la comprensión del desarrollo del problema, por ejemplo, una ecuación sin explicaciones:  *$\alpha = F_g + W$  (Estudiante 13).*

Otra sexta parte de las respuestas son las que se encuentran en blanco o bien no responden a la cuestión (categoría D2). A continuación, la Tabla II resume los resultados obtenidos para la pregunta Q2 y en donde las categorías se ordenan y simbolizan de la misma manera que en la tabla anterior.

**TABLA II.** La columna izquierda muestra las categorías correspondientes a las respuestas de los estudiantes a la pregunta Q2. La columna de la derecha muestra la frecuencia que obtuvimos para cada categoría.

Categoría explicativa	Estudiantes N=33
<b>B.</b> Define un sistema y el entorno para definir la transferencia de energía, y explica algunas de las variaciones de energía que se producen, pero no resuelve.	2
<b>C.</b> No definen el sistema y el entorno donde se produce la transferencia de energía e intenta plantear ecuaciones (o en parte) de tipos de energía sin justificar.	5
<b>D1.</b> Incoherentes.	3
<b>D2.</b> No contesta (no explica lo que pone) o en blanco.	23

Nuevamente no hemos encontrado ninguna respuesta que incluya explicaciones que interpreten adecuadamente el fenómeno de transferencia de energía entre un sistema y el entorno y, que apliquen adecuadamente el principio de conservación de la energía mecánica.

En la categoría B se encuentran únicamente dos respuestas que eligen el sistema y el entorno, aunque no resuelve, un ejemplo: *Entorno: Tierra, tobogán. Sistema: Persona. No me acuerdo el lado izquierdo de la ecuación  $0 = E_c + E_{pg} + E_i$  (Estudiante 16).*

Casi una sexta parte (N=5) se enmarca dentro de la categoría C, situaciones en las cuales se plantean ecuaciones (o parte de ellas) sin justificar. Un ejemplo de esta categoría es la siguiente: *Aparece la  $E_c$  y la  $E_{pg}$  podría ser:  $E_c + E_{pg} + E_i = W$  (tendría que despejar  $E_i$  pero no me acuerdo cómo) (Estudiante 27).*

Pocas respuestas (N=3) se han interpretado como categoría D1, las que resultan incoherentes, por ejemplo: *La variación de energía interna se puede interpretar como el cambio de energía potencial a energía cinética, siendo su energía inicial  $E_p = mgh = 20 \cdot 9.8 \cdot 5 = 1470 \text{ J}$  y su energía final  $E_c = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 8 = 960 \text{ J}$  (Estudiante 7).*

Es de resaltar que más de dos tercios de las respuestas (N=23) de los estudiantes, no contestan (categoría D2), por ejemplo: *Cambio de temperatura:  $30 \cdot 5 = 150$ ;  $30 \cdot 8.0 = 240$  (Estudiante 21).*

## V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados muestran que un porcentaje significativo de estudiantes no considera necesario que al analizar un fenómeno de transferencia de energía se deba definir explícitamente el sistema y el entorno entre los que se produce, ya que, casi ninguna respuesta a las cuestiones Q1 y Q2 lo hace. Sin embargo, sí hay una minoría de respuestas que se encuentra en un marco intermedio que ofrece explicaciones cualitativas sin concretar (categoría B). En el caso de la cuestión Q1, las respuestas de esta categoría son alrededor de los dos tercios de la muestra, lo que indica que presentan un camino explicativo, aunque cometan errores de significado de las magnitudes implicadas. Esta brecha entre el razonamiento científico y el de los estudiantes también se ha encontrado en otras investigaciones internacionales (Papadouris, Constantinou y Kyratsi, 2008).

Es de resaltar la cantidad de respuestas que no contestan, más de dos tercios de las respuestas, en la cuestión Q2. Esto puede ser debido a la alta demanda cognitiva de la cuestión que implica haber recibido instrucción sobre el tipo de energía denominada "Energía interna", que en cursos introductorios en mecánica comprende considerar los cambios de energía en sistemas que consisten en objetos extensos, por ejemplo, bloques que se deslizan con rozamiento, coches que frenan, etc. En estos casos no es posible modelar estos sistemas como partículas puntuales que no tienen estructura interna. Sabemos que, como resultado de las interacciones con su entorno, los objetos extensos sufren transformaciones que a nivel introductorio se engloban en el tipo de energía denominado "energía interna". Algunas de las respuestas de los estudiantes a la cuestión Q2, indican explícitamente que no saben de qué energía se trata o que "no conocen su fórmula". Sin embargo, la cuestión Q2 es una cuestión estándar comentada y resuelta en los libros de física introductoria.

La falta de respuestas que expresan razonamiento de acuerdo con el conocimiento canónico lleva a pensar que, en la enseñanza de la energía, su transferencia y conservación, se debe promover el razonamiento contextualizado para llevar a los estudiantes gradualmente desde sus concepciones previas hasta la explicación científica que cubra todos los pasos intermedios. A menudo es posible obtener las soluciones correctas a los problemas presentados en los libros de texto de la escuela secundaria y la universidad a pesar de la falta de precisión al discutir el sistema y entorno. En consecuencia, se puede argumentar que rara vez es necesario elegir explícitamente "un sistema" al analizar las transferencias de energía y las relaciones entre trabajo y variación de energía (principio de conservación de la energía mecánica). Del mismo modo, se puede pensar que utilizar expresiones informales que asocien energía potencial a un

objeto en lugar de a un sistema apenas influye en el aprendizaje. Sin embargo, nuestros resultados revelan que, al considerar sistemas, estas inconsistencias pueden tener serias implicaciones para los estudiantes que aprenden física en cursos introductorios. Asimismo, las diferencias en las respuestas correctas (por ejemplo, cuándo se consideran las fuerzas de fricción y cuándo no) alertan sobre la práctica común en la enseñanza de no tratar el principio de conservación de la energía mecánica como un principio válido para analizar el balance energético de cualquier sistema. Los resultados muestran que puede ser perjudicial presentar las transformaciones de energía sin explicitar detalladamente el sistema y su entorno. Estos resultados coinciden con otros a nivel internacional (Seeley, Vokos, y Etkina, 2019; Trumper y Gorsky, 1993).

Como se ha comentado en la resolución sistémica de las cuestiones Q1 y Q2, al negociar la definición física de un sistema con estudiantes que aprenden sobre la energía en el dominio de la física, los profesores de física y los autores de libros de texto deben prestar especial atención a distinguir la constancia de energía (que depende del sistema y el proceso físico) de la conservación de la energía (que es válida para todos los sistemas elecciones y todos los procesos). Resaltar estos aspectos en la enseñanza puede llevar a los estudiantes a una mejora en la comprensión de los conceptos y la resolución de problemas de energía.

Para finalizar hay que mencionar las limitaciones de este estudio que es preliminar, con una muestra reducida de estudiantes y que se ha presentado aquí para dos cuestiones del cuestionario. Sin embargo, se ha visto que las conclusiones coinciden con otros estudios realizados para niveles de universidad y de formación de profesorado, lo que indica que los resultados obtenidos ofrecen buena correlación con otras investigaciones sobre dificultades en el aprendizaje de la energía y son persistentes en niveles educativos superiores. En una próxima investigación, trabajaremos en una muestra más amplia y se mostrarán los resultados de todas las preguntas del cuestionario. Estas investigaciones forman parte de una tesis doctoral cuyo objetivo principal es mejorar el aprendizaje de la energía, su transferencia y el principio de conservación en estudiantes de secundaria para la mecánica.

## REFERENCIAS

Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., y Mascheretti, P. (2007). Cómo enseñar fricción: experimentos y modelos. *American Journal of Physics*, 75(12), 1106-1113. <https://doi.org/10.1119/1.2779881>

Chabay, R., Sherwood, B. y Titus, A. (2019). A unified, contemporary approach to teaching energy in introductory physics. *American Journal of Physics*, 87(7), 504-509. <https://doi.org/10.1119/1.5109519>

Colonnese, D., Heron, P., Michellini, M., Santi, L. y Stefanel, A. (2012). A vertical pathway for teaching and learning the concept of energy. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), 21-50. <https://doi.org/10.26220/rev.1696>

Dirección General de Planeamiento e Información Educativa. Subsecretaría de Promoción de Igualdad y Calidad Educativa. Secretaría de Educación. Ministerio de Educación de la Provincia de Córdoba. (2012). *Diseño curricular de Educación Secundaria (2012 - 2015)*. Orientación Ciencias Naturales. Tomo 4, p. 89, 2012. Recuperado de <https://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/EducacionSecundaria/LISTO%20PDF/orientacion%20naturales28-03-12.pdf>

Doménech, J. L., Gil-Pérez, D., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R., Valdés, P. y Vilches, A. (2007). Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16, 43-64. <https://doi.org/10.1007/s11191-005-5036-3>

Gil Pérez, D. G., Furió-Mas, C., Castro, P. V., Salinas, J., Martínez Torregrosa, J. M., Guisasola Aranzabal, J. G., González, E., Dumas-Carré, A., Goffard, M. y Pessoa de Carvalho, A. M. (1999). ¿ Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(2), 311-320. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4094>

Guisasola, J., Campos, E., Zuza, K. y Zavala, G. (2023). Phenomenographic approach to understanding students' learning in physics education. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 020602. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020602>



- Leaton Gray, S., Scott, D. y Mehisto, P. (2018). *Curriculum Reform in the European Schools: Towards a 21st century vision*. Cham, Switzerland: Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71464-6>
- Lithner, J. (2008). A research framework for creative and imitative reasoning. *Educational Studies in mathematics*, 67, 255-276.
- López Simó, V. y Couso Lagarón, D. (2022). Un currículo operativo con 10 ideas clave sobre energía para construir a lo largo de la escolaridad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 350101-350114. [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2022.v19.i3.3501](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3501)
- Neumann, K. y Nordine, J. C. (2023). Energy. En M. F. Taşar y P. R. L. Heron (Eds.), *The International Handbook of Physics Education Research: Learning Physics*. Melville, New York: AIP Publishing.
- Papadouris, N., Constantinou, C. P. y Kyratsi, T. (2008). Students' use of the energy model to account for changes in physical systems. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 45(4), 444-469. <https://doi.org/10.1002/tea.20235>
- Sabo, H. C., Goodhew, L. M. y Robertson, A. D. (2016). University student conceptual resources for understanding energy. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010126. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010126>
- Seeley, L., Vokos, S. y Etkina, E. (2019). Examining physics teacher understanding of systems and the role it plays in supporting student energy reasoning. *American Journal of Physics*, 87(7), 510-519. <https://doi.org/10.1119/1.5110663>
- Solbes, J., Guisasola, J. y Tarín, F. (2009). Teaching energy conservation as a unifying principle in physics. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 265-274. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9149-3>
- Trumper, R. y Gorsky, P. (1993). Learning about energy: The influence of alternative frameworks, cognitive levels, and closed-mindedness. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 637-648. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300704>
- Tong, D., Liu, J., Sun, Y., Liu, Q., Zhang, X., Pan, S. y Bao, L. (2023). Assessment of student knowledge integration in learning work and mechanical energy. *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010127. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010127>
- Vilches, A. y Gil, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible: diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press.
- Vosniadou S., Vamvakoussi X. y Skopeliti I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. En S. Vosniadou, *International Handbook of Research on Conceptual Change* (3–34). New York: Routledge.
- Vosniadou S. (2012). Reframing the classical approach to conceptual change preconceptions, misconceptions and synthetic models. En B. J. Fraser, K. G. Tobin y C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (119-130). London: Springer.