

Algunos aportes de la epistemología para la enseñanza de la física. El caso de la energía en la escuela secundaria

Some contributions of the epistemology of physics for science teaching. The case for energy in high school

Nicolás Gandolfo^{1*}, Laura Buteler^{1,2} y Jenaro Guisasola³

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

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

³ Donostia Physics Education Research Group. Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

*E-mail: ngandolfo@unc.edu.ar

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumen

Este trabajo es parte de la tesis doctoral denominada *La enseñanza y el aprendizaje de la energía en la escuela secundaria: un estudio de investigación basada en el diseño*. Tomando los contenidos del eje fenómenos mecánicos del 5.º año orientación naturales del diseño curricular de la provincia de Córdoba intentamos contestar las siguientes preguntas de investigación: ¿qué sugerencias para la enseñanza con relación a la selección y organización de estos contenidos podemos encontrar al realizar un abordaje epistemológico de la energía?, ¿cuáles son las ideas claves y los posibles objetivos de aprendizaje que emergen de realizar este tipo de abordajes? Del análisis surgen aquellas claves epistemológicas que supusieron verdaderos saltos hacia la teoría actual de la física y posibles objetivos de aprendizaje contextualizados para el nivel educativo que trabaja esta investigación.

Palabras clave: Energía; Epistemología e historia de la ciencia; Selección de contenidos; Ideas clave; Objetivos de enseñanza.

Abstract

This work is part of the doctoral thesis called *The teaching and learning of energy in secondary school: a research study based on design*. Taking the contents relative to mechanical phenomena of the natural sciences orientation 5th course secondary school curricular design (Córdoba province, Argentina), we will try to answer the following research questions: what suggestions for teaching in relation to the selection and organization of these contents can we find when carrying out an epistemological approach to energy? What are the possible learning objectives that emerge from carrying out this type of approach? From the analysis emerge those epistemological keys that supposed real leaps towards the current theory of physics and possible contextualized learning objectives for the educational level that this research works on.

Keywords: Energy; Epistemology and history of science; Content selection; Key ideas; Teaching goals.

I. INTRODUCCIÓN

Si analizamos detenidamente el diseño curricular para la educación secundaria de la provincia de Córdoba particularmente en el área de física, nos encontramos con recomendaciones, objetivos, aprendizajes y contenidos, y orientaciones para la enseñanza y evaluación, que van en consonancia con los más recientes resultados de la investigación educativa, convirtiendo a este instrumento en un muy buen dispositivo orientador. Aun así, el que exista un diseño curricular, no parece ser garantía de que el gran impacto educativo que se propone realizar sea concretado y por ende que sea reconocido como herramienta fundamental para el aula (Abell, 2008; Guisasola, Barragués, y Garmendia, 2013). ¿Qué es lo que podría provocar este desequilibrio? Según Jurado y Parga (2009) *"El currículo se organiza en torno a preguntas más que en torno a respuestas. Por ello, cabe pensar que la propia historia de las ciencias debe desempeñar un papel esencial en la organización y secuenciación de los contenidos"* (p. 135). Si bien el currículo escolar reconoce la relevancia de incluir en nuestras propuestas de enseñanza la dimensión histórica y epistemológica, no encontramos que las relacione con la secuenciación, organización, y selección de los contenidos. Lo que vemos con relación a esta tarea es que:

El propósito de la distribución en ejes es facilitar la visualización de los aprendizajes que deben ser abordados y no representan prioridad ni secuencia alguna. Será función de los docentes tomar decisiones fundamentadas en cuanto a la selección, organización y secuenciación, así como sobre su adecuación, de acuerdo a las características de los estudiantes y sus contextos. (Diseño curricular para la educación secundaria de la provincia de Córdoba, p. 90)

Ante tal libertad y autonomía para seleccionar y secuenciar los contenidos cabe preguntarse ¿qué tipos de recursos nos orientan para dar fundamento a nuestras elecciones, de manera de secuenciar los contenidos lo más objetivamente posible? En este sentido, el análisis epistemológico-ontológico considera la estructura interna del dominio científico elegido para justificar una propuesta para la construcción de ese conocimiento en un entorno educativo específico. El resultado es un conjunto de ideas clave que deben ser articuladas para enseñar a los estudiantes (Hodson, 2014). El problema es que poco se ha investigado en cómo la dimensión epistemológica sirve como guía para la selección de los contenidos y logra emerger objetivos de aprendizaje que van en consonancia con las propuestas curriculares (Abd-El-Khalick, 2012; Guisasola, Montero y Fernández, 2008). Se trata de aportar, entonces, evidencias epistemológicas de la disciplina que permitan justificar la elección de los contenidos y objetivos de enseñanza y aprendizaje, evitando las definiciones basadas en la idiosincrasia del profesorado o de elecciones tradicionales no explícitamente justificadas. El proceso de definición de objetivos incluye también la revisión de la información existente sobre las dificultades conocidas en el aprendizaje del tema y las soluciones didácticas existentes para superarlas. Es crucial definir los objetivos de aprendizaje de forma clara y explícita si queremos que los resultados de la evaluación de los materiales implementados sean útiles en futuros diseños (McKenney y Reeves, 2018).

Según Grossman, Wilson y Shulman (2005), *"Los buenos profesores no solo conocen el contenido que enseñan sino que saben cosas sobre su contenido que hacen posible la instrucción efectiva."* (p. 5). Creemos que, si dentro de esas "cosas" a las que se refiere Grosman *et al.* (2005) se encuentra la dimensión epistemológica y ontológica podremos contar con propuestas cada vez más objetivas y fundamentadas. Cabe entonces preguntarse ¿qué sugerencias para la enseñanza con relación a la selección y organización de estos contenidos podemos encontrar al realizar un abordaje epistemológico de la energía? ¿cuáles son las ideas claves y los posibles objetivos de aprendizaje que emergen de realizar este tipo de abordajes?

Presentaremos a continuación un abordaje epistemológico en torno al concepto de energía que nos permitirá identificar las ideas científicas clave que construyen los contenidos conceptuales a enseñar y a partir de ahí definir los objetivos de apoyo a nivel del contexto educativo específico para comenzar a describir los aspectos fundamentales del desarrollo del tema. Así pues, en la sección siguiente se describe de forma breve el desarrollo del concepto de energía y las principales claves epistemológicas que permitieron la definición del concepto actual de energía. A continuación, se concretarán las claves epistemológicas para el contexto educativo de 5º de Secundaria en el que se desarrolla este trabajo, definiendo de esta manera el conocimiento sobre la energía que los profesores deben enseñar y los estudiantes deben aprender (objetivos de aprendizaje) (Guisasola, Zuza, Ametller y Gutierrez-Berraondo, 2017).

II. RECONSTRUCCIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA ENERGÍA

A. Cantidades que se conservan en diferentes fenómenos naturales. El calor y la energía

Las primeras interpretaciones que son directamente relevantes para la trayectoria evolutiva del concepto de energía son las leyes sobre la conservación de cantidades en el comportamiento de diferentes fenómenos naturales. La idea del átomo es un claro ejemplo de este hecho. Con respecto a la conservación de la materia, los antiguos atomistas de

los siglos V y VI, como por ejemplo, el filósofo griego Demócrito (460-370 a. C), afirmaban que todo lo que existe está formado por elementos primordiales indivisibles (átomos) e indestructibles (Engels, 1961; Pietrocola, Pogibin, De Andrade y Romero, 2016; Yáñez, 2021). También encontramos que Leonardo da Vinci (1452-1519) establece la ecuación de continuidad expresando la conservación de la materia en el contexto de los fluidos de la siguiente manera: un río en cada parte de su longitud en igual tiempo da paso a igual cantidad de agua, cualquiera que sea el ancho, la profundidad, la pendiente, la aspereza, la tortuosidad (Riaño, 2015). Esto lo demuestra sugiriendo que, si una sección del río diera más paso de agua que la previa, esta última sección quedaría seca en algún momento (Riaño, 2015). Relacionado con el movimiento, encontramos la teoría del ímpetu por Nicolás Oresme (1323-1382) junto con Juan Buridán (1300-1358), la cual plantea que el ímpetu, se creía, es una sustancia que tienen los cuerpos relacionada con el movimiento y que se conserva transfiriéndose de un cuerpo a otro mediante los choques. Un primer factor que influyó en el desarrollo del concepto de energía pertenece al área de las colisiones. En el siglo XVII y mediante la experimentación de los choques, se desarrollan dos posibles modelos que describen a “la cantidad” que parece conservarse en estas y otras situaciones. Por un lado, la cantidad de movimiento de Descartes (1596-1650) como $m \cdot v$, inspirado en las ideas de Galileo Galilei (1564-1642) (Engels, 1961) y por otro lado $m \cdot v^2$, que Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) demostraría que se conserva en los choques (De Berg, 1997) y que Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) la denomina *vis viva*. Leibniz razonaba lo siguiente: Además, los caminos son proporcionales al cuadrado de la velocidad, debido a que, si uno de los cuerpos cae cuatro metros alcanza el doble de velocidad que si cayera 1 solo metro. Como al chocar contra el suelo, los cuerpos adquieren la fuerza necesaria para subir a la misma altura, entonces esta fuerza es proporcional al cuadrado de la velocidad (Engels, 1961). Es importante notar que en esta época los términos fuerza y potencia o masa y peso, eran usados casi como sinónimos. Leibniz, por ejemplo, afirmaba que la misma fuerza se necesita para levantar a un cuerpo de 4 libras de peso 1 pie, que, para levantar a 4 pies, un cuerpo de 1 libra (Engels, 1961). Por otro lado, Christiaan Huygens (1629-1669) decía “*por fuerza entiendo el poder de levantar un peso*” (De Berg, 1997, p 515).

Aun así, ni el modelo de Descartes puede reemplazar al de Leibniz ni viceversa. Si a dos cuerpos de distintas masas se les aplica la misma fuerza durante la misma distancia, se les comunica la misma variación de energía cinética. Pero si ahora esta misma fuerza ya no es aplicada a través de la misma distancia, sino durante el mismo tiempo, entonces a ambos cuerpos, se les comunica la misma cantidad de momento lineal, no así de energía cinética (Ingard y Kraushaar, 1966). Ambos estarían encontrando “cantidades” distintas que se conservan en eventos particulares. Leibniz por su lado con $m \cdot v^2$ estaría modelizado matemáticamente lo que actualmente se conoce como la energía cinética, si se le incorporara el factor $\frac{1}{2}$ a su término de *vis viva*, incorporación que hace Gaspard Gustave Coriolis (1792-1843) en 1829. Más adelante Thomas Young cambiaría el término de *vis viva* por el actual de energía, (Yáñez, 2021; De Berg, 1997). Un segundo factor importante en el desarrollo del concepto de energía es introducido por Gaspard Gustave Coriolis que nombró al producto del peso por distancia como *trabajo* (De Berg, 1997). La influencia de este factor la describimos en detalle en el apartado B.

Las interpretaciones de los fenómenos térmicos en el siglo XVIII, constituyeron un tercer factor importante en el desarrollo del concepto de energía. Los fenómenos relacionados con el calor eran explicados mediante la teoría del calórico que reemplaza el lugar de la teoría del flogisto del siglo XIII, una aparente sustancia presente en la combustión (Engels, 1961). De acuerdo con la misma, el calórico es una sustancia formada por átomos indestructibles que fluye entre dos cuerpos que entran en contacto a temperaturas diferentes hasta que éstas se igualan. La transferencia de calórico cumple que la cantidad que pierde un cuerpo coincide con la ganada por el otro (Solbes y Tarín, 2008). Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) demuestra que el calórico no tenía masa, a pesar de tratarse de una sustancia, y Benjamin Thompson (1753-1814) comprobó, gracias a la corroboración práctica de “*la producción ilimitada de calor por medio del rozamiento en la perforación de tubos para cañones*” (Solbes y Tarín, 2008, p 162), que esta cantidad no podía ser un fluido. Las contribuciones de la descripción de la naturaleza del calor son explicadas en detalle en el apartado C.

B. Origen del concepto de trabajo

El interés por querer multiplicar la velocidad y la fuerza de las personas mediante la construcción de estructuras es sumamente antiguo y resguarda propósitos tanto bélicos como agrícolas (Yáñez, 2021; Riaño, 2015). Aun así, no fue sino hasta la llegada de Galileo que las matemáticas serían tomadas como verdaderos recursos para describir fenómenos relacionados con el mundo natural, trayendo así una nueva manera de realizar ciencia (González y Guerrero, 2004). Galileo define por primera vez una cantidad matemática para poder comparar la eficiencia entre distintas máquinas interpretando que “*la fuerza aplicada a una máquina multiplicada por su velocidad debe ser igual a la carga multiplicada por su velocidad*” (De Berg, 1997). El famoso italiano dedicó parte de su obra al campo de la hidráulica junto con su mentor Benedetto Castelli (1577-1643) quien erróneamente, al igual que Da Vinci, sostuvo que:

La velocidad de salida de un chorro desde un tanque era directamente proporcional a la carga sobre el orificio. Sus análisis sobre la velocidad de salida del agua en elementos reguladores (control) condujeron a que ingenieros italianos consideraran entonces que el gasto era proporcional al cuadrado de la carga, no solo en accesorios de control, sino también en ríos en general. (Riaño, 2015, p. 55)

Luego, Antoine Parent (1666-1716) utiliza el producto de la carga y la velocidad del agua como medida de la potencia de una rueda hidráulica accionada por el impacto del agua. John Smeaton (1724-1792) utiliza el peso multiplicado por la altura a la que se puede elevar un cuerpo en un tiempo determinado como la medida de la potencia que lo eleva (De Berg, 1997).

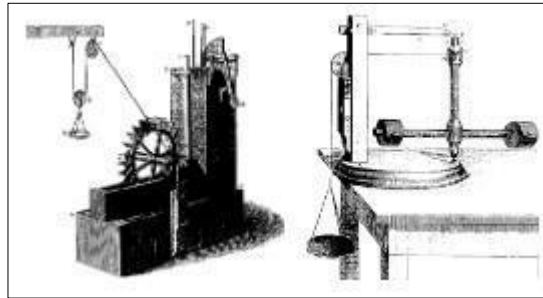


FIGURA 1: Las máquinas de John Smeaton. Imágenes extraídas de De Berg (1997).

Estas formas de querer cuantificar una cantidad para poder comparar la eficiencia entre máquinas son justamente los primeros modelos matemáticos del concepto de trabajo. Vemos que durante estos periodos se utilizaban las relaciones fuerza o carga multiplicado por la velocidad o altura para hablar del trabajo aplicado o producido por una máquina, y a este resultado se lo interpretaba como potencia. Todas estas contribuciones se refieren al establecimiento de relaciones cuantitativas principalmente en el área de la mecánica clásica. Estas relaciones serán utilizadas para el caso principal del equivalente mecánico de fenómenos caloríficos, como veremos a continuación.

C. El calor y el trabajo como transferencia de energía entre sistemas

La búsqueda de relaciones cuantitativas entre fenómenos mecánicos y caloríficos constituye un cuarto factor relevante en la construcción del concepto de energía. Es Daniel Bernoulli (1700-1782), quien proporciona por primera vez una relación entre el trabajo y la vis viva e introduce el concepto de fuerza viva latente. (De Berg, 1997). Bernoulli tomó la aceleración de un pistón que baja comprimiendo a un gas cuando se le coloca una carga por encima y utilizó la ley de Boyle, $P \cdot V = cte$, para llegar a describir un vínculo entre la energía cinética del pistón $\frac{1}{2} m \cdot v^2$ y el trabajo de las fuerzas externas. Teniendo en cuenta que no diferenciaba los términos peso y masa, Bernoulli describe lo siguiente (se ha intentado respetar la notación original): Al no tener cómo medir la presión existente en un cierto recipiente que contiene un gas podemos colocar sobre una base, que tapaná el recipiente, un cierto peso “ p ”. Si logramos que el sistema esté en equilibrio entonces la presión multiplicada por el área inicial del recipiente es igual a p . Si ahora se agrega otro peso P , la base del pistón comenzará a descender de forma acelerada, entonces, la fuerza en función de la posición x que el gas ejerce sobre la base queda determinada por: $p \left(\frac{a'}{a'-x} \right)$ donde “ a' ” es la altura inicial y “ $a'-x$ ” la altura comprimida. Sea $P + p$ la carga total y “ a ” la aceleración de la base entonces:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{f}{m} = \frac{\left\{ (P+p) - p \left(\frac{a'}{a'-x} \right) \right\}}{(P+p)} \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} \frac{dx}{dx} = \frac{f}{m} = \frac{\left\{ (P+p) - p \left(\frac{a'}{a'-x} \right) \right\}}{(P+p)} \quad (2)$$

$$(P+p) \frac{dv}{dt} dx = \left\{ (P+p) - p \left(\frac{a'}{a'-x} \right) \right\} dx \quad (3)$$

$$(P+p) v dv = \left\{ (P+p) - p \left(\frac{a'}{a'-x} \right) \right\} dx \quad (4)$$

E integrando en ambos miembros se obtiene:

$$\frac{1}{2}(P + p)v^2 = \left\{ (P + p)x - a'p \ln\left(\frac{a'}{a' - x}\right) \right\} \quad (5)$$

Solo falta dividir por g en el lado izquierdo para convertir $P + p$ en la masa y encontrar la famosa ecuación de la energía cinética, que actualmente se denomina teorema de la energía cinética en dinámica newtoniana. Si bien se omite el factor g al no diferenciar la masa del peso, no altera la veracidad de la igualdad. Bernoulli identifica al término $a'p \ln\left(\frac{a'}{a' - x}\right)$ como parte de la vis viva utilizada para comprimir el gas, y la denomina vis viva latente, lo que hoy se denomina energía potencial. Es importante reconocer que Leibniz ya había utilizado una interpretación similar cuando afirma que la vis viva queda latente en las partículas del aire cuando un cuerpo es lanzado hacia arriba y llega a su altura más alta (Pietrocola *et al.*, 2016) Más tarde Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), en 1783 utilizó la relación $PH = 1/2 m \cdot v^2$. En 1867, William Thomson (1824-1907) y Peter Guthrie Tait (1831-1901) dieron el nombre de "energía cinética" a la vis viva y de "energía potencial" a la vis viva latente (De Berg, 1997).

A su vez, Joseph David Everett (1831-1904) reflexiona sobre los signos del trabajo de la siguiente manera: "si levantamos el cuerpo a través de una distancia vertical h , hacemos wh pie-libras de trabajo contra la gravedad. El trabajo realizado contra una fuerza puede considerarse como un trabajo negativo realizado por la fuerza" (De Berg, 1997, p 518). Estos avances son las formulaciones de la ecuación actual $\Delta E_p + \Delta E_c = W$ conocida como ecuación de la energía cinética y potencial en dinámica newtoniana. El paso casi definitivo para establecer relaciones entre la energía, el trabajo y el calor se da gracias a que, por un lado, se logra obtener a principios del siglo XIX relaciones entre varios fenómenos tales como el magnetismo, la electricidad, el calor, la luz, etc., y por el otro, se asienta a mediados del siglo XIX "de forma simultánea e independiente por Julius Robert von Mayer (1814-1878), James Prescott Joule (1818-1889) y Helmholtz, el principio de conservación de la energía" (Solbes y Tarín, 2008, p 163). Una de las experiencias más significativas en torno a este contexto es realizada por Joule, quien conecta un cierto peso a una polea para que al caer se transmita ese movimiento a unas astas dentro de un recipiente que giran y mueven a un líquido. Joule relaciona la distancia recorrida por el peso con la elevación de la temperatura. Joule logra cuantificar el trabajo transferido por la fuerza gravitatoria cuando moviliza una masa a través de una distancia, hacia las paletas que giran dentro de un fluido para calentar agua. La elevación de temperatura logra medirse con un termómetro y se corrobora así que una cierta cantidad de trabajo es equivalente a una cierta cantidad de calor.

El proceso inverso en el que se aprovecha una cierta cantidad de calor para producir una cierta cantidad de trabajo ya había sido analizado anteriormente mediante las máquinas a vapor. A su vez y de forma paralela, el concepto de trabajo era analizado desde un principio como una transferencia de trabajo mecánico producido por alguna fuente como la gravedad, el río o el viento, en trabajo mecánico que una máquina podría realizar para algún fin. Puede verse con todo esto, cómo es que el concepto de trabajo y calor son utilizados simplemente para transferir o aprovechar de un sistema a otro el movimiento. Sin embargo, todavía queda pendiente el problema de cómo relacionar el trabajo y la energía como transferencia de una cantidad que se conservaba y que se llamaba de forma genérica "energía".

Lo que encontramos hasta aquí es que si bien los procesos en donde el calor y el trabajo mecánico son reproducidos en manualidades o máquinas desde la antigüedad, hasta la llegada de Galileo "la solución de los problemas llega por aproximaciones sucesivas. Las experiencias se transmiten de generación en generación" (Riaño, 2015, p 50). Es por ello que los resultados de Joule aportan una fuerte contribución hacia los conocimientos que se tenían entre el calor y el trabajo.

En el establecimiento de estas relaciones emerge gradualmente el concepto de energía y surgen ciertos rasgos epistémicos tales como su naturaleza unificadora en diferentes fenómenos y la aplicabilidad de la ley de conservación. Este proceso lo explicamos en detalle en el siguiente apartado.

D. Formulación actual en las relaciones trabajo y energía en la dinámica newtoniana

Si bien la actual expresión $\Delta E_p + \Delta E_c = W$ significó un importante paso dado por Bernoulli, no representa actualmente el principio de conservación de la energía, sino una derivación de los principios de la dinámica, aplicable a los sistemas mecánicos en ausencia de trabajo de fuerzas no conservativas (Mungan, 2005). Este argumento conceptual viene apoyado también por argumentos epistemológicos en el desarrollo de construcción del Principio de Conservación de la Energía, en el que tampoco se consideró una generalización del teorema de energía cinética. Helmholtz usa las ideas de Huygens y Leibniz para poder mostrar matemáticamente la existencia de una propiedad que se conserva en diferentes situaciones, pero sobre todo su convencimiento respecto a la conexión entre todos los fenómenos naturales (mecánicos, eléctricos, térmicos, químicos, ...) le permite dar un paso más allá de casos particulares en Mecánica y poder establecer el principio general de la energía (Harman, 1990).

En el marco teórico actual de la física clásica (Boohan y Ogborn, 1996; Tarsitani y Vicentini, 1991; Mamallinckrodt y Leff, 1992; Besson, 2003) se mantiene una fuerte conexión entre los conceptos de energía y trabajo y el principio

generalizado del trabajo y la energía (PGTE) en mecánica clásica. Se propone un enfoque que aborda desde el comienzo que el principio de conservación de la energía muestra que la variación de energía de un sistema es igual al balance de energía transferida entre el sistema y el exterior. El sistema se elige arbitrariamente pero la conservación de la energía se cumple siempre independientemente del sistema elegido:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \text{Cantidad energía transferida sistema-exterior} \quad (6)$$

La primera parte de la ecuación describe un efecto sobre el sistema. La segunda parte de la ecuación describe las causas de ese efecto que incluyen las interacciones entre el sistema y el exterior. La ecuación (6) permite explicar de forma sencilla que un sistema aislado es el que no tiene transferencia de energía con el entorno ($\Delta T_{s-e}=0$) y por tanto $\Delta E_{\text{sistema}} = 0$. Así mismo, si el balance de transferencia de energía es cero ($\Delta T_{s-e}=0$), aunque el sistema no está aislado su variación total de energía es cero y se dice que es un sistema no-aislado en estado estacionario. La energía como propiedad de un sistema se puede almacenar en cuatro formas: Energía cinética (E_c), energía potencial (por ejemplo, gravitatoria E_{pg} y elástica E_{pe}), energía interna (tal como, térmica $E_{\text{térmica}}$ y química $E_{\text{química}}$) y energía en reposo. Como no vamos a considerar objetos cercanos a la velocidad de la luz no mencionaremos este último tipo de energía. La energía interna incluye la energía térmica asociada con el trabajo de las fuerzas de rozamiento dentro del sistema, la energía química asociada con las fuerzas de enlace entre las moléculas del sistema y energía nuclear (además de otros tipos de energía que pueden almacenarse en un sistema). Así:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \Delta E_c + \Delta E_{pg} + \Delta E_{pe} + \Delta U (\Delta E_{\text{térmica}} + \Delta E_{\text{química}} + \text{otras energías del sistema}) \quad (7)$$

Los *tipos de transferencia de energía* a considerar son: i) El trabajo W es la transferencia de energía en una interacción mecánica, cuando fuerzas externas empujan o tiran del sistema. El trabajo mecánico es el resultado de la actuación de una fuerza a través de un desplazamiento macroscópico; ii) El calor Q es una transferencia de energía en una interacción térmica, cuando el sistema y su entorno tienen diferentes temperaturas. Se transfiere energía cuando las moléculas rápidas en el objeto a mayor temperatura colisionan con las moléculas en el objeto a menor temperatura. De media, estas colisiones causan que las moléculas rápidas pierdan energía y las lentas ganen energía. El resultado es que la energía se transfiere del sistema “caliente” al “frío”. Este proceso de transferencia de energía se llama interacción térmica. De acuerdo con lo anterior, la ecuación (7) se puede expresar:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U (\Delta E_{\text{térmica}} + \Delta E_{\text{química}}) = W + Q \quad (8)$$

Este principio de conservación de la energía es general y válido para cualquier situación. Sin embargo, para su correcta aplicación es necesario definir el sistema y el intervalo de tiempo en que se aplica. Como veremos a continuación en la parte del currículo que desarrollaremos en este proyecto no analizaremos fenómenos de interacción térmica y por tanto el término Q será cero. Podemos concretar la ecuación (8) en:

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U = W_{\text{ext.}} \quad (9)$$

El relato de la elaboración gradual del concepto de energía como marco para analizar interacciones entre sistemas nos indica tres rasgos epistémicos claves que podrían informar de manera útil sobre los intentos de diseñar objetivos de aprendizaje epistemológicamente fundamentados:

- I. Naturaleza unificadora de diferentes fenómenos.
- II. Utilización del concepto de sistema para establecer relaciones entre magnitudes diferentes como trabajo o calor.
- III. Aplicabilidad de la ley de conservación correspondiente a cualquier sistema cerrado.

Estos rasgos epistémicos se pueden concretar en las ideas clave epistemológicamente relevantes que se mencionan en el siguiente apartado y que podrían informar de manera útil sobre los intentos de diseñar objetivos de aprendizaje epistemológicamente fundamentados.

III. CONTEXTUALIZACIÓN AL NIVEL EDUCATIVO: OBJETIVOS DE APRENDIZAJE.

A continuación, se listan los aprendizajes y contenidos del currículo oficial de la provincia de Córdoba en el eje fenómenos mecánicos del 5.º año orientación ciencias naturales relacionados con la energía:

- Interpretar las transformaciones de la energía mecánica que se dan en algunos fenómenos y procesos.
- Aproximarse a la idea de la degradación de la energía.

Se advierte que esta enunciación no alcanza para decidir qué enseñar sobre energía mecánica en este contexto, cuáles son las ideas epistémicamente relevantes y, por lo tanto, qué es prioritario que los estudiantes aprendan. Luego del análisis realizado en la sección anterior, es posible identificar las siguientes ideas clave sobre los conceptos de trabajo, energía y calor, seguidas de posibles objetivos de aprendizaje.

TABLA I. Ideas clave y objetivos de aprendizaje para la energía en 5to año orientación naturales en el eje fenómenos mecánicos.

IDEAS CLAVE	POSIBLES OBJETIVOS DE APRENDIZAJE
<p>C1. Una vez superadas las tentativas empiristas de conceptualización de una “cantidad” que se conserva y al introducir el formalismo matemático, se conceptualizó la energía como una magnitud que describe los cambios experimentados por un sistema. Se considera a la energía como una magnitud asociada a un sistema que puede tener diferentes formas y que se puede transformar y transferir.</p>	<p>Ob.1.1. Diferenciar el concepto de sistema y el de entorno.</p> <p>Ob.1.2. Comprender que la energía es una magnitud que mide el cambio experimentado por un sistema desde una situación inicial a otra final.</p>
<p>C2. El siguiente avance significativo en el análisis de la energía de máquinas y fenómenos naturales vino dado por establecer que todo cambio de energía del sistema implica transferencia o transformación de energía: $\Delta E_{\text{sistema}} = \text{Cantidad de energía transferida sistema-exterior } (\Delta T_{s-e})$.</p>	<p>Ob.2.1. Identificar la energía transferida o transformada entre el sistema y el entorno desde una situación inicial a otra final.</p>
<p>C3. La transferencia de energía se da mediante la realización de un trabajo, el calor o el intercambio de radiación. Podemos decir que la descripción de los cambios en un sistema mediante la transferencia o transformación de energía implica una descripción tanto a nivel macroscópico (mediante el concepto de trabajo mecánico) como microscópico (mediante el concepto de calor). Así el concepto de trabajo engloba las transferencias de energía cinética y, en su caso, potencial del sistema, mientras que el calor describe las transferencias a nivel microscópico englobadas en el término “energía interna” (energía cinética interna de translación y rotación; energía potencial interna de posición relativa de las moléculas).</p>	<p>Ob.3.1 Comprender las utilidades de definir distintas transferencias de energía macro y microscópicas.</p> <p>Ob.3.2 Relacionar adecuadamente las distintas transferencias de energía macro y microscópicas con los modelos matemáticos de la energía.</p>
<p>C4. La energía de un sistema puede no ser constante pero su aumento o disminución puede explicarse a través de un balance de entrada y salida entre el sistema y el entorno.</p>	<p>Ob.4.1 Entender que siempre podemos elegir a un sistema donde la conservación de la energía se cumple.</p>

IV. CONCLUSIONES

En el intento de abordar las preguntas de investigación planteadas: ¿qué sugerencias para la enseñanza con relación a la selección y organización de estos contenidos podemos encontrar al realizar un abordaje epistemológico de la energía? ¿cuáles son las ideas claves y los posibles objetivos de aprendizaje que emergen de realizar este tipo de abordajes?, se realiza un análisis epistemológico que permite recuperar ideas claves sobre la energía que van en línea con la propia construcción del conocimiento científico. Podemos concluir que el relato de la elaboración gradual del concepto de energía como marco para analizar interacciones entre sistemas nos indica tres rasgos epistémicos claves que podrían informar de manera útil sobre los intentos de diseñar objetivos de aprendizaje epistemológicamente fundamentados: i) Naturaleza unificadora de diferentes fenómenos, ii) Utilización del concepto de sistema para establecer relaciones entre magnitudes diferentes como trabajo o calor, iii) Aplicabilidad de la ley de conservación correspondiente a cualquier sistema cerrado. De estas ideas clave emergen los posibles objetivos de aprendizaje mostrados en la Tabla I, obteniendo así un recurso para realizar una posible secuenciación y selección de los contenidos de forma objetiva y fundamentada.

Según el currículo escolar, el orden y secuenciación de los contenidos es una elección personal que depende de la formación e interpretación de los mismos por parte de cada docente. Es importante tener en cuenta que el reconocimiento y valoración de los análisis epistemológicos como guías para la organización de los contenidos no nos quita bajo ningún término la libertad de elegir nuestros propios caminos epistemológicos, sino que, los potencia otorgando fundamentos respaldados por la naturaleza de la ciencia.

V. REFERENCIAS

Abd-El-Khalick, F. (2012). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science and Education*. doi:10.1007/s11191-012-9520-2.

- Abell, S. K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), pp. 1405-1416
- Besson, U. (2003). The distinction between heat and work: An approach based on a classical mechanical model. *European Journal of Physics*, 24, 245–252.
- Boohan, R. y Ogborn, J. (1996). *Energy and change: Introducing a new approach*. London: Institute of education, University of London.
- De Berg, K. C. (1997). The development of the concept of work: a case where history can inform pedagogy. *Science and Education*, 6(5), 511-527. <https://doi.org/10.1023/A:1008642713225>.
- Diseño curricular de Educación Secundaria (2012 - 2015). Orientación Ciencias Naturales. Tomo 4, p. 92, 2012. Ministerio de Educación de la Provincia de Córdoba. Disponible en: <<http://www.igualdadycalidadcba.gov.ar/SIPEC-CBA/publicaciones/EducacionSecundaria/LISTO%20PDF/orientacion%20naturales28-03-12.pdf>>.
- Engels, F. (1961). *Dialéctica de la naturaleza*. México, D.F., México: Grijalbo.
- González, M. F y Guerrero, C. R. (2004). El inicio histórico de la ciencia del movimiento: Implicaciones epistemológicas y didácticas. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, RELIME*, 7(2), 145-156.
- Grossman, P. L., Wilson, S. M. y Shulman, L. S. (2005). Teachers of Substance: Subject Matter Knowledge for Teaching. *Profesorado, Revista De Currículo Y Formación Del Profesorado*, 9(2), 1–25.
- Guisasola, J., Montero, A., & Fernández, M. (2008). La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30, 1604-1.
- Guisasola, J., Barragués, J. I. y Garmendia, M. (2013). El Máster de Formación Inicial del Profesorado de Secundaria y el conocimiento práctico profesional del futuro profesorado de Ciencias Experimentales, Matemáticas y Tecnología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 568-581.
- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J. y Gutierrez-Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020139.
- Harman, P. M. (1990). *Energía, fuerza y materia*. Madrid: Alianza.
- Hodson, D. (2014). Nature of science in the science curriculum: Origin, development, implications and shifting emphases. *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, 911-970. Springer, Dordrecht.
- Ingard, U. y Kraushaar, W. L. (1966). *Introduction to mechanics, matter, and waves*. Barcelona: Reverté.
- Jurado Arcos, R. y Parga, D. (2009). Conocimiento didáctico del contenido curricular en química: la selección de contenidos para enseñar el concepto de estructura en química orgánica. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*. <https://doi.org/10.17227/01203916.218>
- Mallinckrodt, A. J. y Leff, H. S. (1992). All about work. *American Journal of Physics*, 60(4), 356-365.
- McKenney, S. y Reeves, T. C. (2018). *Conducting educational design research*. Routledge.
- Mungan, C. E. (2005). A primer on work-energy relationships for introductory physics. *Physics Teacher*, 43, 10–16
- Pietrocola, M., Pogibin, A., De Andrade, R. y Romero, T. R. (2016). *Ensino médio Física em contextos 2*. Estado de São Paulo: Editora do Brasil.
- Riaño Valle, F. (2015). El nacimiento de la Hidráulica Experimental. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 36(3), 48-60.

Solbes, J. y Tarín, F. (2008). Generalizando el concepto de energía y su conservación. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, (22), 155-180.

Tarsitani, C. y Vicentini, M. (1991). *Calore, energia, entropia*. Milán: Franco Angeli.

Yáñez, A. N. (2021). *Historia de la energía*. España: Guadalmazán.