

Energía, ¿substancia o propiedad? Una investigación en los textos de física

Energy, substance or property? An investigation in physics texts

Gloria P. Colombo^{1*}, Cintia N. Sposetti¹ y Alberto Jardon¹

¹TIDCyT - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, CP 2000, Rosario. Argentina

*E-mail: colombo@fceia.unr.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo presentamos los avances de una investigación destinada al análisis de las consecuencias del lenguaje empleado en la enseñanza de la energía, siguiendo los criterios de Chi y colaboradores que sostienen que parte de las dificultades de los estudiantes en la comprensión de los conceptos físicos se deben a las categorizaciones ontológicas que usan en cada caso. En particular nos interesa averiguar cómo el lenguaje cotidiano empleado por los físicos profesionales y reflejado en los textos puede ser un obstáculo para que los estudiantes categoricen correctamente el concepto de energía como una propiedad de los sistemas y por el contrario lo hagan como una sustancia, reforzando así la concepción alternativa que traen del ámbito cotidiano. Para ello analizamos las metáforas a las que recurren tres textos de física de uso frecuente en nuestro medio en los que se puede observar un fuerte predominio de metáforas que tienden a considerar a la energía como una sustancia por sobre las que la consideran una propiedad.

Palabras clave: Metáfora cognitiva; Energía; Caracterización ontológica; Comprensión de conceptos.

Abstract

In the present paper, we present the advances of an investigation destined to the analysis of the consequences of the language used in the teaching of energy, following the criteria of Chi and collaborators who maintain that part of the difficulties of students in understanding physical concepts are due to ontological categorizations that they use in each case. In particular, we are interested in finding out how the everyday language used by professional physicists and reflected in texts can be an obstacle for students to correctly categorize the concept of energy as a property of systems and, on the contrary, to do so as a substance, reinforcing thus the misconception that they bring from the everyday use. To do this, we analyse the metaphors used by three frequently used physics texts in our lectures, in which we can observe a strong predominance of metaphors that consider energy as a substance over those that consider it a property.

Keywords: Cognitive metaphor; Energy, Ontological characterization; Concepts understanding.

I. INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de todas las ciencias, se necesita asignar un sentido disciplinar específico a términos de uso cotidiano. En el caso de física, su secuencia tradicional de enseñanza hace que ciertos conceptos identificados con términos previamente conocidos por los estudiantes, como velocidad, aceleración, masa, fuerza, etc., adquieran un significado disciplinar específico y consecuentemente los textos y los docentes, hacen esfuerzos manifiestos para lograrlo.

Cuando en el desarrollo del curso se debe tratar el tema de energía las dificultades se incrementan, en el ámbito social el término energía es polisémico: la energía “se compra”, “hay que hacer un uso racional de ella”, “contamina”, “produce crisis político-sociales periódicas”, “se acumula”, etc. En consecuencia, es natural que los alumnos que comienzan los estudios de física tengan dificultades para agruparla en la categoría que corresponde en esta disciplina científica.

Las entidades del mundo pueden verse como pertenecientes a diferentes categorías ontológicas, que Chi, Slotta y de Leeuw (1994) agrupan en tres tipos: materia (o cosas), procesos y estados mentales. Cada una, a su vez, desarrolla árboles con subcategorías; así en el árbol de la categoría materia los objetos se pueden dividir en naturales o artificiales y los naturales a su vez en vivos o no-vivos y los vivos en animales o vegetales, etc. Por su parte, los procesos se dividen en eventos, procedimientos o interacciones basadas en restricciones y los estados mentales pueden subdividirse en ramas como intencionales, emocionales, etc. según las necesidades de desagregación del investigador.

Las subcategorías dentro de un árbol dado difieren ontológicamente de cualquier subcategoría en otro árbol, porque no comparten ningún atributo ontológico. Por ejemplo, cualquier subcategoría de materia, como los seres vivos o los sólidos, es ontológicamente diferente de cualquier subcategoría de procesos, como los eventos que ocurren naturalmente. Un atributo ontológico es una propiedad que una entidad puede poseer como consecuencia de pertenecer a esa categoría ontológica; mientras que los atributos definitorios son aquellos que una entidad debe tener. Los objetos en la categoría materia (como arena, pintura o ser humano) tienen atributos ontológicos tales como “*ser contenibles*”, “*almacenables*”, “*tener volumen*”, “*masa*”, “*ser coloreados*”, etc. mientras que los procesos reflejan su propio conjunto distintivo de atributos, tales como “*que ocurren con el tiempo*”, “*resultan en*”, etc.

La distinción de las categorías ontológicas se puede probar predicando un atributo ontológico a un miembro de la categoría considerando si tal proposición tiene sentido. La oración “*Este gato tiene una hora de duración*” carece de sentido, porque gato pertenece a la categoría materia. En cambio, “*Este gato es verde*” puede ser falsa, pero tiene sentido. La primera oración carece de sentido, porque un gato es modificado por un predicado (una hora) que describe un atributo (duración del tiempo) de una categoría ontológicamente distinta (proceso). Se trata de una oración que ni siquiera se puede negar ya que “*Este gato no tiene una hora de duración*” también carece de sentido. En cambio, la oración “*Este gato es verde*” puede ser simplemente falsa debido a un atributo incorrecto, se puede negar fácilmente.

Muchos conceptos científicos pertenecen a una categoría ontológica de procesos que esencialmente ocurren en el tiempo, aunque este puede no estar delimitado, y se establecen en relación con los objetos de la categoría materia, aunque no pertenecen a ella, ejemplos de procesos son: “*estado estacionario*”, “*equilibrio*”, “*fuerza*”. Otros conceptos científicos son propiedades que definen los sistemas de materia, como “*volumen*”, “*masa*”, “*color*”, “*temperatura*”.

Los textos de uso frecuente en la enseñanza de la física, cuando desarrollan el tema energía, exponen definiciones claramente para que los estudiantes categoricen a la energía como una propiedad de los sistemas. Pero cuando amplían las explicaciones incorporan metáforas cuya proyección lleva a que los lectores en lugar de categorizarla ontológicamente como una propiedad, la categoricen como una sustancia. Se utilizan expresiones del tipo, “*la energía se acumula en...*”, “*la energía se transfiere del sistema A al sistema B...*”, “*... la energía consumida por...*”, que confunden a los estudiantes que se inician en el aprendizaje de este concepto, haciendo que categoricen a la energía como una sustancia y no como una propiedad de los sistemas.

El objetivo de este trabajo, parte de un proyecto de investigación más amplio, es analizar la asiduidad con que los textos de uso habitual en nuestro ámbito emplean metáforas cuya proyección “*substancializa*”¹ a la energía, ya que hay evidencias de la investigación en enseñanza de la física que manifiestan que parte de las dificultades en el aprendizaje de los estudiantes puede deberse al lenguaje utilizado para presentar los conceptos (Brookes, Horton, Van Heuvelen, Etkina, 2005, Lancor, 2012). Los resultados obtenidos muestran un amplio predominio de las metáforas substancialistas respecto de las explicaciones que claramente consideran a la energía una propiedad de los sistemas.

II. MARCO TEÓRICO

En la tradición literaria occidental la metáfora es propia únicamente de los registros formales de la escritura y de la retórica, pero Lakoff y Johnson (1980) refutan este conocimiento tradicional y, apoyándose en múltiples ejemplos, demuestran de forma convincente que la metáfora está presente también en el lenguaje cotidiano. Es a partir de este trabajo que la metáfora se entiende como un proceso cognitivo que impregna nuestro lenguaje y pensamiento habitual, la metáfora es la base de nuestro sistema conceptual: constituye un mecanismo para comprender y expresar situaciones complejas sirviéndose de conceptos más básicos y conocidos.

En consecuencia, la metáfora es una operación conceptual por la que se conceptualizan parcialmente conceptos de naturaleza abstracta recurriendo a conceptos conocidos o dominios de la experiencia más concretos, así la comprensión de nuevos conceptos es el resultado de nuestras acciones y de nuestro conocimiento de los significados del lenguaje cotidiano: “*Puesto que la comunicación se basa en el mismo sistema conceptual que usamos al pensar y actuar, el lenguaje es una importante fuente de evidencias acerca de cómo es ese sistema*” (Lakoff y Johnson, 1980, p. 40).

¹ El verbo “substancializar” no es aceptado por la RAE pero creemos que, al menos en el castellano de nuestra región, transmite la idea que queremos expresar más adecuadamente que el término materializar, sí reconocido por la RAE.

La metáfora permite “*entender y experimentar un tipo de cosa en términos de otra*” (Lakoff y Johnson, 1980, p. 41), así la metáfora es entendida como apareamiento o proyección entre dos dominios conceptuales en el sistema conceptual humano, en donde el dominio que presta sus conceptos se llama dominio origen, o fuente (el ámbito conocido), y el dominio sobre el que se proyectan estos conceptos se le llama dominio destino, o meta (el ámbito novedoso al que se quiere dar sentido).

De este modo, se emplean aquellos dominios que están bien delimitados y, en general, ampliamente conocidos en la experiencia cotidiana y los utilizamos para entender otros dominios que son menos accesibles para nuestra comprensión (Piechocki y Rojas, 2012).

Acá es fundamental el concepto teórico de proyección, ya que las proyecciones se concretan en una serie de correspondencias que enlazan el dominio origen con el dominio destino. Si las proyecciones no son las adecuadas el receptor del mensaje elabora una conceptualización alejada de la intencionalidad original del emisor.

En la enseñanza de la física, desde hace mucho tiempo, hay múltiples ejemplos de uso de metáforas como herramienta heurística para facilitar la comprensión de los alumnos. Una, clásica, es la que vincula el flujo de agua en un medio y el flujo de electrones en un conductor; debido a que la corriente de líquidos es muy familiar, la corriente eléctrica resulta de fácil comprensión. Es interesante notar que en este caso el hecho que la materia del dominio fuente sea un fluido y las del dominio de destino sean partículas no parece inducir en los alumnos conceptualizaciones erróneas.

A. ¿Qué es la energía?

Está bastante difundida la frase, publicada en las *Feynman Lectures on Physics* (Feynman, 1969), donde se afirma que la física actual no sabe qué es la energía. Sin embargo, esa afirmación ha tenido una respuesta contundente por parte de Mario Bunge (1999; 2000), desde su doble rol de físico y filósofo². En ella deja claros varios aspectos respecto a que es la energía que pueden sintetizarse en:

- Los objetos materiales (concretos) tienen energía y los inmateriales no tienen.
- La energía es una propiedad, no una cosa ni un estado ni un proceso.
- La energía es la propiedad física universal: es la única propiedad común a todas las cosas materiales

Hace una aclaración pertinente al público del ámbito de la física respecto del sentido del término “concreto” cuando expresa: “*Hemos identificado “material” con “concreto”. Esta convención es más corriente en filosofía que en física. Según ella, los campos son tan materiales como las piedras.*” (Bunge, 1999, p. 54)

Esto tiene algunas consecuencias en la física clásica, la más importante es que a los sistemas no se les puede proporcionar o extraer energía. Por ser una propiedad de los sistemas, su valor sólo puede variar por medio de interacciones y las únicas interacciones conocidas en física clásica son trabajo (mecánico, eléctrico, etc.), calor (trabajo microscópico debido a la interacción de las partículas de los sistemas puestos en proximidad) o radiación electromagnética.

De esta forma establece dos categorías ontológicas, las de los objetos concretos, con sus características y propiedades, y la de los procesos. La energía es entonces una propiedad de los objetos concretos mientras que las interacciones, calor, trabajo y radiación pertenecen a la categoría ontológica de procesos (Chi *et al.*, 1994).

III. METODOLOGÍA

Para realizar la investigación decidimos contar la totalidad de apariciones del término “energía” en los textos elegidos y clasificarlos en cuatro categorías según su uso: propiedad, sustancia, ambiguo, no significativo.

En la categoría de propiedad se agruparon todas las expresiones metafóricas cuya proyección sugieren al lector que la energía es una propiedad del sistema en consideración. Se trata de expresiones del tipo; “*la energía del sistema se elevó como resultado del trabajo realizado sobre él*” o “*por estar aislado el valor de energía permanece constante*”, etc.

En cambio, en la categoría de sustancia se reunieron todas las expresiones del tipo: “*el trabajo transfirió energía al sistema...*”, “*la energía disipada ...*”, “*la acumulación de energía...*”, etc. que explícitamente consideran la energía dentro de la categoría ontológica de material; por eso se traslada, transfiere, acumula, disipa, que claramente induce al lector a considerar a la energía como una sustancia, reforzando así las concepciones alternativas que trae del ámbito social.

² Doctorado en la Universidad de la Plata y profesor de Lógica y Metafísica en la Universidad de McGill desde 1966, donde dirigió Foundations & Philosophy of Science Unit.

En la categoría de ambiguo se agruparon todas las expresiones que no permitían decidir si su uso entraba en alguna de las dos anteriores, aunque eran relevantes en el desarrollo del tema tratado. Se trata de expresiones del tipo “Elegimos la energía potencial gravitatoria del bloque igual a cero en su posición original ...” o “Utilizar el principio de conservación de la energía mecánica para determinar la velocidad que lleva la vagoneta justo antes de ...”

Finalmente, la categoría de no significativo se reservó para expresiones donde el uso del término energía no se consideró relevante para nuestro propósito, títulos, enunciados de problemas del tipo; “Calcule la energía cinética de una partícula que...” etc. Aunque es de destacar que aquellos problemas cuyos enunciados son del tipo “Calcula la energía disipada...” o similares se registraron en la categoría de substancia.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Se analizaron tres obras de circulación frecuente en nuestras aulas; Física para Ciencias e Ingenierías tomo I y II de Douglas C. Giancoli; Física para ciencias e ingeniería, Tomo I y II de Raymond A. Serway y John W. Jewett, Jr y Física para la Ciencia y la Tecnología Tomo I y II de Paul A. Tipler y Gene Mosca, de ellos se analizaron todos los capítulos de física clásica dejando de lado los capítulos de física moderna en los textos que incluyen estos desarrollos para homogeneizar la comparación de contenidos

Los resultados obtenidos se sintetizan en la Tabla I y los gráficos siguientes

TABLA I. Clasificación del término energía en las categorías definidas.

Libros	Propiedad	Substancia	Ambiguo	No significativo
Giancoli, D. C.	391	798	290	480
Serway, R.- Jewett, J.	308	1366	848	193
Tipler, P. – Mosca, G.	160	781	528	1353

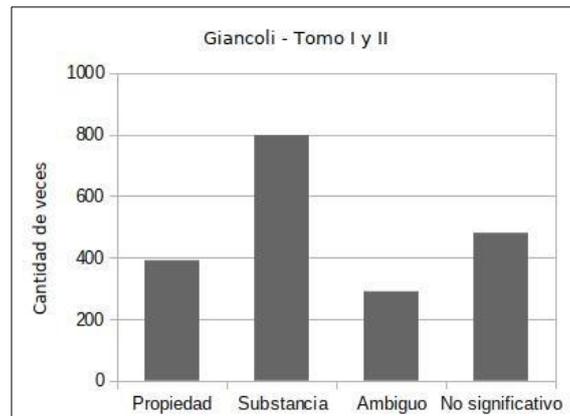


FIGURA 1. Clasificación del término energía en Física para Ciencias e Ingenierías, Vol. I y II (4ª Ed.), Giancoli.

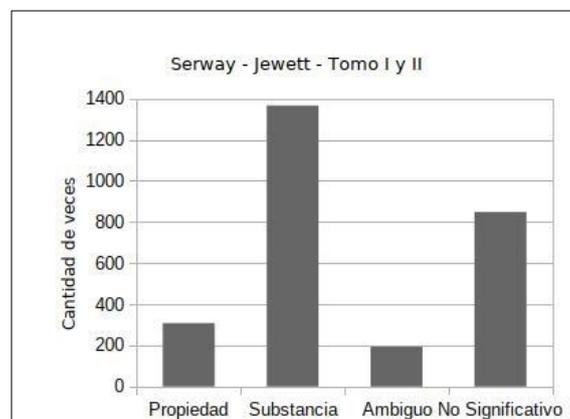


FIGURA 2. Clasificación del término energía en Física para ciencias e ingeniería, Vol. I y II (7ª Ed), Serway y Jewett.

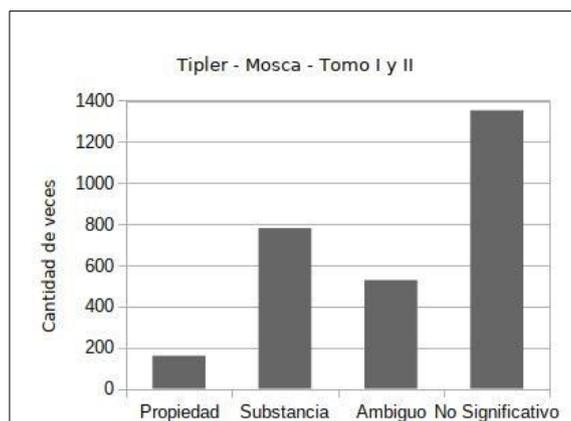


FIGURA 3. Clasificación del término energía para los libros Física para la ciencia y la tecnología, Vol. I (5 Ed) y Vol. II (6 Ed.), Tipler y Mosca.

V. CONSIDERACIONES FINALES

De esta investigación inicial surge con claridad que en los textos analizados hay un fuerte predominio de metáforas cuya proyección “*substancializa*” a la energía por sobre las que la consideran una propiedad de los sistemas físicos. Esto naturalmente pareciera que dificulta que los estudiantes avancen sin inconvenientes en la adecuada categorización ontológica de la energía.

Estos primeros resultados estarían indicando que el lenguaje con metáforas cognitivas que substancializan a la energía y que es de amplia circulación en el ámbito de los físicos profesionales no es adecuado para la enseñanza de la energía, tal como ya lo mostraron para otras áreas de la enseñanza de la física Brookes y Etkina, (2007).

Esto, en consecuencia, sugiere la necesidad de que textos y docentes realicen un esfuerzo para disminuir, al menos, las metáforas que substancializan la energía y den más énfasis a las que presentan a la energía como una propiedad de los sistemas.

REFERENCIAS

- Brookes, D. T., y Etkina, E. (2007). Using conceptual metaphor and functional grammar to explore how language used in physics affects student learning. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 3(1), 010105.
- Brookes, D., Horton, A., Van Heuvelen, A., Etkina, E. (2005) Concerning Scientific Discourse about Heat. *AIP Conference Proceedings*, 790(1), 149-152.
- Bunge, M. (1999) La energía entre la física y la metafísica, *Enseñanza de la Física*, 12(1), 53-56.
- Bunge, M. (2000) Energy, between physics and metaphysics, *Science and Education*, 9, 457-461.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D. y de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts, *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Feynman, R.P. et al. (1969). *The Feynman Lectures on Physics: Mainly Mechanics, Radiation and Heat* (pp. 4-2). Reading, U.S.A.: Addison-Wesley.
- Giancoli, D. C. (2008). *Física para Ciencias e Ingenierías con física moderna*, 4.^a Ed Vol. II. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Education de México.
- Giancoli, D. C. (2008). *Física para Ciencias e Ingenierías*, 4.^a Ed Vol. I. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Education de México.
- Lakoff G. y Johnson, M. (2009) [1980]. *Metáforas de la vida cotidiana*, Madrid, España: Cátedra.

Lancor, R. (2012). Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics. *Science & Education*, 23, 1245–1267.

Piechocki, G. y Rojas, E. (2012) Metáfora Conceptual y Transposición Didáctica: Enseñar y aprender por razonamiento analógico. *Jornadas de Iniciación Interdisciplinaria en Ciencias Sociales. Universidad Nacional de Quilmes*.

Serway, R. A. y Jewett, J. W. Jr. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*, 7.ª Ed. Vol. I. México D. F., México: Cengage Learning.

Serway, R. A. y Jewett, J. W. Jr. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna*. 7.ª Ed. Vol. II. México D. F., México: Cengage Learning.

Tipler, P. A, y Mosca, G. (2006). *Física para la ciencia y la tecnología*, 5.ª Ed. Vol. I. Barcelona, España: Reverté.

Tipler, P. A, y Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología*, 6.ª Ed. Vol. II, Barcelona, España: Reverté.