

El concepto “energía” en la enseñanza de las ciencias

ARNALDO GONZÁLEZ ARIAS
Universidad de La Habana, Cuba

Introducción

Existe una gran diferencia entre lo que se considera “energía” en el habla popular y el significado que se le atribuye en las ciencias físicas. En lo popular, “energía” es prácticamente una noción intuitiva. Así, se acostumbra decir que determinada persona “es muy enérgica” o “tiene mucha energía” para expresar que es muy activa, que es capaz de trabajar continuamente o que puede realizar un gran número de tareas durante una jornada sin que padezca los efectos del cansancio (al menos aparentemente). Por otra parte, cuando alguien se esfuerza con tenacidad en alguna labor difícil, complicada y poco productiva, pensamos que está “gastando inútilmente sus energías”.

Sin embargo, desde el punto de vista de la de las ciencias físicas, esta noción intuitiva es incompleta y totalmente inaceptable, pues falta incluir un aspecto esencial para la actividad científica: el *cómo se mide* esa energía.

A continuación se hace un breve análisis de la evolución reciente del concepto “energía” en las ciencias físicas y su relación con otras magnitudes y con las mediciones. Aunque muchas veces durante el proceso de enseñanza-aprendizaje se obvia el tema de las mediciones, veremos que el conocimiento de este tema resulta ser primordial para la correcta comprensión del concepto energía. Obviar la relación entre energía, magnitud y medición usualmente conduce a serios errores conceptuales.

Y con relación a la importancia de las mediciones en la ciencia, vale la pena recordar las palabras de William Thomson (Lord Kelvin), uno de los padres de la Termodinámica¹ moderna: “Suelo repetir con frecuencia que sólo cuando es posible medir y expresar en forma numérica la materia de que se habla, se sabe algo acerca de ella; nuestro saber será deficiente e insatisfactorio mientras no seamos capaces de traducirlo en números. En otro caso, y sea cual fuere el tema de que se trate, quizá nos hallemos en el umbral del conocimiento, pero nuestros conceptos apenas habrán alcanzado el nivel de ciencia”².

Algunas de las ideas expuestas en este artículo, necesarias para la unidad del tema y la fácil comprensión del lector, ya han sido analizadas previamente con cierta profundidad al censurar la divulgación de falsos conceptos energéticos en los medios masivos de comunicación³.

¹ Rama de la Física que se dedica al estudio del equilibrio y de los intercambios de energía entre sistemas.

² Francis W. Sears, *Mecánica, movimiento ondulatorio y calor*, Ed. R. La Habana, 1968.

³ “Falsas energías, pseudociencia y medios de comunicación masiva”, A. González Arias, *Revista Cubana de Física*, 19, n.º 1 del 2002, p. 68. Accesible on-line, www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi.

La energía en las ciencias físicas

En forma similar a como ocurre con otros muchos conceptos y definiciones en la ciencia, el concepto “energía” ha ido evolucionando, ampliándose y perfeccionándose con el transcurso de los años. Si en los textos de hace 50 años era posible encontrar en los libros de texto definiciones tales como: “la energía de un cuerpo puede ser definida, en sentido amplio, como su *capacidad para hacer trabajo*”⁴, hoy día muchos consideran que ésta definición es inexacta, al menos por dos razones.

En primer lugar, muchos autores modernos dedicados a temas termodinámicos consideran trabajo y calor como *formas de transmisión de la energía*, y el trabajo queda definido como *energía en tránsito*⁵. Si se combinan los criterios “energía = capacidad para hacer trabajo” y “trabajo = energía en tránsito” quedaría que la energía es algo así como “su capacidad de transmitirse”, lo que carece de utilidad práctica por su excesiva generalidad.

En segundo lugar, los cuerpos o sistemas siempre tienen energía, *aún cuando esa energía haya perdido su capacidad para realizar trabajo*. Veamos esto último más detalladamente.

La energía se puede *degradar* (perder la capacidad de transmitirse en forma de trabajo útil) aunque durante el proceso no hayan existido pérdidas de energía. La medida de la degradación de la energía viene dada por el incremento de la *entropía*, otra propiedad termodinámica de los sistemas muy bien conocida y estudiada, aunque mucho menos popularizada que el concepto de energía. Sin embargo, no es necesario conocer las particularidades de la función entropía ni poseer un entrenamiento especializado en Termodinámica para comprender el significado de la degradación de la energía. Para ello considere el siguiente ejemplo.

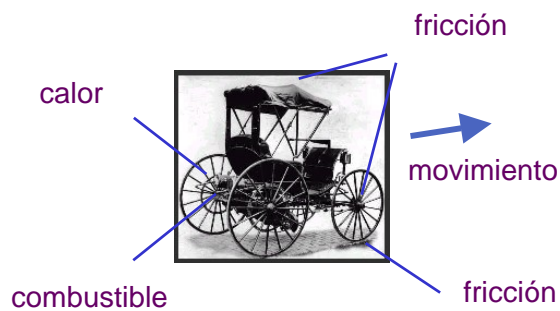
La energía almacenada en un gramo de combustible puede hacer girar las ruedas y mover un vehículo varios metros al combustionar, lo que equivale a transmitirse en forma de trabajo útil. Durante la combustión también se produce cierta transferencia de energía en forma de calor, que eleva la temperatura de las piezas internas del motor (incremento de *energía térmica*). La suma de las energías que aparecen en forma de: movimiento + energía térmica + energía de los residuos de la combustión es exactamente la misma que estaba almacenada en el combustible (principio de conservación de la energía). Eventualmente, la energía que adquirió el vehículo en movimiento también se transformará en energía térmica, a causa de la fricción de las partes móviles del motor, de la carrocería con el aire y de las ruedas con el pavimento y los frenos. Finalmente, esa energía térmica no desaparece, sino que pasa al medio ambiente.

La energía almacenada inicialmente en el combustible no se pierde, *pero la energía térmica resultante en el proceso ya no puede volver a ser aprovechada para mover el vehículo*.

⁴ S. Glasstone and D. Lewis, *Elements of Physical Chemistry*, 2nd Ed., D. Van Nostrand Co. Inc, 1956.

⁵ En forma macroscópica u ordenada, para diferenciarlo del *calor*, la otra forma (microscópica y desordenada) de transmisión de la energía.

Por tanto, durante el proceso la energía ha perdido su capacidad de transmitirse en forma de trabajo (se ha degradado). Como la energía degradada no se puede utilizar nuevamente para obtener trabajo, la definición de energía como "capacidad de hacer trabajo" no parece ser totalmente general.



Otros conceptos de energía, tal como "la energía es una medida del movimiento", introducida por los filósofos materialistas del siglo XIX, entran en contradicción con los textos contemporáneos de física, donde es posible encontrar energías descubiertas posteriormente que no están asociadas al movimiento. Por citar sólo un ejemplo, en referencia a la famosa relación de Einstein entre la masa y la energía (1905) un conocido texto de física afirma⁶: "...podemos aseverar que un cuerpo en reposo tiene una energía $E_0 = mc^2$ en virtud de su masa en reposo. A ésta cantidad se le llama *energía en reposo*"... y es adicional a la energía asociada al movimiento de la partícula.

Esta indefinición asociada a la energía, aunque muchas veces conocida, es obviada o soslayada en la mayoría de los libros de texto. Una excepción notable puede encontrarse en *The Feynman Lectures on Physics*⁷. La discusión del tema comienza introduciendo el principio de conservación de la energía, —sin definir esta última previamente—. Tras ilustrar el principio con algunos ejemplos, se afirma posteriormente que la energía tiene un gran número de *formas* diferentes, cada una con su correspondiente fórmula asociada: gravitatoria, cinética, radiante, nuclear, eléctrica, química, elástica, térmica, másica, para luego concluir el razonamiento de la siguiente manera: "Es importante notar que en la física de hoy día no tenemos conocimiento acerca de lo que es la energía... Es un algo abstracto en el sentido que no nos dice el mecanismo o las razones para las diversas fórmulas (sic)".

Tampoco faltan intentos mas recientes de dar una definición general de energía, ligados a la sugerencia de impartir la mecánica de forma "novedosa", comenzando los cursos por los conceptos de trabajo y energía. Así, por ejemplo, citamos: "Un cuerpo posee energía cuando puede producir cambios o transformaciones en otros cuerpos o en sí mismo"⁸, definición que sugiere que después que cesa el cambio o la transformación los sistemas ya no tienen energía. Aún más, a diferencia de las otras dos definiciones analizadas anteriormente, donde se mencionaba el trabajo o el movimiento, en este caso ni siquiera aparece el intento de asociar la definición a la medición de alguna otra magnitud física.

De hecho, hoy día es prácticamente imposible encontrar en los libros de texto una definición generalizada de energía que no pueda ser impugnada por una razón u otra. ¿Cómo introducir, entonces, el concepto de energía?

⁶ D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 4th Ed., Wiley and Sons, 1993, 1122.

⁷ R. P. Feynman, R. B. Leighton and M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics* VI, cap. 4, Addison-Wesley Pub. Co, 6th Ed. 1977.

⁸ E. Figueroa de Lewin Ana María; Monmany de Lomáscolo Teresa, *Enseñando la mecánica a partir del concepto de energía*, VIII Conferencia Interamericana sobre Educación en Física, A-15, La Habana, julio 2003.

Magnitudes físicas

Para esclarecer la pregunta anterior es necesario analizar primeramente lo que significa una *magnitud física*, pues las ciencias físicas trabajan exclusivamente con magnitudes.

Magnitud es todo lo que se pueda medir con la ayuda de algún instrumento, de manera que sea posible asignarle un valor numérico. En consecuencia, son magnitudes la longitud, el tiempo, el volumen y la dureza, por mencionar algunos ejemplos. El amor y la belleza, entre otros, no son magnitudes; no es posible medir ninguno de los dos con algún instrumento ni expresar su valor con cifras. Una vez esclarecido el concepto de magnitud, el problema de la aparente ambigüedad del concepto energía queda perfectamente resuelto. En el marco de las ciencias físicas, para definir correctamente cualquier tipo de energía, es necesario incluir en la definición la forma de *medir*, directa o indirectamente⁹, ese tipo particular de energía.

Así, son perfectamente conocidos muchos tipos específicos de energía: cinética, potencial, magnética, energía en reposo (ver tabla 1). Todas ellas son mensurables, es decir, se les puede asignar un determinado valor numérico, que dependerá de las características particulares del sistema analizado en un instante determinado. Y, en principio, siempre será posible registrar y estudiar continuamente sus variaciones con el transcurso del tiempo o los efectos de algún parámetro externo sobre su valor. Dicho de otra forma, siempre será posible llevar a cabo experimentos y *hacer ciencia* con estas energías¹⁰.

TABLA 1

| Expresión analítica de algunos tipos de energía | | |
|---|------------------------|---|
| ENERGÍA | EXPRESIÓN ANALÍTICA | MAGNITUD A MEDIR |
| Cinética | $\frac{1}{2}mv^2$ | masa (m) velocidad (v) |
| Potencial gravitatoria | $-G \frac{m_1 m_2}{r}$ | masa (m) longitud (r) |
| Potencial electrostática | $k \frac{q_1 q_2}{r}$ | carga eléctrica(q) longitud(r) |
| Del campo magnético (por unidad de volumen) | $\frac{1}{2} \mu H^2$ | permeabilidad(μ), intensidad del campo (H) |
| Energía en reposo | $E_0 = mc^2$ | masa (m), velocidad de la luz (c) |

El *principio de conservación de la energía* resume la realidad experimental de que siempre que desaparece algún tipo de energía en un sistema (cinética, potencial, del campo) en algún otro sistema aparece igual cantidad de energía, del mismo o de otro tipo. Fueron necesarios miles y miles de experimentos cuantitativos a lo largo de muchos años para llegar a conocer esta realidad. Su

⁹ La medición indirecta es aquella que permite evaluar la magnitud a partir de una expresión analítica, y no directamente mediante algún instrumento.

¹⁰ El método científico contempla la observación, hipótesis, *experimentación*, teoría y, en algunos casos, el establecimiento de la ley.

desconocimiento puede conducir a conclusiones absurdas, incluso en temáticas que, a primera vista, no parezcan tener relación directa con la termodinámica.

Otro aspecto a considerar, y que usualmente tiende a introducir confusión entre los no especialistas, es que el término *energía* también se utiliza para describir el lugar donde se encuentran almacenadas (o de donde provienen) las diferentes clases o tipos de energía considerados anteriormente. Así, por ejemplo, en termodinámica se habla de la *energía interna* refiriéndose a la suma de todos los tipos de energía que puedan existir en un determinado sistema (cinética, potencial, electrostática). El concepto *energía química* se utiliza usualmente para designar la energía almacenada en los enlaces químicos de las sustancias. También se habla de *energía eólica* (energía cinética del viento) *energía solar* y *energía nuclear*, entre otras.

Es decir, existe una doble acepción del vocablo energía; se puede utilizar, siempre en combinación con algún otro término, tanto para: a) designar un tipo específico de energía perfectamente mensurable (cinética, magnética), como para: b) indicar el lugar de donde provienen o se almacenan los diferentes tipos de energía (eólica, solar). Note que en ambos casos el término "energía" tiene asociado algún "apellido" (cinética, solar) que lo identifica totalmente, y también que en las ciencias físicas no tiene mucho sentido hablar de "energía" a secas, término que aislado carece de una definición exacta por no ser mensurable. Resulta conveniente señalar que el intento de tratar de redefinir otras magnitudes físicas, obviando el hecho de que son precisamente magnitudes, suele conducir a resultados funestos. Esta situación se presenta a menudo cuando se desea "mejorar" o simplificar excesivamente la enseñanza de la física, introduciendo enfoques supuestamente "novedosos" (ver recuadro).

Considere la definición de trabajo que aparece en el artículo mencionado anteriormente (8): "Trabajo: cambio de la energía de un sistema por la aplicación de una fuerza" (sic). Apliquemos esta definición al sistema formado por la Tierra y un cuerpo que cae hacia ella desde una altura cercana a su superficie. La energía cinética del cuerpo varía bajo la acción de la fuerza gravitatoria y, según la definición anterior, habría trabajo. Pero la energía mecánica del sistema no cambia (sistema conservativo) y, de acuerdo a la definición, no habría trabajo. Es decir, la definición propuesta es inaceptable por ambigua: según esa definición, aún en un mismo sistema y fenómeno, habrá o no trabajo en dependencia de la energía que Ud. tome en cuenta.

Energía y pseudociencia¹¹

La doble acepción del concepto energía ha favorecido la difusión de vocablos pseudocientíficos que tienden más a enmascarar la realidad que a esclarecerla. La pseudociencia utiliza profusamente la terminología científica, pero sin que los conceptos utilizados por ella estén realmente asociados al fenómeno que se pretende describir. La fraseología pseudocientífica se utiliza con frecuencia para tratar de justificar el uso de algún nuevo producto comercial de dudosa eficacia, con la finalidad expresa de embaucar al lector. También se emplea habitualmente, con fines similares, para justificar la aplicación de alguna "nueva" terapia médica¹² cuya efectividad no ha sido demostrada científicamente.

¹¹ pseudo: falso; pseudociencia equivale a "falsa ciencia".

¹² Algunas surgieron hace cientos de años, pero siguen presentándose como "novedosas" por sus promotores.

Así, es posible encontrar en la literatura no científica términos tales como *bioenergía*, *energía vital* o *energía piramidal* que, o bien carecen de significado, o se utilizan con un significado erróneo. Otras veces se habla de “energía cósmica”, “energía biocósmica” o términos similares. Ninguno de estos términos aparece registrado en el diccionario, mucho menos en la literatura científica, y sólo sirven para indicar la carencia de conocimientos científicos de quienes los utilizan (ver ref. 3).

Conclusiones

Es posible resumir brevemente el análisis anterior de la siguiente forma:

- El término “energía” tiene significados muy diferentes en las ciencias físicas y en el habla popular. Contrariamente a lo que ocurre en el campo de las ciencias, en lo popular el concepto “energía” no está asociado a alguna magnitud.
- Existe una doble acepción del término energía; se puede utilizar tanto para: a) designar un tipo específico de energía (cinética, magnética) como para: b) indicar el lugar de donde provienen o se almacenan los diferentes tipos de energía (eólica, solar).
- En las ciencias físicas no tiene mucho sentido hablar de “energía” a secas, término que, aislado de algún otro que especifique el tipo de energía, no es una magnitud mensurable y carece de una definición concluyente.
- Se recomienda ser en extremo cuidadoso al analizar la posible introducción de supuestas definiciones “novedosas” de las magnitudes físicas.
- Términos tales como energía vital, energía piramidal o energía biocósmica son términos que carecen de significado real y sólo se utilizan usualmente para tratar de dar credibilidad a supuestos resultados pseudocientíficos.