

## SELECCIONES BIBLIOGRAFICAS TEMATICAS

### REVISION BIBLIOGRAFICA SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA ENERGIA

*José Hierrezuelo Moreno, I.B. «Jorge Guillén», Torrox (Málaga).*

En esta revista se han reseñado ya algunos artículos relacionados con el tema de la Energía. En el Vol. 1, nº 1, Sánchez Mambrilla le dedicaba una pequeña nota, y en un número posterior aportaba su opinión sobre la introducción de este concepto en el bachillerato. También Carrascosa en 1983 y 1985, en sus revisiones bibliográficas sobre errores conceptuales incluye un apartado dedicado al tema. Considero conveniente hacer una revisión bibliográfica monográfica de un tema cuya importancia es reconocida por todos los enseñantes.

La dificultad de comprensión del concepto energía es señalada por Piaget (1973), indicando también que no es menor la del concepto trabajo, manteniendo que éste sólo será comprendido de manera precisa cuando se vea como resultado de una transferencia o transformación de energía de una forma en otra.

Warren (1982) es defensor de definir la energía como la capacidad de un sistema para realizar trabajo. De acuerdo con lo que él llama punto de vista conceptualista, la energía es una idea abstracta inventada por los científicos para que les ayude en la investigación cuantitativa de los fenómenos. La energía es algo que nada tiene que ver con la experiencia diaria, aunque a menudo la palabra se utiliza de manera imprecisa. Es un concepto que debe ser enseñado sistemáticamente y nada tiene que ver con la experiencia cotidiana. Sólo puede ser aprendido después de algunos conceptos básicos, particularmente fuerza y trabajo. Por lo tanto no debe enseñarse en niveles elementales.

Es incorrecto referirse a la transformación de energía en trabajo. La energía

es una medida cuantitativa de la condición de un sistema, mientras que el trabajo lo es de un proceso. La energía puede transformarse y/o transmitirse por medio del trabajo, pero nunca transformarse en trabajo. El trabajo, sea mecánico, eléctrico o magnético es un proceso.

Una posición contraria es la mantenida por Sexl (1981) que se refiere a la imposibilidad de definir la energía de una forma operacional, defendiendo la introducción del concepto a partir de ejemplos concretos en sistemas cerrados, como puede ser el caso de la caída libre de un cuerpo.

Vega y Agapito (1978) se muestran contrarios a la presentación clásica de los conceptos de trabajo, energía y calor. La introducción primero del trabajo en la forma  $T = \vec{F} \cdot \vec{s}$ , la energía como «capacidad de realizar trabajo» y el calor como un concepto desligado de los anteriores conlleva, a juicio de los autores, una serie de inconvenientes entre los que señalan:

- Incomprensión del concepto trabajo, a menudo confundido con fuerza.
- Al no comprender el concepto trabajo no se puede comprender el de la energía.
- La consideración del trabajo y calor como una forma más de energía.
- Las dificultades de aplicación del principio de conservación de la energía.

Ellos proponen definir primero el concepto de energía y considerar el trabajo y el calor como dos formas de medir energías transmitidas en distintos casos.

Indican que han observado las ventajas de la forma que ellos proponen pero no aportan datos cuantitativos que justifiquen esa afirmación, por lo que podemos creer que ha sido observada de manera cualitativa.

El trabajo de Rupérez y Rupérez (1983) defiende la introducción previa de la energía. Tras sistematizar diferentes tipos de definición, realizan una revisión crítica de la definición tradicional de la

energía. Consideran que se debe partir de una definición real descriptiva de la energía, a la que mediante un proceso gradual se le incorporen nuevos atributos que completan el cuadro conceptual primitivo. Se trata con ello, de propiciar un aprendizaje significativo por inclusión, en el sentido ausubeliano del término. Sólo al concluir este proceso didáctico tiene sentido introducir el trabajo como una medida de la energía transferida en un tipo particular de proceso.

Les parece bien una definición descriptiva en los términos siguientes: «La energía es una propiedad o atributo de todo cuerpo o sistema material en virtud de la cual éste puede transformarse, modificando su situación o estado, así como actuar sobre otros originando en ellos procesos de transformación.

Un autor que ha publicado varios trabajos sobre la energía es Reinders Duit. En el primer trabajo que reseñamos, Duit (1981) señala las dificultades de comprensión de la energía, indicando la importancia de las ideas previas sobre este tema. Las ideas previas sobre energía descritas en Duit (1983) indican que los estudiantes asocian energía con fuerza, combustible, o con ciertos fenómenos como luz, sonido, etc.

Sobre las ideas alternativas de los alumnos en este tema podemos destacar el artículo de Watts (1983), en el que describe los resultados obtenidos al entrevistar alumnos de edades comprendidas entre 14 y 18 años. Algunas características de esas respuestas son:

- Energía centrada en el hombre. Este tiene energía pero no los objetos.
- Los objetos como recipientes «contenedores» de energía, a menudo recargables.
- Como un ingrediente dentro de los objetos que necesita un disparador para salir.
- Confunden la energía con los fenómenos mismos. «Energía» es un teléfono sonando.

— La energía como un tipo general de combustible que está asociado a las situaciones que hacen la vida más agradable.

En otro trabajo, Duit (1984) presenta los resultados obtenidos al comparar las ideas de los alumnos antes y después de la enseñanza de la energía. Se encuentran muchas limitaciones en la conservación de la energía. La mayoría de los estudiantes no lo mencionan cuando tienen que explicar un proceso simple idealizado (sin rozamiento), aunque en la enseñanza han visto procesos similares que se han utilizado para convencerlos que el principio de conservación de la energía es válido.

Sugiere Duit que debería utilizarse parte del tiempo en introducir la noción de degradación de la energía, para que así el alumno pueda explicar la contradicción aparente entre lo que el lenguaje cotidiano sugiere, «consumo» o «producción» de la energía y el principio de conservación. Cuando se dice consumo energético se está diciendo conversión de unas formas de energía en otras de peor calidad.

Piaget (1979), basándose en razones de tipo histórico y psicológico, señala la mayor dificultad de comprensión del principio de conservación que del segundo principio, ya que este último fue impuesto por la experiencia (Carnot) antes de poder ser asimilado por la razón (de Clausius a Boltzmann) mientras que el principio de conservación fue postulado por la razón mucho antes de que se pudiera acomodarlo a la experimentación.

Haber-Schaim (1983) incide sobre el papel que debe jugar la segunda ley de la termodinámica en la enseñanza del concepto energía.

El trabajo de Driver y Warrington (1985) aporta más información sobre el uso que hacen los estudiantes del principio de conservación tanto en la descripción de ciertas situaciones físicas como en la resolución de problemas numéricos. Los resultados muestran el poco uso que hacen los alumnos del principio de conservación en ambos casos.

Otro trabajo que incide sobre lo mismo es el de Solomon (1985) con la particularidad de que expone los resultados obtenidos al intentar mejorar el aprendizaje del principio de conservación. Frente a los resultados desalentadores de otros trabajos este nos permite una cierta dosis de optimismo pues parece que hay una mejora sustancial cuando se introduce, junto al principio

de conservación, la noción de degradación de la energía. De todas maneras como la autora reconoce, la fiabilidad de los resultados es limitada y son necesarias más investigaciones.

Duit (1985) expone en un amplio trabajo diversas cuestiones relacionadas con el tema. Distingue cinco aspectos básicos en el significado del término energía, aquellos que están relacionados con la formación del concepto, los que se refieren a la transferencia, conversión, conservación y degradación de la energía. Se refiere a los posibles objetivos que se persiguen cuando se incluye el concepto en el curriculum y hace un repaso de las maneras como se introduce. Analiza aquellas situaciones que parten del trabajo, del calor, de las transformaciones, del principio de conservación, de la degradación o de la concepción de la energía como una sustancia cuasi-material, indicando los aspectos positivos y negativos que encuentra en cada una de estas formas de enfocar el tema.

No cree Duit que la introducción del trabajo previamente a la energía facilite la comprensión de este último concepto. Propone, al contrario que Warren, que se inicie pronto su enseñanza, a partir de los 12 años, e incluye como un aspecto a tener en cuenta el de la degradación de la energía. Considero que este trabajo es bastante completo al proporcionar una panorámica de las diferentes opciones que se plantean en la enseñanza del tema y aporta una lista muy amplia de referencias bibliográficas.

Schmid (1982) insiste en considerar la energía como un flujo de una sustancia cuasi-material deteniéndose en el estudio de las transferencias de energía y en los portadores de la misma. Se detiene en los sistemas transformadores de energía y en las pérdidas que ocurren en esos sistemas reales, señalando el interés que puede tener para la enseñanza la distinción entre energía útil y no útil, aunque no exista esa diferencia desde el punto de vista físico.

Warren (1983) critica la propuesta de Schmid y defiende sus conocidas opiniones que hemos comentado antes.

Mayer (1983) está de acuerdo en que la introducción de la degradación de la energía puede ayudar a deshacer la contradicción que existe entre el principio de conservación y el uso cotidiano del término energía, asociado a procesos de «producción» y «consumo» de energía.

En Conforto y Mayer (1984) encontra-

mos otra propuesta para el desarrollo del tema. Centran el problema realizando un estudio del problema energético. Una segunda etapa incluye la construcción de aparatos utilizados en el aprovechamiento de las energías renovables. Su propuesta incluye por lo tanto una metodología diferente de aproximación al tema.

Como conclusiones de la revisión efectuada señalaría:

- La dificultad de comprensión del concepto energía y de aplicación del principio de conservación.
- La controversia entre introducir primero la energía o primero el trabajo.
- El papel positivo que puede jugar la consideración de la degradación de la energía para la comprensión del principio de conservación.
- La necesidad de más datos que nos permitan decidir sobre la mejor forma de introducción del concepto energía.

Terminaremos comentando brevemente dos artículos, Warren (1976) y Gaud (1984), que se refieren al principio de equivalencia de Einstein, su conocida ecuación,  $E = mc^2$ , y las repercusiones que tiene en los principios de conservación de la masa y de la energía.

Para Warren el error más frecuente es aquel que señala que la masa se convierte en energía y viceversa. Esto lleva a la idea de la no conservación de la masa ni de la energía, aunque algunos lo intentan arreglar diciendo que se conserva el conjunto masa-energía. Esto está en contra del principio de equivalencia de Einstein que exige la conservación de la masa y de la energía.

Gaud indica cómo puede explicarse la liberación de energía que ocurre en una reacción nuclear de manera similar a como se explica la liberación de energía que ocurre en una reacción química. Se hace a partir del concepto de energía potencial de tipo nuclear.

De manera análoga explican los procesos de aniquilación y creación de pares de partículas, como electrón-positrón.

Gaud señala que el principio de equivalencia de Einstein implica la equivalencia de los lenguajes másicos y energéticos, pero no debemos utilizar para explicar un mismo fenómeno ambos lenguajes, una para una parte del fenómeno y otro para la otra ya que eso provoca los errores de interpretación.

En mi opinión son dos artículos muy interesantes que aclaran un tema que explicado de la forma que frecuentemente aparece en los libros les parece

a los alumnos algo misterioso y que de esta manera puede perder parte de ese misterio, que como dice Warren, no se encuentra en el escrito original de Einstein.

*Nota:* En la relación de trabajos aparecen algunos que no he comentado, bien porque sus autores repiten las ideas en otros trabajos o porque me parecen que sus aportaciones no son muy relevantes.

#### BIBLIOGRAFIA

- BLISS, J. y OGBORN, J., 1985, Children's choices of uses of energy, *European Journal of Science Education*, Vol. 7, pp. 195-203.
- CONFORTO, A.M. y MAYER, M., 1984, Energy options: A practical work project for the school, *European Journal Science Education*, Vol. 6, pp. 227-234.
- DRIVER, R. y WARRINGTON, L., 1985, Student's use of the principle of energy conservation in problems situations, *Physics Education*, Vol. 20, pp. 171-176.
- DUIT, R., 1981, Understanding Energy as a Conserved Quantity-Remarks on the Article by R. Sexl, *European Journal Science Education*, Vol. 3, pp. 291-301.
- DUIT, R., 1983, Energy conception held by students and consequences for science teaching, en *Misconceptions in Science and Mathematics*, pp. 316-321, Ithaca.
- DUIT, R., 1984, Learning the energy concept in school-empirical results from the Philippines and West Germany, *Physics Education*, Vol. 19, pp. 59-66.
- DUIT, R., 1985, In search of an energy concept (Paper prepared for «Conference on Teaching about Energy within the Secondary School Science Curriculum», Leeds).
- GAULD, C., 1984, Conservation of Mass and Energy in High School Science, *The Australian Science Teachers Journal*, Vol. 30 (2) pp. 34-40.
- HABER-SHAIM, U., 1983, The role of the second law of thermodynamics in energy education, *The Physics Teacher*, Vol. 21, p. 17-20).
- KOBALLA, TH. R., 1984, A Validation Process for Designing One-Sided and Two Sided Communications to Use in Persuading Teachers of the Need to Teach Energy Conservation to Children, *Science Education*, Vol. 68 (2), pp. 91-103).
- LOPEZ RUPEREZ, F. y LOPEZ RUPEREZ, E., 1983, Las nociones de trabajo y energía. Análisis conceptual y didáctico, *Bordón*, nº 249, pp. 497-506.
- MAYER, M., 1983, Enseignement de l'énergie: Quelle recherche et quelle formation des enseignants, (Actas de las 5<sup>a</sup> Journées de Chamonix).
- PIAGET, J., 1973, *Las explicaciones causales*, (Barral, Barcelona).
- PIAGET, J., 1979, *Introducción a la epistemología genética. 2 - El pensamiento físico*, (Paidós, Buenos Aires).
- SCHMID, G.B., 1982, Energy and its carriers, *Physics Education*, Vol. 17, pp. 212-218.
- SEXL, R.U., 1981, Some observations concerning the Teaching of the Energy Concept, *European Journal Science Education*, Vol. 3, pp. 285-289.
- SOLOMON, J., 1983, Learning About Energy: How Pupils Think in Two Domains, *European Journal Science Education*, Vol. 5, pp. 49-59.
- SOLOMON, J., 1985, Teaching the conservation of energy, *Physics Education*, Vol. 20, pp. 165-170.
- VEGA ALONSO, M. y AGAPITO SERRANO, M., 1978, Los conceptos de trabajo mecánico energía y calor, *Revista de bachillerato*, pp. 56-59.
- WARREN, J.W., 1976, The mystery of mass-energy, *Physics Education*, pp. 52-54.
- WARREN, J.W., 1982, The nature of energy, *European Journal of Science Education*, Vol. 4, pp. 295-297.
- WARREN, J.W., 1983, Energy and its carriers: a critical analysis (*Physics Education*, Vol. 18, pp. 209-212).
- WATTS, M., 1983, Some alternative views of energy, *Physics Education*, Vol. 18, pp. 213-217.