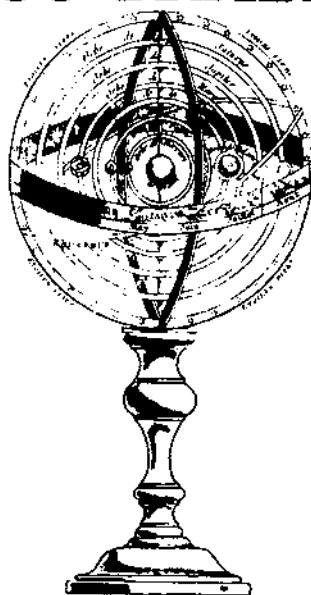


OTROS TRABAJOS



REFLEXIONES EN TORNO AL CONCEPTO DE ENERGÍA. IMPLICACIONES CURRICULARES

SEVILLA SEGURA, C.
IB «Isabel de Villena», Valencia

SUMMARY

After an analysis of the difficulty of the energy concept, the paper proposes a review of this subject in the traditional way, in secondary school curricula, in favor of the incorporation of some Thermodynamics concepts. Without these, the energy concept is limited and in this manner conditions its incorporation to the student's cognitive structure by losing a large part of its explanatory power.

INTRODUCCION

En estos momentos, en que la Reforma de las Enseñanzas Medias promueven el análisis y la reflexión sobre nuestra tantas veces rutinaria tarea, cobran actualidad en nuestro país temas a los que desde ya hace algunos años dedican atención frecuente las publicaciones especializadas extranjeras. Uno de estos temas, que probablemente se verá potenciado, es el relacionado con la energía y su tratamiento curricular.

Esta reflexión viene motivada por dos tipos de razones. Por una parte, en los actuales libros de texto se introduce el concepto de energía de forma incompleta, parcial, limitándolo —sin advertirlo— a alguno de sus significados, sin relación entre unas manifestaciones y otras, por ejemplo, energía en Mecánica y en Electricidad. Por otra parte, un tema, como el de la energía, con fuertes implicaciones económicas y repercusio-

nes en la vida cotidiana presenta peculiaridades distintas a aquellos otros cuyo primer contacto se establece en la escuela y desarrolla, por tanto, actitudes iniciales en los alumnos distintas. La planificación del estudio escolar de estos temas no puede pasar por alto esto, y si se pretende realizar un tratamiento riguroso será necesario clarificar aquellos aspectos que en el uso extraescolar puedan aparecer confusos evitando agudizar contradicciones entre la acepción cotidiana del término y la interpretación escolar del mismo.

El problema plantea una doble vertiente, la introducción de los conceptos físicos relacionados con la energía y la necesidad de tomar en consideración las implicaciones derivadas de su repercusión social. El alumno empieza el estudio del tema de energía con bastantes ideas formadas y con inquietudes, con necesidad de encontrar respuestas a cuestiones relacionadas con aspectos de su vida, lo cual no sucede con la mayoría de los otros temas estudiados.

1. ALGUNAS DIFICULTADES DEL CONCEPTO DE ENERGÍA

La introducción rigurosa, clara y general de cualquier concepto no suele ser fácil, normalmente. Si además ese concepto es abstracto como el de energía y se encuentra relacionado con otros conceptos también abstractos y con diversidad de significados, la situación se complica, tanto más si pretendemos acercarnos a situaciones reales, que obligan a tener en cuenta la degradación de la energía, introduciéndonos en la Termodinámica.

El tema recibe atención frecuente por parte de distintos investigadores en didáctica, por lo que intentaremos facilitar el camino comentando algunas aportaciones significativas.

Desde el punto de vista didáctico los estudios relativos a los problemas de la energía se enmarcan en tres grandes líneas, relacionadas entre sí:

- Concepciones que mantienen los alumnos, formadas previamente al proceso de instrucción escolar. Introducción del concepto de energía.
- La conservación de la energía. Principio de conservación. Degradación de la energía.
- Educación energética.

En la línea sugerida por la primera corriente se inserta un análisis de los conceptos de energía de alumnos de 14 a 18 años realizado por Watts (1983) que pone de manifiesto la disparidad de nociones que evoca el término de energía en los distintos alumnos. Watts propone una clasificación de respuestas en siete esquemas conceptuales: 1) energía asociada a capacidades humanas; 2) energía como «depósito» que será origen de actividades; 3) la energía como «ingrediente», algo que no está «almacenado» en un sistema sino que aparece

al interactuar con él; 4) la energía como actividad, por ejemplo, el movimiento es energía; 5) la energía como producto de la actividad; 6) energía funcional, por ejemplo gasolina o cualquier otro tipo de combustible; 7) la energía es un «fluido» que se transfiere de un sistema a otro.

La «definición» de energía como capacidad para realizar trabajo es frecuentemente contestada por considerar que está limitada al campo de la Mecánica y que entra en contradicción con las leyes de la Termodinámica. Pero, además, resulta ser contradictoria con las mismas explicaciones presuntamente clarificadoras que acompañan a la definición. Así, un cuerpo situado a una altura tiene una cierta energía potencial (capacidad para realizar trabajo). Esta energía se va transformando a medida que el cuerpo en su descenso gana velocidad. Cuando el cuerpo llega al suelo la energía cinética se convierte en calor y sonido, con lo cual se conserva la energía pero no la capacidad para realizar trabajo (Hicks, 1983).

Algunos autores proponen introducir el concepto de energía en un contexto adecuado, no restringido a la Mecánica como suele hacerse, relacionando siempre el concepto de energía con la conservación. De esta forma pretenden superar algunas confusiones frecuentes en la mente del alumno con otros conceptos relacionados: trabajo, potencia, fuerza. Se sugiere también, dedicar más tiempo a la degradación de la energía que a la propia conservación (Duit, 1984).

El análisis de la contradicción entre el principio de conservación de la energía, tal como habitualmente se enuncia, y las leyes de la Termodinámica pueden dar respuesta a los problemas suscitados cuando el alumno compara lo aprendido en clase —la energía se conserva— con las noticias relativas a la crisis energética y ha levantado voces favorables a la incorporación de la Termodinámica a los currícula escolares, desde niveles elementales, proponiendo realizar estudios cualitativos sencillos de la energía que tomen como punto de partida los procesos que suceden espontáneamente, haciendo hincapié en que los procesos inversos requieren del uso de dispositivos que consuman combustible, y por tanto, que gasten energía (Haber-Schaim, 1983).

Por lo que respecta a la educación energética, que hace referencia a todos los problemas relacionados con las distintas fuentes de energía, su utilización, racionalización del consumo energético, etc., y sin ánimo de exhaustividad, se proporciona una reseña bibliográfica de algunas de las publicaciones más recientes, indicativa del nivel de interés con que en otros países se está abordando el tema.

Las consideraciones anteriores permiten enunciar algunas conclusiones:

1. La complejidad y riqueza del concepto de energía, así como la imprecisión cometida al definirlo relacio-

nado exclusivamente con transformaciones mecánicas.

2. La necesidad de proporcionar un marco conceptual suficientemente amplio para incorporar el concepto de energía, de la que deriva la obligatoriedad de introducirlo en diversas situaciones en las que se manifieste de formas distintas.

3. Las posibilidades del principio de conservación para contribuir a la comprensión del concepto de energía, sabiendo en qué condiciones varía, cuándo se transforma pero permanece constante, etc.

4. Las posibilidades que ofrece la incorporación de los conceptos relativos a la crisis energética para mostrar la capacidad explicativa del término energía aun cuando para ello sea necesario introducir algunos conceptos termodinámicos.

2. CUESTIONES A CONSIDERAR EN UNA PROPUESTA DIDÁCTICA

Si tomamos como indicador del tratamiento que mayoritariamente se da en las aulas al tema de la energía, el contenido de los libros de texto en uso, podemos afirmar que responde básicamente al esquema: trabajo-potencia-energía-principio de conservación, todo ello sin ningún ejemplo extraño a la Mecánica y por supuesto diferenciado de otro tema que es el de calor.

Además, como los conceptos puestos en juego son complejos, se adopta el camino más cómodo: simplificar. Se procede a definirlos de una manera concisa (y por tanto limitada), en muchas ocasiones mediante una ecuación simplemente.

Bajo una presunta justificación didáctica, en estos planteamientos se ignora toda razón relacionada con el aprendizaje. No se tiene en cuenta que los alumnos llegan al aula con ideas formadas que no cambiarán fácilmente (Watts, 1983; Duit, 1984; Bliss y Ogborn, 1985). Se olvida también, que la formación de un nuevo concepto, su incorporación a la estructura cognoscitiva, es un largo proceso que requiere una planificación minuciosa en la que se debe considerar tanto la lógica interna del contenido como la forma de acceder a él, y esto presenta rasgos distintos según la edad del alumno, y su propio desarrollo intelectual (Flavell, 1984; Piaget, 1972). En ningún caso simplificar un concepto contribuirá a su mejor comprensión. Si la mente del alumno no ha alcanzado el grado de desarrollo adecuado, el aprendizaje de ese concepto no será posible y si el desarrollo es pertinente lo dificultará la desvirtuación de la simplificación del contenido. Lo más que podremos lograr en estos casos es una memorización.

No vamos a presentar un modelo didáctico elaborado, sino algunas cuestiones, que pueden tener interés, derivadas de los análisis anteriores y de una reflexión sobre nuestra propia práctica docente.

La estructura lógica en la introducción de los conceptos se podría articular en torno a los siguientes tópicos:

- Concepto de energía
- Principio de conservación de la energía
- La degradación de la energía. Aproximación al concepto de entropía
- Algunos problemas energéticos. Fuentes de energía.

En un primer nivel, se realiza previamente una revisión de la fenomenología del calor, sin ocuparse todavía del concepto de calor ni del de temperatura.

2.1. Concepto de energía

Somos plenamente conscientes de la complejidad del concepto de energía pero ¿dónde reside esta complejidad? ¿qué concepto de energía debemos enseñar? El término energía ha pasado a formar parte del acervo lingüístico de uso frecuente con lo cual lo encontramos en distintos contextos, con acepciones diferentes, cosa que no siempre contribuye a mejorar la comprensión del mismo. Sin embargo ello influye en el esquema conceptual que forma el alumno y que habrá que considerar a la hora de enseñárselo en la clase de Física.

Además, en un ámbito estrictamente físico su significado es muy general. Aparece en manifestaciones muy diversas, asociadas a una amplia gama de fenómenos (desplazamientos, electricidad, reacciones químicas, radiación...) y si bien considerada globalmente siempre se conserva, en ocasiones se degrada.

El concepto de energía es uno de los más abstractos de los estudiados en un currículo de Física y Química. Su definición por reducción a otros términos más sencillos no es fácil ya que está relacionada con conceptos igualmente conflictivos y abstractos. Todo ello hace que estemos frente a un concepto de índole tal que nos obligue a una introducción distinta a la tan frecuente «definición operativa».

Las características del concepto de energía obligan a abordarlo desde diversas perspectivas, teniendo en cuenta cuál es el punto de partida conceptual de los alumnos e incluyendo el máximo número de situaciones en las que se pueda poner de manifiesto su potencial explicativo. La incorporación de un concepto a la estructura cognoscitiva está relacionada con su capacidad para explicar situaciones, tanto nuevas como aquellas que ya preocupan al alumno.

Podemos partir, por tanto, de una recopilación de material, aportado por los propios alumnos, consistente en textos breves en los que se haga referencia a la energía, obtenidos de la prensa, televisión, o inventados por ellos mismos pero que recojan sus propias ideas (posiblemente algunos recordarán la definición de energía como capacidad para realizar trabajo, en este caso, podremos poner de manifiesto que esta definición no comporta ningún concepto, sino que se repite de forma mimética). Esto permitirá abrir perspectivas respecto a la

generalidad del término y por tanto a la riqueza del concepto, a la vez que la imposibilidad de «comprimirlo» en una definición breve y concisa. Algo parecido sucede con el concepto de tiempo y en ninguno de los dos casos la dificultad de definición limita su validez.

Intentemos caracterizar el concepto planteando diversas situaciones, ahora más «típicamente físicas» (un cuerpo que cae, otro que se desplaza por una superficie horizontal y se para, un muelle que se estira, una bombilla encendida, etc.) para cuestionar lo que sucede a la energía en cada caso. Al final podremos llegar a la idea de que la energía es una característica del sistema, que tiene un valor en cada instante y que se puede modificar cuando el sistema se transforma.

Podemos plantear ahora el problema de evaluar la cantidad de energía de que dispone un sistema en un instante y situación y la forma en que esta energía se puede transferir. Es necesario clarificar términos de uso frecuente como: sistema, transformación, estado, proceso, a los que se hace referencia constante y que, sin embargo, suelen permanecer enmascarados en muchas ocasiones.

Los sistemas se transforman por interacción con otros sistemas. Siempre hay un agente dinámico de la transformación y un cambio en la configuración del sistema. La interacción (fuerza) produce una modificación de la disposición inicial del sistema y la magnitud de la transformación se identifica con el trabajo, cuya definición operativa se puede introducir, así como la idea de que esta definición general es susceptible de adaptación a distintas situaciones (compresión de un gas, electricidad...), para incluir magnitudes físicas de uso más cómodo, adaptadas a los datos más habituales en cada sistema.

Pero además, los sistemas pueden modificar su energía al interactuar con otro sistema que está a distinta temperatura.

Así pues, la energía es una propiedad del sistema que se manifiesta de muchas formas y que puede variar por la intervención del trabajo y/o del calor.

La discusión de algunos ejemplos, a nivel cualitativo, en los que haya sistemas que transformen su energía de una forma en otra, que varíen su energía total por la intervención de trabajo, calor, etc., pueden contribuir a clarificar los conceptos. Así mismo se puede introducir la idea de potencia.

2.2. Profundizando en el estudio de las transformaciones

Empezamos limitando nuestro estudio a las transformaciones que ya se han estudiado en temas anteriores: cambios de posición y de velocidad. Realizamos un análisis, referido a un cuerpo, de cada una de ellas, introduciendo la energía cinética y potencial según el esque-

ma tradicional de identificación de la variación de energía con el trabajo realizado para lograrlo, que ahora los alumnos están en condiciones de entender. Tiene interés comentar que, los alumnos tienden a confundir el valor de la energía de un sistema en un instante y situación con la variación de energía y, en nuestra opinión, esto es indicativo de que el concepto de energía, unido al de la forma de modificar su valor, no están incorporados a la estructura cognoscitiva. La introducción de la energía potencial asociada a las fuerzas conservativas no presenta dificultades especiales siempre que los alumnos estén familiarizados con la fuerza peso (conservativa) y rozamiento (no conservativa).

¿Y si consideramos las dos transformaciones simultáneamente? Al estudiar la caída libre, por ejemplo, podemos deducir que los valores de la energía cinética y potencial varían en cada punto, pero su suma permanece constante, mientras que si consideramos un cuerpo desplazándose por un plano inclinado bajo la acción de una fuerza aplicada (o bien consideramos el rozamiento) varían los valores de la energía cinética, potencial y de la suma de ambas, pero la igualdad entre variación de energía y trabajo realizado se mantiene.

La generalización de los resultados anteriores nos permitirá introducir el principio de conservación de la energía, matizando las dos situaciones: sistemas «conservativos» y «no conservativos».

Estamos ya en condiciones de aproximarnos a otra nueva situación, aquella en la que el sistema intercambia calor. Hasta ahora nos hemos referido a modificaciones del sistema que se detectan macroscópicamente sin ocuparnos de lo que sucedía a nivel microscópico en el sistema. Aceptemos que el sistema permanece en reposo en una determinada posición, por tanto que no varía su energía potencial ni cinética respecto de un sistema de referencia exterior. Si suponemos que el sistema es un recipiente que contiene un gas, fácilmente aceptaremos que las moléculas del mismo se encuentran en un estado de agitación permanente al que podemos asociar una energía potencial y cinética. A la suma de esta energía cinética y potencial le denominaremos energía interna y se modifica cuando el sistema intercambia calor. Se introduce en este punto la interpretación de la temperatura y el calor a escala microscópica. Pero la energía interna también puede variar si se realiza trabajo. Estas consideraciones conducen al enunciado de la primera ley de la Termodinámica. Cabe aquí también, la introducción del equivalente mecánico del calor.

La introducción del concepto de calor en este contexto contribuye a erradicar la concepción errónea, sustentada por un amplio número de alumnos, del calor como «fluido», como algo que los cuerpos tienen y pueden aumentar o disminuir según que «ganen» o «pierdan» calor.

2.3. Aproximación al concepto de entropía

Tras el análisis de algunos procesos espontáneos (expansión de un gas, aumento de temperatura de un cuerpo puesto en contacto con otro inicialmente a mayor temperatura, concentración-dilución de una disolución, deslizamiento de un bloque sobre una superficie con rozamiento), conviene llamar la atención sobre el hecho de que los procesos se producen de forma espontánea siempre en un sentido y no en el contrario. Tanto en sentido directo como inverso los sistemas cumplen la primera ley de la Termodinámica. ¿Por qué nunca observamos el proceso inverso?

El proceso en sentido contrario implicaría una ordenación en el movimiento aleatorio de las moléculas, significaría la conversión de energía interna en trabajo. Tomando el ejemplo del bloque que desliza, significaría que la energía empleada en aumentar la temperatura de la superficie de contacto al deslizar (que es el proceso al que nos referimos), se recupera, de forma que a medida que la superficie alcanza su temperatura inicial, el bloque se mueve en sentido contrario, dirigiéndose a su posición primitiva. Evidentemente esto no sucede en realidad. La explicación implica la introducción de una magnitud característica del estado del sistema, denominada entropía, asociada al desorden del mismo y caracterizada porque en todos los procesos espontáneos la entropía del universo aumenta. La asociación entre procesos espontáneos y aumento de entropía es tan sólida que muchas veces se dice que el aumento de entropía indica el sentido de la flecha del tiempo.

En estos procesos se conserva la energía, pero el aumento de entropía que los acompaña explica que no se restablezca espontáneamente la situación inicial y por tanto que no pueda recuperar toda la energía. Parte de la energía se «invierte» en aumentar la entropía y esta parte no es recuperable, no se podrá utilizar para realizar trabajo.

COMENTARIO FINAL

El esquema propuesto permite el desarrollo de curricula circulares, en los que se seleccionen los contenidos según su complejidad (por ejemplo, se puede introducir el concepto de entropía sólo en niveles superiores), pero el esquema conceptual, propiamente dicho, se empieza a construir desde el principio, de forma que otros conceptos se incorporen de manera natural. De este modo no se favorece la persistencia de errores conceptuales (concepto de calor) como sucede con otros planteamientos. El trabajo se completa con la discusión de diferentes fuentes de energía, el nivel de profundidad que se desee, pudiendo incluso, realizar una interesante actividad interdisciplinar. La incorporación de problemas como el de la energía ofrece la posibilidad de relacionar la escuela con la problemática cotidiana de la sociedad en que vive el alumno.

Se podría criticar la introducción de conceptos termodinámicos argumentando que éstos son excesivamente complicados para los alumnos de enseñanza media. El nivel de desarrollo de la estructura mental requerido para acceder a la comprensión de estos conceptos, o de la teoría cinética-molecular no es superior al necesario para entender los principios de Newton (Shayer y Adey, 1984), cuya incorporación al curriculum no se cuestiona. Corresponde al nivel operacional formal, que es el nivel que debería poseer el alumno cuando menos al final de la enseñanza media.

La modificación de estructura propuesta no significa en realidad ampliación de temario. Aunque el problema de la extensión del temario sólo se resolverá, desde nuestro punto de vista, cuando se realice una selección racional de contenidos desde la enseñanza básica hasta la Universidad, considerando no sólo la propia lógica interna de la Ciencia que se pretende enseñar, sino el nivel de desarrollo intelectual requerido para su aprendizaje y el *real* de los alumnos a los que se dirige. Olvidar cualquiera de estos aspectos conducirá, una vez más, a la sensación de fracaso que con demasiada frecuencia acompaña nuestra tarea.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANDERSON, C.E., BOTTINELLI, CH.A., 1981, *Something special for teachers. A school house energy teaching program. SEED: Schoolhouse energy efficiency demonstration*, (Tenneco, Inc., Houston, Tex.).
 BLISS, J., OGBORN, J., 1985, Children's choices of uses of energy, *European Journal of Science Education*, Vol. 7, pp. 195-203.

CANIPE, S.L., 1982, *Typing into computers*, Paper presented at the energy, environment and economics teacher workshop. (Geographic source US, Nort Carolina).
 COHEN, M.R., 1981, «Problem solving as a goal of energy and environmental education», *Journal of Environmental Education*, Vol. 13, pp. 17-21.

- DUIT, R., 1984, Learning the energy concept in school — empirical results from the Philippines and West Germany, *Physics Education*, Vol. 19, pp. 59-66.
- DYKSTRA, D.I., 1982, A learning cycle on exponential growth and the energy crises, *Physics Teacher*, Vol. 20, pp. 245-46.
- FLAVELL, J.H., 1984, *El desarrollo cognitivo*, (Visor: Madrid; Prentice Hall: New Jersey, 1977).
- GORE, P. and others, 1980, *Teaching energy awareness. Environmental education series*, (Center for Teaching International Relations; Denver Univ., Colorado).
- HABER-SCHAIM, U., 1983, The role of the second law of thermodynamics in energy education, 1983, *The Physics Teacher*, Vol. 21, pp. 17-20.
- HAGGIS, S.M., 1981, The environment and energy as integrating themes in Science Education, *Environmental Education and Information*, Vol. 1, pp. 225-31.
- HICKS, N., 1983, Energy is the capacity to do work or is it?, *The Physics Teacher*, Vol. 21, pp. 529-30.
- INHELDER, B., PIAGET, J., 1972, *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*, (Paidós, Buenos Aires; Press Univ. de France 1955).
- JONES, C., 1981, Alternative Energy Projects in Schools, *School Science Review*, Vol. 63, pp. 260-66.
- LEWIS, J.L., 1981, Energy education and environment in Science Curriculum, *Environmental Education and Information*, Vol. 1, pp. 189-96.
- SELL, N.J., VAN KOEVERING, T.H.E., 1981, The energy-environment simulator as a classroom aid, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, Vol. 1, pp. 20-22.
- SHAYER, M., ADEY, PH., 1984, *La Ciencia de enseñar Ciencias*, (Narcea, Madrid, Heinemann Educational Books, Londres, 1981).
- WARD, A., 1983, Approaching an elementary concept of energy: Part two, *School Science Review*, Vol. 65, pp. 230-32.
- WARPINSKI, R., 1984, Environmental Education: Back to Basic, *Nature Study*, Vol. 37, pp. 14-16.
- WATTS, M., 1983, Some alternative views of energy, *Physics Education*, Vol. 18 pp. 213-17.
- WHITE, J.A., FOWLER, J.M., 1983, *Energy education in the Schools. Results of a survey of the penetration of energy education into the classroom*, (National Science Teachers Association, Washington, D.C.).
- WILSON, M.A., YASI, E.E., 1980, *Developing energy education curriculum*, (Hampshire educational Collaborative: Northampton, Massachusetts, U.S.).