

DIDÁCTICA DE LA ENERGÍA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA

José Mendoza Rodríguez
Natalia Abelenda Lameiro
Instituto de Ciencias da Educación
Universidade de Santiago de Compostela

RESUMEN

En este artículo se presentan algunas sugerencias didácticas con el objetivo de aproximar a los estudiantes de educación secundaria a la idea de energía de forma significativa y funcional. La propuesta se formula a partir de la revisión de la bibliografía publicada hasta el momento sobre la enseñanza de la energía y pretende fortalecer las relaciones CTSA en este campo.

Palabras clave: energía, concepciones alternativas, aprendizaje significativo y funcional, relaciones CTSA, educación secundaria.

ABSTRACT

Some didactic suggestions are presented in this paper in order to approach the idea of energy to high school students in a significant and functional form. The proposal is formulated from the review of the bibliography regarding the teaching of energy published up to the moment and aims to strengthen the STSE connections in this area.

Keywords: energy, alternative conceptions, significant and functional learning, STSE connections, secondary education.

1. INTRODUCCIÓN

La energía es probablemente una de las ideas más importantes de los currículos de ciencias y, particularmente de la Física. Entre las razones se encuentran su carácter integrador de otros contenidos curriculares y su impacto económico, social y ambiental. A lo largo de la educación secundaria está presente en diferentes campos de múltiples disciplinas además de la Física como la Química, Biología, Tecnología...

Las dificultades detectadas en torno al aprendizaje de la energía dieron lugar, fundamentalmente a partir de los años ochenta del siglo pasado, a numerosas investigaciones educativas centradas mayoritariamente en la dimensión conceptual. Ya a partir de la década de los noventa comienzan a aparecer propuestas desde el ámbito científico para el estudio de la energía desde una perspectiva más social, casi siempre en el marco de la orientación CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad), hoy denominada también CTSA para incluir de forma explícita la necesaria componente ambiental.

A la luz de las diversas investigaciones y sugerencias efectuadas hasta el momento, el presente trabajo pretende ofrecer una propuesta de aproximación a la enseñanza de la energía a nivel de la educación secundaria que favorezca la construcción de aprendizajes significativos y funcionales en torno a este concepto científico, facilitando su aplicación a diferentes situaciones, particularmente las de interés social y/o ambiental.

2. LA IDEA DE ENERGÍA

Para el físico Richard Phillips Feynman:

“Hay un hecho, o si se quiere, una ley que regula todos los fenómenos naturales que se conocen hasta la fecha. No hay ninguna excepción conocida a esta ley -es exacta en la medida en que la conocemos. La ley se llama la conservación de la energía.

Afirma que hay una cierta cantidad, que llamamos “energía”, que no cambia en los múltiples cambios que sufre la naturaleza. Es una idea más abstracta, porque es un principio matemático; dice que hay una cantidad numérica que no cambia cuando algo ocurre.

No es una descripción de un mecanismo o algo concreto, es un hecho extraño que cuando se calcula un número y cuando terminamos de ver la naturaleza transcurrir a través de sus trucos y calculamos el número de nuevo, es el mismo. (...)

Es importante darse cuenta de que en la física de hoy, no tenemos conocimiento de lo que “es” la energía. No tenemos un modelo de que la energía venga en pequeñas gotas de una cantidad definida. No es así. Sin embargo, hay fórmulas para calcular cierta cantidad numérica, y cuando las sumamos todas juntas siempre se obtiene el mismo número. Es algo abstracto que no nos dice el mecanismo o la razón de las distintas fórmulas.”

(Feynman et al, 1963)

Las palabras de Feynman ponen en evidencia la complejidad inherente a cualquier intento de aportar una definición de la idea de energía con pleno rigor científico. A pesar de todo, el término energía es ampliamente empleado por los estudiantes dentro de su dominio cotidiano antes, durante y después de recibir la correspondiente instrucción científica.

Las diversas investigaciones efectuadas sobre las ideas previas de los estudiantes en relación al concepto de energía (Watts, 1983; Hierrezuelo y Montero, 1988; Pérez-Landazábal et al, 1995) coinciden en general en la asociación que estos efectúan en mayor o menor medida con aspectos como los seres vivos, el movimiento y actividad, la fuerza, los combustibles, “algo” casi material almacenado que puede gastarse e incluso recargarse... Estas concepciones alternativas están relacionadas en su mayor parte con la forma en la que el término energía se utiliza en la vida cotidiana y los principios epistemológicos, ontológicos y conceptuales sobre los que el alumnado construye sus ideas en torno al mundo físico.

Las dificultades asociadas a la comprensión de la naturaleza de la energía por parte de los estudiantes motivaron el interés de diversos investigadores sobre la forma más apropiada de introducir el concepto en las aulas. La clásica definición de la energía como la capacidad de un cuerpo o sistema para realizar trabajo (Warren, 1982; Warren, 1983), otorga a la energía una categoría de concepto secundario derivado del trabajo, del cual puede proporcionarse una definición operacional. Sin embargo, esta aproximación no es coherente con el segundo principio de la termodinámica

(Lehrman, 1973; Sexl, 1981), según el cual no toda la energía interna de un sistema puede transformarse íntegramente en trabajo. Esta definición restringe el concepto de energía al campo de la mecánica y no evita en este campo la confusión con los conceptos de fuerza o trabajo.

Por otra parte, la aproximación al concepto de energía como sustancia cuasi-material que participa en los procesos que ocurren a nuestro alrededor (Schmid, 1982; Duit, 1987; Millar 2005), permite explicar a los estudiantes más jóvenes la abstracta idea de energía de forma más tangible y próxima al dominio cotidiano. Sin embargo, esta definición no está de acuerdo con la idea de energía que hoy tenemos en la física: como señala el mismo Duit (1987), sólo es compatible bajo determinadas condiciones en la física clásica y totalmente incompatible en la relatividad moderna o la física cuántica. Además esta aproximación cuasi-material a la energía no parece contribuir a propiciar en el alumnado el cambio epistemológico al que se refieren Pozo y Gómez-Crespo (1998) desde la fase de realismo interpretativo al constructivismo.

La definición más general de la energía asociada a los cambios o a las transformaciones (López-Rupérez y López-Rupérez, 1983; Chisholm, 1992; Pérez-Landazábal et al, 1995; Hierrezuelo y Molina, 1990; Pontes-Pedrajas, 2000; Doménech et al, 2003; Solbes y Tairín, 2004), también ha sido cuestionada. Diversos autores (Gailiunas, 1988; Sefton, 2004; Millar, 2005), consideran que no es correcto referirse a la energía como la causa de los fenómenos. La magnitud denominada entropía es la que debe relacionarse con la causa de que los fenómenos ocurran: la espontaneidad de los procesos está asociada al aumento de la entropía del universo (a veces se expresa diciendo que el aumento de entropía indica el sentido de la flecha del tiempo).

Otros investigadores (Sexl, 1981; Trumper, 1991) sugieren eludir cualquier tipo de definición de la energía, y acercarse a la idea de una forma operativa a través de su conservación en diferentes situaciones. Un ejemplo en esta línea se encuentra entre los materiales curriculares desarrollados para la ESO dentro del proyecto ACES –Aprendiendo Ciencias en Enseñanza Secundaria– (Jiménez-Aleixandre y Gallástegui-Otero, 1995; Jiménez-Aleixandre y Gallástegui-Otero, 1997) donde se explica que “*la unidad no incluye entre sus objetivos una definición de la energía (...) En cambio se enfoca a la aplicación de las ideas de transformación, conservación y degradación a un amplio rango de contextos, incluso discutiendo abiertamente, como sugiere el proyecto LISP (1989), el carácter inventado del concepto de energía*”. Sin embargo, como señalan Doménech et al (2003), estas introducciones operativas no evitarían probablemente la formación de visiones cualitativas deformadas sobre la energía o la persistencia de ideas intuitivas adquiridas por influencia ambiental.

Un acercamiento a la idea de energía que tome en consideración criterios científicos y pedagógicos debería partir de una definición cualitativa de la energía a la que se incorporen nuevos atributos de forma gradual (López-Rupérez y López-Rupérez, 1983), propiciando así la construcción de sucesivos significados en torno a este concepto de forma tentativa y abierta. Como aproximación inicial podría asociarse la energía con la capacidad de producir transformaciones (Doménech et al, 2003). A nivel de la secundaria obligatoria el tratamiento se efectuaría en términos de acciones y cuerpos, para ya en el bachillerato referirse a interacciones y sistemas.

3. LAS MANIFESTACIONES DE LA ENERGÍA

La consideración de múltiples formas de energía es cuestionada por diversos investigadores (Ellse, 1988; Sefton, 2004; Millar, 2005). Creen que resulta innecesario y, en el peor de los casos, engañoso al centrar la atención en la “forma” de energía en diferentes lugares y sus transformaciones (lo que podría reforzar su concepción “como algo material que cambia de forma”) en lugar de lo que Ellse (1988) considera más importante, útil y fácil de entender: las transferencias de energía. Estos autores opinan por ejemplo que es inadecuado utilizar el término “energía eléctrica” para referirse a lo que ocurre en un circuito eléctrico o que hablar de “energía luminosa” puede causar problemas.

Por otra parte, la interpretación de que todas las formas de energía son reducibles a energía cinética y/o potencial (Hierrezuelo y Montero, 1988) representa un gran avance didáctico pero para Solbes y Tairín (1998): *“revela una concepción mecanicista de la física al olvidar la energía de los campos (...) la de la masa en reposo y que la energía de interacción entre las partículas y los campos sólo puede ser denominada potencial si el campo es conservativo”*.

La consideración de las diversas formas o manifestaciones de la energía puede resultar adecuada como aproximación inicial por estar ligadas, en la mayoría de los casos, a fenómenos de la naturaleza que el alumnado puede percibir. A nivel de la secundaria obligatoria pueden asociarse los diversos nombres a la/s propiedad/es de los cuerpos que intervendrán en un proceso determinado o al tipo de proceso en el que estos participarán. En el bachillerato se podrán relacionar con las diferentes configuraciones de los sistemas y las distintas formas de interaccionar de la materia (Doménech et al, 2003). Al final de la etapa de la ESO las diversas formas de energía estudiadas se podrán interpretar en términos de energía cinética y/o potencial. En el último curso del bachillerato será preciso considerar además otros tipos de energía no interpretables en términos mecánicos como son la energía de los campos libres (interacción electromagnética) o la energía de la masa en reposo (física moderna).

El estudio de la energía potencial gravitatoria puede ser un marco apropiado para, a través de diversas situaciones concretas, acercar a los alumnos/as de secundaria a la idea de energía como propiedad de los sistemas (un objeto y la Tierra) y su carácter relativo (variable según el lugar que se establezca como referencia). En el bachillerato será preciso profundizar más en el carácter sistémico de la energía, explicando por ejemplo que sólo tiene sentido hablar de energía cinética de un cuerpo en la medida en la que existen otros con los cuales éste puede interaccionar. Se insistirá así mismo en la imposibilidad de determinar el valor absoluto de la energía de un sistema, interpretación a la que suelen llegar los estudiantes como resultado de la asignación arbitraria y sistemática de un valor de energía cero a una determinada configuración de un sistema.

El hecho de que la palabra energía se utilice además, tanto en el ámbito cotidiano como dentro del propio ámbito científico y tecnológico, para designar sus fuentes (solar, eólica, hidráulica...) induce a los estudiantes a la confusión entre las formas y las fuentes de energía. Resulta necesario por lo tanto aclarar esta cuestión convenientemente, identificando por ejemplo las formas de energía asociadas a cada uno de estos recursos, lo que contribuirá además a mostrar una visión de la ciencia en íntima relación con la tecnología, la sociedad y el ambiente.

Así mismo, la concepción común de que los combustibles y alimentos contienen energía (química) fue tratada también por varios investigadores (Ross, 1993; Sefton, 2004; Millar, 2005), que recuerdan que tanto el combustible como el oxígeno son necesarios para liberar energía, por lo que resultaría más conveniente decir que la energía está asociada al sistema combustible-oxígeno. La propia denominación de los combustibles como “fuentes de energía” induciría a confusión, ya que la verdadera fuente de energía es la combinación de combustible y oxígeno. Sin embargo, tal y como señala Sefton (2004), sí resulta correcto hablar de energía liberada cuando un combustible es quemado o un alimento es metabolizado. El origen de esta concepción puede estar situada en la extendida consideración errónea de que la energía está almacenada en los enlaces de las sustancias y es liberada cuando estos enlaces se rompen (lo que refuerza la visión de la energía como algo material). A partir de la definición de energía de enlace químico (energía que debe ser aportada a un sistema para romper los enlaces y separar completamente las partículas constituyentes) esto puede ser fácilmente rechazado dado que la energía de enlace del sistema formado por el combustible y el oxígeno antes de la combustión es inferior a la de los productos de la combustión. Como aproximación inicial Ross (1993), propone interpretar la energía liberada a partir del sistema combustible-oxígeno en términos de reorganización de enlaces: los enlaces débiles de las moléculas de oxígeno (gas) y los enlaces fuertes de las moléculas de combustible son substituidos por enlaces fuertes en las moléculas de los productos (en la mayoría de los casos dióxido de carbono y agua), proceso que casi siempre requiere un pequeño aporte de energía pero libera mucha más energía de la que necesita. En el bachillerato los estudiantes podrán acercarse con más rigor científico a la naturaleza de este tipo de procesos exotérmicos a partir de aspectos termodinámicos y cinéticos de las reacciones químicas.

Nótese en que la cuestión no estriba tanto en los términos manejados como en su correcta interpretación. Tal y como propone Solomon (1983) lo que le estamos pidiendo a los estudiantes es *“que puedan ser capaces de pensar y operar en dos dominios de conocimiento distintos y sean capaces de distinguir entre ambos”*.

4. LAS TRANSFERENCIAS DE ENERGÍA

Los cambios experimentados por los cuerpos/sistemas pueden ser presentados en relación a las transformaciones entre formas de energía y/o a las transferencias de energía entre cuerpos/sistemas (o entre sus partes).

La importancia de contemplar los procesos de transferencia de energía es compartida por múltiples investigadores (Ellse, 1988; Doménech et al, 2003), existiendo también algunas propuestas contrarias (Kemp, 1984) partidarias de presentar el concepto de energía y la primera ley de la termodinámica sin las nociones de trabajo y calor. Otros autores se refieren al hecho de que hablar de transferencia puede reforzar en el alumnado la idea errónea de que la energía es algo material.

Dentro de la presente propuesta parece conveniente acercarse a los procesos por los que la energía de un cuerpo/sistema puede variar: el trabajo, el calor e incluso otros mecanismos como el intercambio de radiación y/o materia.

El trabajo es un concepto físico para el que puede proporcionarse una simple definición operacional manejable a nivel de la educación secundaria. Sin embargo, interesa más en este marco

aproximarse primeramente al concepto mediante una definición cualitativa que permita caracterizarlo como mecanismo de transferencia de energía y, a la vez, sirva de punto de partida para derivar la correspondiente definición operacional. La definición de Maxwell (1877) como “*la transformación de la materia a través de las interacciones*” que proponen Solbes y Tairín (2004) puede resultar poco significativa a este nivel y podría ser reformulada mejor como “*el acto de transformar la materia aplicando fuerzas*” (Doménech et al, 2003).

El carácter general de la definición del trabajo (Sevilla, 1986), podrá ser mostrado mediante la aplicación de la correspondiente definición operacional a contextos variados, más allá de los “típicamente” mecánicos (comprensión de un gas...), para incluir magnitudes físicas de uso más cómodo relacionadas con las propiedades características de cada sistema.

El concepto de calor requiere pasar a ocuparse de lo que ocurre a nivel microscópico y acercarse al modelo cinético molecular de la materia.

Las investigaciones relativas a las ideas alternativas del alumnado sobre el calor (Hierrezuelo y Montero, 1988), revelan que éste es considerado muy frecuentemente por los estudiantes como algo material que reside en los cuerpos, aspecto que recuerda a la teoría del calórico. Esta interpretación material del calor sería característica de la fase de realismo interpretativo (a la que se refieren Pozo y Gómez-Crespo, 1998) en la que el estudiante “asume” la existencia de cosas que no puede ver, pero lejos de considerarlas como conceptos que cobran sentido dentro de las diferentes teorías y modelos interpretativos del mundo físico, las asume como realidades de la materia. La teoría cinético-molecular de la materia no resultaría fácil de utilizar para el alumnado que se encuentra en esta etapa de desarrollo psicológico. Por eso, presentar a los estudiantes la existencia de interpretaciones sobre el calor a lo largo de la historia de la ciencia como la del calórico –con grandes semejanzas con sus propias concepciones- y los criterios científicos por los que esta teoría fue desechada para dar paso a una interpretación del calor en términos cinético-moleculares, puede contribuir a su proceso de construcción de conocimientos en torno a este concepto físico, al tiempo que muestra una visión de la ciencia como actividad abierta y en permanente construcción.

Las dificultades de los estudiantes en este campo incluyen por otra parte la confusión entre los términos calor, energía calorífica o térmica y temperatura. Esta confusión está reforzada por la utilización incorrecta de estas palabras en la vida cotidiana: “*Cuando el camión frenó hasta detenerse, una gran cantidad de calor se generó por fricción*”, “*El calor de un caluroso día de verano...*” (Serway y Jewett, 2005). Por lo tanto, una aproximación significativa y funcional al concepto de calor deberá aclarar las diferencias entre estos tres conceptos físicos, para lo cual podría partirse de la idea de energía interna.

La energía interna de un sistema comprende la energía cinética del movimiento aleatorio de traslación, rotación y/o vibración que poseen las partículas (átomos o moléculas) que lo componen y la energía potencial de interacción entre estas partículas. De forma más abreviada puede presentarse como el conjunto de la energía cinética y potencial de las partículas que constituyen un cuerpo. A nivel microscópico estas energías cinética y potencial se encuentran indisolublemente relacionadas, por lo que su consideración por separado no es estrictamente correcta (sólo en casos particulares

como el del gas ideal monoatómico tendría sentido hablar por ejemplo de energía cinética de las partículas).

La energía térmica puede interpretarse entonces como la parte de la energía interna de un cuerpo/sistema relacionada con el movimiento aleatorio de sus partículas. No se trata por lo tanto de establecer exactamente una identificación con la energía cinética de las partículas, aspecto que tal y como se mostró anteriormente carecería de estricto rigor científico. La temperatura se introduciría después como magnitud asociada al movimiento medio por partícula. Esta aproximación permite identificar la energía térmica y la temperatura como magnitudes que representan el estado de un sistema y, al mismo tiempo, facilita la diferenciación de la temperatura como magnitud intensiva frente a la energía térmica (magnitud extensiva).

El calor podría definirse así como el proceso de transferencia de energía térmica desde un cuerpo/sistema a otro a menor temperatura. La aproximación podría completarse con una interpretación del calor (Warren, 1982; Doménech et al, 2003) como el conjunto de trabajos realizados a nivel microscópico al poner en contacto cuerpos a distintas temperaturas. El calor es por lo tanto un proceso de intercambio de energía que ocurre entre cuerpos/sistemas a diferentes temperaturas y no debe confundirse con la energía térmica o calorífica (manifestación o forma de energía). Algunos autores consideran que la utilización del sustantivo “calor” para referirse a un proceso no contribuye a su correcta interpretación y prefieren prescindir de él, proponiendo en algunos casos denominaciones alternativas como proceso de “calentamiento” (Ellse, 1988). Sin embargo, esta eliminación artificiosa de la palabra dentro del ámbito científico no evitaría probablemente que la idea de calor como algo confuso siguiese persistiendo en el alumnado por influencia ambiental.

El intercambio de radiación puede contemplarse a nivel de la secundaria obligatoria como un proceso de transferencia de energía asociado a los fenómenos térmicos. Debido al movimiento aleatorio de las partículas de la materia los cuerpos emiten radiación de diversos tipos. La cantidad de radiación emitida por un cuerpo es mayor conforme aumenta la agitación media de sus partículas, es decir, al aumentar su temperatura. El tipo de radiación emitida también está relacionado con la temperatura del cuerpo. El fenómeno de radiación tiene especial importancia a temperaturas altas y se puede apreciar en multitud de procesos cotidianos (estufas eléctricas de infrarrojo, interior de hornos microondas, llamas de procesos de combustión...), siendo además el proceso por el que la energía del Sol se transfiere a la Tierra. Por lo tanto, su introducción aquí (aunque sólo sea a nivel descriptivo), parece más que justificada, al facilitar la comprensión de cuestiones como el efecto invernadero, estrictamente ligado al actual problema del cambio climático.

En el bachillerato será posible acercarse más a la naturaleza de la radiación electromagnética intercambiada. Por otra parte, la equivalencia masa-energía permitirá aproximar a los estudiantes a la existencia de procesos de intercambio de radiación electromagnética de origen no térmico o a la interpretación del intercambio de materia como otra forma de transferencia de energía entre los sistemas. El análisis de procesos como el de formación de un núcleo atómico a partir de los nucleones que lo constituyen o el de aniquilación electrón-positrón permitirá relacionar las variaciones de energía y masa de un sistema y aproximarse al hecho de que toda transferencia de energía va acompañada de una transferencia equivalente en términos de masa, lo que exigirá la reconsideración del concepto clásico de sistema cerrado.

5. LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

El principio de conservación de la energía no resulta intuitivo de aceptar para los estudiantes, probablemente debido en gran parte a que se encuentra en aparente contradicción con la idea que se transmite desde los medios de comunicación de energía como algo que se “consume”. Así mismo, la aparentemente fácil aceptación de este principio estaría asociada por lo general a una concepción de la energía como algo material (Pozo y Gómez-Crespo, 1998).

Diversos estudios sobre la aplicación del principio de conservación de la energía (Driver y Warrington, 1985; Solomon, 1985; Hierrezuelo y Montero, 1988; Hierrezuelo y Molina, 1990; Solbes y Tairín, 1998), coinciden en el poco uso que el alumnado hace del mismo tanto en la descripción de ciertas situaciones físicas como en la resolución de problemas numéricos. Entre las causas se encontraría la forma en la que los estudiantes analizan los procesos, prestando más atención al cambio en sí mismo (para el que buscan una causa, que bien puede ser una “fuerza”) que a lo que permanece (en la ciencia el proceso se analiza como el resultado de las diferencias entre dos estados de equilibrio).

La formulación negativa del principio de conservación se situaría también entre las causas que dificultarían su comprensión y aplicación por parte de los estudiantes. Solomon (1985) aporta razones tanto de tipo lógico como psicológico como origen de tales dificultades. Por lo tanto, sería conveniente reformular en sentido positivo el clásico enunciado: *La energía no se crea ni se destruye, sólo se transfiere y/o transforma*. Por otra parte, la simple formulación positiva: *La energía total de un sistema aislado permanece constante* resulta poco significativa en el sentido de presentar la energía como algo asociado a las transformaciones. Un posible enunciado del principio de conservación de la energía acorde con lo expuesto podría ser el siguiente: Los cambios experimentados por un sistema aislado conllevan transferencias y/o transformaciones de energía en su interior, pero la energía total del sistema permanece constante, es decir, la cantidad de energía que hay al principio es la misma que la que hay al final. El universo en su conjunto podrá interpretarse como un caso de sistema aislado en el que la cantidad total de energía no varía. En la educación secundaria obligatoria la aproximación al concepto de sistema que requiere la comprensión de este principio se efectuaría de forma elemental.

La introducción de la degradación de la energía (Duit, 1984; Solomon, 1985; Goldring y Osborne, 1994) permitirá aclarar la aparente contradicción entre expresiones como “consumo de energía”, “producción de energía”, “agotamiento de energía”... y el principio de conservación. A nivel de la secundaria obligatoria se podrá aproximar a los estudiantes a la degradación de la energía de una forma simplificada, en términos de energía de mayor o menor “calidad” (Hierrezuelo y Montero, 1988). La energía se conserva en los sistemas aislados, pero a medida que se producen transformaciones de unas formas de energía en otras la energía va perdiendo “calidad” o utilidad, entendida esta como capacidad de experimentar nuevas transformaciones de interés. En el bachillerato se puede aproximar a los estudiantes a la idea de degradación de la energía en relación con el aumento del grado de desorden (entropía) de un sistema en el marco del segundo principio de la termodinámica. El aumento del grado de desorden que acompaña a las transformaciones que experimenta un sistema aislado disminuye la posibilidad de subsiguientes transformaciones macroscópicas. La energía

térmica, tal y como se definió previamente, puede identificarse con una configuración de un sistema muy desordenada, asociándose la degradación de la energía en un proceso a la transformación de la energía en cuestión (totalmente o en parte) en energía térmica. Esta forma de energía no puede ser transformada íntegramente en energía mecánica ya que el movimiento caótico de las partículas del sistema dificulta la organización a nivel macroscópico. Algunos investigadores prefieren presentar la degradación de la energía en términos de “*diferencias que conducen a cambios que tienden a disminuir esas diferencias*” (Boohan y Ogborn, 1996), en lugar de hablar de aumento de entropía. Otros (Doménech et al, 2003) se refieren reiteradamente a la degradación en términos de distribución más homogénea o uniforme de la energía. Sin embargo, esto último podría contribuir a reforzar en los estudiantes la idea de energía como algo material.

La conservación de la energía debe presentarse como un principio general aplicable a los diversos campos de la física (Solbes y Tairín, 1998). Este principio permite integrar fenómenos mecánicos y termodinámicos y adquiere una dimensión más general con el estudio de la teoría de la relatividad en el segundo curso del bachillerato.

El cumplimiento del principio de conservación de la energía puede no resultar evidente para los estudiantes cuando se aborda el principio de equivalencia masa-energía. Diversos investigadores (Lehrman, 1973; Gauld, 1988; Warren, 1976; Hierrezuelo y Montero, 1988), señalan la importancia de destacar que la equivalencia se establece entre dos propiedades distintas de los sistemas (la masa y la energía). Los cambios que experimenta un sistema pueden describirse empleando una terminología referida a la masa o otra alternativa referida a la energía. La utilización de ambas terminologías, una para referirse al estado inicial y otra para el estado final de una transformación, puede ser una de las causas que conduce a la incorrecta interpretación de este principio: la consideración de que la masa se transforma en energía. La confusión de términos como masa, materia, energía y radiación se situaría también en el origen de estos errores de interpretación según Gauld (1988).

La aplicación de la conservación de la energía a las reacciones nucleares (considerando las correspondientes energías cinéticas y las asociadas a las masas en reposo), permitirá mostrar a los estudiantes la generalidad de este principio en la ciencia. Así mismo, la contemplación de como la aplicación del principio de conservación de la energía a los procesos de desintegración llevó al físico austriaco Wolfgang Pauli a postular la existencia del neutrino, partícula que posteriormente sería detectada experimentalmente, contribuirá a presentar a los estudiantes el carácter coherente del trabajo científico.

6. CONCLUSIONES

En la ciencia la energía es una idea matemática y abstracta en torno a la cual han sido detectadas serias dificultades de aprendizaje. Su enseñanza requiere recurrir a estrategias metodológicas que permitan aproximarse de forma significativa y funcional a este campo de conocimientos de la física.

A nivel de la educación secundaria puede resultar didácticamente conveniente recurrir a consideraciones cualitativas iniciales que faciliten la aproximación al concepto de energía y a sus atributos principales: transformación, transferencia, conservación y degradación, así como su aplicación

al máximo número de situaciones en las que se ponga de manifiesto su potencial explicativo. Es necesaria la contemplación de fenómenos cotidianos variados que son susceptibles de explicarse cualitativamente a través de la idea de energía. En las actividades de tipo cuantitativo debe cuidarse especialmente el sentido físico (contextos, orden de magnitudes...) y no olvidar la necesaria coherencia de los datos aportados que requiere la comparación de una posible interpretación de la situación desde una perspectiva energética con otras alternativas por ejemplo de tipo cinemático y/o dinámico (Slisko, 1999). La consideración de tareas abiertas desde las que desarrollar las estrategias de investigación y/o experimentación propias del trabajo científico permitirá acercar a los alumnos/as al verdadero sentido y utilidad de la idea de energía para la interpretación de la realidad física.

Una aproximación significativa y funcional al tema de la energía trata de resolver los posibles conflictos cognitivos que pueden surgir en los estudiantes como consecuencia de la utilización en el lenguaje cotidiano de términos como energía, calor, trabajo... con significados menos precisos que el científico y/o que difieren de él en ciertos aspectos. Se posibilita así la interpretación desde un punto de vista científico del problema del agotamiento de los recursos energéticos convencionales, el rendimiento de las transformaciones energéticas, el consumo de la energía... y los problemas ambientales asociados como el calentamiento global. De esta forma se favorece el desarrollo de un conjunto de valores como el uso responsable de los recursos naturales y el cuidado del ambiente y se capacita a los estudiantes para la toma de decisiones y la participación en los grandes debates presentes en la sociedad actual.

La energía puede configurarse como un núcleo o centro de interés bajo el cual desarrollar y relacionar los contenidos propios del currículo de materias como *Física* del segundo curso del bachillerato. A lo largo de toda la educación secundaria la aproximación a este concepto deberá hacerse de forma coordinada desde las diversas disciplinas de las que forma parte para favorecer en los estudiantes la necesaria conexión cognitiva.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BOOHAN, R. y OGBORN, J. (1996).** Differences, energy and change: a simple approach through pictures. *School Science Review*, 78(283), pp. 13-19. Hatfield: Association for Science Education.
- CHISHOLM, D. (1992).** Some energetic thoughts. *Physics Education*, 27, pp. 215-220. Bristol: Institute of Physics.
- DOMÉNECH, J. L.; GIL-PÉREZ, D.; GRAS, A.; GUIASOLA, G.; MARTÍNEZ, J.; SALINAS, J.; TRUMPER, R. y VALDÉS, P. (2003).** La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20 (3), pp. 285-310. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- DRIVER, R. y WARRINGTON, L. (1985).** Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, 171-176. Bristol: Institute of Physics.
- DUIT, R. (1984).** Learning the energy concept in school-empirical results from The Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, pp. 59-66. Bristol: Institute of Physics.
- DUIT, R. (1987).** Should energy be illustrated as something quasi-material? *European Journal of Science Education*, 9 (2), pp. 139-145. London: Taylor & Francis.

- ELLSE, M., (1988).** Transferring not transforming energy. *School Science Review*, 69, pp. 427-437. Hatfield: Association for Science Education.
- FEYNMAN, R., LEIGHTON, R. B. y SANDS, M. (1963).** *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 1, pp. 4-1 a 4-8. Massachusetts: Addison-Wesley. Disponible también en: <http://student.fizika.org/~jsisko/Knjige/Opca%20Fizika/Feynman%20Lectures%20on%20Physics/Vol%201%20Ch%204%20Conservation%20of%20Energy.pdf>
- GAILUNAS, P. (1988).** Is energy a thing? Some misleading aspects of scientific language. *School Science Review*, 69, pp. 587-590. Hatfield: Association for Science Education.
- GAULD, C. (1988).** Conservation of mass and energy in high school science. *The Australian Science Teachers Journal*, 30, pp. 34-40.
- GOLDRING, H. y OSBORNE, J. (1994).** Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics Education*, 29, pp. 26-31. Bristol: Institute of Physics.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1988).** *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y Química*. Barcelona-Madrid: Laia-Ministerio de Educación y Ciencia.
- HIERREZUELO, J. y MOLINA, E. (1990).** Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato, del MEC: Madrid). *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), pp. 23-30. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona- Universitat de València.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. y GALLÁSTEGUI-OTERO, J. R. (1995).** "Let's save energy!": incorporating an environmental education dimension in the teaching of energy. *Environmental Education Research*, 1 (1), pp. 75-83. Abingdon-Bath: Carfax-University of Bath.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. y GALLÁSTEGUI-OTERO, J. R. (1997).** ¡Ahorremos energía! En Jiménez-Aleixandre, M. P., Lorenzo Barral, F. M. e Otero Gutiérrez, L. (Coords.). *Aprendiendo Ciencias en la Enseñanza Secundaria. Materiales para el alumno*, pp. 325-364. Santiago de Compostela: Servicio de Publicaciones de la USC.
- KEMP, H. R. (1983).** The concept of energy without heat or work. *Physics Education*, 19, pp. 234-240. Bristol: Institute of Physics.
- LEHRMAN, R. L. (1973).** Energy is not the ability to do work. *The Physics Teacher*, 11, pp. 15-18. New York: American Association of Physics Teachers.
- LISP (Learning in Science Project) (1989).** *Energy for a change. Teacher's guide*. Centre for Science & Mathematics Education Research. Hamilton (New Zealand): University of Waikato.
- LÓPEZ RUPÉREZ, F. y LÓPEZ RUPÉREZ, E. (1983).** Las nociones de trabajo y energía. Análisis conceptual y didáctico. *Bordón*, 249, pp. 497-506. Madrid: Sociedad Española de Pedagogía.
- MILLAR, R. (2005).** Teaching about energy. Department of Educational Studies: Research Paper 2005/11. York: University of York. Disponible en: <http://www.york.ac.uk/depts/educ/research/ResearchPaperSeries/Paper11Teachingaboutenergy.pdf>
- PÉREZ-LANDEZÁBAL, M. C.; FAVIERES, A.; MANRIQUE, M. J. y VARELA, P. (1995).** La energía como núcleo en el diseño curricular de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), pp. 55-65. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona-Universitat de València.

- PONTES-PEDRAJAS, A. (2000).** Aprendizaje reflexivo y enseñanza de la energía: una propuesta metodológica. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 25, pp. 80-94. Barcelona: Graó.
- POZO, J. I. y GÓMEZ-CRESPO, M. A. (1998).** *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- ROSS, K. A. (1993).** There is no energy in food and fuels- but they do have fuel value. *School Science Review*, 75 (271), pp. 39-47. Hatfield: Association for Science Education.
- SCHMID, G. B. (1982).** Energy and its carriers, *Physics Education*, 17, pp. 212-218. Bristol: Institute of Physics.
- SEFTON, I. M. (2004).** Understanding energy. *Proceedings of 11th Biennial Science Teachers' Workshop*. School of Physics. Sydney: The University of Sydney. Disponible en: <http://science.uniserve.edu.au/school/curric/stage6/phys/stw2004/sefton1.pdf>
- SERWAY, R. A. y JEWETT, J. W. (2005).** *Física para ciencias e ingenierías*. Vol. 1, 6ª Edición. México: Thomson.
- SEVILLA, C. (1986).** Reflexiones en torno al concepto de energía. Implicaciones curriculares. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), pp. 247-252. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona-Universitat de València.
- SEXL, R. U. (1981).** Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3 (3), pp. 285-289. London: Taylor & Francis.
- SLISKO, J. (1999).** ¿Como eliminar os erros comúns en problemas numéricos da física escolar? *Boletín das Ciencias*, 38, pp. 41-49. Santiago de Compostela: ENCIGA (Asociación dos Ensinantes de Ciencias de Galicia).
- SOLBES, J. y TAIRÍN, F. (1998).** Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), pp. 387-397. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona-Universitat de València.
- SOLBES, J. y TAIRÍN, F. (2004).** La conservación de la energía: un principio de toda la física. Una propuesta y unos resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (2), pp. 185-194. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona-Universitat de València.
- SOLOMON, J. (1983).** Learning about energy: how pupils think in two domains, *European Journal of Science Education*, 5 (1), 49-59. London: Taylor & Francis.
- SOLOMON, J. (1985).** Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, pp. 165-170. Bristol: Institute of Physics.
- TRUMPER, R. (1991).** Being constructive, an alternative approach to the teaching of the energy concept (II). *International Journal of Science Education*, 13(1), pp. 1-10. London: Taylor & Francis.
- WARREN, J. W. (1976).** The mystery of mass-energy. *Physics Education*, 11, pp. 52-54. Bristol: Institute of Physics.
- WARREN, J. W. (1982).** The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4 (3), pp. 295-297. London: Taylor & Francis.
- WARREN, J. W. (1983).** Energy and its carriers: a critical analysis. *Physics Education*, 18, pp. 209-212. Bristol: Institute of Physics.
- WATTS, D. M. (1983).** Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, pp. 213-217. Bristol: Institute of Physics.