

El balance energético en escenarios reales. Propuesta didáctica en la formación inicial de maestros

Manuel Ibáñez Plana¹, Jérôme Barrau²

¹ Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Lleida. m.ibanez@macs.udl.cat

² Escuela Superior Politécnica. Universidad de Lleida. jerome@macs.udl.cat

[Recibido en septiembre de 2013, aceptado en febrero de 2014]

El trabajo aquí presentado consta de dos partes atendiendo a sus finalidades: (1) Evaluar el conocimiento inicial y las dificultades de los futuros maestros en formación sobre energía; (2) Proponer el balance energético en dos situaciones problema reales como herramienta formativa y evaluar el impacto de la secuencia didáctica. La evaluación inicial se plantea a su vez en dos ámbitos: (1a) conceptos energéticos asociados a los ciclos del agua y del carbono; (1b) niveles de aprendizaje en la interpretación energética de los sistemas. Los resultados indican que los estudiantes, después de haber cursado la enseñanza secundaria obligatoria en ciencias, encuentran serias dificultades en la aplicación de los conceptos fundamentales sobre energía en actividades experimentales de escuelas de primaria. Para superar esta situación se plantea una metodología basada en la resolución de problemas reales, concretamente se cuestiona los consumos de combustible del aula y de agua de un cultivo hortícola. La caracterización energética de los componentes del balance de energía en estos sistemas se realiza con equipo y técnicas habituales en los respectivos campos. Los resultados son positivos tanto en la interpretación del balance de energía en los sistemas estudiados como en la transferencia de conceptos a experiencias de aula de primaria.

Palabras clave: cultivo; energía; Educación Primaria; maestros; problemas.

The energy balance in the classroom and the crop. Pedagogical tools for primary school teachers initial training

The article presented has two purposes: (1) To evaluate the initial knowledge and the difficulties of future teachers about energy, (2) to propose the energy balance on two real problems as a pedagogical tool and evaluate the impact of the teaching sequence. Initial evaluation is raised in two ways: (1a) energy concepts associated with the cycles of water and carbon, (1b) learning levels in the energetic system interpretation. The results indicate that students, having completed compulsory secondary education in science, encounter serious difficulties in applying the fundamental concepts of energy to primary schools experimental activities. To overcome this situation a methodology based on real problem-solving is proposed, the classroom fuel and the water crop consumption. The energy characterization of the components of energy balance in these systems is performed with standard equipment and techniques in the respective fields. The results are positive in the interpretation of the energy balance in the systems studied and in the transfer of concepts to elementary classroom experiences.

Keywords: crop; energy; primary education; problem; teachers.

Introducción

Desde los primeros días de vida el contacto con la madre y el abrigo de las ropa nos ofrecen sensaciones térmicas en diferentes grados que vamos interpretando como placenteros o no. Durante los primeros años descubrimos que nuestras sensaciones térmicas dependen de muy diversas condiciones y por ello aprendemos en la escuela primaria que para formarnos una idea más acertada del estado térmico de un cuerpo es necesario observar la temperatura en un termómetro en equilibrio térmico con él. También a partir de tempranas experiencias en la infancia sabemos que las propiedades de muchas sustancias varían según su temperatura. Algunas de estas variaciones son más o menos abruptas, otras son continuas. Integrados los fenómenos de cambio de estado y aprendemos que sirven para indicarnos ciertas temperaturas, la fusión del hielo y la ebullición del agua a presión atmosférica son los cambios de estado más relevantes en nuestra vida cotidiana. El calor latente y el calor específico, la corrientes convectivas, la difusión del calor por conducción, la elasticidad y la viscosidad

variable de los materiales son algunos de los muchos fenómenos térmicos que los estudiantes de primaria y secundaria experimentan cotidianamente. Maxwell (1871) ya expuso en su Teoría del Calor, dirigida a los trabajadores industriales de Aberdeen y Londres, la fenomenología y buena parte del modelo teórico sobre energía térmica que discuten los alumnos hasta finalizar la educación secundaria. Sin embargo, la literatura muestra que las dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje del dominio específico de la energía son considerables. La mayor parte de los estudios sobre estas dificultades se han centrado en el área de física (ejemplos recientes son Domenech *et al.*, 2007; Gyberg y Lee, 2010). Un segundo bloque aborda el tema desde la perspectiva biológica estudiando la comprensión de los estudiantes del flujo energético en las redes tróficas, la fotosíntesis o la respiración celular (ejemplos recientes son Lin y Hu, 2003; Mann y Treagust, 2010).

La importancia del conocimiento y nivel de comprensión de un dominio específico por parte de los maestros se magnifica cuando los estudiantes presentan conceptos previos incompatibles con la propuesta científica, como ocurre frecuentemente en las ciencias experimentales. Los docentes con una rica base de conocimientos y una amplia comprensión de los conceptos trabajados, a priori, podrán ayudar más adecuadamente a los estudiantes a desarrollar las representaciones adecuadas y las conexiones conceptuales y pueden dar mejor apoyo a actividades y discursos de nuevos conceptos significativos (Driver, Asoko, Leach, Mortimer y Scott, 1994). El conocimiento de los maestros y su capacidad para predecir las concepciones de los estudiantes deviene un tema central cuando los modelos conceptuales compartidos en el aula son incompatibles, como parece ser el caso en el concepto de energía. Un estudio de Kruger, Palacio y Summers (1992) mostró que maestros de primaria sostenían un conjunto de preconceptos sobre la energía que eran incompatibles con los conocimientos científicos que se esperaba tendrían que impartir. Concretamente en este estudio se subrayaba que tendían a (a) confundir energía con fuerza, (b) asociar energía con movimiento pero no con posición, (c) contradecir el principio de conservación de la energía, (d) entender la energía con una entidad material preferiblemente que con una idea abstracta y (e) asociar la energía básicamente con los seres vivos. Es interesante hacer notar que conceptos previos similares han sido documentados en profesorados de ciencias en formación inicial (Trumper, 1997) y en estudiantes de secundaria (Watts, 1983). Sin lugar a dudas, estos resultados plantean preguntas sobre el grado en que los futuros maestros de primaria pueden proporcionar efectivamente el apoyo y la orientación que necesitan los alumnos con el fin de promocionar su comprensión energética del mundo. La formación de maestros de primaria en este ámbito es un reto social.

Este trabajo se realiza con los siguientes objetivos: (1) Evaluar el conocimiento inicial y las dificultades de los futuros maestros en formación sobre energía. Dada la centralidad en el currículo de educación primaria de conceptos relacionados con la energía térmica como son temperatura, aislamiento térmico y equilibrio térmico (Paik *et al.*, 2007) se han incidido en actividades y experiencias en los que esta forma de energía, su transferencia, transformaciones y almacenamiento juegan el papel más relevante; (2) Proponer el balance energético en dos situaciones problema reales como herramienta formativa y evaluar el impacto de este estrategia didáctica.

Evaluación inicial

Este artículo recoge el planteamiento y resultados del trabajo realizado en dos años consecutivos con estudiantes en 2º curso del grado de Educación Primaria de la materia 'Aprendizaje de las ciencias experimentales' en la Universitat de Lleida. De los 358 estudiantes involucrados en el estudio sólo el 8% habían realizado el bachillerato en ámbitos científico-técnicos. La mayoría sólo habían recibido formación en asignaturas de ciencias experimentales

en la educación secundaria obligatoria. El estudio plantea durante las primeras semanas de cada curso la realización de dos actividades con el objetivo de obtener evidencias independientes y comparables sobre el nivel inicial de los estudiantes sobre el concepto de energía. Atendiendo a la literatura la evaluación inicial se plantea en dos actividades que son paralelas (I) conceptos energéticos asociados a los ciclos del agua y del carbono y (II) niveles en la interpretación energética de los sistemas.

Actividad I. Energía en los ciclos del agua y del carbono

Se expone a los estudiantes de Educación Primaria dos experiencias (referidas como I.A. y I.B.) realizadas habitualmente en escuelas. Y se les pide exponer por escrito los conceptos de todos los fenómenos que identifican involucrados en las experiencias.

Experiencia I.A.

Con un hornillo eléctrico se calienta agua en un recipiente metálico desde temperatura ambiente hasta ebullición. Simultáneamente, un segundo recipiente con cubitos de hielo se sostiene a 10 cm por encima del primero. Después de 15 minutos de ebullición se apaga el hornillo. Se mide cada minuto la temperatura del material en ambos recipientes y se pesa el contenido antes y después de la experiencia.

Experiencia I.B.

Dos terrarios con lombrices se disponen en el aula durante cuatro meses. En ambos se añade periódicamente el mismo volumen de agua para mantener la humedad pero en uno se añade materia orgánica seca mientras en el otro no. Se mide de continuo la temperatura en ambos recipientes y se pesa el conjunto de lombrices antes y después de la experiencia.

Se realiza un análisis de los 358 textos clasificando los conceptos que aparecen adecuadamente expresados. Estos conceptos se agrupan alrededor de 12 ítems para cada experiencia, A y B. Se estudia el porcentaje de textos que hacen referencia evidente a cada uno de los siguientes ítems:

Ítems I.A.

A1. La energía térmica se obtiene a partir de la transformación de otras formas de energía. Cualquier calefactor necesita una fuente de energía para ceder calor. En la experiencia es la energía eléctrica la que se transforma en energía térmica de la parrilla.

A2. La energía térmica se puede transferir de un cuerpo a otro y dentro de un mismo cuerpo. El hornillo transfiere energía térmica al agua a través del recipiente de metal.

A3. El material del que están hechos los objetos influye en la conducción del calor desde el exterior y en su interior. Utilizamos cazuelas metálicas porque los metales son buenos conductores térmicos.

A4. Cuanto mayor es la diferencia de temperatura entre dos cuerpos, mayor es el calor transferido desde el cuerpo más caliente al más frío. Para mantener un cuerpo a una temperatura más elevada necesitamos suministrarle energía térmica continuamente. Cuanto mayor es la superficie expuesta a la pérdida/ganancia de energía térmica mayor es el calor transferido hacia fuera/adentro.

A5. Átomos y moléculas están perpetuamente en movimiento. La temperatura es una medida de la energía térmica de una sustancia y está relacionada con la velocidad del movimiento de las moléculas que lo forman.

A6. El calentamiento y el enfriamiento causan cambios en algunas propiedades de los materiales. Un aumento de temperatura implica mayor energía disponible y por ello habitualmente los materiales se expanden al ser calentados.

A7. Cuando el agua líquida desaparece se transforma en gas (evaporación) en el aire y puede reaparecer en forma líquida cuando este se enfriá por debajo del punto de rocío. La evaporación del agua líquida requiere energía (calor latente) que procede del resto del líquido.

A8. Por haber más energía térmica disponible y moverse las moléculas del líquido a mayor velocidad la tasa de evaporación aumenta con la temperatura del líquido hasta alcanzar la temperatura de ebullición.

A9. Cuando el agua en estado vapor condensa libera energía térmica (calor latente). Esta energía contribuye a la fusión de los cubitos de hielo.

A10. En medios fluidos -líquidos o gases- las regiones a diferentes temperaturas tienen diferentes densidades. La acción de la atracción gravitatoria en regiones de diferente densidad causa su ascenso o descenso, creando corrientes (convección) que contribuyen a la transferencia de energía térmica en el aire caliente (calor sensible) y el vapor de agua (calor latente). La energía térmica es transferida del recipiente inferior al superior básicamente por convección.

A11. Las transformaciones y transferencias de energía térmica dentro de un sistema habitualmente van acompañadas de pérdidas de energía hacia el entorno exterior. Cuando el entorno no cambia perceptiblemente de temperatura decimos que la energía térmica se ha disipado.

A12. En el sistema la energía fluye continuamente desde el hornillo eléctrico al resto de elementos. Parte de la energía es absorbida por los cuerpos del sistema y transforma los materiales llevando el agua hasta ebullición, fundiendo el hielo y dilatando los metales y el aire. El resto se disipa al entorno en forma de calor sensible (aire caliente), calor latente (vapor de agua) y energía radiante (no visible).

Ítems I.B.

B1. El origen de prácticamente todos los alimentos consumidos por animales son las plantas. Las lombrices consumen estos restos orgánicos que encuentran en el suelo.

B2. La energía se transforma de una forma a otras en los seres vivos.

B3. Las plantas usan la energía del Sol para producir azúcares, dióxido de carbono y agua mediante la fotosíntesis. Por lo tanto toda la energía química de los alimentos tiene su origen en la radiación solar.

B4. Los organismos que se alimentan de plantas rompen la estructura de las plantas para obtener los materiales y energía que necesitan para sobrevivir. Entonces ellos son consumidos por otros organismos.

B5. Las lombrices obtienen su energía de la oxidación de la materia orgánica cediendo como calor parte de la energía química contenida en la materia.

B6. Los elementos químicos que forman las moléculas de los seres vivos pasan a través de redes alimentarias donde son combinados y recombinados de diferentes formas. En cada enlace de una red alimentaria, parte de la energía y la masa es almacenada en las nuevas estructuras creadas.

B7. La respiración celular de las lombrices transforma la materia y la energía de unas formas a otras. Por ello buena parte de la energía no se transfiere de un organismo a otro en las redes alimentarias y es disipada al ambiente en forma de calor.

B8. El funcionamiento del sistema requiere del aporte continuo de energía, la energía solar, que se disipa finalmente en forma de energía térmica.

B9. A lo largo del tiempo, la materia es transferida de un organismo a otro repetidamente y entre organismos y su ambiente físico. Como en todos los sistemas materiales, en el ciclo del agua y el ciclo del carbono, la cantidad de materia permanece constante a pesar de sus cambios de forma y lugar. La variación en el peso total de las lombrices se realiza a expensas del consumo de otros materiales.

B10. Las lombrices junto con otros descomponedores (hongos, bacterias) completan el ciclo de la materia en los ecosistemas.

B11. La diversidad de suelos facilita condiciones ambientales diferentes con las correspondientes comunidades de seres vivos. En el suelo más rico en materia orgánica las lombrices se desarrollan más adecuadamente.

B12. Los cambios en cualquier elemento ambiental afectan todo el ecosistema edáfico.

Las figuras 1 y 2 muestran que porcentaje de los alumnos han recogido las afirmaciones de cada ítem.

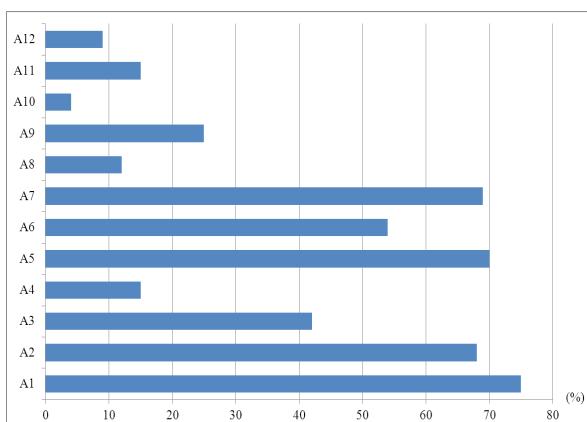


Figura 1. Porcentaje de alumnos que recogen los ítems de la experiencia relacionada con el ciclo del agua.

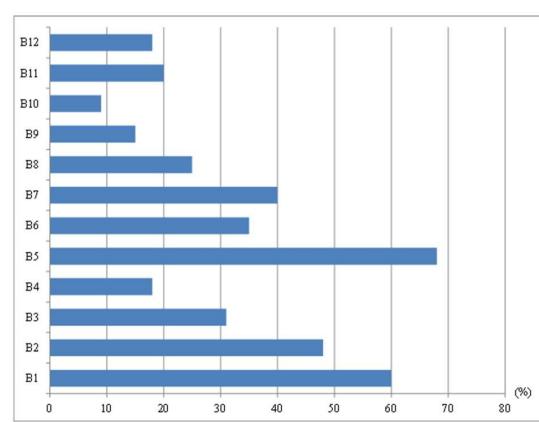


Figura 2. Porcentaje de alumnos que recogen los ítems de la experiencia relacionada con el ciclo del carbono.

Actividad II. Niveles en el aprendizaje de la energía

Se plantea a los estudiantes realizar pequeños trabajos de investigación, muy guiados pero en los que ellos deben plantearse a partir de la cuestión unas hipótesis, un detallado diseño experimental y una discusión y comunicación de resultados coherente. Los estudiantes se dividen en grupos de 4 a los que se asigna aleatoriamente dos actividades experimentales a realizar (referidas como C1 a C6). Cada estudiante tiene su 'libreta de ciencias' en la que recoge los detalles, hipótesis, discusión y conclusiones. Las situaciones problemas propuestas son también habitualmente planteadas en escuelas de educación primaria.

C1. ¿Por qué se seca la ropa?

Propuesta: Cuatro pares de paños mojados se sitúan en diferentes condiciones. En cada pareja uno de los paños se introduce en una bolsa de plástico transparente mientras el otro se deja al aire libre. Durante 1 hora, una de las parejas se deja en el interior del aula sobre la calefacción, la segunda en el edificio lejos de la distribución de calefacción, la tercera en el exterior del edificio en un lugar soleado y la cuarta en el exterior a la sombra. Se pesan y se determina la temperatura de los paños antes y después de la experiencia.

C2. ¿Qué material nos abriga más?

Propuesta: Seis cubos de hielo se envuelven en materiales diversos y se dejan en recipientes separados sobre una mesa del aula durante 1 hora a temperatura del aula. Uno de ellos queda como testimonio sin envolver. Se pesan los cubos antes y después de la experiencia.

C3. ¿Cómo podemos cocinar más eficientemente con el Sol?

Propuesta: Se construye un horno solar con materiales reciclados. Se ensaya el calentamiento y enfriamiento de su cavidad interior midiendo la evolución de la temperatura. Se proponen y justifican mejoras de la unidad.

C4. ¿Cómo conseguiremos iluminarnos durante más tiempo?

Propuesta: Cuatro velas de parafina y cuatro de aceite con mechas y volúmenes variables se dejan arder en el aula 10 minutos. Se pesan los combustibles en los recipientes antes y después de la experiencia.

C5. ¿Qué prefieren las levaduras del pan?

Propuesta: En diferentes tubos de ensayo pondremos la misma cantidad de levadura fresca comercial con diferentes cantidades de azúcar y temperatura del agua variable. Cada tubo se sitúa en un recipiente cerrado con un medidor en continuo de dióxido de carbono. Se determina la temperatura de los cultivos antes y después de la experiencia.

C6. ¿Qué soportan mejor las plantas la falta de agua o de luz?

Propuesta: Cuatro plantas de interior se mantienen en diferentes condiciones de humedad e iluminación durante 4 semanas. En dos de ellas se cubre la mitad de la superficie foliar con un material opaco de forma que las hojas no puedan recibir radiación solar. Se mide la altura de la planta y la superficie foliar antes y después de la experiencia

Una vez finalizado el trabajo experimental y teniendo acceso a la 'libreta de ciencias' se plantean por escrito, de forma individual las cuestiones de la Tabla 1.

Tabla 1. Cuestiones sobre la visión energética de los sistemas.

- | |
|---|
| ¿Cuál es el sistema de interés? |
| ¿Qué cambios físicos y químicos tienen lugar en el sistema? |
| ¿En qué parte del sistema suceden cambios de energía? |
| ¿Cuáles son las entradas de energía? |
| ¿Cuáles son las salidas de energía? |
| ¿Dónde se almacena energía? ¿En qué forma? |
| ¿Cuál es el balance de energía del sistema? |

Este conjunto de cuestiones y experiencias tienen por objetivo contrastar la comprensión por parte de los estudiantes de aspectos clave de la energía. Diversos autores han planteado recientemente progresiones de aprendizaje de la energía en la etapa educativa de secundaria. Las progresiones de aprendizaje describen como en un dominio específico se evoluciona desde las intuiciones a científicas hasta una profunda y productiva comprensión del modelo científico. En el ámbito de la energía las aportaciones más recientes de este tipo son los trabajos de (Nordine *et al.*, 2010; Fortus y Krajcik, 2011; Neuman *et al.*, 2013). Estos últimos plantean la progresión según los siguientes estadios: Tipos de energía, transferencia y transformaciones, disipación de la energía, conservación de la energía y degradación.

Desde una perspectiva científica todos los niveles no tienen el mismo estatus. La comprensión de la conservación de la energía es el objetivo que engloba el resto, por lo que debiera estar por encima de ellos. La disipación y la degradación podrían, de forma lógica, anidarse bajo los conceptos de transformación y transferencia. Más aún, los estadios están interconectados, son interdependientes y concurrentes (Goldring y Osborne; 1994). La disipación solo toma

sentido cuando se reconoce la transferencia de energía térmica y se asume que otras formas de energía se pueden transformar en energía térmica. El balance de energía, la conservación, sólo es creíble una vez la disipación es plenamente integrada. Por lo tanto, comprendemos que los estudios definidos en Nordine *et al.* (2010) y Neumann *et al.* (2013) deben evolucionar de forma paralela para construir un paisaje coherente sobre la energía. Bajo esta argumentación hemos optado por clasificar las respuestas de nuestros alumnos en cuatro niveles definidos con las siguientes características:

Nivel 1

Identifica la energía como una propiedad inherente a los objetos animados. Identifica sólo la presencia de energía, no aumentos o disminuciones. Describe los procesos en términos y pérdidas pero no muestra atención a las transferencias. Centra la atención en objetos discretos; el binomio sistema/ambiente no es considerado. No asume explícitamente la energía térmica. Presenta la energía como una propiedad de ciertos objetos que puede aparecer y desaparecer sin dejar rastro.

Nivel 2

Reconoce diferentes tipos de energía. No entiende claramente la relación cuantitativa entre ellos o no diferencia de forma consistente energía y materia. Describe cualitativamente las variaciones de energía en los procesos. Reconoce ganancias y pérdidas pero no muestra una clara comprensión de la transferencia incluyendo múltiples caminos para la energía. Reconoce que otras formas de energía se pueden transformar en energía térmica. Comprende que la radiación y el calor pueden transferir energía lejos de un cuerpo. Pero no considera la transferencia de energía al ambiente próximo (aire). Reconoce que la energía tiene un origen, es imprescindible para iniciar un proceso y conecta ganancias y pérdidas. Pero cree que desaparece cuando los procesos visibles finalizan.

Nivel 3

Identifica la energía térmica pero puede no distinguir claramente la energía térmica de la temperatura y el calor. Identifica que la energía se puede transferir sin transferencia de materia en algunos contextos. Puede cualitativamente seguir y representar incrementos y disminuciones de energía en procesos que involucran transformaciones tanto en un único objeto/sistema como entre objetos/sistemas. Muestra comprensión de que en un sistema suficientemente grande, los incrementos en energía térmica pueden no producir cambios detectables en la temperatura. Incluye el ambiente en las respuestas y describe los flujos de energía en casos que involucran radiación, etc. Entiende que algunas formas de energía son menos útiles que otras. Puede creer que la energía 'perdida' es completamente recuperable. Reconoce la constancia de la energía total en sistemas simples comprendiendo el sentido de la cuestión 'a dónde va la energía'.

Nivel 4

Describe la energía de alimentos y combustibles como energía del sistema. Puede no distinguir claramente alimentos y combustibles de la energía asociada. Reconoce que la energía ganada en un objeto/sistema va acompañada por pérdidas de energía en otros. Y que las magnitudes de estas ganancias y pérdidas van correlacionadas. Describe ganancias y pérdidas como transferencias y transformaciones del mismo tipo. Representa y describe transferencias y transformaciones en un amplio rango de situaciones, incluyendo aquellas con múltiples objetos/formas. Incluye consistentemente la energía térmica en el ambiente cuando describe los flujos de energía entrantes y salientes. Entendiendo que la energía 'perdida' al ambiente

existe pero puede no ser recuperable. Considera siempre la posibilidad de que la energía total sea constante aunque a veces no lo aplica de forma consistente.

La figura 3 muestra que porcentaje de los alumnos ha sido considerado en cada nivel de acuerdo con las respuestas. Para contrastar la coherencia de los resultados se cruzan los resultados de las actividades I y II. Se analiza la contribución de los resultados de los estudiantes de cada uno de los niveles (actividad II) en las afirmaciones recogidas en la actividad I (figuras 1 y 2). El análisis para los ítems de la actividad I.A se resume en la figura 4.

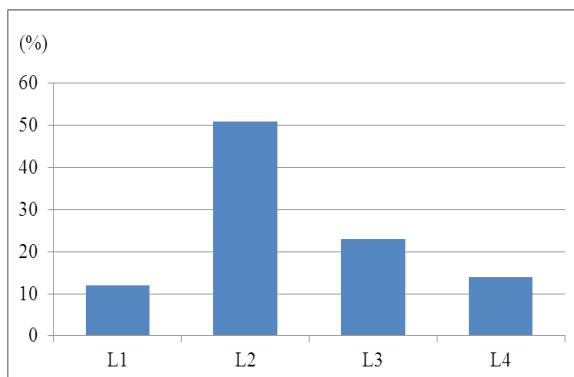


Figura 3. Porcentaje de los alumnos en cada nivel de aprendizaje.

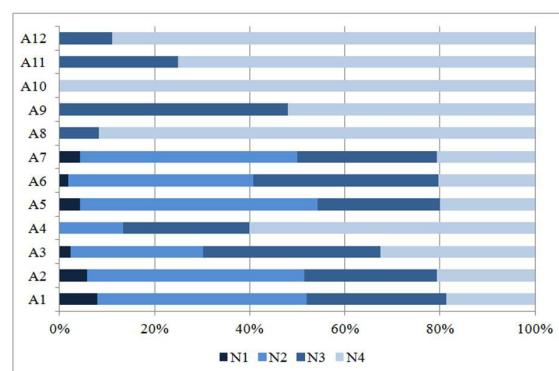


Figura 4. Contribución a las afirmaciones de la actividad I.A según el nivel en la actividad II de los estudiantes.

Los ítems más complejos (desde A8 hasta A12) son contribuciones de unos pocos estudiantes (nivel 3 y 4). Se observa de forma clara que los estudiantes que no son capaces de responder adecuadamente las preguntas de la Tabla 1, a pesar de haber realizado las experiencias prácticas (C1 a C6) en grupos, tampoco identifican y comunican buena parte de los conceptos involucrados de las experiencias, ítems I.A y I.B.

Puede ser interesante hacer notar un salto cualitativo claro entre los niveles 2 y 3. Este puede tener explicación en la definición de los niveles planteados en este trabajo y la metodología de valoración seguida, incluso en el tipo de experiencias C1 a C6 propuestas. Sin embargo también cabrían otras explicaciones más estructurales:

- (a) Se requiere un cierto nivel de conocimiento de los procesos que involucran los distintos tipos de energía para completar con éxito una visión sistémica de la energía en contextos cotidianos. No hay estudiantes correspondientes a los niveles 1 y 2 con resultados destacados en las actividades I.A. La mente no se mueve hacia niveles más altos de abstracción sino hay un conocimiento práctico del contexto o la situación en la que tiene que razonar.
- (b) Pero este conocimiento necesario podría no ser suficiente. Encontramos estudiantes con interesantes aportaciones en las actividades I.A con un pobre resultado en la actividad II. La mente no sube como la marea sino que necesita de la promoción o el andamiaje profundizando las competencias del estudiante para alcanzar nuevos niveles.

Posiblemente muchos estudiantes no desarrollan una visión sistémica de la energía porque los aprendizajes que van sumando no se centran en los procesos que integran el sistema. Son necesarias estrategias de enseñanza-aprendizaje específicas que aborden las dificultades de una interpretación energética de los sistemas.

El estudio de problemas reales

Una revisión de la literatura y nuestros propios errores permitieron recoger algunos elementos que parece interesante considerar para promover la evolución de los estudiantes:

- Estudiar problemas reales complejos y cotidianos desde el punto de vista energético.
- Estructurar los aprendizajes tomando el balance de energía como eje vertebrador.
- Destacar el dinamismo de los sistemas reales y la importancia de la escala espacial y temporal en los problemas.

Muchos investigadores han recomendado durante décadas la reestructuración de la ciencia escolar alrededor de problemas reales relevantes para los estudiantes (AAAS, 1990) pero la literatura ha mostrado las dificultades de los programas basados en esta propuesta. Una de las dificultades en abordar casos reales es que los estudiantes pueden mostrarse competentes en la realización de los procedimientos, pero tienen dificultad para enfocar su atención en las razones de estos procedimientos y el marco conceptual que los acompaña (Krajcik *et al.*, 1998). Nuestra propuesta a estas dificultades es una didáctica basada en la resolución de problemas en la que los nuevos conceptos científicos y las habilidades para resolver el problema se conjugan empleando técnicas y equipos habituales en prácticas de ingeniería y de investigación. Concretamente la secuencia de enseñanza-aprendizaje propuesta comienza planteando a los estudiantes la resolución de dos problemas sobre dos contextos de aprendizaje: el aula y el huerto escolares. Los grupos de trabajo de 4 ó 5 estudiantes abordan las siguientes cuestiones:

- (1) ¿Cuál es el consumo de calefacción del aula?
- (2) ¿Cuánto tenemos que regar las plantas del huerto?

Para ello, los estudiantes deben acabar abordando el estudio energético de la propia aula y de un cultivo hortícola.

Balance de energía en el aula

Un edificio puede ser visto como una caja gigante cuya misión es proteger su contenido de las condiciones climáticas, tales como la temperatura exterior, viento, lluvia, etc. El confort dentro de un edificio depende principalmente de dos factores: la temperatura del interior y la humedad. Es obvio que la temperatura más alta (o más baja) junto con la humedad más alta (o más baja) son las peores condiciones para conseguir dicho confort. Junto al confort higrotérmico hay que considerar el respiratorio, el visual y el acústico. El balance energético de un edificio sirve para diseñar, construir y gestionar los espacios en los que vivimos de forma eficiente. Las dificultades para realizar experimentalmente con estudiantes de secundaria el balance energético del aula (figura 5) han sido afrontados con éxito (Sedó *et al.*, 2012). La campaña de caracterización experimental del aula se organizó de forma que cada grupo de trabajo se responsabilizó de la toma de medidas a lo largo de un día. Los equipos instrumentales permiten almacenar datos en continuo para su posterior análisis. Los diferentes grupos de estudiantes evaluaron el balance de energía diario en días consecutivos. El fundamento teórico del trabajo se encuentra en publicaciones como García *et al.* (2010).

Balance de energía en el cultivo

El conocer el balance de energía en los cultivos (figura 6) sirve para entender y gestionar los flujos de masa y energía y su repercusión sobre el rendimiento de las plantas. Las mediciones de los componentes del balance de energía se utilizan habitualmente en agricultura y meteorología para la gestión del agua. En los ambientes húmedos la mayor parte del balance

radiativo se emplea en el flujo de calor latente (evapotranspiración). En los ambientes desérticos, al quedar limitada la evapotranspiración, la radiación neta se transforma en flujo de calor sensible y calor hacia el suelo. El balance de energía en la mayoría de cultivos se sitúa entre estos dos extremos dependiendo de la demanda atmosférica, la disponibilidad de agua en el suelo y el estadio fenológico de las plantas.

Entre los métodos micrometeorológicos la Relación de Balance de Energía de Bowen se utiliza con buenos resultados para estimar la evapotranspiración y por lo tanto las necesidades hídricas de los cultivos en tiempo real. El equipo requerido es el más accesible de los métodos micrometeorológicos de determinación de flujos en un cultivo. En el caso del cultivo se dispone de un equipo Bowen Ratio (Campbell Sci.) que se instala en un terreno contiguo a la facultad. Cada grupo realiza medidas a lo largo de un día permitiendo los equipos almacenar datos cada 20 minutos para su análisis y conclusiones. El fundamento teórico del trabajo se encuentra en publicaciones como Allen *et al.* (2006).

Las figuras 5 y 6 esquematizan los flujos que intervienen en el balance de energía de ambos sistemas.

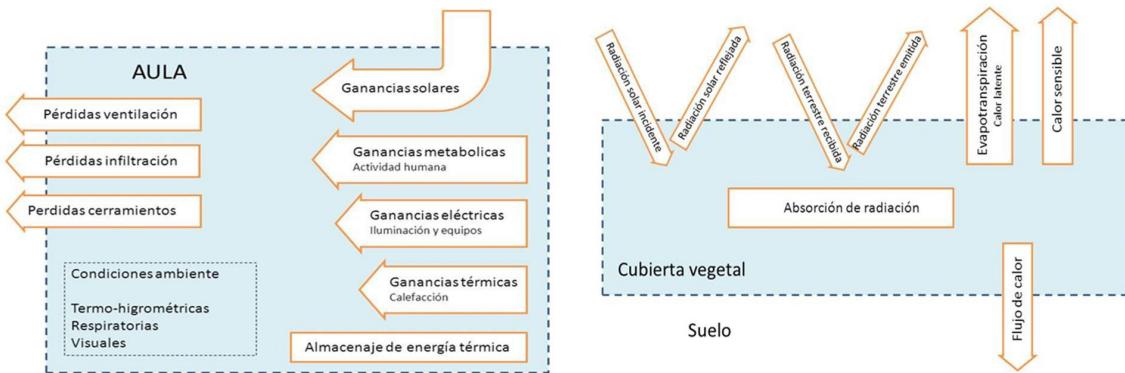


Figura 5. Esquema de los componentes del balance energético en el aula.

Figura 6. Esquema de los componentes del balance energético en el cultivo.

Los estudiantes descubren en la secuencia didáctica que el aula y el cultivo comparten características comunes como sistemas energéticos:

- Aunque el aula es básicamente un sistema físico y el cultivo es biológico ambos son sistemas abiertos, dinámicos y disipativos. Definidos por unas fronteras a través de las cuales fluye materia y energía.
- Los procesos internos de cada sistema son complejos pero no requerimos un conocimiento detallado de todos ellos para resolver el problema. Las necesidades de calefacción y de riego planteadas aparecen como flujos en los balances de energía simplificados.
- Ambos son sistemas dinámicos en los que las condiciones exteriores varían continuamente a lo largo del día y por ello los componentes del balance. Esto hace que algunos flujos resulten positivos en algún momento del día y negativos en otros. Este dinamismo hace que el balance de energía instantáneo no se pueda cerrar sin considerar que en el interior de cada sistema la energía (en diferentes formas) aumenta o disminuye la energía almacenada.
- Pero si consideramos el balance de energía diario, los términos de almacenamiento prácticamente se pueden negligr (ver Tabla 2) y los flujos energéticos relevantes que

atraviesan la frontera de ambos sistemas son en forma de energía térmica y energía radiante.

- Las formas de energía y unidades de trabajo en ambos sistemas son las mismas.

Tabla 2. Balances de energía en los sistemas estudiados.

	Aula	Cultivo
Instantáneo	$Q_S + Q_E + Q_C + Q_{VI} + Q_T + \Delta Q = 0$	$Q_S + Q_T + Q_H + Q_{ET} + Q_G + \Delta Q + P = 0$
Diario	$Q_S + Q_E + Q_C + Q_{VI} + Q_T = 0$	$Q_S + Q_T + Q_H + Q_{ET} = 0$
Nomenclatura	Q_S (+) flujo energía solar Q_E (+) generación interna Q_C (+) generación calefacción Q_{VI} (+/-) ventilación/infiltración Q_T (+/-) flujo en cerramientos ΔQ (+/-) energía almacenada	Q_S (+) flujo energía solar neto Q_T (+/-) flujo radiación terrestre neto Q_H (+/-) flujo calor sensible Q_{ET} (+) flujo calor latente Q_G (+/-) flujo calor hacia el suelo ΔQ (+/-) energía almacenada P (-) Fotosíntesis

Las etapas de resolución de los problemas se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Etapas de la secuencia didáctica.

Trabajo autónomo	Trabajo guiado
a. Análisis cualitativo b. Emisión de hipótesis e. Análisis de resultados	c. Técnicas de medida d. Campaña de medidas

- Análisis cualitativo. La resolución de cualquier cuestión comienza por la aproximación cualitativa a la situación. En nuestro caso pretende discutir cuales son los elementos pertinentes para el análisis energético de los dos sistemas problema.
- Emisión de hipótesis. En este momento del proceso los estudiantes reflexionan acerca de las variables que van a influir en los flujos y por lo tanto en el balance de energía. La ausencia de datos en la cuestión enunciada obliga a pensar en término de explicaciones provisionales que van a ser ensayadas. Los estudiantes deben realizar las aproximaciones y simplificaciones creíbles.
- Técnicas de medida. Esta es una etapa de documentación apoyada por el profesor. Consiste en indagar sobre las prácticas profesionales que se llevan a cabo para la caracterización energética de edificios y cultivos. Conocimiento de las técnicas y equipos.
- Campaña de medidas. Se realizan durante cuatro semanas campañas de medidas en un aula del centro y en un terreno contiguo. Cada grupo es responsable de realizar la actividad un día concreto y todos trabajan de forma consecutiva.
- Análisis y comunicación de resultados. No se trata únicamente de comprobar si ha habido posibles errores en la realización de las medidas sino de analizar los datos a la luz de las

hipótesis previamente emitidas. Cada grupo trabaja con datos experimentales de días consecutivos en los que las condiciones ambientales son cambiantes. Ello hace que la comunicación y discusión de resultados dé importantes contrastes y ayude a consolidar los aprendizajes.

Resultados y discusión

Se plantea hacer dos análisis de los resultados obtenidos. Primero se quiere considerar si la secuencia ha tenido el seguimiento adecuado y por lo tanto los estudiantes han obtenido una lectura de los sistemas estudiados desde el punto de vista de la energía sólidamente elaborada. Después se evalúa si esta maduración en los problemas planteados se sabe transferir y constituye una herramienta útil en contextos más sencillos como las experiencias de la actividad II.

El primero de los análisis se plantea a partir de mapas conceptuales grupales. Diversos estudios han aplicado los mapas conceptuales para evaluar la comprensión por parte de los estudiantes antes y después de la formación recibida validando esta herramienta (Martin *et al.*, 2000). La literatura también indica que incrementos en el número de conceptos, conexiones y diversidad en los mapas conceptuales son un indicador fiable para medir el pensamiento sistémico de los estudiantes (Ben-Zvi y Orion, 2005). En esta primera evaluación los mapas conceptuales han sido elaborados en grupos en dos ocasiones. Al finalizar la etapa 2 de la secuencia didáctica y una vez concluida esta (ver Tabla 3). Los resultados se organizan a través de tres cuestiones que entendemos reflejan diferentes niveles de comprensión de los sistemas:

- (1) ¿Identifican los estudiantes los componentes del balance de energía en el aula/ cultivo?
- (2) ¿Identifican los estudiantes los procesos energéticos dentro del aula/ cultivo?
- (3) ¿Identifican los estudiantes relaciones dinámicas en el sistema?

La figura 7 muestra el valor medio obtenido por los mapas conceptuales entendiendo que cada mapa conceptual ha sido valorado del 0 al 10 en cada cuestión.

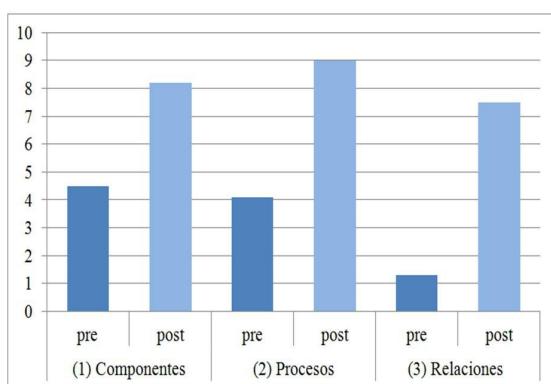


Figura 7. Nota media obtenida por los mapas conceptuales valorando las tres cuestiones.

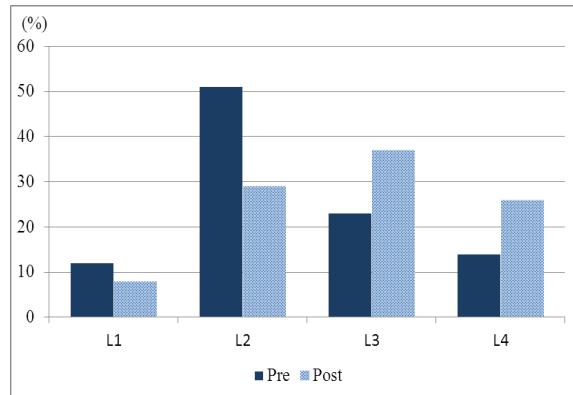


Figura 8. Porcentaje de alumnos en cada nivel de aprendizaje pre y post la intervención.

En el segundo de los análisis se contrasta la transferencia de los aprendizajes de la secuencia a nuevas situaciones problema. Para ello, en el último trimestre del curso se recuperan las actividades C1 a C6 trabajadas a principios de curso (ver *Actividad II. Niveles en el aprendizaje de la energía*). En esta evaluación se repite a final del curso la actividad II planteada a principios de curso. Los estudiantes trabajando en grupos llevan a la práctica una tercera actividad

experimental asignada por los docentes, necesariamente diferente a las dos trabajadas en el período inicial. Repitiendo la operativa se les plantea responder, a nivel escrito e individual, las cuestiones de la tabla 1 y se clasifican los estudiantes según el nivel de las respuestas aportado.

- Para los estudiantes del nivel 1 el resultado muestra que la actividad no es adecuada ya que menos de una tercera parte evolucionan a niveles superiores. Parecería que la actividad está fuera de la zona de desarrollo potencial de estos estudiantes.
- El resultado es satisfactorio para los estudiantes que partían de niveles superiores. Disponían de más recursos y quizás de unas estructuras más sólidas en las que anclar los conceptos, procedimientos y habilidades trabajados.

Los resultados llevan a reflexionar sobre que pueden aportar las experiencias de campo propuestas frente a otras enseñanzas que han recibido buena parte de nuestros estudiantes en cursos previos:

(a) Aprendizaje basado en problemas. Las estrategias de enseñanza basadas en problemas tienen el potencial de ofrecer una motivación adicional y una mirada más profunda en los conceptos implicados. Esta estrategia reta a los estudiantes a aplicar procesos de pensamiento más crítico para desarrollar las respuestas al problema. La resolución de problemas siempre promueve el desarrollo de habilidades de pensamiento superiores. Otras razones por las que los estudiantes se pueden sentir motivados por esta práctica son: el resolver cuestiones más abiertas, crear hipótesis, plantearse la experimentación, trabajar colaborativamente, construir análisis de resultados en grupo. La resolución de problemas es la esencia del trabajo científico.

(b) Resolución de problemas reales. Hace décadas que la investigación y la práctica han confirmado la adecuación del currículo en espiral, la idea de que se empiece con un modelo intuitivo del estudiante y luego se vuelva a una explicación más formal o mejor estructurada, hasta que el aprendiz haya dominado la materia en todo su poder generativo, con tantos reciclajes como sea necesario. Se puede demostrar fácilmente dentro de ciertos límites interesantes que una manera de caracterizar un dominio de conocimiento llamada de más alto nivel supone, abarca y hace más poderosa y precisa una caracterización de nivel más bajo (Bruner, 1997). Entendemos que el más alto nivel en la resolución de problemas y el que puede promover mejor el desarrollo de competencias son los problemas reales que tienen un impacto social relevante y relacionan el dominio de la energía con las crisis socio-ambientales de los recursos fósiles y la gestión del agua. Si bien el trabajo presentado no ha tenido como objetivo la educación ambiental.

(c) Integración de las técnicas de medida. No sólo los problemas son reales sino que las soluciones adoptadas son las mismas que emplean ingenieros y científicos en la actualidad.

Quizás este tercer aspecto sea el más original del trabajo presentado frente a otras aportaciones en la misma línea, a la vez la que ha potenciado más la curiosidad y ha promovido un ambiente de aprendizaje centrado en los estudiantes. El empleo de equipos y medidas profesionales proporciona un contexto estimulante para la investigación.

(d) Análisis de resultados. Bruner (1997) afirma 'las verdades son el producto de la evidencia, la argumentación y la construcción más que de la autoridad ya sea textual o pedagógica. Este modelo de la educación es mutualista y dialéctico, más interesado en la interpretación y la comprensión que en el logro de conocimiento factual o la ejecución habilidosa'. Este trabajo nos ha permitido contrastar la anterior afirmación, la argumentación y la construcción colectiva juegan un papel imprescindible cuando cada grupo de trabajo obtiene valores cuantitativos diferentes en sus resultados experimentales pero todos ellos son coherentes a un

nivel superior de comprensión como el planteado en el principio de conservación de la energía.

Conclusiones

El integrar una mirada energética en los fenómenos cotidianos no es cuestión que se pueda resolver en unas pocas semanas o incluso en unos pocos años. Esta competencia debe desarrollarse a lo largo de una larga progresión y en diferentes contextos, por ello es positivo que los maestros de primaria ya puedan aportar esta mirada sobre los fenómenos cuando desarrollen actividades en las escuelas de primaria.

La evaluación inicial de maestros de primaria en formación inicial presentada indica que los estudiantes, después de haber cursado la enseñanza secundaria obligatoria en ciencias, encuentran serias dificultades en la aplicación de los conceptos fundamentales sobre energía en actividades experimentales que habrán de plantear en su ejercicio profesional en las escuelas. Estos resultados son coherentes con los encontrados por otros autores para estudiantes que han concluido la educación secundaria y maestros en ejercicio. Sin embargo no dejan de preocuparnos, ya que difícilmente podrán ofrecer una instrucción con garantías a sus futuros alumnos. Más del 60% de los estudiantes llega al grado universitario en una situación precaria, con un escaso dominio de los fenómenos que involucran energía. Tampoco la mayoría han asumido la conservación de la energía y menos aún expresan como se disipa y degrada esta en las experiencias desarrolladas. No es meramente una cuestión de formulación o dificultades matemáticas falta una visión global, una lectura del sistema energético de conjunto que permita valorar los flujos y su balance a diferentes escalas espaciales y temporales.

El objetivo básico es promover a los estudiantes universitarios a niveles superiores de forma que puedan enfocar las actividades sobre energía realizadas en las escuelas de primaria con una perspectiva más completa. Se aplica una herramienta extensamente validada por otros autores, la resolución de problemas reales. Como característica original de este trabajo se plantean dos problemas muy novedosos, poco trabajados desde el punto de vista de la energía en etapas educativas anteriores: los edificios y los cultivos. Pero a la vez extremadamente relevantes y próximos a los estudiantes, ligados a la gestión de recursos limitados como los combustibles fósiles y el agua. La segunda originalidad se desarrolla en la etapa experimental de la secuencia didáctica, la caracterización energética de los flujos relevantes de los sistemas se realiza con equipo y técnicas habituales en los respectivos campos de investigación. La campaña de medidas y el análisis de datos reales sin lugar a dudas contribuyen a la bondad de la metodología. Los resultados muestran que la metodología puede ser una herramienta válida para asimilar la visión energética de los sistemas ya que buena parte los estudiantes son capaces de transferir esta nueva perspectiva de los sistemas energéticos a las experiencias escolares. Con todo, los estudiantes con el nivel de partida más precario requieren de otro tipo de estrategias didácticas.

Referencias bibliográficas

- AAAS (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- Allen, R.G. Pereira, L.S., Raes, D., Y Smith, S. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Ben-Zvi Assaraf, O., y Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of Earth System education. *Journal of research in Science Teaching* 42(5), 518-560.

- Bruner, J., 1997. *La educación, puerta de la cultura*. Visor Dis. Madrid. pp. 216.
- Domenech, J. L., Gil-Perez, D., Gras-Martí, A., et al. (2007). Teaching of energy issues; A debate proposal for global reorientation. *Science & Education*, 16, 43-64.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23 (7), 5-12.
- Fortus&Krajcik 2011.Fortus, D., and J.S. Krajcik. 2011. Curriculum coherence and learning progressions. In *Second international handbook of science education*, ed. B.J. Fraser, K.G. Tobin, and C.J. McRobbie, 783–798. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Gyberg, P., & Lee, F. (2010). The construction of facts: Preconditions for meaning in teaching energy in Swedish classrooms. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1173-1189.
- Goldring, H. Osborne J. (1994). Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics education* 29, 26-32.
- García, S., Kochova, L., y Pugliese, G. (2010). *Uso de la energía en los edificios*. Proyecto IUSES. Intelligent Energy for Europe.
- Krajcik, J.S., Blumenfeld, P.C., Marx, R.W., Bass, K.M., Fredricks, J., & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *The Journal of the Learning Sciences*, 7 (3y4), 313–350
- Kruger, C., Palacio, D., & Summers, M. (1992). Surveys of English primary school teachers' conceptions of force, energy and materials. *Science Education*, 76, 339–351.
- Lin, C-Y & Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education*, 25(12), 1529-1544.
- Mann, M., &Treagust D.F. (2010) Students conceptions about energy and the human body. *Science Education International* 21 (3), 144-159.
- Martin, B.L., Mintzes, J.J., y Clavijo, I.E. (2000). Restructuring knowledge in biology: Cognitive processes and metacognitive reflections. *International Journal of Science Education*, 22, 303-323.
- Maxwell, J.C. (1871). *Theory of heat*.Logman, Green and Co. London& New York.
- Neumann K., Viering T., Boone W., Fischer H. (2013) Towards a Learning Progression of Energy. *Journal of research in ScienceTeaching*, 50(2) 162–188.
- Nordine, J., Krajcik, J., &Fortus, D. (2010).Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670–690.
- Sedo A., Barrau J., Ibáñez M. (2012). La MotxillaBioclimàtica. *Ciències*, 23, 2-5.
- Paik, S.-H., Cho, B.K., Go, Y.-M., 2007. Korean 4- to 11- year-old student conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 284-302.
- Trumper R. (1997). A survey of conceptions of energy of Israeli pre-service high-school biology teachers. *International Journal of Science Education*, 19, 31-46.
- Watts, D.M. (1983) 'A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force'. *European Journal of Science Education*, 5(2), 217–30.