



Concepciones de alumnado de secundaria sobre energía. Una experiencia de aprendizaje basado en proyectos con globos aerostáticos

Students' energy concepts. A Project-Based Learning experience with aerostatic balloons

Jordi Domènech-Casal

Institut Marta Estrada, Granollers.

Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona.

jdomen44@xtec.cat

RESUMEN • En esta investigación se describe la aplicación de una actividad de aprendizaje basado en proyectos en torno al concepto de energía en la que los alumnos estudian los cambios energéticos con el objeto de construir un globo aerostático. Se han analizado los aportes del alumnado antes y después de la actividad y se encuentra que los alumnos progresan de manera distinta en su capacidad para describir y usar modelos de energía para interpretar fenómenos.

PALABRAS CLAVE: energía; cambios energéticos; aprendizaje basado en proyectos; modelos de energía.

ABSTRACT • In this research we describe the application of a Project-Based Learning activity on energy. Students analyse energetic changes to build an aerostatic balloon. We have analysed students' productions before and after the activity. Our findings show that students progress in different ways in their abilities to describe and their abilities to use energy models.

KEYWORDS energy; energy changes; project-based learning; energy models.

Recepción: septiembre 2017 • Aceptación: diciembre 2017 • Publicación: junio 2018

Domènech-Casal (2018). Concepciones de alumnado de secundaria sobre energía. Una experiencia de aprendizaje basado en proyectos con globos aerostáticos. *Enseñanza de las ciencias*, 36(2), 191-213

INTRODUCCIÓN

El concepto de energía es transversal en el currículo, pues se trabaja en varios niveles de educación primaria y secundaria, e incluso dentro de distintas materias (mecánica, termodinámica o electricidad en Física; las reacciones químicas, las reacciones metabólicas y los ecosistemas en Química y Biología; las fuentes de energía y mecanismos de transformación en Tecnología, etc.). Esta transversalidad lo convierte en un concepto clave, pues permite conectar estos distintos campos que de otro modo podrían parecer al alumnado interpretaciones parciales e inconexas del mundo. Sin embargo es un término poco comprendido por el alumnado (Martínez y Rivadulla, 2015), que suele otorgarle un carácter mágico o desarrollar concepciones erróneas, a menudo debidas a confusiones entre el término científico y sus expresiones coloquiales (Lijnse, 1990; Millar, 2015) o incluso entre los distintos significados y usos en los campos científicos en que participa, especialmente cuando se trata de campos como la estructura atómica, las ondas, la electricidad y el magnetismo (Lancor, 2014; Park y Liu, 2016). Incluso personas adultas con formación académica muestran dificultades respecto al concepto científico de energía (Núñez *et al.*, 2005) o su capacidad de identificarla en diversos contextos (Rodríguez y García, 2011). Además de su importancia en lo que se refiere a la comprensión del mundo, la energía es también un concepto importante en lo relativo a la ciudadanía, pues está vinculada a la toma de decisiones relativas al desarrollo industrial, las fuentes de energía, el consumo responsable y métodos de disminución del «consumo» energético (García-Carmona y Criado, 2010; Millar, 2015).

MARCO CONCEPTUAL

Concepciones alternativas alrededor de la energía y el calor

Las concepciones alternativas mencionadas anteriormente podrían ordenarse en cinco ámbitos, que atienden a su definición, la relación con otras magnitudes y los procesos implicados.

Tabla 1.
Concepciones alternativas habituales en relación con el concepto de energía

| <i>Ámbito</i> | <i>Concepción alternativa</i> | <i>Referencias en que se citan</i> |
|---|---|---|
| <i>De ámbito ontológico (qué es la energía)</i> | Asignar un carácter material a la energía o incluso asimilarla a algún tipo de fluido. | Duit (1987); Solomon (1985); Bañas, Mellado y Ruiz (2003); Solbes y Tarín (2004); Sevilla (1986); Pintó (1991); Domènech <i>et al.</i> (2001) |
| | Identificar la energía con la fuerza, la actividad o los procesos o la actividad humana en general. | Viglietta (1990), Bañas, Mellado y Ruiz (2003); Pacca y Henrique (2004); Solbes y Tarín (2004); Domènech <i>et al.</i> (2001) |
| | Confundir las formas de energía con sus fuentes. | Solomon (1985) |
| | Dificultades para identificar la energía en contextos. | Bañas, Mellado y Ruiz (2003) |
| | Considerar ontológicamente distintas la energía mecánica y las energías química o biológica. | Bañas, Mellado y Ruiz (2003); Pintó (2004); Pérez, Marbà-Tallada e Izquierdo (2016); Gallástegui y Lorenzo (1993) |
| | Identificar la energía como combustible. | Domènech <i>et al.</i> (2007); Sevilla (1986); Domènech <i>et al.</i> (2001) |
| | Adjudicar a la energía el papel de fuente causal. | Pacca y Henrique (2004). |

| <i>Ámbito</i> | <i>Concepción alternativa</i> | <i>Referencias en que se citan</i> |
|--|--|--|
| <i>Relación con magnitudes: el calor</i> | Asociar o confundir la energía con el calor o la llama. | Bañas, Mellado y Ruiz (2003); Solbes y Tarín (2004) |
| | Considerar el calor como la energía que tienen los cuerpos. | Bañas, Mellado y Ruiz (2003) |
| | No entender el calor como proceso de transferencia de energía. | Bañas, Mellado y Ruiz (2003) |
| | Asignar un carácter sustancial al calor (teoría del calórico, teoría del flogisto). | Albert (1978); Erickson (1980); Michinel y d'Alessandro (1994) |
| | Confundir calor y temperatura o energía y temperatura. | Bañas, Mellado y Ruiz (2003); Lewis y Linn (1994) |
| <i>Relación con magnitudes: trabajo</i> | Confundir trabajo y esfuerzo. Identificar trabajo y energía, obviando el calor. | Driver y Warrington, (1985) |
| <i>Relación con magnitudes: energía mecánica</i> | Considerar que la energía potencial está «en el cuerpo» o «en la altura» y no en su posición relativa en un campo o la interacción entre cuerpos. | Solbes y Martín (1991); Domènech <i>et al.</i> (2007) |
| <i>Respecto a la conservación, transformación, transmisión o degradación</i> | Considerar que la energía puede gastarse o almacenarse o desaparecer. Analizar la energía desde la perspectiva de la actividad física: descansar para ganar energía, hacer ejercicio-perder energía. | Solomon (1985); Bañas, Mellado y Ruiz (2003); Neumann <i>et al.</i> (2013); Pacca y Henrique (2004). |
| | Dificultades en movilizar conceptos de transformación, conservación, transferencia y degradación de la energía (y, en particular, este último). | Bañas, Mellado y Ruiz (2003) |
| | Dificultades para asociar el rendimiento a distintos sistemas de transformación. | Bañas, Mellado y Ruiz (2003); Hierrezuelo y Molina (1990) |

La enseñanza sobre la energía en el aula: el léxico y los conceptos

En relación con el desarrollo de los conceptos, el léxico es un aspecto problemático. Expresiones coloquiales como «consumo y ahorro energético», «gasto energético», «almacenaje de energía» o «producción de energía» (Domínguez, De Pro y García-Rodeja, 1998; García-Carmona y Criado, 2013; Bañas, Mellado y Ruiz, 2003), o el uso indistinto coloquial de las palabras *calor* y *temperatura*, suponen confusiones y conflictos con los términos científicos para los cambios energéticos. Además, parte del profesorado tiene dificultades con los conceptos abstractos de energía y usa un léxico inadecuado (Solbes y Tarín, 2004). Más que sustituir el lenguaje coloquial por el científico, conviene conseguir que los alumnos sean capaces de distinguir estos dos dominios del léxico (cotidiano y científico) y pensar y razonar en ambos (Solomon, 1983; Solbes y Tarín, 2004).

En relación con el léxico científico en general, el trabajo del léxico de forma asociada a la experiencia promueve un dominio mejor de los modelos (Stahl y Fairbanks, 1986; Greenwood, 2004). En particular, algunos autores proponen como herramienta el modelo Frayer, un organizador gráfico en el que el alumnado debe incluir después del aprendizaje práctico el nombre de cada concepto, sus características fundamentales y secundarias, ejemplos y no-ejemplos (Frayer, Frederick y Klausmeier, 1969).

La enseñanza sobre la energía en el aula: El desarrollo del concepto de energía

El desarrollo escolar del concepto de energía es complejo. Los libros de texto ofrecen definiciones muy dispares y en ocasiones poco conceptualizadas (Núñez *et al.*, 2005; Alomá y Malaver, 2007), que incluyen (y en ocasiones alternan) su consideración como flujo, producto, almacenaje o entropía, o sustancia o ente material, una diversidad de metáforas que en ocasiones dificultan al alumnado su modelización (Lancor, 2014; Pérez, Marbà-Tallada e Izquierdo, 2016). De hecho, Millar (2015) recomienda simplificar estas distintas visiones conceptuales de la energía y limitarlas a «depósitos de energía» y «caminos de energía». También, con la intención de simplificar conceptos, es habitual «resumir» los tipos de energía a energía cinética y energía potencial, lo que puede ser útil para la introducción a la energía mecánica en determinados niveles (Solbes y Tarín, 1998). Aun así, es importante incluir el hecho de que tanto el valor de la energía cinética como el de la energía potencial dependen ambos del sistema de referencia escogido (Pacca y Henrique, 2004).

En su abordaje, existen distintos enfoques, que Hierrezuelo y Molina (1990), y después ampliado por Pintó (2004), resumen en tres: 1) energía como capacidad de realizar trabajo, 2) energía como capacidad para producir cambios y 3) energía como propiedad asociada a cada estado del sistema.

La primera aproximación –energía como capacidad de realizar un trabajo– es ampliamente utilizada en libros de texto y aulas (Núñez *et al.*, 2005), y suele exponerse como secuencia lógica desde el trabajo de las fuerzas y la dinámica: dinámica y fuerzas --> trabajo --> energía (Domènech *et al.*, 2007). Varios autores la desaconsejan (Pintó, 2004; Rodríguez y García, 2011) por varias razones:

- Resulta una definición insuficiente de la energía que suele conllevar confusiones entre fuerza y energía (Solbes y Tarín, 1998; Hierrezuelo y Molina, 1990).
- Puede ser la responsable de generar la tendencia de los estudiantes a recurrir exclusivamente a planteamientos dinámico-cinemáticos cuando resuelven problemas de movimientos (Driver y Warrington, 1985; Hierrezuelo y Molina 1990).

Por lo que respecta a los procesos de cambio energético (conservación, transformación, transferencia, degradación), tanto los libros de texto como los docentes en su práctica suelen priorizar la conservación y la transformación. En cambio, la transferencia y la degradación no son tratadas suficientemente en la Física (Duit, 1984; Solbes y Tarín, 2004), ni en la Biología (Pérez, Marbà-Tallada e Izquierdo, 2016).

Esto conlleva dificultades para comprender y aplicar el principio de conservación en el análisis y resolución de problemas, incluso en profesores en formación y en activo (Núñez *et al.*, 2005). Dada la dificultad de desarrollar «de un golpe» un concepto tan complejo como el de energía, su relación con otras magnitudes y los procesos implicados, algunos autores proponen su desarrollo paulatino a lo largo de distintos cursos (Sevilla, 1986), o en forma de progresiones de aprendizaje (Couso, 2014; Martínez y Rivadulla, 2015). Liu y McKeough (2005) y Lee y Liu (2010) proponen que estas progresiones pueden ordenarse jerárquicamente en distintas etapas:

1. Percepción de la energía como actividad o habilidad para «hacer cosas».
2. Identificación de diferentes formas y fuentes de energía.
3. Conocimiento de procesos de transformación/transferencia de la energía.
4. Reconocimiento de la degradación de la energía.
5. Toma de conciencia de su conservación.

Estos distintos grados de sofisticación del concepto de energía han sido estudiados por distintos autores (Rodríguez y García, 2011; Neumann *et al.*, 2013), y en un estudio reciente Soto *et al.* (2017) realizan un análisis de fronteras conceptuales en la construcción de un modelo de energía, evidencian-

do las dificultades para que el alumnado use el concepto de energía en la interpretación de fenómenos y la importancia de tener en cuenta también los modelos preenergéticos en la progresión.

En resumen, para el desarrollo de actividades de aprendizaje de la energía la bibliografía aconseja:

- Evitar su abordaje como «capacidad de realizar un trabajo» (Bañas, Mellado y Ruiz, 2003; Solbes y Tarín, 2004) o su derivación de las leyes de la dinámica (Domènech *et al.*, 2007) y posponer el concepto de trabajo (Hierrezuelo y Molina, 1990).
- Abordar tanto la transformación como su transferencia, conservación y degradación, en especial el conflicto que supone esta última y su relación con el rendimiento (Driver y Warrington, 1985; Duit, 1986; Sevilla, 1986; Solbes y Tarín, 2004; Núñez *et al.*, 2005; Nordine *et al.*, 2010).
- Partir de ideas previas del alumnado para su reconstrucción y generalización y vincular al alumnado a la temática (Bañas, Mellado y Ruiz, 2003; Domènech *et al.*, 2007) y situaciones problemáticas creativas y abiertas, que provoquen disonancias cognitivas (Pacca y Henrique, 2004; Solbes y Tarín, 2004, García-Carmona y Criado, 2013) y requieran razonamientos científicos.
- Usar casos diversos o contextos relevantes de elaboración de productos científicos y tecnológicos, como el funcionamiento de motores, generadores, condensadores, chimeneas... y distintos tipos de energía (Trumper, 1993, Domènech *et al.*, 2003; García-Carmona, 2006).
- Promover la modelización e integración de conceptos y teorías (teoría cinético-molecular, modelos de partículas, concepto de calor, energía...) (Viau, Tintori y Esteban, 2015) e incluir etapas dirigidas específicamente a la sistematización y abstracción.
- Usar histogramas y representaciones de la energía y experimentación asistida por ordenador que permitan relacionar fenómenos y modelos (López-Gay, Jiménez-Liso y Martínez, 2015; Ruiz y Muñoa, 2016).

La enseñanza sobre la energía en el aula: metodologías activas y enseñanza de la energía

Si bien la contextualización y problematización es una reclamación general en la didáctica de las ciencias, en la enseñanza de la energía no suele dedicarse tiempo a hacer emerger las ideas previas del alumnado ni se orienta a la problematización (Domènech *et al.*, 2007). Cuando se hace, la problematización suele ser conceptualmente pobre y se reduce al trabajo de aplicación de reglas y algoritmos de forma acrítica sin interpelar el fondo conceptual del problema (García-Carmona, 2006; Hierrezuelo y Molina, 1990). En este sentido, la enseñanza de las ciencias mediante la modelización (Couso, 2014; Soto *et al.*, 2017) es una opción metodológica de gran interés en la enseñanza de la energía. Esta aproximación propone como estrategia la participación del alumnado en la construcción, uso y evaluación de modelos explicativos de los fenómenos (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008; Soto *et al.*, 2017) en actividades explícitamente destinadas y secuenciadas para la construcción paulatina de modelos explicativos cada vez más sofisticados. Por otro lado, el aprendizaje basado en proyectos (ABP) es una metodología de aprendizaje activo que cumple el requisito de ubicar de forma problematizada el aprendizaje en un contexto. Propuesto inicialmente como tal por Kilpatrick (1918), parte de la necesidad filosófica de un propósito para que se produzca aprendizaje. A lo largo del tiempo se han realizado reformulaciones de la metodología (Sanmartí, 2016), y en el momento actual se suele entender como ABP aquellos proyectos en los que el propósito de elaborar un producto o resolver un problema actúa de motor para el aprendizaje, que adquiere un cariz instrumental en la experiencia del alumno (Larmer, Mergendoller y Boss, 2015). Si bien ambas aproximaciones (modelización y ABP) pueden promover el desarrollo de los modelos científicos, en el ABP el desarrollo o construcción de los modelos científicos no es el objetivo explícito de la actividad, sino que estos son construidos y aprendidos de forma colateral en su instrumentalización para un propósito externo a la comprensión del modelo o fenómeno (figura 1) (Domènech-Casal, en edición).

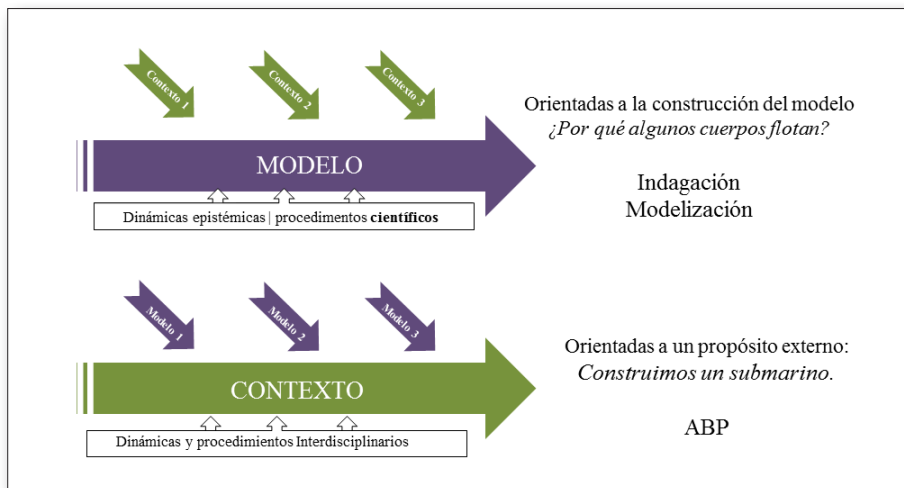


Fig. 1. Esquema de metodologías activas según el papel de la construcción del modelo en el propósito de la actividad: explícito o implícito. Fuente: Adaptado de Domènech-Casal (2017a).

Esto implica que la acción en el aula puede no seguir la estructura clásica de las unidades didácticas –exploración, introducción de nuevos contenidos, estructuración y aplicación– (Jorba y Caselles, 1996), ya que la lógica de consecución del propósito del proyecto no siempre sigue las etapas jerárquicas de una progresión de aprendizaje. Así mismo, la consecución de un objetivo externo puede no requerir el desarrollo completo del modelo, sino solo parte de él (Domènech-Casal, en edición). Esto conlleva en ocasiones la construcción de modelos científicos incompletos o poco formalizados, por lo que varios autores advierten de la necesidad de incorporar dinámicas de formalización que permitan la construcción paulatina (Marbà-Tallada, 2014; Domènech-Casal, 2017b).

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son:

- Evaluar concepciones alternativas del alumnado en relación con la energía.
- Desarrollar una secuencia de ABP de enseñanza-aprendizaje sobre la energía basada en las recomendaciones de la bibliografía listadas en el marco conceptual y testar su eficacia para el cambio en los conocimientos sobre energía del alumnado.
- Evaluar el uso del modelo Frayer como andamio lingüístico para la formalización de conceptos en el desarrollo de una actividad de ABP.

METODOLOGÍA

Se ha diseñado la secuencia de ABP «Montgolfier Tournament», distribuida en distintas etapas orientadas a la modelización e instrumentalización de modelos científicos, tal como se describe en la tabla 2. El propósito del proyecto es la construcción individual de un globo aerostático para participar en una competición escolar final. Para el desarrollo del proyecto, siguiendo las recomendaciones anteriores, se eligió la construcción de un globo aerostático porque:

- Implica distintos tipos de energía (química, cinética, potencial...).
- Interesa a los distintos procesos de cambio energético, en especial a la transformación, la degradación y la conservación.

- Promueve la integración de la energía con otros conceptos científicos como el concepto de densidad o la teoría cinético-molecular.
- Supone el trabajo con artefactos y permite el desarrollo de actividades prácticas y mediadas por simuladores.

El proyecto se desarrolla a lo largo de varias etapas en las que los alumnos anotan sus progresos en su dossier de trabajo,¹ que incluye varios andamios lingüísticos (iniciadores de frase, conectores) y un apartado de trabajo específico del léxico mediante el modelo Frayer (Frayer, Frederick y Klausmeier, 1969). El alumnado explora inicialmente mediante simuladores el funcionamiento de un globo aerostático para pasar a continuación a diseñar su globo y determinar de forma experimental distintos parámetros (masa, energía necesaria, gramos de combustible...) que se reelaboran después de las primeras pruebas de prototipos en el marco de la discusión de los resultados.

Tabla 2.

Representación de las fases de la secuencia.

En la primera columna, la descripción de la actividad en el aula; en la segunda, el papel de cada fase en la narrativa de la secuencia (objetivo del proyecto), y en la tercera, los objetivos de aprendizaje relacionados

| <i>Fase y descripción</i> | <i>Aportaciones al propósito (objetivo del proyecto)</i> | <i>Aportaciones a la construcción de modelos científicos (objetivos de aprendizaje)</i> |
|--|---|--|
| 0. Introducción y conceptos previos Visualización de dos vídeos documentales sobre historia, aplicaciones y principios físicos de los globos. Discusión. Gran grupo. 1 h. | Comunicar una expectativa aventurera al alumnado. Establecer la cadena de causas-efectos desde la liberación de calor y disminución de la densidad del globo hasta su elevación. | Hacer emerger las concepciones previas relativas a la teoría cinético-molecular, a la densidad y a la presión y ampliarlas. <i>Elaboración de los modelos Frayer: teoría cinético-molecular, densidad, presión, temperatura y partícula.</i> |
| 1. ¿Por qué vuelan los globos aerostáticos? Realización de un experimento en el laboratorio con una tostadora y una actividad indagadora con un simulador. Parejas. 2 h. | Comprobar en la práctica el comportamiento de sistemas modelo de globos aerostáticos. Realizar un primer diseño del globo a partir de lo explorado. | Identificar en experimentos y simulaciones los conceptos clave. Analizar el comportamiento de las partículas según la teoría cinético-molecular. Relacionar la teoría cinético-molecular con la densidad en el globo. Elaboración de los modelos Frayer. <i>Teoría cinético-molecular, energía cinética, molécula, partícula.</i> |
| 2. ¿Cómo será nuestro globo? ¿Cuánta energía necesitará? Introducción de los conceptos de energía potencial, cinética y mecánica. Resolución de problemas. Individual. 2 h. | Usar el concepto de energía para determinar los requerimientos energéticos del globo. Elegir los materiales. Establecer la masa y la energía potencial necesaria. Diseñar el globo con atención a los distintos aspectos técnicos (oxigenación, salida de aire denso, incendios, etc.). | Uso de fórmulas para el cálculo de energía potencial y cinética. Transformación y degradación de la energía. Elaboración de los modelos Frayer. <i>Energía potencial, calor, masa, transformación y conservación de la energía.</i> |

1. Materiales didácticos del proyecto Montgolfier Tournament. Disponible en línea: <<https://app.box.com/s/dhkmsivp0t96q5fl640qq1h8rszvnx8j>>.

| <i>Fase y descripción</i> | <i>Aportaciones al propósito (objetivo del proyecto)</i> | <i>Aportaciones a la construcción de modelos científicos (objetivos de aprendizaje)</i> |
|--|---|--|
| <p>3. ¿Qué combustible usaremos? ¿En qué cantidad?</p> <p>Experimento de laboratorio en el que los alumnos miden la capacidad calorífica de distintos combustibles midiendo el cambio de temperatura del agua que promueve la combustión de una cantidad determinada de combustible.</p> <p>Equipos de 4. 2 h.</p> | <p>Diseñar un experimento para medir experimentalmente y calcular la capacidad energética de distintos combustibles. Comparar con datos teóricos. Calcular el rendimiento y disipación.</p> <p>Elegir el combustible que tenga mejor relación Joules/gr y calcular la cantidad necesaria. Recalcular la energía potencial gravitatoria con el incremento de masa.</p> | <p>Relacionar la energía química de los alimentos con el concepto genérico de energía mediante la combustión.</p> <p>Unidades de cálculo de la energía (kcal, J), concepto de conservación de la energía.</p> <p>Representar en forma de cómic los cambios durante el experimento, explicándolos en función del léxico clave.</p> <p>Elaboración de los modelos Frayer: <i>calor, temperatura, rendimiento y disipación.</i></p> |
| <p>4. Prueba piloto y Grand Finale</p> <p>Los alumnos prueban y realizan el lanzamiento de su globo, defendiendo su diseño y analizando los resultados ante el grupo.</p> <p>Gran grupo. 4 h.</p> | <p>Realización de una prueba y toma de decisiones de mejora. Competición entre los distintos prototipos.</p> | <p>Justificar ante los compañeros las decisiones de diseño tomadas y analizar las causas del éxito-fracaso, usando el léxico clave.</p> |
| <p>5. Informe técnico</p> <p>Individual. 1 h.</p> | — | <p>Explicitar en un informe técnico (con medidas, datos...) el diseño mejorado de su globo aerostático, usando el léxico clave.</p> |

Aplicación de la secuencia, recogida y análisis de datos

La secuencia ha sido aplicada durante el curso 2016-2017 a 18 alumnos de segundo de la ESO (13-14 años) del Instituto de Secundaria Marta Estrada (Granollers), en el marco de la asignatura Contextos matemáticos, que reúne el currículo de las materias de Matemáticas y Física. Los 8 alumnos y 10 alumnas procedían de distintas zonas de Granollers y formaban un grupo-clase muy heterogéneo en lo relativo a éxito académico, muy participativo y con dificultades de concentración. Todos los alumnos habían participado anteriormente de manera regular en actividades de ABP de distinta naturaleza en diferentes materias. Se analizaron los datos de 18 alumnos, aunque por varios motivos (ausencias de alumnos, trabajos no presentados, etc.) solo se ofrecen aquellos de los que se dispone, un total de 16 alumnos. Además de la observación no sistemática en el aula (en la que se anotaron comentarios del alumnado), como instrumentos de recogida de datos, se han usado una prueba escrita² y una encuesta. La prueba escrita fue realizada por el alumnado antes y después de la actividad. La prueba tiene por objetivo evaluar los cambios en las concepciones de los alumnos sobre energía y se compone de tres partes:

- Parte 1 (2 preguntas): Formulación del modelo de energía. Se pide al alumnado una definición y descripción de qué es la energía (pregunta 1) y un listado de términos de léxico relacionados con ella (pregunta 2).

2. Prueba escrita disponible en los materiales del proyecto. Disponible en línea: <<https://app.box.com/s/zjs0elo8w4xcem b9gw1j2d3fek5nehot>>.

- Parte 2 (pregunta 3): Apoyo a concepciones alternativas. Se pide al alumnado que cuantifique su apoyo en una escala Likert (del 1 al 6) a distintas afirmaciones relacionadas con algunas de las concepciones erróneas descritas en la introducción.
- Parte 3 (preguntas 4, 5, 6 y 7): Uso del modelo de energía. Se pide al alumnado que dé una explicación a varias situaciones-problema distintas al globo aerostático, relacionadas con procesos de cambio energético: transformación, transferencia, degradación y conservación de la energía.

Análisis de datos

La formulación del modelo de energía: las descripciones ofrecidas por cada alumno/a en la pregunta 1 han sido asociadas a los distintos niveles jerárquicos de elaboración del modelo de energía propuestos por Liu y McKeough (2005). Para cada alumno se ha atribuido el nivel máximo que explicitaba en su definición, antes y después de realizar la actividad didáctica. Los cambios en las concepciones del alumnado han sido representados como saltos entre fronteras conceptuales, como proponen otros autores (Zabel y Gropenhiesser, 2011). Para el análisis de las respuestas del alumnado en la pregunta 2, siguiendo la estrategia de Núñez *et al.* (2005), se han agrupado los términos usados por el alumnado en categorías de léxico. El uso de cada categoría antes y después de la actividad se ha representado en forma de histograma. El uso del modelo de energía: las respuestas del alumnado a las distintas situaciones-problema propuestas en las preguntas 4, 5, 6 y 7 se han analizado de forma cualitativa, categorizando a cada alumno/a según su nivel de aplicación de modelos científicos relacionados con la energía a la resolución de situaciones. Los niveles de aplicación se han modificado de Soto *et al.* (2017) según los textos del alumnado, resultando seis categorías de uso del modelo de energía:

- Describen elementos y procesos sin ofrecer una explicación causal.
- Ofrecen una explicación causal basada en la mecánica o termodinámica, usando conceptos como fuerza, densidad o temperatura, sin referencias a la energía.
- Ofrecen una explicación causal basada en conceptos energéticos como energía cinética y potencial, mencionando su transformación pero no, explícitamente, su degradación o transferencia.
- Proponen explicaciones basadas en la transformación y la degradación de la energía.
- Proponen explicaciones basadas en la transformación y transferencia de energía.
- Proponen explicaciones basadas en la conservación de la energía, con mención explícita a la transformación y degradación.

La ubicación y evolución de cada alumno/a antes y después de la aplicación de la actividad didáctica se ha representado a modo de gráfico de fronteras conceptuales, como proponen otros autores (Zabel y Gropenhiesser, 2011). La encuesta se realizó una vez terminada la actividad, y contiene dos secciones: una dedicada a qué consideran los alumnos que han aprendido y otra dedicada a qué partes o aspectos de la actividad les han sido más útiles para aprender sobre energía. En ambas, los alumnos deben valorar con una escala Likert (1-6) su apoyo a distintas afirmaciones. Se ha calculado la media de puntuación obtenida por cada ítem al finalizar la actividad y se ha representado en diagrama de barras.

RESULTADOS

Observaciones en el desarrollo de la actividad

El alumnado se mostró muy motivado ante la propuesta, especialmente por la perspectiva de una competición y la pronta aparición de artefactos (tostadora) y simuladores virtuales en las primeras sesiones.

Se apreció que el uso de vídeos como elemento de exploración, así como el uso de un dossier, colaboró en dar seguridad al alumnado.

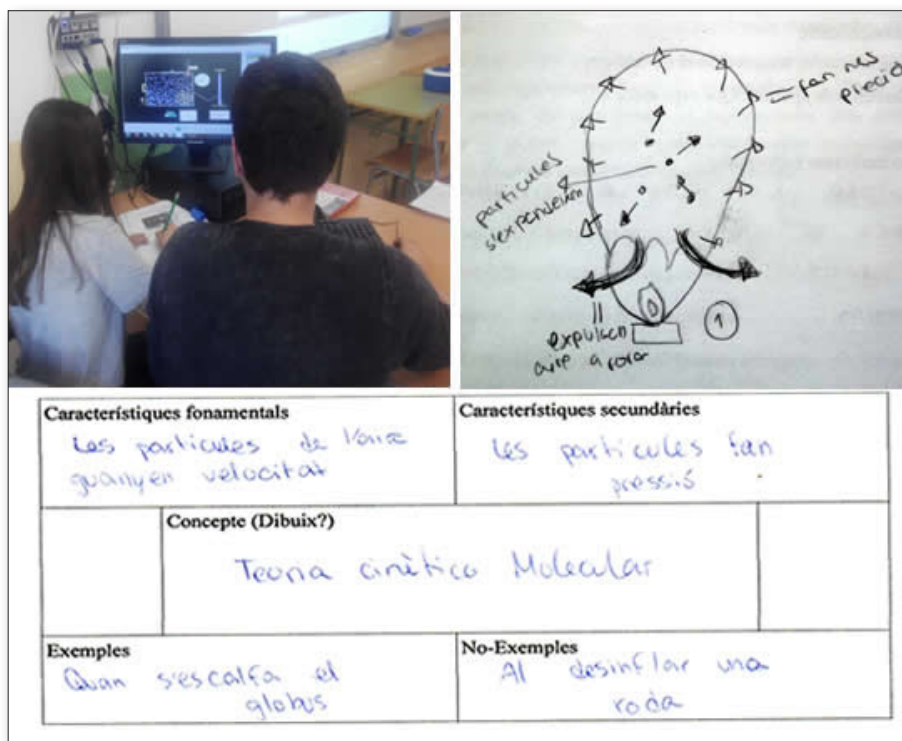


Fig. 2. Alumnos analizando el comportamiento de partículas en un simulador virtual de globo aerostático y diseño inicial de un globo. Representación del fenómeno elaborada por el alumnado en forma de dibujo y ejemplo de modelo Frayer elaborado por el alumnado.

Partiendo del trabajo con los conceptos de energía química, energía potencial, transformación de la energía y las fórmulas matemáticas de sus expresiones, en las etapas 2 y 3 los alumnos han calculado la energía potencial necesaria para llevar su globo a diez metros de altura y qué cantidad y tipo de combustible sería necesario para generar esa energía. Después de pesar los primeros prototipos de globo han realizado experimentos en el laboratorio en los que han medido la capacidad energética de distintos combustibles en función de su capacidad para aumentar la temperatura del agua, midiendo el rendimiento y degradación del proceso (figura 3). La etapa 4 ha resultado muy fructífera en lo que respecta a discusión en el aula, pues los primeros lanzamientos de prototipos fallidos han generado una oportunidad de análisis científico de los fenómenos (figura 4). En los diálogos con los alumnos se repitió la tendencia a usar los conceptos de teoría cinético-molecular, densidad y presión, con preferencia respecto a los de energía. La vinculación con la transformación de energía química (combustible) a cinética (movimiento de las partículas) y a continuación a potencial ha resultado de utilidad para ayudar al alumnado a reelaborar su análisis en función de los tipos de energía y sus procesos.



Fig. 3. Alumnos analizando la capacidad energética de distintos combustibles, realizando lanzamientos piloto de prototipos y debatiendo en el aula a partir de los primeros resultados con las pruebas piloto.

En el concurso realizado, el viento resultó un inconveniente: al presionar los globos lateralmente desalojaba el aire caliente acumulado y entraba de nuevo aire frío. De los nueve globos testados, uno de ellos se rompió antes de poder realizar la experiencia, seis se incendiaron y dos consiguieron mantenerse (no elevarse) a una altura de 1 m durante varios segundos. Esto generó una nueva discusión relativa al tamaño mínimo de un globo para acumular suficiente energía y el porqué es necesario aportar energía química para mantener el globo en el mismo estado de energía potencial, y los conceptos de conservación y degradación de la energía y el trabajo.

| | | | |
|------------|---|-----------|--|
| Alumna 1: | Y al estar tan separado se escapaban las partículas de aire caliente. | Alumna 1: | Hemos pensado que a lo mejor tendríamos que poner la llama más cerca del globo. |
| Profesor: | Y eso ¿qué tiene que ver con que no vuele? | Profesor: | ¿Por qué? ¿Qué conseguiríais con eso? |
| Alumno 3: | Porque entonces las partículas que «se mueven más» no llegan dentro, no aprietan y no hinchán el globo. | Alumna 1: | Que hubiera menos degradación. Lo aprovecharíamos más. |
| Profesor: | ¿Cómo llamamos a eso de que «se mueven más»? ¿Por qué se mueven más? ¿Cómo explicamos eso en energía? | Profesor: | Y ¿cómo llamamos a eso de «aprovechar más»? ¿Recordáis cuando medimos los distintos combustibles? |
| Alumno 3: | Bueno... tienen más energía cinética. | Alumno 5: | Sí... el rendimiento. |
| Profesor: | ¿Y de dónde sale? ¿Aparece sola? | Profesor: | ¿Alguna sugerencia de diseño para ellas? ¿Cómo pueden mejorar? |
| Alumno 4: | No, en realidad se ha transformado. Era energía química del combustible que se ha transformado en temperatura. Y ahora se pierde. | Alumno 4: | Que si lo acercan mucho se les va a quemar el globo. O se va a apagar. Porque gasta todo el aire y se apaga. |
| Alumnos 5: | Se degrada. | Alumno 5: | También podríais poner menos peso del globo o más combustible: aunque una parte de la energía vaya a parar a otro sitio, a lo mejor es suficiente. |
| Alumno 4: | Sí, se degrada porque va a parar al aire, a la atmósfera. | Alumna 1: | Pero si ponemos más combustible pesaría más y necesitaríamos más energía para tener <i>potencial</i> suficiente. |
| Profesor: | ¿Y qué haríais para mejorar el prototipo? | | |

Fig. 4. Reconstrucción de un diálogo a partir de intervenciones del alumnado en la etapa 4.

Formulación del modelo de energía

Al preguntar al alumnado que ofrezca una definición y descripción de la energía, muchos alumnos ofrecen inicialmente definiciones de energía como «habilidad para hacer cosas».

La energía es un tipo de material que usamos para mover cosas o dar «vida» a los objetos que están a nuestro alrededor. A6-Pre.

La energía está en todo. Nosotros tenemos energía. Pero puede estar en aparatos electrónicos, para usar el móvil, enchufar la tele... Es la electricidad. A3-Pre.

A lo largo de la secuencia la mayoría de alumnos cambian su descripción de la energía, en algunos casos progresando a zonas conceptuales más sofisticadas, como la identificación de «formas y fuentes de energía»:

Hay muchos tipos de energía: calefactoria, cinética, potencial... y se van transformando, la vemos en lo que provoca. A10-Post.

Hay energía química, «calorífica», cinética, potencial... y pasan de ser de un tipo a otro. A5-Post.

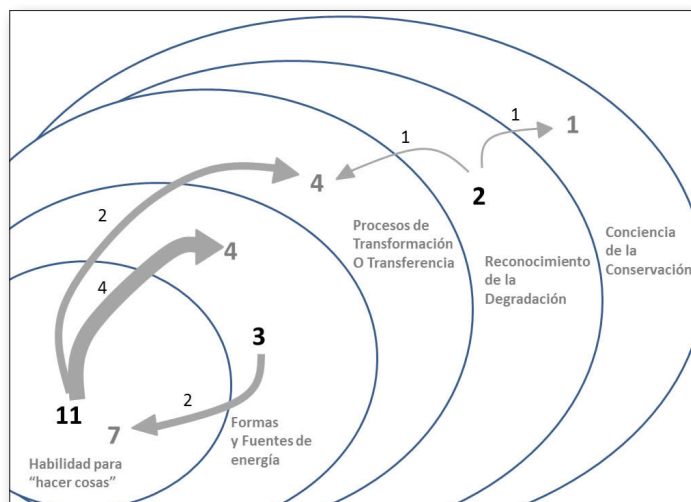


Fig. 5. Representación gráfica según el esquema propuesto por Zabel y Gropenhiesser (2011) de los cambios en la formulación del concepto de energía sobre la base de los estadios propuestos por Liu y McKeough (2005). En negro se indica la cantidad de alumnos ubicada inicialmente en cada zona conceptual. En gris, la cantidad final. Las flechas grises indican y cuantifican numéricamente la cantidad de alumnos que han cambiado de zona conceptual.

La mayor parte de alumnos inicia y permanece en los dos primeros niveles. Si bien seis alumnos hacen una progresión neta en sus definiciones de energía (en algún caso avanzando dos niveles), en tres casos hay retrocesos a niveles inferiores.

Uso de léxico sobre energía

El alumnado ha priorizado el uso de léxico de fuentes de energía y procesos de generación industrial (figura 6). Al final de la secuencia, ha habido un gran incremento del uso de léxico relativo a tipos de energía y principios y leyes, y una disminución del léxico de fuentes de energía y términos relativos a electricidad, luz, etc. También ha aparecido un uso modesto de términos como velocidad, calor y otras magnitudes físicas relacionadas con la energía.

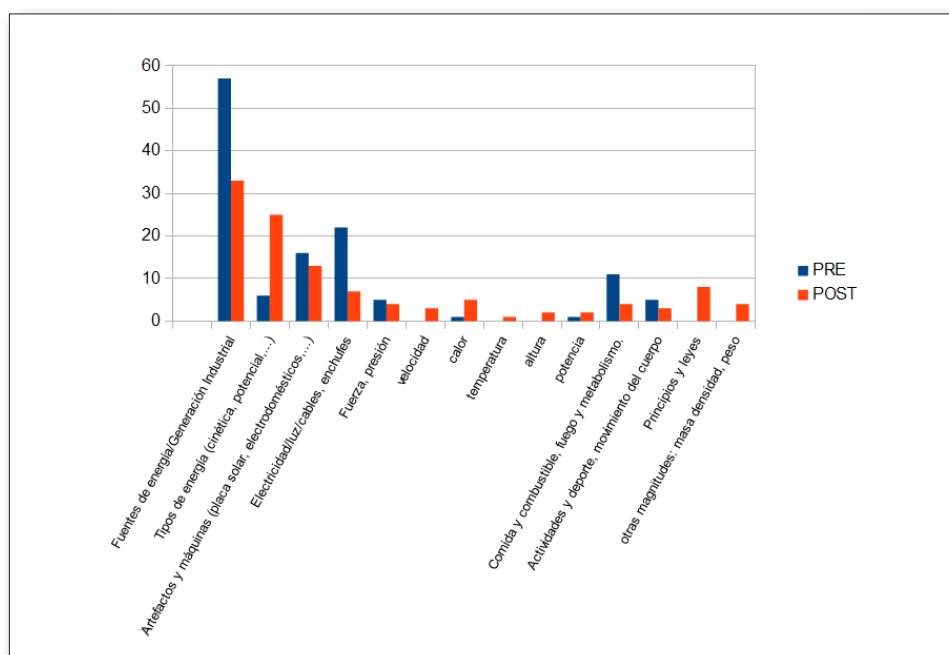


Fig. 6. Léxico listado por el alumnado en relación con la energía, antes y después de la unidad didáctica.

Apoyo a concepciones alternativas

En relación con las concepciones alternativas citadas en la introducción, se producen pocos cambios, si bien al final de la secuencia se han producido algunos: disminuye el número de estudiantes que muestran su acuerdo con concepciones alternativas como «La energía se fabrica en fábricas de energía», «Fuerza y energía son lo mismo» o «Para recuperar energía hay que descansar», precisamente vinculadas al doble sentido del léxico científico coloquial.

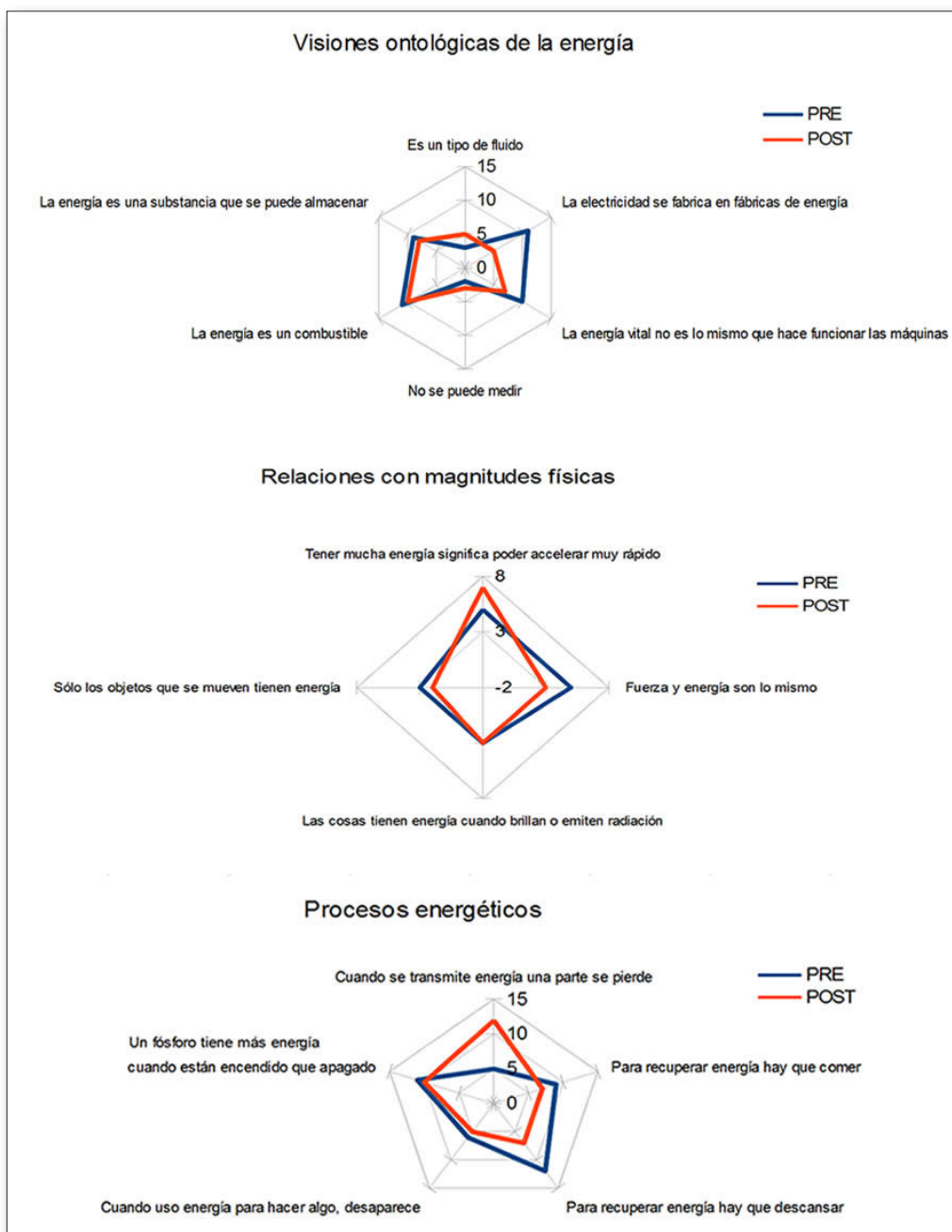


Fig. 7. Análisis del cambio en concepciones alternativas, representado como el número de alumnos (sobre 16) que apoyan cada frase al inicio y al final de la secuencia.

Uso del modelo de energía

En el uso de los modelos científicos de energía para interpretar situaciones se observa un progreso generalizado. Solo hay dos alumnos que al final de la secuencia siguen usando el mismo nivel de sofisticación. Los itinerarios de cambio muestran que el progreso hasta visiones relativas a la conservación de la energía «pasa» por la degradación, pero no por la transmisión: ningún alumno usa el concepto de transmisión para resolver ninguna de las situaciones planteadas.

Situación 1). Cuando tengo frío me pongo un abrigo grueso para estar más caliente. En cambio, cuando lo dejo en un colgador durante un tiempo, lo toco y está frío. ¿El abrigo calienta?

Interacción mecánica: El abrigo hace que el calor del cuerpo no entre en contacto con el frío de fuera. A9-Pre.

Degradación: El abrigo hace que el calor que emite el cuerpo no se disipe. Al quitártelo, el calor se disipa y el abrigo se enfría. A9-Post.

Situación 2). Las lámparas de lava son artefactos que una vez conectados a la electricidad muestran una serie de burbujas que se mueven cíclicamente, subiendo y bajando. Pero no tienen ninguna hélice que mueva el líquido. Al apagar el interruptor, todas las burbujas quedan en la parte inferior ¿Cómo funcionan?

Descripción: Seguramente tienen un líquido que al juntar con las bolitas que suben y bajan, hace que suben y bajan. A5-Pre.

Interacción mecánica: Al conectarse esas pelotitas se calientan y eso hace que se muevan y cuando lo desconectas se enfría y deja de estar en movimiento. A5-Post.

Situación 3). Si tiro una pelota al suelo, esta rebota varias veces, cada vez a una altura menor que la de antes, hasta que deja de rebotar y se queda en el suelo. ¿Por qué?

Interacción mecánica: Cuando la tiras, la fuerza se divide, una parte al suelo y otra a la pelota. A14-Pre.

Conservación: El suelo absorbe una parte de la energía potencial y la pelota vuelve a subir, pero con menos energía. No se pierde, se va repartiendo. A14-Post.

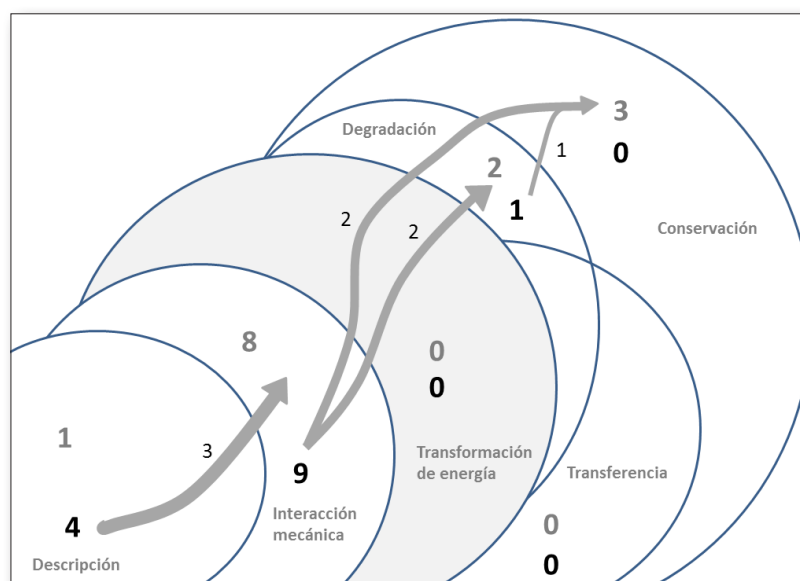


Fig. 8. Representación gráfica según el esquema propuesto por Zabel y Gropenhiesser (2011) de los cambios en el uso del concepto de energía sobre la base de los estadios descritos en la metodología. Dos alumnos no presentaron parte de los ejercicios, por lo que no han podido tenerse en cuenta.

Valoraciones de la encuesta

Los alumnos destacan, en primer lugar, las actividades vinculadas a la construcción del globo y la discusión de los resultados obtenidos, y, en segundo lugar, los ítems relacionados con el uso de TIC (simulador y vídeos). El uso de experimentos (tostadora y medida de poder energético) ha resultado el más bajo, incluso menos que actividades de «papel y lápiz», como hacer el informe técnico, resolver problemas con fórmulas o el modelo Frayer. Por lo que respecta a los aprendizajes, los alumnos destacan los objetivos del proyecto (diseñar y construir artefactos), y a continuación el aspecto procedimental de «Discutir y aplicar por qué pasan las cosas». El resto de aprendizajes mantiene un nivel de valoración alto (cerca de 4/6), siendo el más bajo el conocimiento sobre «cómo se transforma la energía».



Fig. 9. Valoraciones del alumnado sobre qué herramientas o estrategias han sido más útiles para aprender y qué aprendizajes consideran que han desarrollado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Concepciones alternativas del alumnado en relación con la energía

La mayoría de los alumnos limita su descripción de la energía a los primeros niveles propuestos por Liu y McKeogh (2005) como «Habilidad para hacer cosas» y «Formas y fuentes de energía». Igualmente, los alumnos recurren principalmente a descripciones y explicaciones basadas en interacciones mecáni-

cas cuando deben resolver retos vinculados a la energía. Esta tendencia se reproduce en el léxico que el alumnado propone como vinculado a la energía, que incluye principalmente «Fuentes de energía» y referencias domésticas tales como la electricidad, los electrodomésticos y las máquinas, así como la comida o el combustible, algo ya observado por otros autores (Núñez *et al.*, 2005).

Es abundante el apoyo que reciben distintas concepciones alternativas, en consonancia con lo descrito por otros autores (tabla 1). En concreto, antes de la aplicación de la secuencia son muy frecuentes (más del 50 % de apoyo) varias concepciones alternativas relativas a aspectos ontológicos («La energía se fabrica en fábricas de energía», «La energía vital no es lo mismo que hace funcionar las máquinas» o «La energía es un combustible»), y procesos de cambio energético («Un fósforo tiene más energía cuando está encendido que apagado», «Para recuperar energía hay que descansar»). En cambio, son menos frecuentes las concepciones alternativas relativas a las relaciones con magnitudes físicas, siendo la más frecuente «Fuerza y energía son lo mismo».

Cambios en las concepciones de la energía

Al comparar los resultados obtenidos por el alumnado antes y después de la secuencia, existe una discrepancia entre lo que los alumnos describen sobre la energía de forma declarativa y lo que usan para explicar situaciones de conflicto. En la elaboración de descripciones el progreso es poco pronunciado, irregular (algunos alumnos producen descripciones menos sofisticadas que al inicio) y limitado, mayoritariamente a la mención de la transformación de la energía: solo en un caso incluye menciones a la degradación o conservación. Es especialmente llamativo el hecho de que tres alumnos *reviertan* a descripciones menos sofisticadas. No sabemos a qué se debe, hipotetizamos que la visión aplicada de la energía que promueve la secuencia para «hacer cosas» (en este caso, elevar un globo) haya podido influir en que los alumnos obvien los tipos de energía en la descripción después de la secuencia.

En cambio, en su uso para explicar situaciones, los alumnos muestran un progreso más generalizado, con una particularidad: ningún alumno se limita a justificar desde la transformación de energía: todos los alumnos que llegan a ese nivel de sofisticación en el uso del modelo incluyen también menciones a la degradación y conservación de la energía. En ese sentido, el nivel «Transformación de energía» parece ser una barrera conceptual en la resolución de situaciones problema: ningún alumno se sitúa en él al inicio de la secuencia, y todos los que lo alcanzan lo rebasan hasta niveles de sofisticación superior. A pesar del progreso del grupo en el uso de modelos de energía, una parte importante del alumnado (50 %) no consigue superar el modelo de interacción mecánica.

Por otro lado, en el *progreso* hacia explicaciones más sofisticadas en la resolución de situaciones-problema, ningún alumno transita por el campo conceptual de la transferencia. Posiblemente los alumnos identifican y confunden transformación y transferencia como un único proceso. Esta dificultad en incorporar el concepto de transferencia de energía ha sido descrita por otros autores en la bibliografía (Neumann *et al.*, 2013, Soto *et al.*, 2017) y tiene posiblemente que ver con las dificultades del alumnado al definir los elementos que componen un sistema.

El apoyo a concepciones alternativas decrece levemente en todas las concepciones alternativas analizadas excepto en tres: «La energía es un tipo de fluido», «Tener mucha energía significa acelerar muy rápido» y «Cuando se transmite energía una parte se pierde», de las cuales las dos últimas frases incluyen vínculos entre lenguaje científico y coloquial que pueden haber dificultado la respuesta.

Este progreso hacia una visión más científica se aprecia también en el uso de léxico, en el que las referencias domésticas, las más habituales inicialmente, son al final menos frecuentes, y en el que se mencionan explícitamente leyes y principios y magnitudes relacionadas, como masa, temperatura, velocidad o calor.

Valoración del ABP como metodología

Uno de los valores que se acostumbra a reivindicar para la metodología del ABP es el dominio profundo de los modelos y la capacidad para transferirlos (Sanmartí y Márquez, 2017). Desde nuestro punto de vista, los cambios observados a lo largo de la secuencia indican que esta promueve de manera más eficaz la transferencia de modelos complejos sobre energía para resolver situaciones que el desarrollo declarativo del concepto de energía. Si bien esperábamos un progreso más pronunciado, los resultados obtenidos en el uso de modelos sobre energía para analizar situaciones problemas son equivalentes a los obtenidos en progresiones de aprendizaje basadas en la modelización realizadas por otros autores (Soto *et al.*, 2017).

En lo referente a los aprendizajes, los alumnos consideran que han aprendido más aquellos aspectos de la actividad vinculados al objetivo del proyecto (diseñar artefactos, construir artefactos, discutir y explicar por qué pasan cosas). Los aspectos más conceptuales vinculados a los objetivos de aprendizaje (qué es la energía, cómo se transforma, léxico de física, etc.) son también bien valorados, pero en menor medida.

Los andamios y estrategias de apoyo para el desarrollo de secuencias de ABP

De modo parecido a la percepción del alumnado en lo relativo a sus aprendizajes, los alumnos puntúan como más útiles para aprender el hecho de construir el globo y discutir sobre ello. Las actividades de exploración, como el trabajo con el simulador y la visualización de vídeos, reciben también buena puntuación. En cambio, actividades especialmente diseñadas como síntesis –por ejemplo, el examen, el informe técnico o el modelo Frayer– han recibido las puntuaciones más bajas. Es posible que esta sea la causa de los resultados limitados en lo que se refiere a la capacidad del alumnado de definir la energía y su progreso limitado en el léxico. Consideramos necesario desarrollar otras estrategias de sistematización, como los mapas conceptuales.

CONCLUSIONES

El ABP es una vía metodológica prometedora para el aprendizaje de las ciencias. No obstante, son necesarios estudios sobre la capacidad de la metodología para el aprendizaje de modelos y procedimientos científicos y estrategias evaluadoras más allá de la evaluación de la consecución de los objetivos del proyecto.

Los resultados obtenidos en esta experiencia muestran que la metodología del ABP es útil para capacitar al alumnado para el uso de modelos científicos, si bien encuentra dificultades similares (barreras conceptuales, persistencia del uso de interpretaciones mecánicas, conocimiento declarativo) a las que se encuentran con otras metodologías como la modelización.

Como orientación para otros trabajos o unidades didácticas sobre la energía, extraemos que es importante incidir de forma explícita en la transferencia de energía y que la transformación de la energía es una idea *frontera* en la capacidad de interpretar fenómenos. También en este trabajo se observa con claridad que la capacidad de los alumnos para describir la energía como concepto no evoluciona del mismo modo que su capacidad para interpretar fenómenos mediante modelos de energía, por lo tanto en la evaluación del alumnado y el análisis de actividades es fundamental la atención separada de estos aspectos.

Se hace necesaria una reinterpretación del currículo: las distintas magnitudes que afectan a un mismo fenómeno (densidad, energía, fuerza...) se presentan en él de forma desvinculada, dificultando la integración que promueven otros currículos, como el de Finlandia, orientado al estudio de fenómenos.

El proyecto Montgolfier Tournament forma parte del Proyecto C3 de enseñanza competencial de las ciencias (Domènech-Casal, 2016). El proyecto incluye en sus materiales una etapa no realizada que permite enlazar en último término con los conceptos de trabajo y potencia en el mismo contexto de los globos aerostáticos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la comunidad educativa del INS Marta Estrada (alumnado, profesorado y familias) su apoyo en la aplicación de los marcos metodológicos propuestos. Reflexiones incluidas en este artículo se enmarcan en la reflexión metodológica llevada a cabo en el grupo de investigación consolidado LICEC (referencia 2014SGR1492) por AGAUR y financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (referencia EDU2015-66643-C2-1-P).

REFERENCIAS

- ALBERT, E. (1978). Development of the concept of heat in children. *Science Education*, 62(3), pp. 389-399.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730620316>
- ALOMÁ, E. y MALAVER, M. (2007). Los conceptos de calor, trabajo, energía y teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica. *Educere*, 11(38), pp. 477-487.
- BAÑAS, C.; MELLADO, V. y RUIZ, C. (2003). Las ideas alternativas del alumnado de primer ciclo de Educación Secundaria Obligatoria sobre la conservación de la energía, el calor y la temperatura. *Campo Abierto*, 24, pp. 99-126.
- COUSO, D. (2014). De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En *26EDCE. Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante* (pp. 1-28). Huelva: Servicio de Publicaciones Universidad de Huelva.
- DOMÈNECH, J. L.; GIL-PÉREZ, D.; GRAS, A.; GUIASOLA, J.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; SALINAS, J.; TRUMPER, R.; VALDÉS, P. y VILCHES, A. (2007). Teaching of Energy Issues: A Debate Proposal for a Global Reorientation. *Science and Education*, 16, pp. 43-64.
<https://doi.org/10.1007/s11191-005-5036-3>
- DOMÈNECH, J. L.; GIL-PÉREZ, D.; GRAS, A.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; GUIASOLA, J. y SALINAS, J. (2001). La enseñanza de la energía en la educación secundaria. Un análisis crítico. *Revista de Enseñanza de la Física*, 14(1), pp. 45-60.
- DOMÈNECH-CASAL, J. (2016). Proyecto C3: indagación científica, lengua y contextos en la ESO. *Aula de Secundaria*, 19, pp. 15-19.
- DOMÈNECH-CASAL, J. (2017a). Aprendizaje Basado en Proyectos y Competencia Científica. Experiencias y propuestas para el método de Estudios de Caso. *X Congreso Enseñanza de las Ciencias*, septiembre 2017 (número extraordinario), pp. 5177-5183.
- DOMÈNECH-CASAL, J. (2017b) Aprentatge Basat en Projectes en àmbits STEM. Claus metodològiques i reptes. *Revista Ciències*, 33, pp. 2-7.
- DOMÈNECH-CASAL, J. (en edición). Contexto y modelo en el Aprendizaje Basado en Proyectos. Apuntes para el ámbito científico. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales* (en edición).
- DOMÍNGUEZ, J. M.; DE PRO, A. y GARCÍA-RODEJA, E. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), pp. 161-175.

- DRIVER, R. y WARRINGTON, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, pp. 171-176.
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/20/4/308>
- DUIT, R. (1987). Should energy be illustrated as something quasi-material? *International Journal of Science Education*, 9, pp. 139-145.
<https://doi.org/10.1080/0950069870090202>
- ERICKSON, G. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look. *Science Education*, 64(3), pp. 323-336.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730640307>
- FRAYER, D.; FREDERICK, W. C. y KLAUSMEIER, H. J. (1969). *A Schema for Testing the Level of Cognitive Mastery*. Madison, WI: Wisconsin Center for Education Research.
- GALLÁSTEGUI, J. R. y LORENZO, F. M. (1993). «El café tiene cafeína y nos despierta, nos da energía»: concepciones sobre la energía química, una buena razón para poner de acuerdo a los profesores de Física y Química y ciencias Naturales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), pp. 20-25.
- GARCÍA-CARMONA, A. (2006). Una propuesta de situaciones problemáticas en la enseñanza del principio de conservación de la energía. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), pp. 496-506.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i3.10
- GARCÍA-CARMONA, A. y CRIADO, A. M. (2010). La competencia social y ciudadana desde la educación científica: una experiencia en torno al debate de la energía nuclear. *Investigación en la Escuela*, 71, pp. 25-38.
- GARCÍA-CARMONA, A. y CRIADO, A. M. (2013). Enseñanza de la energía en la etapa 6-12 años: un planteamiento desde el ámbito curricular de las máquinas. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), pp. 87-102.
- GREENWOOD, S. (2004). Content Matters: Building Vocabulary and Conceptual Understanding in the Subject Areas. *Middle School Journal*, 35(3), pp. 27-34.
<https://doi.org/10.1080/00940771.2004.11461428>
- HIERREZUELO, J. y MOLINA, E. (1990). Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), pp. 23-30.
- JORBA, J. y CASELLES, E. (1996). *La regulació i autoregulació dels aprenentatges*. Llibres de l'ICE-UAB. Sèrie Eines i Estratègies.
- KILPATRICK, W. E. (1918). *The Project Method: the use of the purposeful act in the educative process*. Teachers college, Columbia University.
- LANCOR, R. (2014). Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics. *Science & Education*, 23(6), pp. 1245-1267.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9535-8>
- LARMER, J., MERGENDOLLER, J. y BOSS, S. (2015). *Setting the Standard for Project Based Learning: A Proven Approach to Rigorous Classroom Instruction*. ASCD, Alexandria.
- LEE H. S. y LIU, O. L. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 94(4), pp. 665-688.
<https://doi.org/10.1002/sce.20382>
- LEWIS, E. L. y LINN, M. C. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), pp. 657-677.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660310607>

- LIJNSE, P. L. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Science Education*, 74(5), pp. 571-583.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730740507>
- LIU, X. y McKEOUGH, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of research in Science Teaching*, 42(5), pp. 493-517.
<https://doi.org/10.1002/tea.20060>
- LÓPEZ-GAY, R.; JIMÉNEZ-LISO, R. y MARTÍNEZ, M. (2015). Enseñanza de un modelo de energía mediante indagación y uso de sensores. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 80, pp. 38-48.
- MARBÀ-TALLADA, A. (2014). Las progresiones de aprendizaje. Una herramienta para pensar en qué y cómo enseñar. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 76, pp. 71-79.
- MARTÍNEZ, C. y RIVADULLA, J. C. (2015). ¿Cómo progresar en la enseñanza de la energía? *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 79, pp. 17-24.
- MICHINEL, J. L. y D'ALESSANDRO, A. (1994). El Concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 369-380.
- MILLAR, R. (2015). La Enseñanza en materia de energía: desde los conocimientos cotidianos hasta la formación científica. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 80, pp. 8-16.
- NEUMANN, K.; VIERING, T.; BOONE, W. y FISCHER, H. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), pp. 162-188.
<https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- NORDINE, J.; KRAJCIK, J. y FORTUS, D. (2010). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), pp. 670-690.
<https://doi.org/10.1002/sce.20423>
- NÚÑEZ, G.; MATURANO, C.; MAZZITELLI, C. C. y PEREIRA, R. (2005). ¿Por qué persisten las dificultades en el aprendizaje del concepto de energía? *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 18, pp. 105-120.
- PACCA, J. J. A. y HENRIQUE, K. F. (2004). Dificultades y estrategias para la enseñanza del concepto de energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), pp. 159-166.
- PARK, M. y LIU, X. (2016). Assessing understanding of the energy concept in different science disciplines. *Science Education*, 100(3), pp. 483-516.
- PÉREZ, M.; MARBÀ-TALLADA, A. y IZQUIERDO, M. (2016). ¿Cómo se conceptualiza la energía en las unidades didácticas de biología? *Enseñanza de las Ciencias*, 34(1), pp. 73-90.
- PINTÓ, R. (2004). ¿Qué modelo de energía deseamos que construyan nuestros estudiantes de secundaria? *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 42, pp. 41-54.
- RODRÍGUEZ, F. y GARCÍA, E. (2011). ¿Qué diferencias hay entre el conocimiento cotidiano y el conocimiento científico de docentes en formación sobre el concepto de energía? *Investigación en la Escuela*, 75, pp. 63-71.
- RUIZ, M. y MUÑOA, R. (2016) Tratamiento de la energía mecánica mediante histogramas. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 86, pp. 63-69.
- SANMARTÍ, N. (2016). Trabajo por proyectos: ¿Filosofía o metodología? *Cuadernos de Pedagogía*, 472, pp. 44-46.
- SANMARTÍ, N. y MÁRQUEZ, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1), pp. 3-16.
- SEVILLA, C. (1986). Reflexiones en torno al concepto de energía. Implicaciones curriculares. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), pp. 247-252.

- SOLBES, J. y MARTÍN, J. (1991). Análisis de la introducción del concepto de campo. *Revista Española de Física*, 5(3), pp. 34-39.
- SOLBES, J. y TARÍN, 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.
- SOLOMON, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20, pp. 165-176.
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/20/4/307>
- SOTO, M.; COUSO, D.; LÓPEZ, V. y HERNÁNDEZ, M. I. (2017). Promoviendo la apropiación del modelo de energía en estudiantes de 4.º de ESO a través del diseño didáctico. *Apice, Revista de Educación Científica*, 1(1), pp. 90-106.
- STAHL, S. A. y FAIRBANKS, M. M. (1986). The Effects of Vocabulary Instruction: A Model-Based Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 56(1), pp. 72-110.
<https://doi.org/10.2307/1170287>
- TRUMPER, R. (1993). Children's energy concepts: A cross-age study. *International Journal of Science Education*, 15(2), pp. 139-148.
<https://doi.org/10.1080/0950069930150203>
- VIAU, J. E.; TINTORI, M. A. y ESTEBAN, S. (2015). Una propuesta creativa para la construcción de los conceptos de calor y capacidad calorífica mediante un modelo didáctico analógico. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 80, pp. 58-65.
- VIGLIETTA, L. (1990). A more «efficient» approach to energy teaching. *International Journal of Science Education*, 12, pp. 491-500.
<https://doi.org/10.1080/0950069900120503>
- WINDSCHITL, M.; THOMPSON, J. y BRAATEN, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92, pp. 941-967.
<https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- ZABEL, J. y GROPENGIESSER, H. (2011). Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Education*, 45(3), pp. 143-149.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2011.586714>

Students' concepts about energy. A Project-Based Learning experience with aerostatic balloons

Jordi Domènech-Casal
Institut Marta Estrada, Granollers.
Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals,
Universitat Autònoma de Barcelona.
jdomen44@xtec.cat

Energy is a transversal concept in science education, linked to several disciplines (Physics, Biology, Chemistry, Engineering...). Defining energy is complex even between teaching professionals or researchers, and students show difficulties to develop the concept and use it to understand phenomena. These difficulties are increased with interferences from colloquial uses of the word «energy». Learning progressions have been proposed as paths for students to develop the energy concept in several levels of sophistication. Also, teaching in problematized contexts, with special attention to energy changes (transformation, transference, degradation, conservation), have been proposed as didactic clues.

Project-Based Learning (PBL) methodology proposes that students should learn concepts through its use to solve problems or construct artefacts. We have designed and applied a PBL didactic sequence where students construct aerostatic balloons as a problematized context. During the project, students analyse energy changes and physic dimensions related to aerostatic balloons (heat, combustion, temperature, chemical energy, potential energy...). Eighteen 12-years-old students participated in the project and were assessed through tests and students' productions in several aspects: energy-related vocabulary, ability to define energy and energy changes, and ability to use energy concepts to give explanations to problematized scenarios. We have analysed and compared students' productions before and after the activity, to stablish progressions in concepts of energy and energy changes. Students present common alternative concepts on energy, as movement, substance or force. We represented the different levels of sophistication of energy concepts and energy changes of the students and analysed the main itineraries of conceptual change.

Our findings show that students' progresses are more pronounced in their abilities to use energy concepts to explain problematized scenarios rather than their ability to describe energy concepts. Transformation as an energy change results to be a «frontier» concept when students develop complex understanding of energy changes including transformation, degradation, transference and conservation. On the other hand, students have difficulties to use transference as an energetic change when giving explanations to problematized scenarios.

