



¿Cómo se conceptualiza la energía en las unidades didácticas de biología?

How energy is conceptualized in biology units?

M. Pérez Murugó

Institut Manolo Hugué. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals UAB
mpere599@xtec.cat

A. Marbà Tallada, M. Izquierdo

Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals UAB.
anna.marba@uab.cat, merce.izquierdo@uab.cat

RESUMEN • El presente trabajo reflexiona sobre la visión biológica del concepto energía que se aplica actualmente en las aulas a partir del análisis de diversos libros de texto, en papel y digitales. Se pretende analizar cuál es el concepto de energía que aparece en los textos y en los ejercicios del final de la unidad didáctica, así como identificar una posible relación entre la demanda cognitiva de los ejercicios de final de unidad y la manera de presentar el concepto de energía. Los resultados muestran una multiplicidad de ideas respecto al concepto de energía tanto en los textos como en los ejercicios analizados, siendo las más comunes las relacionadas con la idea de flujo y almacenaje, llegando a detectar diferentes ideas del concepto de energía dentro de una misma unidad didáctica. Respecto al análisis de la demanda cognitiva de los ejercicios de final de unidad, los resultados muestran un claro dominio de las actividades de menor demanda cognitiva, destacando el hecho de que mayoritariamente en ellos no se trabaja el concepto de energía sino que, por ejemplo, se limitan a solicitar al alumnado definiciones o la elaboración de listas de órganos y orgánulos.

PALABRAS CLAVE: energía; nutrición celular; entropía; demanda cognitiva; ejercicios de final de capítulo.

ABSTRACT • This paper considers the biological approach of the concept of energy that is currently used in the classroom from the study of different textbooks and digital books. The purpose is to find out the energy concept set out in textbooks and in the end of unit exercises, and also identify a possible relationship between the cognitive demand of the end of unit exercises and the approach to the concept of energy. Results show a multiplicity of ideas about the concept of energy, not only in texts but also in exercises, being the ideas of flow and storage the most common ones and having also detected different ideas about the concept of energy within a teaching unit. Regarding the cognitive demand of the exercises, results show the prevalence of lower cognitive demand activities, highlighting the fact that most of them do not work the concept of energy at all but instead pupils are just asked, for example, to give definitions or to create a list of organs and organelles.

KEY WORDS: energy; cellular nutrition; entropy; cognitive demand; end of unit exercises.

Recepción: julio 2013 • Aceptación: noviembre 2014 • Publicación: marzo 2016

Pérez Murugó, M., Marbà Tallada, A., Izquierdo, M., (2016) ¿Cómo se conceptualiza la energía en las unidades didácticas de biología? Enseñanza de las Ciencias, 34.1, pp. 73-90

INTRODUCCIÓN

Entropía es una palabra que trae confusión, sobre todo usada por biólogos, probablemente porque la materializan en lugar de usarla como característica de un sistema.

Ramón Margalef

El término energía es uno de los términos científicos con mayor presencia en nuestra vida cotidiana: los problemas energéticos, las energías renovables, las bebidas energéticas forman parte del universo de los alumnos mucho antes de que se trabaje en las aulas la idea de energía. Este hecho implica que cualquier alumno de secundaria obligatoria seguramente ya ha construido su propio concepto de energía vinculado a aspectos diversos como, por ejemplo, la alimentación, el estado físico, el consumo, etc., a partir de su propia experiencia vital antes de que se enseñe formalmente en las aulas (Pérez-Landazábal, Varela y Faveires, 2000). Como Watts (1983) expone, previo a la educación científica formal, niños y niñas entienden el término energía según sus propios marcos, y «estas ideas y significados no son simplemente ideas alternativas aisladas, sino que forman parte de una estructura compleja que permite dar coherencia a una explicación del mundo desde el punto de vista de los infantes». Para el alumnado más pequeño el término energía suele estar asociado a movimientos visibles, propios de los seres vivos, o a aparatos técnicos relacionados con usos humanos (Solomon, 1983; Watts, 1983). La idea de conservación de la energía, en este contexto de cotidianidad, se relaciona con la idea de no malgastar energía y no con la de la constancia de la energía del Universo.

Esta situación se ahonda más en las clases de biología, donde autores como Barak (1997; 1999) afirman que el concepto de energía se trabaja sin las características de transferencia, degradación, transformación y sobre todo conservación. Es más, según varios autores, los alumnos perciben la energía en los contextos biológicos como algo completamente distinto a la energía en los contextos físicos (Solomon, 1982, 1985; Gayford, 1986; Ogborn, 1986; Ellse, 1988). También cabe destacar que si bien el concepto de energía ha sido ampliamente trabajado desde la didáctica de la física (Sexl, 1981; Warren, 1982; Solomon, 1983), y a pesar de la recurrencia del término en los textos y materiales didácticos de biología, hay muy poca literatura didáctica al respecto. La bibliografía en didáctica de la energía en biología se centra principalmente en la conceptualización del ATP y en el estudio de la energía en la fotosíntesis (Çakir, 2002; Ferreiro, 2008; Teixeira, 2000; Melillan, 2006). O la más actual centrada en la conceptualización del término, que suele analizar al alumnado universitario o al profesorado (Chabalengula, 2012; Liu, 2002; Saglam-Arslan, 2010; Domenech, 2013).

En esta investigación focalizamos nuestros esfuerzos en analizar el uso del concepto energía desde la biología, y más concretamente cómo se aborda este concepto en los textos de biología de la ESO. Los libros de texto, tanto en su edición en papel como digital, son aún un recurso para el profesorado y una herramienta de aprendizaje para el alumnado, y a pesar de las críticas siguen siendo uno de los materiales curriculares más utilizados (Martín, Prieto y Jiménez, 2013; Ocelli y Valeiras, 2013). Este análisis incluye no solo los textos de las unidades didácticas, sino que también se analizan los ejercicios propuestos. Se intenta establecer una posible correlación entre la demanda cognitiva de los ejercicios y cómo se trata en ellos el concepto de energía.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

¿Por qué puede ser importante trabajar la energía desde la biología?

Sin duda el término energía aparece en biología constantemente: en bioquímica, ecología, evolución, etc., y resulta un concepto clave para comprender procesos básicos como el de la nutrición. A pesar de ello, hablamos de la energía en términos muy poco científicos, sobre todo en clase de ciencias (Solomon, 1982, 1985; Gayford, 1986). Así, por ejemplo, encontramos alimentos que nos aportan mayor «energía» que otros y decimos que las plantas captan la «energía» del Sol.

Según Barak (1997) y Gayford (1986), en biología generalmente se trabaja una idea de energía en la que esta es resultado de ciertas reacciones que tienen lugar en los seres vivos o se puede almacenar hasta que se necesite y posteriormente recargar. Este tratamiento del concepto cuestiona aspectos básicos como la conservación de la energía o la universalidad de los procesos químicos, que se considera más propio tratar en los currículos de física y química. Y se da al término una sustantivación que claramente dificultará la comprensión de la fosforilación oxidativa de la nutrición celular o de las pirámides alimenticias en ecología, entre otros conceptos biológicos básicos (Kesidou, 1993; Lin, 2003).

Distintos autores, como los anteriormente citados, consideran que para facilitar la comprensión del concepto de energía en biología es necesario vincular esta a una interpretación más física del contexto biológico sin que ello implique un reduccionismo. Al contrario, los conceptos físicos deben permitir al alumnado una comprensión más completa e integrada de la biología (Lin, 2003; Ogborn, 1986).

¡Visiones de energía!

Actualmente definir el concepto energía sigue siendo una tarea compleja. El premio nobel de física Richard Feynman (citado por Millar [2005]) expone que la energía no es más que un principio matemático, es una cantidad numérica que no se modifica cuando se produce un cambio. Según el mismo autor, es un concepto abstracto, es una propiedad, una característica de un sistema o de un objeto a la que le podemos dar un valor numérico; por tanto no podemos hablar sobre la energía que contiene un objeto, ni tampoco es la energía el mecanismo que explica cómo suceden las cosas.

Esta dificultad de definición ha conllevado discusiones didácticas sobre cómo abordar el concepto. Numerosos trabajos ponen de manifiesto los problemas de comprensión de la naturaleza de la energía por parte de los estudiantes (Duit, 1998; Domenech, 2001) y esto ha dado lugar a debates didácticos sobre cómo iniciar la conceptualización del término. A continuación se exponen algunas de ellas.

Una de las propuestas iniciales fue tratar el término desde una perspectiva de ‘sustancia material’, invisible e intangible, una especie de sustancia mágica que fluye de un lugar a otro cambiando de forma. Al ser esta concepción muy cercana y coincidente con el significado cotidiano del término parecía que podía facilitar su aprendizaje (Duit, 1987), aunque a la vez podía dificultar la comprensión y aprendizaje del concepto científico, pues este carácter de sustancia que se aplicaba al concepto de energía nada tiene que ver con la concepción científica actual.

Otra aproximación fue buscar un significado más elemental del término, ‘energía como eficacia u origen de la actividad’. Parecía que este significado se acercaba más al concepto científico (Watts, 1983) puesto que abordaba el término desde una perspectiva más abstracta y menos tangible. Pero seguía distando de la definición actual al asemejar el concepto de energía al concepto de ‘gasolina o fuel’, en el que la energía se usa y se consume. Así pues, encontramos asociadas a esta concepción frases como «la comida es la gasolina de los seres vivos», donde claramente la energía no se conserva, se usa y consume.

Para afrontar estas concepciones casi materiales de la energía, Warren (1982) propuso abordar el concepto definiendo el término como ‘un sistema capaz de realizar un trabajo’, es decir, es la presencia

de la energía la que permite llevar a término una acción. Así pues «la energía del motor del automóvil permite que el vehículo circule». Pero no incorpora la segunda ley de la termodinámica, es decir, no contempla el hecho de que no toda la energía sirve para realizar un trabajo. Por ejemplo, «cuando llegamos a destino y paramos el coche, parte de la energía no ha servido para realizar un trabajo, sino que se ha transferido al ambiente en forma de calor». Como señalan Sexl (1981) y Duit (1986), esta definición anterior solo sería válida en el campo de la dinámica, ya que no muestra utilidad alguna para la termodinámica, puesto que la energía interna no puede convertirse totalmente en trabajo; parte de ella se disipa en forma de calor. Pero a pesar de lo expuesto y de haber sido descartada por parte de la comunidad científica, cabe destacar que diferentes estudios (Duit, 1986; Domenech *et al.*, 2001) han puesto de manifiesto que esta visión clásica y cuestionada sigue vigente en muchos textos científicos.

Otra aproximación fue entender la energía como 'la capacidad de producir cambios'. Parecía que esta nueva definición abarcaba un campo mayor que la anterior y permitía incluir en ella la termodinámica. Pero esta visión sigue proponiendo la energía como causa de fenómenos y parece que esta no es la concepción usada por la ciencia, pues lo que hace que los fenómenos tengan lugar no son las variaciones de energía, sino el aumento de la entropía (Ogborn, 1986), que no es más que una manera de medir el desorden de los sistemas y su homogeneidad. Es decir, la energía no se consume, se degrada, pierde «utilidad», y esto es debido a que los átomos han pasado de un estado de orden (mayor energía) a un estado de desorden (menor energía), y a mayor desorden menor será la posibilidad de seguir produciendo estos cambios. Por lo que la magnitud para determinar esta situación de orden y desorden no es la de energía, sino la entropía.

Para resolver estas dificultades que encontramos con las definiciones anteriores, Ogborn (1986) propuso una visión cualitativa del concepto. Expuso que la energía depende de la configuración de los sistemas y de las propiedades de la materia. Así pues, la energía es una propiedad, una característica de los sistemas y no podemos hablar de la energía de los objetos aislados. Entonces, para poder construir una idea de energía hay que tener en cuenta un conjunto de características y cualidades: hay que hablar de conservación, degradación, transferencia y transformación (Duit, 1986).

Pero las investigaciones que evaluaron el aprendizaje del concepto energía a partir de la propuesta de Ogborn pusieron de manifiesto que el alumnado, contrariamente a lo pretendido, seguía percibiendo la energía como un fluido, «un combustible» necesario para que las transformaciones tuviesen lugar en los sistemas (Duit, 1986; Ogborn, 1986; Pintó, 1991). Es más, aparecía un segundo conflicto hasta entonces no detectado, la conservación de la energía era una característica que en determinadas situaciones cotidianas parecía no cumplirse (Duit, 1986; Ogborn, 1986; Pintó, 1991). Entonces distintos autores plantearon que quizá el problema no estaba en la definición de energía, sino en el concepto en sí: quizá se hablaba de energía cuando realmente se estaba hablando del concepto de entropía (Solomon, 1982; Duit, 1984; Ogborn, 1990). Es decir, el problema estaba en pensar que la energía puede aumentar o disminuir y no pensarla como una característica de la materia. En el momento en que se usan términos como energía perdida o ganada, en realidad se está hablando de entropía. Así pues, cuando afirmamos que hay «pérdidas de energía» entre los eslabones de una cadena trófica, realmente lo que queremos decir es que disminuye la posibilidad de producir cambios porque parte de la energía que se transfiere entre eslabones se disipa en forma de calor. Pero lo que sí varía es la entropía.

¿Pero qué es la entropía? Como resultado de las interacciones y transformaciones de los sistemas la energía se degrada, tendiendo así los sistemas a la homogeneidad, y disminuyendo así las posibilidades de posteriores transformaciones (Duit, 1986; Ogborn, 1990). Y esta incapacidad de nuevas transformaciones es lo que mide la entropía.

Estudiar a los seres vivos o los ecosistemas desde el punto de vista de la entropía puede facilitar la comprensión de fenómenos como la estructuración celular o la energía en los ecosistemas sin caer en la materialización del concepto (Margalef, 1986).

¿Y la ciencia biológica qué dice?

Dentro de la disciplina biológica, y en especial en ecología, cada vez hay mayor conciencia de la importancia de la termodinámica en el área (Pueyo, 2003) y de la paradoja que esta presenta (Margalef, 1980): los organismos parecen tender al orden y a la estructuración, contradiciendo la segunda ley de la termodinámica. La solución a la paradoja es contemplar a los seres vivos no como organismos aislados, sino como sistemas disipativos abiertos (Morowitz, 2002). Así pues, con el metabolismo se disipa energía en forma de calor al ambiente a la vez que se forman estructuras celulares (para reparar, crear nuevas, replicar, etc.), contribuyendo al aumento de entropía global del sistema. Como define (Patiño, 2006):

Un ser vivo es un sistema abierto que realiza el intercambio de radiación o de materia con su entorno con la finalidad de mantener su estructura y organización interna a expensas de un aumento de entropía del medio exterior. En el proceso de alimentación, o sea de acumulación de reservas de energía, la energía potencial final es mayor que la inicial.

Así pues, la termodinámica puede proporcionar a la biología explicaciones a los fenómenos de estructuración de los seres vivos que parecían en un primer momento contradecir las leyes físicas (Jou, Llebot y Pérez, 1994). Y permite huir de la materialización del concepto, tan habitual entre los biólogos, para los que, en muchos casos, la energía fluye y se intercambia o se almacena hasta su uso (Margalef, 1986).

A partir de lo expuesto, y con el fin de identificar cómo se caracteriza la energía en los libros de texto de biología, se definieron las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué concepto de energía definen los libros de texto de biología?
- ¿Qué relación hay entre la demanda cognitiva de los ejercicios y el concepto de energía presentado?

METODOLOGÍA

Para resolver las cuestiones planteadas se escogieron cuatro propuestas editoriales, tres en formato papel y una en formato digital. Las editoriales en papel fueron escogidas por su amplia difusión en Cataluña y la editorial digital fue escogida por ser una de las principales propuestas presentadas por el Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya a aquellos centros participantes en el proyecto 1x1 de digitalización de las aulas. La descripción de la muestra se detalla en la tabla 1. Para simplificar el análisis y centrar los resultados se optó por analizar solamente los niveles educativos obligatorios.

De cada una de las propuestas editoriales se determinó analizar aquellas unidades relacionadas con el proceso de nutrición celular, pues el constructo energía resulta básico para la comprensión de esta temática central de la disciplina y se repite a lo largo del ciclo educativo obligatorio y postobligatorio. Esto permite además analizar la evolución del concepto energía a lo largo de las etapas educativas y la posible relación de esta evolución con el aumento de la demanda cognitiva (Anderson, 2001).

Tabla 1.
Propuestas editoriales analizadas

<i>Editorial</i>	<i>Cursos</i>	<i>N.º de capítulos analizados</i>	<i>N.º de ejercicios analizados</i>
C	1.º ESO	2	4
	2.º ESO	3	37
	3.º ESO	2	12
	4.º ESO	1	8
D	1.º-2.º ESO	2	4
	3.º ESO	1	5
	4.º ESO	1	2
T	1.º ESO	2	9
	2.º ESO	1	18
	3.º ESO	2	11
	4.º ESO	2	5
Ca	1.º ESO	2	9
	2.º ESO	2	33
	3.º ESO	3	12
	4.º ESO	2	4

Para encontrar el sentido global del mensaje del texto realizamos unas primeras lecturas exploratorias que nos permitieron apropiarnos de la idea general de este eliminando el término energía del texto, siempre que ello fuese factible, con la intención de no dejarnos influenciar por este. Ello permitió fragmentar los textos en unidades de significado que posteriormente fueron categorizadas en cinco categorías construidas inductivamente a partir de la bibliografía expuesta y sobre la base de las definiciones energéticas propuestas por Watts (1983) y posteriormente adaptadas por Gayford (1986). Las categorías se muestran en la tabla 2.

Tabla 2.
Categorías de las definiciones de energía

<i>Categoría</i>	<i>Código</i>	<i>Definición amplia</i>	<i>Cuándo usar</i>
Flujo	F	Identificamos como flujo aquellas unidades de significado que hacen referencia a una definición de energía como un fluido	Aplicamos este código cuando el texto implica una consideración de energía como flujo, con comportamiento fluido, capaz de transferirse de un lugar a otro, de moverse en el sistema
Producto	P	Identificamos como producto aquellas unidades de significado que hacen clara referencia a una definición de energía como producto de una situación o proceso	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que el texto implique una consideración de energía como una unidad generada, que desaparece posteriormente sin percibirse la conservación de esta
Almacenaje	M	Identificamos como almacenaje aquellas unidades de significado que hacen referencia a una definición depositaria de energía	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que el texto implique almacenaje y recarga de energía

<i>Categoría</i>	<i>Código</i>	<i>Definición amplia</i>	<i>Cuándo usar</i>
Característica	C	Identificamos como característica aquellas unidades de significado que tratan la energía como un ingrediente reactivo de la materia	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que el texto implique el constructo energía como una propiedad de la materia capaz de reaccionar en determinadas situaciones. En esta categoría, la energía no está almacenada, es una característica de la materia que la presenta y permite que se produzcan reacciones no espontáneas. Aplicamos el código aunque en el texto no encontremos explícitamente la palabra energía pero sí el concepto que esta representa
Entropía	E	Identificamos como entropía aquellas unidades de significado que hacen referencia a la posibilidad o imposibilidad de nuevas transformaciones	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que el texto implique pensar en la posibilidad del sistema de sufrir nuevos cambios. Aplicamos el código aunque en el texto no encontremos explícitamente la palabra entropía pero sí el concepto que esta representa. En cambio no lo aplicamos si este concepto se relaciona directamente con el término energía

Para poder responder a la segunda pregunta de investigación se analizaron los ejercicios del final de las unidades didácticas, siguiendo la propuesta de Dávila y Tálanger (2010), ya que los libros presentan características híbridas (Izquierdo, Márquez y Gouvea, 2008): aquello que quieren transmitir no solo se encuentra en los textos escritos, sino también en los ejercicios propuestos. Por ello se seleccionaron aquellos ejercicios, al igual que los textos, claramente vinculados con el proceso nutritivo a nivel celular, dejando sin tratar aquellos que hacían referencia exclusiva a aparatos y sistemas sin plantear problema alguno en relación con el proceso en cuestión.

Para codificar los ejercicios se tuvo en cuenta sobre todo el libro de respuestas del profesorado, en el que se exponían las respuestas esperadas por el autor del libro analizado. Así pues, fueron las respuestas esperadas las que acabaron determinando la codificación de las actividades. Se codificaron las actividades según cómo se trabajaba en ellas el concepto de energía y en qué grado de demanda cognitiva estaban. Para ello se usaron las categorías de las diferentes definiciones energéticas establecidas (tabla 2) añadiendo una quinta categoría (*No trata la energía*) para identificar aquellos ejercicios que en ningún caso buscaban trabajar el concepto.

También se usaron los análisis de Dávila y Tálanger (2010) basados en la taxonomía de Bloom revisada por Anderson (2001). Para ello se modificaron las categorías existentes y se redefinieron en función de nuestras necesidades y los hechos hallados durante la investigación, construyendo la consecuente red para la codificación de las unidades de significado. Las categorías se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.
Categorías de demanda cognitiva

<i>Categoría</i>	<i>Subcategoría</i>	<i>Código</i>	<i>Definición amplia</i>	<i>Cuándo usar</i>
<i>Conocimiento</i> Es el nivel más simple y concreto, no requiere ejercicio alguno de comprensión, aplicación, análisis, etc.	Recordatorio	Rec	Cuestiones o problemas en los que el alumnado debe dar una respuesta basada en el hecho de recordar una información dada	Aplicamos este código en aquellas situaciones en las que la actividad requiere únicamente un ejercicio memorístico, definir conceptos, dar listas, nombrar o reconocer estructuras biológicas
	Búsqueda	B	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe realizar una búsqueda concreta en el libro de texto	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere la acción de realizar una búsqueda en el mismo libro de texto
	Relación	Rel	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe poner en relación dos conceptos o fenómenos, mediante líneas de unión u otros sistemas de vinculación	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere una relación
<i>Comprensión</i> Es un nivel más abstracto que implica un ejercicio de entendimiento	Descripción	Des	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe detallar o poner de manifiesto las características de un fenómeno, objeto, etc.	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere una explicación detallada de las características de un objeto o fenómeno
	Clasificación	Cla	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe categorizar reacciones, procesos, datos, etc.	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere una categorización
	Representación	Rep	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe representar un dato o proceso de manera gráfica o simbólica	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere una representación de datos o procesos, una comprensión, un ejercicio mental, del dato o proceso expuesto, aunque dicho hecho implique un cálculo
	Interpretación	Int	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe interpretar una información o un hecho presentado en diversos formatos, gráficos, símbolos u otros	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere una interpretación de la información o de los hechos, aunque ello implique un cálculo
	Justificación	Jus	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe demostrar una afirmación o negación usando hechos científicos	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere una justificación científica, el porqué de un hecho o fenómeno
<i>Aplicación</i> Es un nivel más complejo que implica necesariamente cálculo	Ejecución	Exe	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe usar algoritmos matemáticos específicos para resolverlos sin interpretación de estos	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere el uso de fórmulas matemáticas concretas, sin interpretación cualitativa de los datos del problema

<i>Categoría</i>	<i>Subcategoría</i>	<i>Código</i>	<i>Definición amplia</i>	<i>Cuándo usar</i>
<i>Análisis</i> Implica la acción de trabajar la información facilitada y analizarla para comparar o predecir	Comparación	Compa	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe poner en relación las propiedades de dos o más sistemas	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere la comparación
	Inferencia	Inf	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe inferir las características o el comportamiento de un sistema a partir de la información facilitada	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere una predicción
<i>Síntesis</i> Demanda al alumnado un trabajo abstracto o complejo	Diseño	Dis	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe crear un procedimiento para solucionar un problema o demostrar una afirmación o idea, o definir las hipótesis planteadas	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere la acción de diseñar, crear para solucionar o demostrar, principalmente diseño experimental
<i>Evaluación</i> La categoría más abstracta y compleja de todas	Argumentación	Arg	Cuestiones o problemas donde el alumnado debe criticar o validar una idea o hipótesis, afirmación, proceso, etc.	Aplicamos este código en todas aquellas situaciones en las que la actividad requiere que el alumnado dé razones científicas a favor y/o en contra de un supuesto, idea, etc.

Para el análisis de los datos se refinaron y redefinieron variables y categorías preestablecidas según las necesidades de manera inductivo-deductiva, surgiendo categorías nuevas a partir de los casos discrepantes. Estas familias y subfamilias se contrastaron con dos profesoras de ciencias en activo y con un currículo laboral superior a 10 años en la educación pública, y finalmente se validaron con una experta en didáctica de las ciencias.

Los datos se trabajaron en formato de red de codificación con ayuda del programa informático Atlas.ti 6. La naturaleza de los datos no permitió un tratamiento estadístico de estos.

RESULTADOS

Como podemos observar en la figura 1, en los textos analizados detectamos un claro predominio de las categorías *flujo*, *almacenaje* y *producto*, quedando muy relegada la de *característica*, que es la más cercana a la definición propuesta por diversos autores, tal y como se discute en el marco teórico. Cabe destacar que la categoría *entropía* no aparece en los textos analizados. En ningún caso son significativos ni la editorial ni el curso para determinar la categoría.

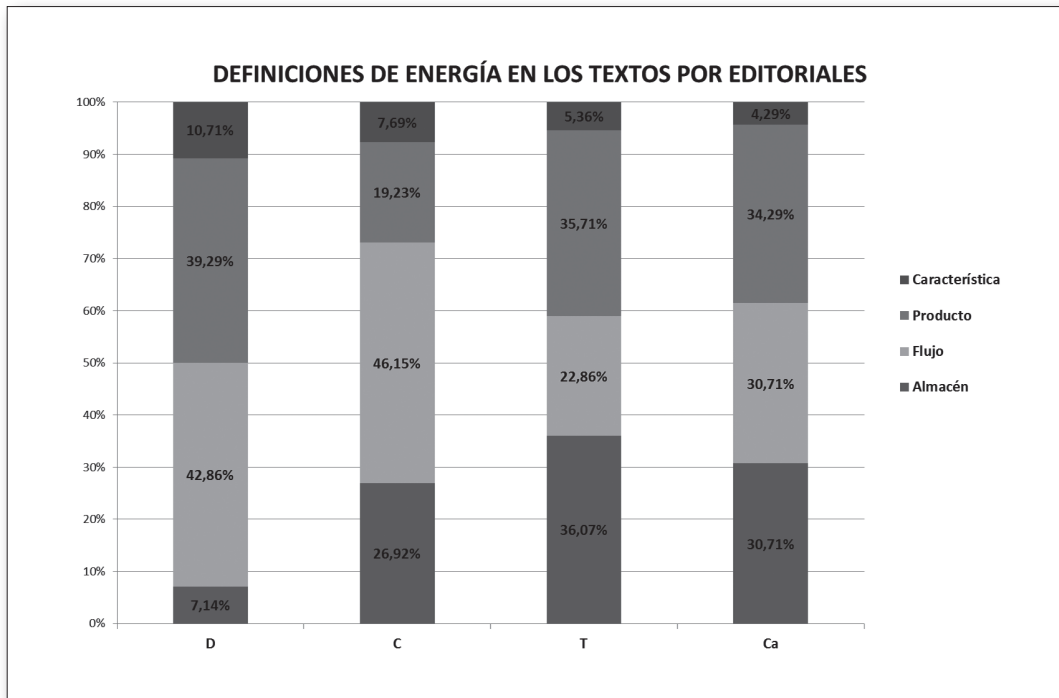


Fig. 1. Porcentaje de categorías identificadas en los textos analizados por editoriales.

Así, predominan frases como la que leemos en la propuesta de 4.º de ESO de la ed. D: «La energía pasa de niveles inferiores a niveles superiores de la red trófica», que ejemplifica la definición de *Flujo*. O frases como la que leemos en el libro de 1.º de ESO de la ed. Ca: «... se almacenan como reserva de energía», como ejemplo de la de *almacenaje*.

Contrariamente, expresiones como «Las células necesitan sustancias orgánicas que utilizan para obtener energía para llevar a cabo actividades», que encontramos en el libro de 2.º de ESO de la ed. C, categorizada como *característica*, son muy poco frecuentes.

Y tal y como podemos observar en la tabla 4 los textos analizados no presentan una única categoría para cada curso, ni siquiera a lo largo del ciclo educativo presentado por una misma editorial. Las diferentes definiciones de energía se mezclan dentro de los textos. La energía parece ser un concepto que aparece en el texto en determinadas circunstancias y que se aborda según las necesidades, llegando a plantear definiciones distintas en una misma unidad, siendo las categorías *almacenaje*, *flujo* y *producto* las que más aparecen en los textos analizados.

Tabla 4.
Identificación de las distintas definiciones de energía en los textos en función del curso y la editorial (%)

	<i>Almacenaje</i>	<i>Flujo</i>	<i>Producto</i>	<i>Característica</i>
1.º ESO D	14,29	42,86	28,57	14,29
3.º ESO D	0,00	0,00	100,00	0,00
4.º ESO D	0,00	49,99	41,66	8,33
1.º ESO C	0,00	50,00	50,00	0,00
2.º ESO C	20,00	40,00	20,00	20,00

	<i>Almacenaje</i>	<i>Flujo</i>	<i>Producto</i>	<i>Característica</i>
3.º ESO C	66,66	0,00	33,33	0,00
4.º ESO C	27,27	63,63	9,09	0,00
1.º ESO T	33,75	22,50	38,75	5,00
2.º ESO T	35,19	22,22	38,89	3,70
3.º ESO T	41,12	16,82	33,64	8,41
4.º ESO T	28,21	41,03	30,77	0,00
1.º ESO Ca	40,00	33,33	26,67	0,00
2.º ESO Ca	29,41	31,37	35,29	3,92
3.º ESO Ca	46,67	0,00	40,00	13,33
4.º ESO Ca	0,00	75,00	25,00	0,00

Al analizar los ejercicios de final de capítulo, figuras 2 y 3, observamos que predominan las actividades de conocimiento y comprensión en todas las etapas educativas y en todas las editoriales analizadas. Este nivel de demanda corresponde, según Bloom, a un nivel de demanda cognitiva bajo-intermedio. Los ejercicios requieren principalmente recordar, que es el nivel más bajo de la categoría. No se aprecia correspondencia entre esta demanda y el nivel educativo del libro analizado, llegando a presentar libros de 4.º de ESO más de un 60% de sus ejercicios de este tipo. Pero justo es destacar que dentro de los ejercicios de comprensión casi un 40% del total de estos corresponden a ejercicios de justificación, considerados de nivel cognitivo intermedio-alto.

Pero encontramos mayoritariamente ejercicios de tipo recordatorio, el nivel más bajo de demanda cognitiva, que piden definiciones dadas en el propio texto, como los que encontramos en la propuesta de 3.º de ESO de la ed. Ca: «¿Qué es la respiración celular?» o «¿Cuáles son las fases de la respiración celular?».

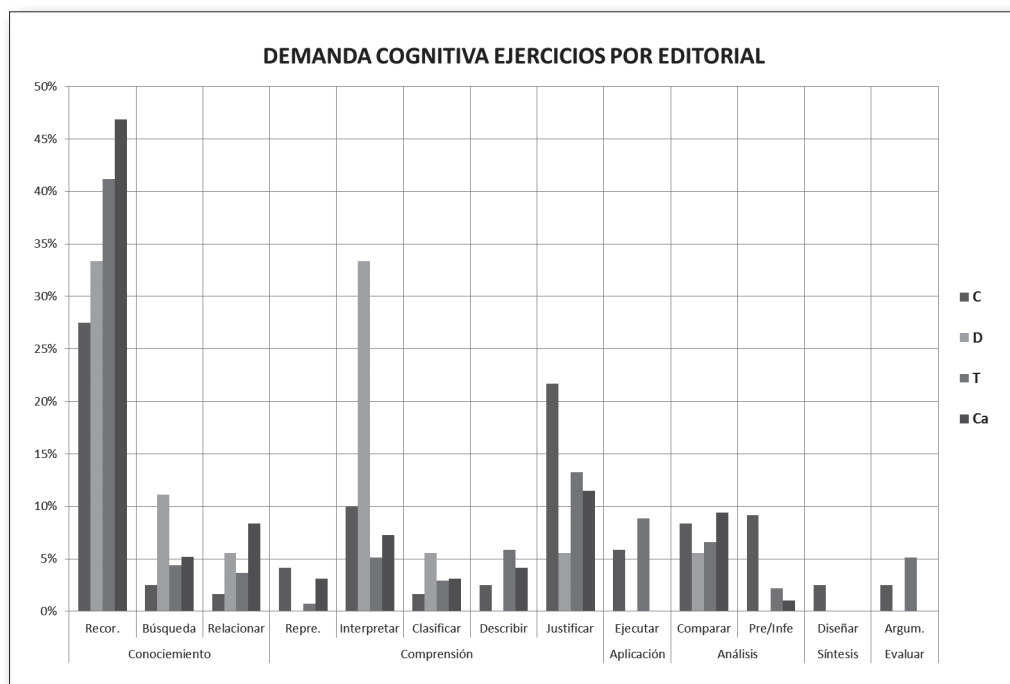


Fig. 2. Demanda cognitiva de los ejercicios de final de unidad por editorial.

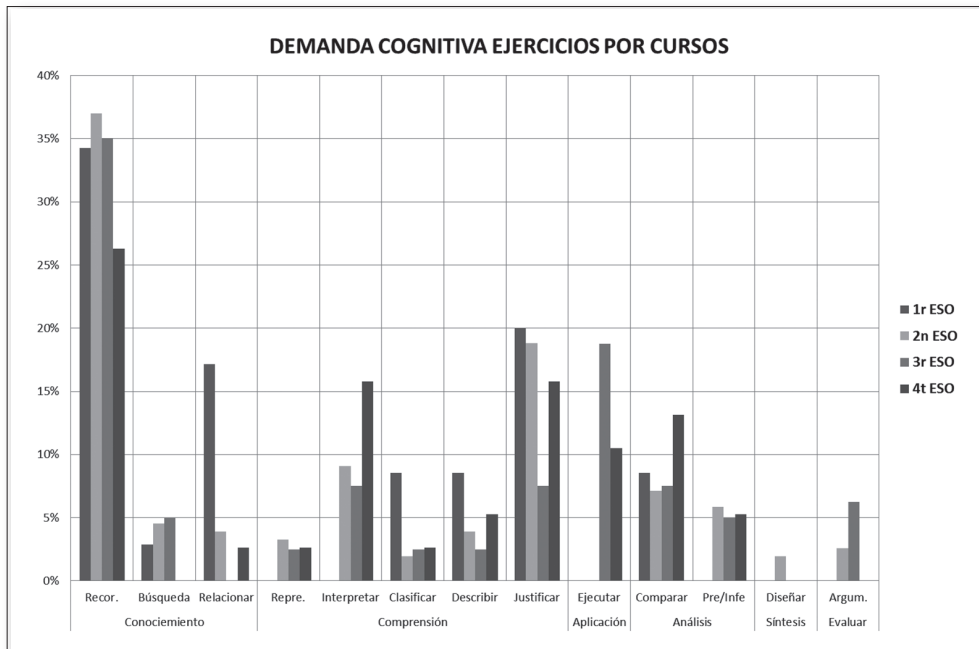


Fig. 3. Demanda cognitiva de los ejercicios de final de unidad por cursos.

Al analizar la posible relación entre la demanda cognitiva, los ejercicios de final de unidad y las posibles definiciones de energía trabajadas en ellos cabe destacar que el 62% de los ejercicios analizados no abordan el tratamiento del concepto energía, como podemos observar en la figura 4 de este apartado. Y aquellos que lo hacen usan una concepción alternativa, principalmente la de *almacenaje*, en un 11,67% de los casos, coincidiendo con los resultados obtenidos en el análisis de los textos.

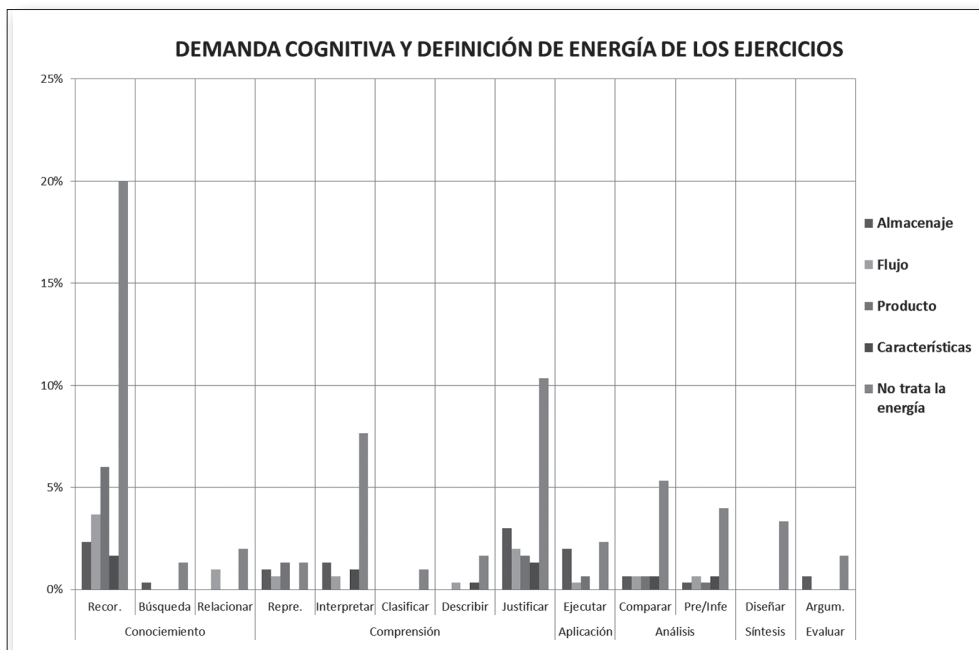


Fig. 4. Relación entre la demanda cognitiva y la definición de energía de los ejercicios de final de unidad.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir del análisis de los datos detectamos la multiplicidad de maneras de tratar la energía en todos los libros de texto analizados y para todos los cursos. La energía es un concepto que aparece en el texto en determinadas circunstancias y que se trata de manera diferente a lo largo de una misma unidad. Así, por ejemplo, en el libro de texto de 4.º de ESO de la editorial C leemos las siguientes frases en una misma unidad didáctica:

- «Toda la energía almacenada por los productores...» (categoría *almacenaje*).
- «Una parte de la energía que pasa de un nivel trófico...» (categoría *flujo*).

Esta gran variedad de definiciones a lo largo de los cursos, e incluso dentro de una misma unidad didáctica, podría dificultar que el alumnado modelizase y consecuentemente pensase, hablase y/o actuase sobre el sistema estudiado (Merino, 2009).

Cabe destacar la poca presencia de la categoría *característica*, que incorpora la idea de energía como una característica de los sistemas materiales dependiente de las propiedades de estos y que sería la definición del concepto más cercana a la definición científica actual.

Así pues, a partir de los resultados expuestos concluimos que los libros de texto y textos digitales analizados materializan el concepto, no teniendo en cuenta sus características (conservación, degradación, transferencia y transformación).

Si consideramos que la definición de la energía como *característica* es la que tiene más consenso sobre la base de los antecedentes bibliográficos, debería ser esta la base de la planificación y estructuración de las unidades didácticas de biología vinculadas a la energía.

Respecto al análisis de los ejercicios de final de capítulo, no observamos un aumento de la demanda cognitiva conforme a las propuestas de Bloom (Dávila y Tálanger, 2010). Partíamos de la premisa de que estos ejercicios aumentarían la demanda cognitiva conforme se avanzase en la unidad didáctica y que este aumento de demanda conllevaría una definición más compleja al tratar el concepto de energía, y por ello más próxima a la definición científica. Pero como se muestra en los resultados, nada más alejado de la realidad, ni siquiera se trata el concepto en la mayor parte de ellos, y cuando se trabaja la energía no se parte de una definición concreta. Se materializa el constructo, exactamente igual que sucede en los textos.

Pero además cabe apuntar y destacar que las categorías que presentan los textos de los libros analizados no se ven directamente reflejadas en las actividades complementarias que estos proponen. Es decir, encontrar un texto basado en una definición de *flujo* no tiene ni suele corresponder al tratamiento del constructo energía que después se observa en los ejercicios propuestos a final de capítulo, creándose así un salto importante entre la teoría que exponen los textos y los ejercicios prácticos vinculados, que mayoritariamente ni siquiera suelen trabajar.

En definitiva, los libros de texto analizados presentan una multiplicidad de ideas respecto al concepto energía tanto en el texto como en los ejercicios, y lo relacionan especialmente con la idea de *flujo, almacenaje y producto*. Además, y a pesar de que el término energía aparece de forma reiterativa en textos y ejercicios, los libros analizados no abordan la nutrición celular con una perspectiva fisiológica basada en el concepto de energía; se centran en una perspectiva más anatómica, en la que el término energía está presente pero no parece ser centro del proceso como cabría esperar.

Es más, si desde la didáctica de la física se defiende trabajar el concepto de entropía en las aulas, podría considerarse, como ya propuso Margalef (1986), estudiar los seres vivos o los ecosistemas desde el punto de vista de la entropía para facilitar la comprensión de fenómenos como la estructuración celular o la transferencia energética en los ecosistemas sin caer en la materialización del concepto. Como propuso Lin (2003), un acercamiento desde la segunda ley de la termodinámica podría permitir un

conocimiento más abierto e integrado de la biología. Desde nuestro punto de vista las grandes ideas que se deberían trabajar relacionadas con la nutrición podrían ser las siguientes:

- La idea de ser vivo propuesta por Hoffmeyer (1998) de contemplar a estos como «surfaces inside other surfaces». Esto permite que la manera de conceptualizar los seres vivos sea similar a la de pensar la célula o los ecosistemas. Como defiende García (2005), podemos enseñar a los alumnos a pensar los fenómenos que se deben estudiar desde cuatro puntos de vista: los intercambios de materia y energía con el ambiente, los estímulos a los que responde, la manera de transferir la información a las futuras generaciones y su estructura.
- Discutir la idea de célula o de ser vivo como una estructura que permite separar dos medios distintos: uno exterior y otro interior sobre el que se puede tener cierto control.
- Contemplar qué intercambia el ser vivo, o una célula particular, con el entorno. Haciendo especial énfasis en aquellos aspectos que resultan «invisibles» para el alumnado: aire, calor, etc.
- Reconocer los sistemas circulatorio, digestivo, respiratorio y excretor como la manera de hacer llegar a la célula todos los elementos necesarios para poder mantener la vida.
- Considerar los nutrientes y el oxígeno como posibilidad de cambio.

Así, por ejemplo, un acercamiento más entrópico a la nutrición celular se concreta en la figura 5:

En la mitocondria celular el oxígeno se combinará con los nutrientes y los oxidará (reacción de combustión), dando como resultado agua, dióxido de carbono, otras sustancias residuales y ATP. La combinación de los nutrientes con el oxígeno permitirá crear cambios en el sistema que aparecerán en forma de calor y trabajo. El trabajo aparece en forma de funciones vitales, mientras que el calor se disipa aumentando la entropía del sistema global. Conforme va disminuyendo la cantidad de nutrientes disponibles, disminuye también la posibilidad de nuevos cambios. Para compensarlo, y poder seguir haciendo las funciones vitales, se genera la sensación de hambre volviendo a iniciar el ciclo.

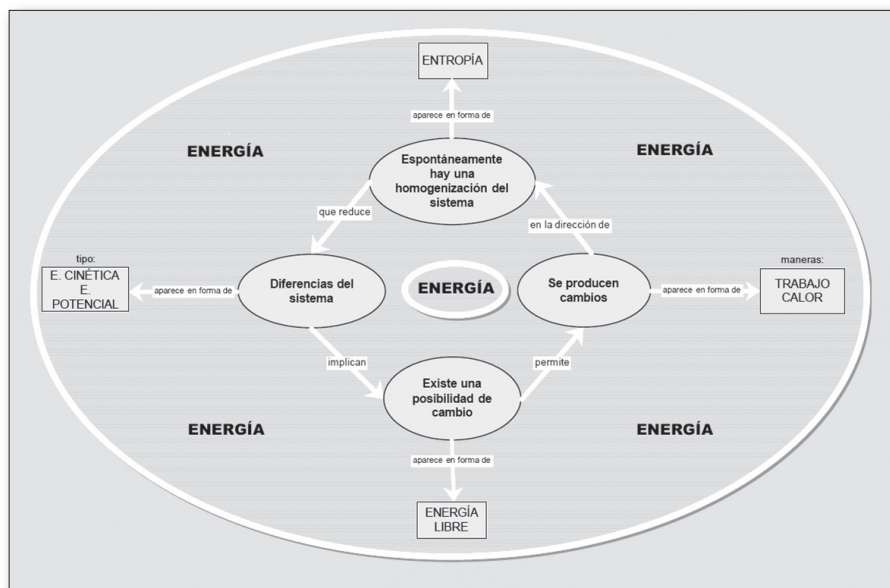


Fig. 5. Propuesta de visión entrópica de la nutrición celular.

Es necesario, pues, continuar la investigación. Replantear la manera tradicional de estudiar los procesos naturales como la nutrición celular para hacerlo desde una mirada más entrópica, y ver si este acercamiento facilita o no la comprensión de dichos procesos biológicos. Y, de igual manera como

se ha hecho en el campo de la física, es necesario preparar materiales didácticos que contemplen esta visión de la energía biológica e investigar con qué dificultades se va encontrando el alumnado al construir estas ideas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, L.W. y KRATHWOHL, D. (eds.) (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: a Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman.
- BARAK, J., GORODETSKY, M. y CHIPMAN, D. (1997). Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. *International Journal of Science Education*, 19 (1), pp. 21-30.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069970190102>
- BARAK, J., SHEVA, B., GORODETSKY, M. y GURION, B. (1999). As 'process' as it can get students' understanding of biological processes. *International Journal of Science Education*, 21 (12), pp. 1281-1292.
<http://dx.doi.org/10.1080/095006999290075>
- ÇAKIR, Ö., GEBAN, Ö. y YÜRÜK, N. (2002). Effectiveness of conceptual change text oriented instruction on students' understanding of cellular respiration concepts. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 30 (4), pp. 239-243.
<http://dx.doi.org/10.1002/bmb.2002.494030040095>
- CHABALENGULA, V., SANDERS, M. y MUMBA, F. (2012). Diagnosing students' understanding of energy and its related concepts in biological context. *International Journal of Science Education*, 10 (2), pp. 241-266.
- DÁVILA, K. y TILANQUER, V. (2010). Classification of end-of-chapter questions and problems in general chemistry textbooks in the US. *Journal of Chemical Education*, 87 (1), pp. 97-101.
- DOMÉNECH, J.L., GIL-PÉREZ, D., GRAS, A., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, 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.
- DOMÉNECH, J.L., LIMIÑANA, R. y MENARGUES, A. (2013). La superficialidad en la enseñanza del concepto de energía: una causa del limitado aprendizaje alcanzado por los estudiantes de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (3), pp. 103-119.
- DUIT, R. (1984). Learning the energy concept in school – empirical results from The Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, pp. 59-66.
<http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/19/2/306>
- DUIT, R. (1986). In search of an energy concept. En R. Driver y R. Millar (eds.). *Energy matters*. Leeds: University of Leeds.
- DUIT, R. (1987). Should energy be illustrated as something quasi material? *International Journal of Science Education*, 9 (2), pp. 139-145.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069870090202>
- DUIT, R. y VON RHÖNECK, C. (1998). Learning and understanding key concepts in electricity. En A. Tiberghien, E. Jossem y J. Barojas (eds.). *Connecting research in physics education*. International Commission on Physics Education.
- ELLSE, M. (1988). Transferring not transforming energy. *School Science Review*, 69 (248), pp. 427-437.
- FERREIRO, G. y OCCELLI, M. (2008). Análisis del abordaje de la respiración celular en textos escolares para el Ciclo Básico Unificado. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 7, pp. 387-398.
- GARCÍA, M.P. (2005). Los modelos como organizadores del currículo en Biología. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, setiembre 2005. Granada.

- GAYFORD, C. (1986). ATP; A coherent view for school Advanced level studies in biology. *Journal of Biological Education*, 20 (1), pp. 27-32.
<http://dx.doi.org/10.1080/00219266.1986.9654772>
- GAYFORD, C.G. (1986). Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology. *European Journal of Science Education*, 8 (4), pp. 443-450.
<http://dx.doi.org/10.1080/0140528860080410>
- HOFFMEYER, J. (1998). Surfaces inside surfaces, on the origin of agency and life. *Cybernetics & Human Knowing*, 5(1), pp. 33-42.
- IZQUIERDO, M., MÁRQUEZ, C. y GOUVEA, G. (2008). A Proposal for Textbooks Analysis: Rhetorical Structures. *Science Education International*, 19 (2), pp. 209-218.
- JOU, D., LLEBOT, J. y PÉREZ, C. (1994). *Física para las ciencias de la vida*. Madrid: McGraw Hill/ Interamericana de España, S.A.
- KESIDOU y DUIT (1993). Student's conceptions of the Second Law of Thermodynamics-An interpretative Study. *Journal of Research in Science Education*, 30 (1), pp. 85-106.
- LIN, C. y HU, R. (2003). Student's understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis and respiration. *Internatiuonal Journal of Science Education*, 25 (12), pp. 1529-1544.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069032000052045>
- LIU, X., EBENEZER, J. y FRASER, D.M. (2002). Structural characteristics of university engineering students' conceptions of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(5), pp. 423-441.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.10030>
- MARGALEF, R. (1980). *La biosfera entre la termodinámica y el juego*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.
- MARGALEF, R. (1986). *Ecología*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.
- MARTÍN, C., PRIETO, T. y JIMÉNEZ, Á. (2013). El problema de la producción y el consumo de energía: ¿Cómo es tratado en los libros de texto de educación secundaria? *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), pp. 153-171.
- MELILLÁN, C. y VEGA, R. (2006). Las Concepciones de los estudiantes sobre la fotosíntesis y la respiración: en el campo de la enseñanza y el aprendizaje. *Investigación didáctica*, 24(3), pp. 401-409.
- MERINO RUBILAR, C. (2009). *Aportes a la caracterización del modelo cambio químico escolar*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, Disponible en línea: <<http://www.tdx.cat/browse?value=Merino+Rubilar%2C+Cristian+Gonzalo&type=author>>.
- MILLAR, R. (2005). *Teaching about energy*. York: University of York. Disponible en línea: <https://hertsscietalk.pbworks.com/f/sci_sfr_cells_app_3_robin_millar0058709.pdf>.
- MOROWITZ, H.J. (2002). *The emergence of everything: How the world became complex*. Oxford: Oxford University Press, USA.
- OCELLI, M. y VALEIRAS, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), pp. 133-152.
- OGBORN, J. (1986). Energy and fuel-the meaning of 'the go of things'. *School Science Review*, 68 (242), pp. 30-35.
- OGBORN, J. y MARIANI, M.C. (1990). Common sense reasoning about conservation: the role of action. *International Journal of Science Education*, 12 (1), pp. 51-66.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069900120105>
- PATIÑO, J.F. (2006). *Metabolismo, nutrición y shock*. Bogotá: Editorial Medica Internacional Ltda.
- PÉREZ-LANDAZÁBAL, M.C., VARELA, M.P. y FAVEIRES, A. (2000). La energía en las aulas: un puente entre la ciencia y la sociedad. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 24, pp. 18-29.
- PINTÓ, R. (1991). *Algunos conceptos implícitos en la primera y segunda leyes de la termodinámica*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

- PUEYO, S. (2003). *Irreversibility and Criticality in the Biosphere*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. Disponible en línea: <<http://www.tdx.cat/browse?value=Pueyo+Punt%C3%AD%2C+Salvador&type=author>>.
- SAGLAM-ARSLAN, A. (2010). Cross-grade comparison of students' understanding of energy concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 19, pp. 303-313.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10956-009-9201-3>
- SEXL, R.U. (1981). Some observations concerning the teaching of the energy concept. *European Journal of Science Education*, 3(3), pp. 285-289.
<http://dx.doi.org/10.1080/0140528810030305>
- SOLOMON, J. (1982). How children learn about energy or Does the first law come first? *School Science Review*, 63 (224), pp. 415-422.
- SOLOMON, J. (1983). Learning about energy: How pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5 (1), pp. 49-59.
<http://dx.doi.org/10.1080/0140528830050105>
- SOLOMON, J. (1985). Teaching the Conservation of Energy. *Physics Education*, 20 (4), pp. 165-70.
<http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/20/4/307>
- TEIXEIRA, F. (2000). What happens to the food we eat? Children's conceptions of the structure and function of the digestive system. *International Journal of Science Education*, 22 (5), pp. 507-520.
<http://dx.doi.org/10.1080/095006900289750>
- WARREN, J.W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4(3), pp. 295-297.
<http://dx.doi.org/10.1080/0140528820040308>
- WATTS, D.M. y GILBERT, J.K. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10(1), pp. 61-98.
<http://dx.doi.org/10.1080/03057268308559905>

How is energy conceptualized in biology units?

M. Pérez Murugó

Institut Manolo Hugué. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals UAB
mpere599@xtec.cat

A. Marbà Tallada, M. Izquierdo

Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals UAB
anna.marba@uab.cat, merce.izquierdo@uab.cat

The present paper considers the biological approach of the concept of energy found in textbooks.

Energy is a scientific term with a strong presence in our daily lives. Despite this, there are many difficulties detected in the understanding of the concept, and also in the interpretation of natural phenomena related to it such as cellular nutrition. Although there is little work done from biology didactics, there have been numerous discussions on this issue from the physics didactics, which have led to different definitions of energy. The oldest definition explains energy as a substance that flowed from one place to another. By using a definition equivalent to the everyday meaning of the term energy, it seemed that it could facilitate its learning (Duit, 1987), but it was far from the scientific concept of energy. This view was overcome by the one that compared energy to *'gasoline or fuel'*, implying that energy is used and consumed but not preserved. Subsequently, it was proposed to consider energy as a direct result of changes. This definition can be valid in dynamics but not in thermodynamics, as it doesn't contemplate the fact that not all energy is used to do work (Sextl, 1981; Duit, 1986).

Already in 1986 Ogborn proposed seeing energy as a feature. This meant talking about conservation, degradation, transfer and transformation (Duit, 1986). But even speaking in these terms, it was found that students still perceived energy as a 'fuel' needed for transformations (Duit, 1986; Ogborn, 1986; Painted, 1991). It was suggested that if the students continued to present difficulties in understanding despite the correction of the proposal (from a scientific point of view), perhaps the problem was not in the definition of energy, but in the concept itself. It was questioned whether what was taught was indeed referring to energy or entropy (Solomon, 1982; Duit, 1984; Ogborn, 1990).

Based on previous literature and to identify how energy is characterized in biology textbooks, we established two research questions: How do biology textbooks define energy? What is the relationship between the cognitive demand of the exercises and the energy concept presented?

In order to resolve the first issue, four publishing proposals were analysed in reference to the process of cellular nutrition. Energy plays a key role in the understanding of this central theme of the discipline and it repeats itself throughout the educational cycle. The units related to definition were classified into five categories constructed inductively and based on the definitions of energy proposed by Watts (1983) and adapted by Gayford (1986): Flow, Storage Product, Feature and Entropy.

To answer the second research question we analysed the exercises at the end of the unit following Davila and Talanquer's proposal (2010).

From the analysis of the data we found that although the word energy appears repetitively in the texts and the exercises, the books analysed do not address cellular nutrition with a physiological perspective based on the concept of energy. Instead, they focus more on an anatomical perspective where the word energy is present but does not appear to be the centre of the process as it would be expected.

The idea of energy addressed in the textbooks is not constant even within the same unit. We observed a multiplicity relative to the energy concept in the text and in the exercises. This variety of definitions could hamper the modelling of the studied system (Merino, 2009). So the visions of energy flow, storage and product are majority (despite being visions not accepted neither as scientifically nor as didactical); while defining energy as a feature (scientifically accepted) is a minority; and the entropic vision (the latest proposal from the didactics of physics) is totally absent.

From our perspective and building upon the defence of the didactics of physics of working the concept of entropy in the classroom, we could consider, as Margalef (1986) proposed, studying living organisms or ecosystems from the point of view of entropy to facilitate the understanding of phenomena such as cell structure and energy transfer in ecosystems without falling into the materialization of the concept. As Lin (2003) proposed, an approach from the second law of thermodynamics could allow a more open and integrated knowledge of biology.

It is necessary to continue research. We need to rethink the way we study natural processes as cellular nutrition from a more entropic point of view; and see whether or not this approach facilitates the understanding of these biological processes.