

El concepto de energía en Biología.
Su uso en estudiantes de Profesorado

Nazira Píriz Giménez ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ y María Noel López ⁽¹⁾⁽³⁾

(1) Instituto de Profesores “Artigas”

(2) Profesorado Semipresencial.

(3) Unidad de Enseñanza de la Biofísica para la formación del Profesorado (UDEBIOP), Consejo de Formación en Educación (CFE).

Resumen

Investigadores de la Enseñanza de las Ciencias han reportado diversas dificultades en torno a la enseñanza y aprendizaje de la energía, la materia, y sus transformaciones. Una de las características fundamentales de los seres vivos radica en constituir sistemas abiertos que intercambian materia y energía con el entorno, por lo que las transformaciones de energía constituyen un concepto estructurante en la formación del Profesorado en Ciencias biológicas. El presente trabajo de investigación se propuso dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿utilizan espontáneamente los estudiantes de Biología, el término “energía” para la descripción o explicación de procesos biológicos?; en los casos en que lo utilizan, ¿cómo lo hacen?, ¿plantean claramente las transformaciones de energía? Se propuso un estudio cualitativo consistente en un análisis documental de parciales y exámenes de la asignatura Biofísica de Profesorado en Ciencias biológicas en relación a una misma unidad temática del programa, habiéndose elegido algunas preguntas en las que la consigna solicitara expresamente el uso del término “energía”, y otras en las que no se realizó dicha solicitud. Los resultados muestran que los estudiantes no utilizan espontáneamente el término “energía” y suelen evitar responder preguntas en las que se solicita expresamente su utilización. Adicionalmente, en los casos en que lo utilizan, muy frecuentemente usan expresiones incorrectas como “consumo de energía” o “gasto de energía”, que evidencian la no conceptualización del Principio de conservación de la energía.

Introducción

La formación de ciudadanos capaces de tomar decisiones responsables constituye uno de los objetivos fundamentales de los sistemas educativos. En el mundo actual, el problema energético constituye un tema de interés general y factor común en las agendas políticas de diversos países. Como educadores cabe preguntarnos: ¿cómo está preparando el Sistema educativo a la ciudadanía en este tópico? En particular, como docentes de una ciencia natural, la Biología, nos cuestionamos, ¿qué jerarquía le damos a conceptos tan esenciales como lo son las transformaciones de materia y energía en la enseñanza de la Biología?, y ¿qué tan claros se expresan dichos conceptos en textos y cursos?

Investigadores de la Enseñanza de las Ciencias han reportado diversas dificultades en torno a la enseñanza y aprendizaje de la energía, la materia, y sus transformaciones (Pacca y Henrique, 2004; María Claudia Solarte, 2006) reporta la diversidad de definiciones del término “energía” en libros de texto de Física, Química y Biología, como un factor que dificulta su comprensión en el estudiantado y también en maestros de Ciencias. García de Cajén y Domínguez Castiñeiras (2009) concluyen dificultades en el profesorado en Física para el desarrollo de las actividades discursivas en relación a las transformaciones de energía. Solves y Tarín (1998) hacen una revisión de dificultades diversas denunciadas por múltiples investigadores en relación a confusión y manejo inadecuado de términos. En particular nos interesa citar: - el considerar que la energía puede gastarse o almacenarse, - confundir las formas de energía con sus fuentes; - el asociar trabajo con esfuerzo; - el no activar los esquemas de transformación, conservación, transferencia y degradación de la energía.

Otra de las dificultades en la enseñanza del concepto de energía, radica en su abordaje mecanicista, no contribuyendo a su conceptualización subyacente a diferentes temas, que el estudiante no logra vincular (Perrotta y cols., 2008).

Las transformaciones de energía que tienen lugar en los organismos vivos son un área sustancial de estudio de la Biofísica. Como docentes de esta asignatura nos preguntamos ¿cuánto logran comprender los estudiantes de Biología, las transformaciones de energía subyacentes a diversos procesos biológicos?, ¿les es familiar a los estudiantes el término “energía”?, ¿lo utilizan para la descripción o explicación de procesos biológicos?, ¿cómo utilizan dicho término?

El presente trabajo constituye un avance de investigación que pretende dar respuesta a algunas de dichas preguntas.

Metodología

Las preguntas de investigación planteadas fueron las siguientes: - en procesos biológicos en los que subyace una transformación de energía, ¿utilizan espontáneamente los estudiantes de Biología, el término “energía”?; - en los casos en que lo utilizan, ¿cómo lo hacen?, ¿plantean claramente las transformaciones de energía?

Se realizó un estudio cualitativo que consistió en un análisis documental de parciales y exámenes de la asignatura Biofísica de Profesorado en Ciencias

biológicas, del Instituto de Profesores “Artigas” y de Profesorado Semipresencial. Se propuso que las preguntas seleccionadas para su análisis correspondieran a una misma unidad temática del programa de Biofísica, (transporte de solutos a través de membranas biológicas), habiéndose elegido algunas preguntas en las que la consigna solicitara expresamente el uso del término “energía”, y otras en las que no se realizó dicha solicitud. En todos los casos debía haber una transformación de energía subyacente al proceso biológico abordado en las preguntas.

Marco teórico

Desarrollaremos a continuación los fundamentos teóricos que permiten vincular procesos biológicos del tópico elegido, con el principio de conservación de la energía.

En relación al transporte de solutos a través de membranas celulares

Los seres vivos somos desde el punto de vista termodinámico sistemas abiertos, puesto que intercambiamos con el medio, materia y energía. Dicho intercambio posibilita el mantenimiento de la estructura y funcionamiento de los organismos vivos.

La célula es la unidad funcional de los organismos vivos, y ésta se encuentra delimitada de su entorno por una membrana celular, que juega un papel crucial en la determinación de qué sustancias (solutos) se intercambian con el entorno.

Existen diferentes tipos de transportes de solutos a través de las membranas biológicas. Una clasificación los categoriza en transportes pasivos y activos, dependiendo de que se utilice energía potencial (en los pasivos) o energía aportada externamente al sistema (en los activos). Se dice que el transporte pasivo ocurre a favor de gradiente electroquímico, puesto que la energía que hace posible el proceso es en términos generales química y eléctrica. Por contraparte, se define como transporte activo aquél que ocurre en contra de gradiente electroquímico. Mientras el transporte pasivo es un proceso espontáneo, el activo no lo es. En ambos casos, la energía posibilita el transporte, de manera que hay una transformación de energía en trabajo. Dicho trabajo consiste en el propio pasaje de solutos a través de la membrana celular.

Adicionalmente, interesa mencionar que en el caso de los transportes pasivos de iones (solutos con carga eléctrica) inorgánicos y pequeños, la tendencia al escape del ión puede calcularse mediante la diferencia entre el potencial de membrana y el potencial de equilibrio electroquímico del ión ($V_m - E$). Dicha diferencia es lo que se denomina “fuerza impulsora” para el ión.

Por otra parte, los transportes activos pueden ser primarios y secundarios. A los efectos del trabajo aquí presentado interesa mencionar que los transportes que acoplan el pasaje activo de un soluto al pasaje pasivo de otro, se denominan transportes acoplados y constituyen procesos activos secundarios.

Resultados encontrados y su análisis

Plantaremos separadamente las preguntas seleccionadas, presentando su consigna, respuestas esperadas, respuestas encontradas, y comentarios resultantes del análisis.

Pregunta 1) La pregunta hace referencia al transporte de iones a través de las membranas celulares. Transcribimos la parte de la pregunta analizada.

Decir si los siguientes enunciados son verdaderos o falsos y justificar todas las opciones:

a) El hecho de que un ión se transporte en forma pasiva a través de sus canales, implica una transformación de energía potencial (química y eléctrica) en trabajo que posibilita el desplazamiento de los iones.

El enunciado presentado es correcto y su justificación implica aludir al gradiente electroquímico de los iones y su vinculación con la energía potencial. Se obtuvo un total de 7 respuestas: 3 correctas y 4 incorrectas. De estas últimas presentamos sólo 3, dado que la cuarta presenta una justificación que no corresponde (fuera de tema).

Las respuestas seleccionadas para su análisis son las siguientes:

- *“Falso. La electrodifusión a través de iones es pasivo (espontáneo) y la fuerza impulsora es $V_m - E$ (tendencia al escape).”*
- *“No; requiere energía libre aportada por el soluto que será energía potencial química y eléctrica.”*
- *“Falso. El transporte pasivo se da por la diferencia entre V_m y E .”*

De las respuestas presentadas planteamos las siguientes reflexiones en relación al pensamiento de los estudiantes:

- No se logra conceptualizar que un gradiente electroquímico calculado como una diferencia de potenciales eléctricos ($V_m - E$) tiene connotaciones energéticas.
- No se logra conceptualizar que el hecho de que un soluto se transporte gracias a su tendencia al escape, tiene connotaciones energéticas.
- El pasaje de solutos a través de la membrana celular no se asocia con la realización de trabajo y a partir de esta idea, con una transformación de energía.

Nos preguntamos si la realización de trabajo se asociará con procesos activos y si existe la concepción de que un proceso pasivo (espontáneo) no puede considerarse trabajo desde el punto de vista termodinámico. Una posible explicación subyacente podría radicar en la asociación popular entre trabajo y esfuerzo, denunciada por Solbes y Tarín (1998).

Pregunta 2)

La figura representa la concentración de *Hoxd13* en una de las dimensiones de un embrión de *Drosophila* (en esta etapa embrionaria, el mismo constituye un único compartimento). El perfil de concentraciones mostrado en el gráfico persiste en el tiempo, y es clave para la morfogénesis del embrión. Sustancias como el *Hoxd13* son denominadas “morfógenos” debido a que su gradiente de concentración es determinante en la embriogénesis.

Los autores del artículo del que fue tomada esta figura dicen: “Estamos tan interesados en comprender cómo el gradiente de concentración determina la morfogénesis del embrión, como de comprender de qué manera se mantiene dicho gradiente de concentración”.

a) ¿Por qué los autores consideran que debe haber una explicación para mantener el gradiente de concentración de *Hoxd13*? Elaborar un párrafo breve que lo explique y que incorpore los términos “energía” y “espontaneidad”.

La pregunta propone un enunciado correcto (el propuesto por los investigadores a quienes se hace referencia) para analizar desde el punto de vista termodinámico. Cabe aclarar que se trata de una pregunta de alta complejidad que indaga en la comprensión profunda de un proceso espontáneo como la difusión simple. La dificultad radica tanto en que la espontaneidad de los procesos constituye en sí mismo un concepto complejo, como por el hecho de que la indagación en él se ha planteado desde una situación particular vinculada a la Biología general como lo es la embriogénesis. La resolución de esta situación requiere no sólo de contar con la información teórica sino haber incorporado los conceptos mencionados para luego utilizarlos. Creemos que esta es la razón por la que fue respondida mayoritariamente en forma errónea o confusa. De un total de 32 respuestas, las seleccionadas para su análisis fueron las siguientes:

- “Porque en los transportes pasivos se tiende a ir de un estado de desequilibrio a uno de equilibrio hasta igualar las concentraciones; es un proceso espontáneo que no requiere aporte de energía, sino que disipa la energía acumulada. Por ello es raro que se mantenga un mismo gradiente.”
- “Porque generalmente el gradiente de concentración se disipa con el pasar el tiempo. El gradiente de concentración se disipa de la zona más concentrada a la más diluida, con espontaneidad, siendo la energía utilizada la propia del soluto.”
- “El perfil de concentraciones de *Hoxd13* muestra una variación continua, al tratarse de un proceso espontáneo ya que utiliza la energía interna del sistema”.
- “... En cuanto a la gráfica, decimos que fue sacada en un momento dado pero si la volvemos a mirar en otro momento veremos lo mismo ya que la tendencia al escape se mantiene invariable en el tiempo.”
- “... El soluto realiza un movimiento espontáneo y sin gastos de energía...”
- “...Cuando los solutos se transportan de donde hay mayor concentración a donde hay menor concentración, hablamos de un transporte espontáneo a favor de gradiente de concentración pudiendo ser este con gasto o sin gasto de energía.”

- *“Los autores consideran que debe de haber una explicación para mantener el gradiente de concentración, porque las concentraciones se mantienen de forma espontánea, es decir sin gasto de energía según las imágenes.”*
- *“... Al ser un proceso con espontaneidad, la energía de los solutos es la fuente para realizar el trabajo. En los procesos espontáneos hay pérdida de energía libre, llamado también fuerza de Gibbs. Es un tipo de transporte pasivo.”*
- *“...el gradiente de concentración va a ser el que determine la espontaneidad de esos procesos y que se lleven a cabo sin consumo de energía externa. Si dicho gradiente no se mantuviera el proceso dejaría de ser espontáneo...”*

La decisión de descartar el resto de las respuestas radicó en un único caso, en que la respuesta era correcta. En las demás 22 respuestas, los relatos eran confusos o fuera de tema, y no constituían un aporte a la discusión.

De las respuestas presentadas planteamos las siguientes reflexiones en relación al pensamiento de los estudiantes:

- En varias ocasiones los estudiantes expresan que la energía “se consume”. Nos preguntamos si subyacente a esta idea no existe la concepción de que la energía se “gasta”, término que también fue utilizado por algunos estudiantes en otras respuestas.
- Aparece la expresión de que la energía se “pierde”, lo que implica no haber interiorizado el Principio de conservación de la energía, que plantea que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.
- En varias ocasiones los estudiantes refieren que ciertos procesos “utilizan” energía. Nos preguntamos qué se comprende por utilización de energía. No se explicita que la utilización implique una transformación de energía en otras formas.
- En varios casos se expresa que los procesos espontáneos no requieren energía.
- En algunos casos resulta claro que no se comprende la espontaneidad de los procesos y su irreversibilidad, lo que a nuestro entender radicaba en la mayor dificultad de la pregunta.

Pregunta 3) Se refiere al transporte de solutos a través de las membranas celulares. Transcribimos parte de ella:

El ingreso a la glándula tiroides del ión yoduro (I^-) es esencial para la síntesis de hormonas tiroideas en mamíferos. Tal ingreso se produce en las células foliculares de la glándula, a través de una proteína ubicada en la membrana basal que acopla el ingreso de un ión I^- al de dos iones Na^+ . Dicho transportador (NIS) permite el ingreso pasivo de Na^+ a las células, y se encuentra regulado por la hormona TSH (tirotrófina).

a) Clasificar el transporte de ión yoduro (I^-) permitido por NIS en pasivo, activo primario o activo secundario. Elaborar una justificación que incorpore el término “energía”.

b) Decir para el Na^+ y el I^- si presentan tendencia al escape en la situación planteada. Justificar.

La parte a) de la pregunta fue respondida mayoritariamente en forma adecuada, incluyendo la utilización del término “energía” en la justificación. De esta manera, la gran mayoría de estudiantes categoriza al transporte de yoduro correctamente como activo secundario, en tanto que se trata de un proceso acoplado al pasaje pasivo de iones sodio por un mismo transportador. Cabe destacar que se reitera la expresión “utiliza energía”, y que no se explicita una transformación de energía, en ningún caso.

No obstante el éxito relativo en la respuesta a la opción a), la opción b) nos permite profundizar en el grado de comprensión de los estudiantes, en tanto que hace posible vincular la “tendencia al escape” de los solutos e implícitamente su energía potencial, con la clasificación analizada en el ítem a) de la pregunta. Se espera que los estudiantes comprendan que dado que en un transporte activo el soluto se transporta en contra de su gradiente electroquímico, dicho pasaje ocurre: - o bien en el sentido opuesto al que tendría en forma espontánea, - o en cualquier sentido si el soluto estuviera en equilibrio termodinámico en la situación inicial. En la situación problema planteada, el yoduro ingresa en contra de gradiente electroquímico, y dado que no se encuentra en equilibrio en las células, su tendencia es a egresar de ellas.

En el análisis de estas respuestas seleccionamos las siguientes justificaciones para su análisis:

- *“El Na^+ ingresa en forma pasiva, a favor de gradiente electroquímico y presenta tendencia al escape lo cual está dado por dicho gradiente. El ión tiende a entrar a la célula. El movimiento del ión I^- no está dado por su gradiente de potencial electroquímico, sino por el funcionamiento de la proteína transportadora por lo que en esta situación no podemos decir que tiene tendencia al escape.”*
- *“El Na^+ presenta tendencia al escape a favor de su gradiente electroquímico, y el ión yoduro no, pues se transporta en contra de su gradiente electroquímico.”*
- *“El Na^+ tiende a ingresar y depolarizar la membrana mientras que el I^- no tiene tendencia al escape.”*
- *“Ambas sustancias presentan tendencia al escape. Ambos tienden a ingresar a la célula folicular de la glándula.”*

Del análisis de estas respuestas destacamos lo siguiente:

- Llama la atención en el primer caso, que el estudiante atribuye el sentido del flujo de yoduro a la proteína transportadora. Por otra parte, en varios casos resulta claro que (aún cuando el estudiante asocia el gradiente electroquímico con la tendencia al escape), no se logra comprender que la existencia de un transporte activo (proceso no espontáneo) no contradice que el soluto tenga tendencia en este caso a salir de la célula.

- En la última respuesta, si bien el estudiante había respondido en forma correcta la parte a) de la pregunta, es decir que categorizó al transporte de yoduro como activo secundario, lo expresado en la parte b) muestra una contradicción conceptual, en tanto que un transporte activo no es espontáneo y no utiliza energía potencial. Posiblemente este tipo de respuestas corresponda a una forma mecanicista o reproductiva de responder en la primera parte, sin que el estudiante logre una

conceptualización cabal de las transformaciones de energía que se producen en los procesos estudiados, y mostrando una contradicción en sus respuestas.

- Destacamos asimismo que en las respuestas a la opción b), no aparece la utilización del término “energía”.

Pregunta 4)

Los transportes de solutos a través de membranas celulares pueden ser pasivos o activos dependiendo de si se producen a favor o en contra de gradiente electroquímico, respectivamente. Explique en base a una clara fundamentación:

- *Para un soluto con carga eléctrica neta distinta de cero, ¿en qué condiciones dicho soluto tiene tendencia al escape?*

De un total de 16 respuestas, 7 fueron descartadas por ser confusas o fuera de tema. De las restantes 9, 5 fueron incorrectas, mostrando contradicciones así como la no comprensión del concepto de “fuerza impulsora” para un ión. Cabe destacar también que en ninguno de estos casos los estudiantes utilizaron el término “energía”. Las respuestas seleccionadas para su presentación y análisis fueron en este caso las correctas, y son las siguientes:

- *“El ión tiene tendencia al escape cuando el E_m distinta de $E_{i\text{ón}}$ (potencial de membrana distinta al potencial electroquímico del ión). Si $E_m - E_{i\text{ón}}$ diferente de cero existe una fuerza impulsora que lleva al ión a entrar o salir de la célula. $I = (E_m - E_{i\text{ón}}) \cdot G$ ”.*
- *“El soluto tiene tendencia al escape cuando su valor de potencial de equilibrio electroquímico del ión (solute) está alejado del valor de voltaje de membrana en reposo (V_m) para ese ión.”*
- *“Un soluto con carga neta distinta de cero tiene tendencia al escape siempre que el V_m de reposo sea distinto al potencial de equilibrio del ión y que la E_{PT} intracelular sea distinta de la E_{PT} extracelular.”*
- *“Cuando $V_m - E_x$ es distinto de cero. Si el potencial de membrana es numéricamente igual al potencial de equilibrio del ión, entonces el flujo neto del ión es nulo. No hay tendencia al escape.”*

De las 4 respuestas correctas, únicamente una de ellas menciona el término “energía” (identificado como E_{PT} : energía potencial total). Si bien dicho estudiante utiliza el término en forma correcta, no hace referencia a su transformación o conversión. Interpretamos que el término “energía” no está incorporado en la mayoría de los estudiantes, por lo que no es utilizado en forma espontánea. En los casos en que lo utilizan, no es clara la comprensión de las transformaciones de energía en los procesos biológicos.

Discusión de los resultados

El análisis realizado nos permite identificar diversos problemas en torno a la utilización del término “energía” y su conceptualización, así como de las transformaciones de energía en procesos de transporte a través de membranas biológicas. Ellos son los siguientes:

- En los casos analizados, no se logra conceptualizar que un gradiente electroquímico calculado como una diferencia de potenciales eléctricos ($V_m - E$) tiene connotaciones energéticas. Esto se evidencia tanto por la no utilización en forma espontánea por parte de los estudiantes del término “energía” en preguntas en las que no se solicita expresamente su utilización, como por las respuestas que niegan la transformación de energía en trabajo, en el transporte pasivo de iones.
- Accesoriamente, tampoco se logra conceptualizar que el hecho de que un soluto se transporte gracias a su tendencia al escape, tiene connotaciones energéticas.
- En varias ocasiones los estudiantes expresan que la energía “se consume”, “se pierde” o “se utiliza”. Los primeros dos términos evidencian la no conceptualización de que la energía no se crea ni se destruye sino que sólo se transforma. En el caso de la expresión “se utiliza”, nos preguntamos qué se comprende por ello puesto que no se explicita que utilización de energía implique su transformación.
- En varios casos se expresa que los procesos espontáneos no requieren energía. Estas ideas son antagónicas con el hecho de que todo proceso espontáneo transforma energía potencial en trabajo.

Conclusiones y nuevas preguntas

De los resultados analizados concluimos:

- En términos generales, los estudiantes no utilizan espontáneamente el término “energía” aunque el proceso biológico que explican implique una transformación de energía. Mayoritariamente utilizan dicho término únicamente cuando se lo solicita expresamente en la consigna. Adicionalmente, destacamos también la alta frecuencia de estudiantes que evitan responder preguntas en las que se les solicita la utilización del término “energía” en las justificaciones. Esto se vio en preguntas opcionales no elegidas o en respuestas incompletas en las que se omiten las opciones que hacen referencia a la “energía” (datos no incluidos). Interpretamos que estos resultados evidencian inseguridad en los estudiantes en relación al concepto de “energía”, lo que se traduce tanto en la no utilización espontánea del mismo, como en el evitar responder ciertas preguntas.
- En los casos en que se utiliza el término “energía”, son excepcionales las respuestas en las que se explicita una transformación de energía. Mayoritariamente aparecen expresiones incorrectas como “consumo de energía” o “gasto de energía”. Queda la duda de qué se comprende por “utilizar energía”.

Del análisis de los resultados planteamos las siguientes preguntas a indagar en futuros trabajos: ¿qué se comprende por “utilizar energía”? ¿existe el concepto de que sólo se produce trabajo en procesos activos?, ¿creen los estudiantes que en los procesos espontáneos no se realiza trabajo?, ¿es posible que en procesos biológicos más vinculados con la vida cotidiana, las transformaciones de energía resulten más fáciles de identificar (en particular en procesos que dependen de la contracción muscular)?

Referencias bibliográficas

García de Cajén, S. y Domínguez Castiñeiras, J (2009) *Perfil argumentativo del Profesorado cuando resuelve un problema real sobre la transformación de energía eléctrica*. VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Barcelona.

Pacca, J. y Henrique, K. (2004) *Dificultades y estrategias para la enseñanza del concepto de energía*. Enseñanza de las Ciencias, 22(1), 159–166.

Perrota MT, Dima GN, Capuano VC, Botta IL, Follari B, De la Fuente AM y Gutiérrez EE. (2009) *La energía. Planificación, aplicación y evaluación de una estrategia didáctica para un curso universitario de Física Básica en carreras de Ciencias Naturales*. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 3, No. 2., 350-360.

Solarte, María Claudia E (2006). *Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica*. Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa [en línea]. Vol.1, No.4

Solbes, J y Tarín F (1998). *Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía*. Enseñanza de las Ciencias, 16 (3), 387-397 387