La energía en las reacciones químicas

Lo que piensa el alumnado

Isabel P. Martins
Universidad de Aveiro. Portugal

El tema de la energía de reacción es conceptualmente difícil para el alumnado y sobre él prevalecen varias concepciones alternativas. A partir de un estudio realizado, se identifican cuatro modelos usados para interpretar la energía en las reacciones químicas, los cuales traducen diversas formas de pensar en torno a este tema. Saber en qué consisten y las posibles razones de su existencia es importante en el diseño de estrategias didácticas.

Llicència a Aureli Caamaño Ros

cottonbro en Pexels

PALABRAS CLAVE
- CONCEPCIONES ALTERNATIVAS
- ENERGÍA DE REACCIÓN
- QUÍMICA

Llicència a Aureli Caamaño Ros

La alfabetización científica es un hoy un concepto que ocupa y domina sectores muy diversos de la sociedad y se extiende a la educación. ¿Se trata de un concepto individual o construido socialmente y, por tanto, evolutivo en el tiempo? ¿Cuál es el papel de las distintas disciplinas curriculares en la construcción de una alfabetización científica crítica? Estas cuestiones están en discusión y son de la mayor importancia en la comprensión de los temas sociocientíficos. El conocimiento químico tiene ahí un papel importante que desempeñar.

La reacción química, el enlace químico y la estructura atómica son ideas centrales en química y elementos clave para la comprensión del mundo material de hoy, de cómo fue construido de forma natural o provocada y, en cierta medida, de cómo podrá evolucionar. Por otro lado, materia y energía son conceptos interrelacionados que aparecen pronto en el lenguaje corriente, pero cuya comprensión en el contexto escolar ocurre mucho más tarde. Además, puede incluso afirmarse que para muchas personas tal comprensión conceptual, siquiera en un nivel elemental, prácticamente no existe.

Energía es uno de los términos más usados, ya sea en la vida cotidiana o en contextos y programas escolares: seres vivos y energía, energía de los alimentos, combustibles y fuentes de energía, fotosíntesis, energía solar, materia y radiaciones, o equivalencia masa-energía son ejemplos entre muchos otros. A pesar de que el tema «energía» se introduce en Portugal en los programas educativos a partir de los 10 años, solo más tarde, a los 13-14, se reconoce operacionalmente la existencia de reacciones químicas que dan lugar a un aumento de temperatura (reacciones exotérmicas) o a una disminución (reacciones endotérmicas).

La energía es un bien común, pero es importante percibir de dónde proviene y cómo puede ser utilizada con eficiencia

Recurriendo a modelos cinético-moleculares, los alumnos y alumnas han de ser capaces de interpretar las variaciones de temperatura que acompañan a las reacciones químicas, como aumento de la energía cinético-molecular media por partícula de los productos de reacción (en las reacciones exotérmicas) o como disminución de esta (en las reacciones endotérmicas), en relación con la energía cinético-molecular media de los reactivos. El concepto de energía de enlace, introducido curricularmente dos años más tarde en el programa de Química, permite al alumnado interpretar, desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, que las variaciones de energía cinético-molecular son equilibradas por variaciones contrarias de la energía potencial de enlace del sistema, así como el concepto de balance energético.

La energía es un bien común, pero es importante percibir de dónde proviene y cómo puede ser utilizada con eficiencia en una perspectiva de educar para la sostenibilidad, un principio subyacente a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. El aprendizaje de la química debe constituir una contribución importante para este fin.

¿Cuál debe ser, entonces, la comprensión del alumnado sobre la energía de las reacciones químicas? ¿Qué ideas sustentan incluso después de la enseñanza formal?

Llicència a Aureli Caamaño Ros

LA ENERGÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS EN EL CURRÍCULUM

El estudio sobre modelos interpretativos usados por el alumnado de 9.º (14-15 años) y 11.º (16-17 años) para explicar la energía implicada en las reacciones químicas que aquí se reporta, realizado en la década de los ochenta (Martins, 1989), puede ser todavía relevante para el profesorado e investigadores. Se trata de un estudio empírico, efectuado con alumnos y alumnas portugueses, que, situándose en el ámbito de las concepciones alternativas, permitió identificar ideas aún no descritas en la literatura especializada relativas al modo en que interpretaban «la energía de las reacciones químicas», a través de diferentes tareas: familiares en la vida cotidiana y académicas; endotérmicas y exotérmicas; espontáneas e iniciadas.

Para comprender el tipo de concepciones alternativas identificadas, describiremos primero las interpretaciones que se preveían para cada año de escolaridad en los programas escolares vigentes de aquella época, las cuales son todavía válidas hoy. Nótese que la interpretación del componente energético de las reacciones químicas no puede ignorar el componente estructural de las mismas.

- *Punto 1.* Una reacción química implica la no conservación de las unidades estructurales de los reactivos y la formación simultánea de las unidades estructurales de los productos de reacción. Existe una diferencia entre las respuestas adecuadas en los dos cursos en lo que se refiere a la especificación de las unidades estructurales y la naturaleza y tipo de las uniones o interacciones intra e intermoleculares.
- *Punto 2.* La interpretación adecuada de los aspectos energéticos implica la comparación de dos subsistemas, reactivos y productos de la reacción, que forman parte de un proceso simultáneo. El balance energético depende de la ruptura y formación de uniones químicas (intra e intermoleculares) que tienen lugar globalmente.

En el 9.º año es adecuado considerar que las reacciones endotérmicas ocurren con disminución de la temperatura como consecuencia de la absorción de energía, lo que da lugar a un sistema final cuya energía cinética media por partícula es menor en relación con la energía cinética media por partícula del sistema inicial.

En las reacciones exotérmicas ocurre un aumento de la energía cinética media por partícula del sistema final en relación con la del sistema inicial, con la consecuente transferencia de energía, en forma de calor, hacia el exterior, en caso de que el sistema no se encuentre aislado.

En el 11.º año la variación de la energía es interpretada en términos de la modificación que tiene lugar en el sistema de enlaces químicos. La ruptura y la formación, simultánea, de los enlaces químicos se acompañan de intercambios de energía: en la ruptura hay consumo de energía (proceso endoenergético) y en la formación liberación de energía (proceso exoenergético).

En las reacciones endotérmicas, la energía consumida, al final, es superior a la energía liberada, con la consecuente disminución de la temperatura. Cuando la reacción ocurre en un sistema aislado, la disminución de temperatura del sistema es todavía más acentuada. Hay siempre una conservación de la energía total.

En las reacciones exotérmicas, el balance energético es inverso: la energía consumida en la

El análisis permitió la construcción de las categorías de respuesta, a partir de las cuales se definieron las concepciones alternativas

ruptura de los enlaces es inferior a la energía liberada en la formación de los nuevos enlaces. Como consecuencia, hay un aumento de la energía cinético-molecular media por partícula y hay transferencia de energía hacia el exterior, en caso de que el sistema no esté aislado.

LO QUE EL ALUMNADO PIENSA ACERCA DE LA ENERGÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

Las concepciones alternativas identificadas (Martins, 1989) fueron caracterizadas a partir de una muestra de treinta alumnos y alumnas a los que se realizó una entrevista individual en profundidad en torno a cuatro actividades de naturaleza experimental:

1. Cocción de un huevo entero.
2. Combustión del papel.
3. Reacción entre el sodio y el agua.
4. Reacción entre el cloruro de amonio y el agua, en un sistema aislado.

A cada alumno o alumna se le preguntó sobre cada actividad, realizada presencialmente y en el mismo orden. Cada entrevista duró, en promedio, noventa minutos y fue dada por concluida cuando el alumno o alumna declaró que no tenía nada más que añadir.

El análisis del contenido de las respuestas obtenidas permitió la construcción de las categorías de respuesta, a partir de las cuales se definieron las concepciones alternativas del alumnado, independientemente de los aspectos particulares de las actividades.

Se identificaron cuatro concepciones alternativas o modelos de los estudiantes (Martins, 1989):

- Modelo del reactivo principal.
- Modelos secuenciales.
- Modelos de activación.
- Modelo de «estado físico-energía».

Cada concepción alternativa designa una idea que fue identificada en actividades distintas, a pesar de que no necesariamente en el mismo alumno o alumna. La importancia de las concepciones alternativas definidas de este modo resulta de su carácter general, pudiendo funcionar como verdaderos «modelos teóricos» del alumnado, capaces de ser usados en diferentes contextos. De ahí que nos referiremos a ellas también como modelos. Veamos en qué consiste cada uno de ellos.

Modelo del reactivo principal

Este modelo da un papel preponderante, y en ocasiones exclusivo, a uno de los reactivos en el desarrollo de la reacción química. En los aspectos energéticos tal preponderancia puede significar que la energía liberada en la reacción proviene, fundamentalmente, de uno de los reactivos, o que la energía necesaria para que la reacción tenga lugar es absorbida solo por uno de ellos.

Teniendo en cuenta las actividades llevadas a cabo en este estudio, la idea de reactivo principal fue muy preponderante en los casos de la «Combustión del papel» y en la «Reacción del sodio con el agua».

Llicència a Aureli Caamaño Ros

Llicència a Aureli Caamaño Ros

La idea de reactivo principal fue preponderante en los casos de la «Combustión del papel» y en la «Reacción del sodio con el agua»

Es interesante notar que, en términos históricos, esta idea de «reactivo principal» puede ser vista como una versión contemporánea de las ideas defendidas por los alquimistas para explicar fenómenos químicos naturales, en particular las combustiones, como la «teoría de los principios» y la «teoría flogística» del siglo XVIII (Costa, 1988).

Origen del modelo «reactivo principal» y sugerencias didácticas

1. La idea del «reactivo principal» es particularmente relevante en el caso de sistemas heterogéneos, donde la transformación es percibida, sobre todo, en uno de los componentes. En el caso de la reacción de combustión en un sistema abierto el papel es considerado el reactivo principal: es el papel el que se ve arder, la llama está localizada sobre él. En el caso de la reacción entre el sodio y el agua, la llama observada junto al sodio y el movimiento del pedacito de sodio pueden estar en el origen de las ideas del reactivo principal a favor del sodio.
2. Algunos aspectos del lenguaje pueden contribuir probablemente al refuerzo o desarrollo de la idea RP. Por ejemplo, la expresión de uso frecuente «reacción de A con B» puede sugerir una mayor importancia de A en relación con B. La utilización de la expresión «reacción entre A y B» puede ser más adecuada.
3. Probablemente, el modo en que ciertos conceptos hayan sido introducidos en años anteriores pueden tener influencia. Por ejemplo, los conceptos de «combustible» (la sustancia que arde) y de «comburente» (la sustancia que permite desencadenar la combustión: el oxígeno). Es interesante resaltar la intervención del oxígeno como reactivo que se transforma. Referirse nada más a la necesidad de la presencia del oxígeno no es suficiente para que el alumno o alumna comprenda su intervención en el proceso. También los «modelos de estado físico de la materia» pueden estar en el origen de los papeles diferentes otorgados a los reactivos en una reacción de combustión, por ejemplo si se tiene en cuenta que los sólidos poseen más energía que los líquidos o los gases.
4. Las ideas de los alumnos y alumnas pueden, en algún caso, estar guiadas por el conocimiento de la composición molecular del oxígeno y del dióxido de carbono. Para algunos es como si la molécula de O_2 existiese dentro de la molécula de CO_2. Es importante destacar, aunque sea de forma simplificada, que los enlaces entre los átomos son diferentes en una y otra molécula.
5. El uso de la expresión «combustión de…», siempre referida al «combustible», puede acentuar esta idea de que la transformación se produce únicamente en relación con este reactivo, y que él será la fuente de energía.
6. También la escritura de las ecuaciones químicas, presentando los reactivos siempre en determinado orden (el «combustible» antes del oxígeno, o el metal alcalino antes del agua), puede favorecer la idea de un papel más relevante para el primero.

Modelos secuenciales

Estos modelos indican una comprensión de la reacción química como un fenómeno que tiene lugar en dos etapas secuenciales: primero, la ruptura de enlaces en las estructuras de los reactivos; y después, la formación de los nuevos enlaces para obtener los productos de la reacción. No existe, por tanto, interacción entre los dos subsistemas.

Por lo que respecta al componente energético, el uso de un modelo secuencial en la interpretación de lo que ocurre implica la consideración de la energía en los dos o en uno de los sistemas referidos, pudiendo ser del mismo tipo (en ambos absorción o liberación) o de tipo diferente. En ningún caso se observó una comprensión de la transformación de la energía potencial de los enlaces en energía cinética de las partículas, o viceversa, ni de la interacción entre ambas de modo articulado.

Origen de los modelos secuenciales y sugerencias didácticas

1. La interpretación de la energía de la reacción como una transferencia de energía de los enlaces químicos de los reactivos a los enlaces de los productos puede ser debida a una interpretación analógica como la transferencia de energía que tiene lugar en un sistema mecánico, en los choques en cadena. Las moléculas de los reactivos chocan entre sí y la energía es transferida a las moléculas de los productos de la reacción.
2. Las representaciones utilizadas en los manuales escolares de química, del 11.º año, para los dos subsistemas, en que se representan reactivos y productos en niveles distintos de energía, pero desplazados a lo largo del eje de abscisas, puede reforzar la idea de la no interacción entre ellos.
3. Utilizar reacciones instantáneas (por ejemplo, reacciones de precipitación) para discutir el proceso temporal de transformación de un sistema de enlaces químicos puede ser adecuado para contrarrestar las analogías mecánicas.

Modelos de activación

Se identificaron dos tipos de ideas sobre el proceso de activación térmica del sistema:

- *Modelo de activación por acumulación*: la energía de activación entra en el sistema químico, total o parcialmente, y permanece en él, siendo responsable de la transformación observada. La idea de la conservación de la energía no está presente; la energía entra, no puede salir porque el sistema está aislado, y, por eso, aumenta.
- *Modelo de activación por circulación*: la energía de activación entra en el sistema químico y vuelve a salir. Existe un intento de aplicación del principio de conservación, pero aplicado a un sistema abierto: la energía que entra tiene que salir.

En ambos modelos la idea de transformación de la energía está ausente. La utilización de cualquiera de los dos modelos puede tener como consecuencia la dificultad de diferenciar entre reacciones endotérmicas y exotérmicas. También puede suceder que el alumno o alumna considere que una reacción es simultáneamente endotérmica y exotérmica.

Origen de los modelos de activación y sugerencias didácticas

El lenguaje usado en la vida cotidiana cuando se dice, en portugués, «a mata pegou fogo» (literalmente, «el bosque cogió fuego», es decir, el bosque se incendió) podría inducir a pensar que el fuego observado proviene de la llama del agente iniciador. Iniciar la reacción de combustión con diferentes agentes iniciadores, destacando siem-

Llicència a Aureli Caamaño Ros

pre que la energía liberada es independiente de la energía asociada al agente iniciador, podría ser una estrategia apropiada.

Conviene diferenciar energía de activación y energía de reacción. Así, en la reacción de combustión del papel, hay aspectos perceptivos de la actividad que deben ser clarificados: la llama de fósforo utilizada como agente de activación del sistema debe ser diferenciada de la llama del papel que arde.

Modelo del «estado físico-energía»

Según este modelo, la energía del sistema depende esencialmente del estado físico de sus componentes. Se identifican dos tipos de ideas: 1) los sólidos poseen enlaces más fuertes que los líquidos y los gases y, por tanto, tienen más energía; y 2) en los líquidos (y en los gases) existe mayor agitación molecular que en los sólidos, por lo que los primeros presentan mayor energía.

Origen del modelo del «estado físico-energía» y sugerencias didácticas

El origen de este modelo puede estar:

1. En la confusión entre fuerza y energía, influenciada por los modelos de interacción de tipo electrostático y gravitacional (la intensidad de las fuerzas aumenta cuando la distancia disminuye). Para estos alumnos y alumnas el paso de un sistema líquido a uno sólido sería un proceso endotérmico, pues esa es la única manera de aumentar la energía del sistema y, en consecuencia, la intensidad de las fuerzas de enlace entre sus partículas.
2. En la connotación dinámica del modelo de estado físico, siendo la energía del sistema identificada como energía cinética de las partículas: los líquidos poseen más energía que los sólidos y el paso de líquido a sólido sería, forzosamente, exotérmico.

Para evitar la utilización de modelos mecanicistas debemos reformular los modelos de estado físico de las sustancias

Por tanto, debe prestarse particular atención a las reacciones químicas que implican cambios de estado físico. Para tratar de evitar la utilización de modelos mecanicistas (fuerza = energía; energía = energía cinética) es necesario reformular los modelos de estado físico de las sustancias teniendo en cuenta los conceptos de las fuerzas intermoleculares y los movimientos de traslación, rotación y vibración.

CONSIDERACIONES FINALES

La interpretación que hacen muchos alumnos y alumnas de lo que son las reacciones endotérmicas y exotérmicas está lejos de ser la más adecuada, y también en las clases de química. Cuando se pasa a otros contextos, por ejemplo la biología, la inconsistencia se hace evidente. Considerar la hidrólisis del ion ATP^{4-} como «fuente de energía», en una célula viva, es muchas veces causa de confusión para el alumnado. Es preciso explicar que la reacción es exotérmica porque simultáneamente a la ruptura de enlaces (proceso endoenergético) hay formación de nuevos enlaces (proceso exoenergético) que son más fuertes que los primeros:

$$ATP^{4-} + H_2O \text{ <-> } ADP^{3-} + H_2PO_4^-$$

El estudio acerca de las concepciones alternativas, iniciado por Rosalind Driver y Laurence Viennot en la segunda mitad de la década de los setenta, consideraba las ideas de los alumnos y

Llicència a Aureli Caamaño Ros

alumnas como el foco central de la investigación. Había múltiples razones para la «lógica» usada por el alumnado (y otros públicos) para interpretar situaciones familiares, y esas formas de pensar eran (y son) «obstáculos» para los aprendizajes científicos. Retomar hoy este tema, a propósito de la energía de las reacciones químicas, parece oportuno para el diseño de estrategias didácticas encuadradas tal vez en nuevos paradigmas de enseñanza y de investigación en educación en ciencias desde una perspectiva cultural y social. ◄

Nota

* Agradecimientos: A António Cachapuz, pionero en la investigación en educación en ciencias en Portugal, por su orientación de la tesis realizada en la década de los ochenta, en la que se basa el artículo aquí presentado. Y a Aureli Caamaño por sus valiosas contribuciones en la revisión del artículo y su traducción al español.

Referencias bibliográficas

COSTA, A. M. A. (1988): «De Stahl a Lavoisier em Portugal Setecentista». *Boletim SPQ*, 32-33, pp. 8-10.

MARTINS, I. P. (1989): «A energia nas reações químicas. Modelos interpretativos usados por alunos do ensino secundário». Tesis de doctorado no publicada. Universidade de Aveiro. Disponible en línea en: *http://hdl.handle.net/10773/14874*. [Consulta: octubre de 2021]

Dirección de contacto

Isabel P. Martins
Universidad de Aveiro. Portugal
imartins@ua.pt

Este artículo fue solicitado por Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, en abril de 2021 y aceptado en octubre de 2021 para su publicación.

Llicència a Aureli Caamaño Ros

Biología y Geología
Investigación, innovación y buenas prácticas
Pedro Cañal de León (coord.)
Este volumen aporta criterios y posibles pautas de actuación docente inspiradas en el conocimiento actual de la didáctica de las Ciencias, así como ejemplos concretos y amplias referencias sobre buenas prácticas en la enseñanza de la Biología y la Geología; dichos contenidos pueden ser útiles para el profesor en formación inicial y también para el docente en ejercicio que desee potenciar su desarrollo profesional.
Gastos de envío gratis
Península (mínimo 10€)
5% descuento en todos nuestros libros
Disponibles en capítulos digitales
FORMACIÓN DEL PROFESORADO. EDUCA
BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA
Investigación, innovación y buenas prácticas
Pedro Cañal (coord.)
María Isabel Cano, Antonio Gutiérrez, María Jesús Hernández Arnedo, Mercedes Jaén, Manuel Luna, Vicente Mellado, Fernando Ojeda-Barceló, Francisco Javier Perales-Palacios, Antonio de Pro
GRAÓ
2 Vol. III
GRAÓ Hurtado, 29. 08022 Barcelona info@irif.eu www.grao.com 934 080 464