

Diagnóstico sobre la Evolución del Aprendizaje de la Combustión en Estudiantes Secundarios

Sergio Laurella^{1,2,3}, Silvia García¹ y María Laura Dittler¹

¹Cátedra de Introducción a la Química, Química General e Inorgánica, Departamento de Ciencias Exactas y Naturales, FAHCE, UNLP. Av. 122 y 52, CP 1926, Ensenada, Buenos Aires, Argentina. sllaurella@hotmail.com

²CEDECOR (Centro de Estudio de Compuestos Orgánicos), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Calle 115 y 47, (1900) La Plata, Argentina.

³CIC-BA (Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires).

Resumen

La combustión es una de las reacciones más ampliamente estudiadas durante el trayecto escolar de los estudiantes primarios y secundarios. En lo que respecta a la enseñanza y el aprendizaje de esta temática, se considerará la propuesta de Johnstone y sus reformulaciones acerca de los tres niveles de pensamiento (macroscópico, submicroscópico y simbólico) que se requieren para saber Química. Los objetivos del trabajo son registrar los niveles de representación de estudiantes respecto de la combustión a través de diferentes lenguajes e identificar posibles obstáculos relacionados al aprendizaje de la combustión. Se efectuó una encuesta a estudiantes de tres años distintos de educación secundaria. En la misma, se indagó acerca de factores macroscópicos (rol del combustible, rol del comburente, factores energéticos) y submicroscópico-simbólicos (representación del gas contenido en un frasco, simbolización del proceso). Se observa que los estudiantes logran en su gran mayoría identificar el rol de los reactivos (combustible y comburente), no así los factores energéticos. Aproximadamente la mitad logra representar gráficamente las sustancias implicadas y un poco menos de la mitad logra representar formalmente a través de fórmulas y/o nombres de sustancias. Aparentemente existe una correlación entre la utilización del lenguaje simbólico y la comprensión macroscópica del proceso.

Palabras clave: combustión; aprendizaje; lenguaje; simbolización

Marco Teórico

La combustión es una de las reacciones más ampliamente estudiadas durante el trayecto escolar de los estudiantes primarios y secundarios. Su importancia radica en la amplia utilización de este proceso como fuente de energía calórica a partir de combustibles fósiles. Los diseños curriculares actuales de Educación Secundaria de la Provincia de Buenos Aires (DGCyE Prov. Bs.As. 2007-2011) dan un lugar importante al aprendizaje de la combustión en tanto proceso químico y fuente de energía calórica.

En lo que respecta a la enseñanza y el aprendizaje de esta temática, se considerará la propuesta de Johnstone (Johnstone 1991, 1993) y sus reformulaciones (Galagovsky, et al. 2003) acerca de los tres niveles de pensamiento (macroscópico, submicroscópico y simbólico) que se requieren para saber Química y que están involucrados en el lenguaje y el razonamiento a la hora de enseñar y aprender esta ciencia. Estos tres aspectos se describen a continuación.

- En principio consideramos el nivel macroscópico, el cual corresponde a las representaciones mentales construidas mediante la información proveniente de nuestros sentidos y adquiridas a partir de la experiencia sensorial directa, basada en propiedades organolépticas.
- El nivel submicroscópico, hace referencia a las representaciones abstractas, específicamente modelos asociados a esquemas de partículas. Un ejemplo de este nivel son las imágenes de esferitas que solemos utilizar para describir el estado sólido de una sustancia pura, o sus cambios de estado, o sus transformaciones químicas, que se corresponden con una representación mental de lo que sucede según el modelo particulado de la materia.
- El tercer nivel, el simbólico, involucraría formas de expresar conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones, expresiones matemáticas, gráficos, definiciones etc.

Es importante recalcar que, en términos de la reformulación de Galagovsky, las últimas dos categorías corresponderían, en última instancia, a un único nivel simbólico que se serviría de lenguajes gráficos, formales y verbales para su construcción y expresión.

En la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias Naturales en general y de la Química en particular son abordados conceptos, teorías y modelos de la química en forma gradual, interviniendo primero la percepción, a partir de la cual se van formando ideas que

posteriormente se confrontan con la experiencia y la observación, de tal manera que se adquieren significados (Álzate 2007). Así, el movimiento en espiral de este proceso lleva a relacionar los nuevos conocimientos con diferentes escenarios, bien sea la vida cotidiana, el aula de clase, documentales y videos, entre otros, para continuar de esta forma en un ciclo progresivo de reelaborar, construir y desaprender nuevas ideas.

Existen trabajos en los que se han identificado obstáculos en el aprendizaje de la combustión, tales como el no reconocimiento de la estructura particulada de la materia, la falta de noción sobre el papel del oxígeno e incluso la interpretación de la combustión como un fenómeno físico y no químico (Ariza 2011). Estos trabajos han llevado a propuestas didácticas que ponen el énfasis en la experiencia e incluso en el diseño de herramientas informáticas para la enseñanza de este fenómeno (de Echave Sanz 2016, Traverso Soto 2017).

Objetivos

- Registrar los niveles de representación de estudiantes de diferentes niveles respecto de la combustión a través de diferentes lenguajes (verbal, gráfico, formal).
- Identificar posibles obstáculos relacionados al aprendizaje de la combustión a fin de reformular propuestas pedagógicas y secuencias didácticas futuras.

Metodología

El estudio realizado es de tipo cuali-cuantitativo sobre una población de 36 estudiantes de 2do, 3o de 4to y 29 de 6to año de la ES de la Provincia de Bs.As., siendo los dos últimos cursos correspondientes a la Orientación Ciencias Naturales. Las materias de referencia en las cuales se trabaja el concepto implicado son, respectivamente, Físicoquímica, Introducción a la Química y Química del Carbono.

Durante este trayecto, el concepto de combustión se aborda en un contexto de aprendizaje de fenómenos físicos y químicos durante 1er y 2do año, en 4to se estudia de manera más específica haciendo hincapié en los reactivos y productos, los diferentes tipos de combustión (completa e incompleta) y se completa durante 5to y 6to durante el estudio de los primeros conceptos de termodinámica.

Se les presentó una experiencia (que se repitió tantas veces como fue requerido) en la cual se enciende un encendedor (con el pestillo trabado, de modo que se mantenga encendido) y luego se lo tapa con un frasco transparente, observando que la llama se apaga. La elección del encendedor (en lugar de la experiencia clásica de la vela) tiene que ver con que éste no deja residuos carbonosos sobre el vidrio, los cuales dificultan la visión de otros aspectos y distrae la atención del fenómeno en sí. Se les pidió entonces que contesten una serie de preguntas en lo referido al fenómeno observado en una breve encuesta (ver Anexo).

Es importante remarcar que, si bien este diseño nos permite recoger información, identificar dificultades, realizar comparaciones y evaluaciones, la muestra de alumnos seleccionada no se considerará representativa del universo de alumnos que cursan química en el nivel secundario. No se pretende llegar a abstracciones generales de carácter universal.

Resultados y discusión

Las preguntas efectuadas durante la experiencia tienen como objetivo identificar obstáculos y errores que estén asociados a la interpretación del fenómeno de combustión desde las tres categorías de Johnstone (y reformuladas por Galagovsky). Las respuestas de los estudiantes fueron agrupadas según similitud de significado, las cuales se detallan a continuación.

1) Si el encendedor está destapado ¿Hasta cuándo puede permanecer encendido?

Esta pregunta pretende indagar desde lo macroscópico respecto de la necesidad de un combustible para la combustión. Las respuestas se agrupan en la Tabla 1. Como puede observarse, a medida que avanza la escolaridad las respuestas van convergiendo hacia el papel que juega el combustible en la combustión. Se observa también una segunda categoría de respuestas en la cual se supone que (estando destapado) se acabará el oxígeno antes que el combustible (respuesta incorrecta en términos prácticos, pero no teóricos).

Tabla 1. Respuestas correspondientes al punto 1 (rol del combustible, macroscópico).

	2do	4to	6to
Hasta que se acabe el combustible	39%	70%	62%
Mientras le llegue oxígeno	17%	17%	14%
Hasta que el viento lo apague / Hasta que se apague solo	25%	3%	17%
No se apaga nunca	17%	---	7%
No sabe / no contesta	2%	10%	---

2) *¿Por qué el encendedor se apaga al poco tiempo de taparlo?*

Esta pregunta pretende indagar desde lo macroscópico respecto de la necesidad de un comburente para la combustión. Las respuestas, agrupadas en la Tabla 2, muestran que gran porcentaje de los estudiantes identifican la falta de oxígeno como el factor responsable del apagado de la llama.

Tabla 2. Respuestas correspondientes al punto 2 (rol del comburente, macroscópico).

	2do	4to	6to
Porque se acaba el oxígeno	77%	87%	90%
Porque cambia la cantidad de aire	11%	3%	7%
Porque el aire se calienta	3%	---	3%
Porque hay viento	3%	---	---
Porque está encerrado	3%	3%	---
No sabe / no contesta	3%	7%	---

3a) *¿Se produce algún cambio en el aire contenido en el frasco desde que uno lo tapa hasta que el encendedor se apaga? Sí / No / No sabría contestar*

El porcentaje de estudiantes que contestan afirmativamente asciende de 86% en 2do a 87% en 4to y luego a 93% en 6to. Por otro lado, el 11% de 2do, el 13% de 4to y el 2% de 6to no saben decir si el aire cambió o no.

3b) *Si contestaste que Sí: ¿En qué cambió el aire dentro del frasco?*

Cuando se cuestiona en qué cambió el aire dentro del frasco, las respuestas son diversas (Tabla 3). En muchos casos los estudiantes contestaron más de una de las respuestas registradas.

Aquí puede verse que, si bien la falta de oxígeno es la respuesta mayoritaria del punto 2, esto no es asociado de manera inmediata con cambios en la composición del aire. Así, la aparición de dióxido de carbono y agua en el contenido del frasco no se relaciona de manera directa con el agotamiento de oxígeno.

Tabla 3. Respuestas correspondientes al punto 3 (composición del aire, macroscópico/simbólico).

	2do	4to	6to
Empezó a faltar oxígeno	31%	60%	52%
El aire se acabó	11%	3%	7%
Aumentó la temperatura	8%	3%	14%
Aparece dióxido de carbono	14%	57%	17%
Aparece agua / Se humedece / Se empaña	25%	23%	3%
No sabe / no contesta	17%	7%	24%

3c) Podés explicarlo haciendo dibujos de átomos/moléculas que componen el aire.

En este punto se les pide que dibujen/esquematicen qué es lo que le ocurre al aire dentro del franco, para lo cual se les ofrece un dibujo “para completar”.

En este aspecto y debido a cuestiones que tienen que ver con el avance en la representación molecular en las materias que involucran a la Química, se observa que la cantidad de estudiantes que “se animan” a representar algo es descendiendo progresivamente de 2do a 6to año (72% - 70% - 27%). Algunas particularidades de los esquemas generados por los alumnos se muestran a continuación y se ejemplifican en la Figura 1.

- En segundo año, los esquemas están en su mayoría compuestos de esferas y en ellos los componentes del aire no están diferenciados (Figura 1a). No se observan fórmulas.
- En cuarto año, más de la mitad (71%) de los que realizan algún esquema lo hacen reemplazando los dibujos de esferas por los símbolos de los elementos, mientras que el resto dibuja esferas con el símbolo del elemento aclarado (Figuras 1b y 1c). En estos dibujos, cada esfera corresponde claramente a un átomo. Es interesante observar que en muy pocos casos (4/21) se identifica al CO_2 como un componente inicial del aire, y que varios otros (7/21) no esquematizan moléculas de agua en el aire final incluso cuando la aclaran como un producto en la representación pedida en el punto 5.
- En sexto, los dibujos de esferas han sido completamente reemplazados por símbolos de elementos (Figura 1d). Ninguno aclara al agua como producto en el esquema incluso cuando la han aclarado expresamente en el punto 5.

Es interesante destacar que el nitrógeno como componente del aire aparece sólo en uno de los 55 esquemas recibidos.

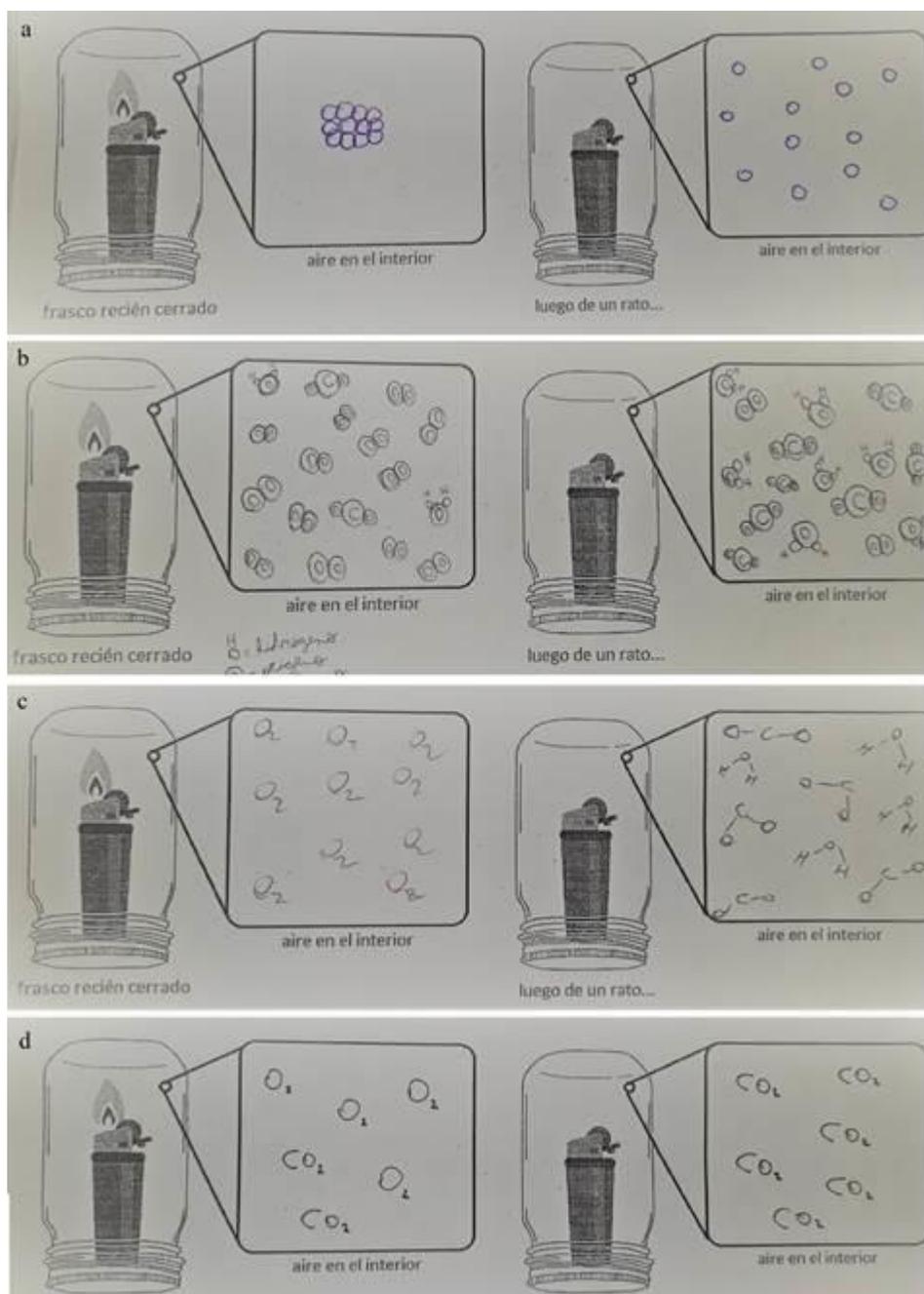


Figura 1. Esquemas producidos por los estudiantes sobre el aire contenido en el frasco.

4) *¿De dónde surge el calor que genera la llama? ¿Estaba guardado en algún lugar? ¿O simplemente apareció?*

Este punto pretende rastrear (desde lo macroscópico y desde lo submicroscópico-simbólico) qué papel juega la energía en los procesos de combustión. Se observa que un porcentaje muy bajo de los estudiantes (7%) alude a factores microscópicos (enlaces, energía cinética,

etc.); la mayor parte aduce que la energía estaba “guardada” en algún otro lugar (la reacción, el combustible, el comburente); y un (alarmante) 30% de los estudiantes no comprende de dónde salió esa energía o supone que simplemente “apareció”.

5) *¿Podés simbolizar de alguna manera el proceso que está ocurriendo cuando el encendedor está prendido? Puede llenarse con palabras, fórmulas o lo que quieras.*

Esta pregunta tiene como objetivo evaluar las habilidades para expresar el proceso de combustión a través de un lenguaje formal de nivel simbólico. Se han clasificado las respuestas en base a tres categorías (de las cuales se muestran ejemplos representativos en la Figura 2): estudiantes que no logran representar el proceso, estudiantes que lo representan usando palabras, y estudiantes que lo representan a través de palabras combinadas con fórmulas (Tabla 4).

Tabla 4. Respuestas correspondientes al punto 5 (representación simbólica).

	2do	4to	6to
No representa	44%	30%	45%
Representa usando sólo palabras	56%	7%	27%
Representa usando palabras y fórmulas	---	63%	28%

El porcentaje de alumnos que logra una representación es máximo en 4to año posiblemente debido a que la combustión y los hidrocarburos son contenidos específicos de Introducción a la Química de 4to año y se trabajan específicamente en ese nivel. Esto puede interpretarse en términos de la memoria de trabajo (Mayer 1985).

Es interesante en este punto considerar qué correlación existe entre las representaciones simbólicas (preguntas 3c y 5) y las respuestas correctas en el nivel macroscópico (consideramos respuestas “correctas” de las preguntas 1 y 2). Considerando aquellos estudiantes que logran una representación gráfica del proceso y además elaboran una posible simbolización (a través de lenguaje verbal y/o formal), el porcentaje de los que tienen una buena percepción macroscópica aumenta de 47% en 2do a aproximadamente 90% en 4to y 6to. Por otro lado, la gran mayoría (más del 75%) de los que manifiestan ideas macroscópicas erróneas del proceso, no pueden expresarlo tampoco a través de ninguno de los lenguajes del nivel simbólico (o sea, ni gráfico ni formal ni verbal). Esto sugiere la existencia de una conexión entre el aprendizaje de los diferentes lenguajes

utilizados en el aprendizaje de los niveles macroscópico y submicroscópico-simbólico de este proceso químico en particular.

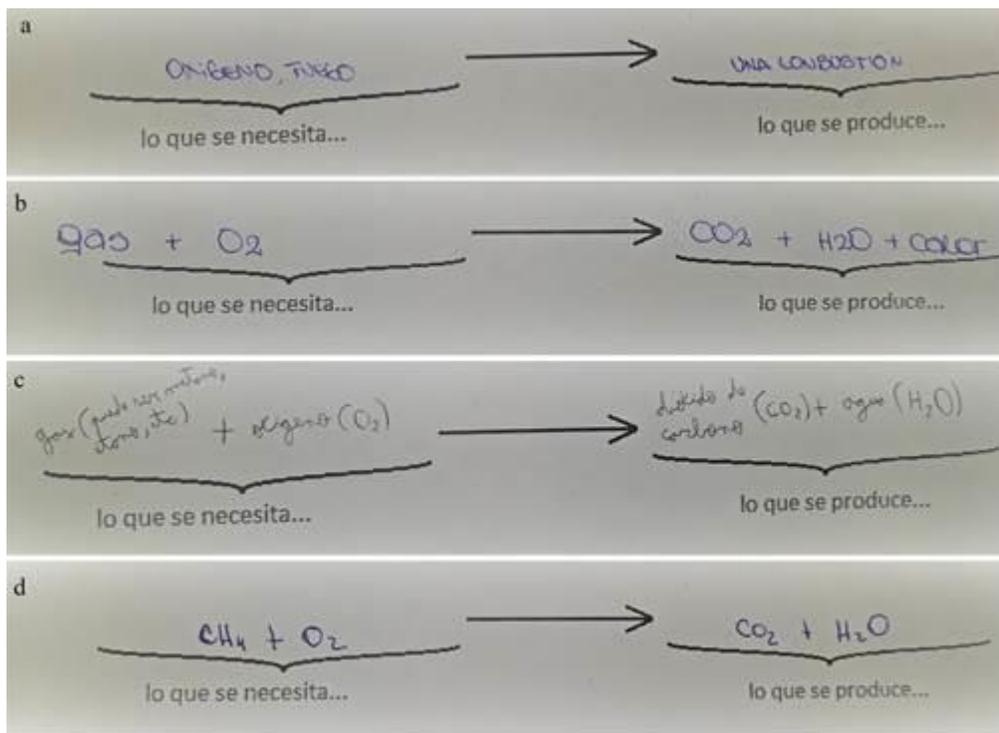


Figura 2. Representaciones formales del proceso de combustión.

Conclusiones

Se observa que los estudiantes logran en su gran mayoría identificar macroscópicamente el rol de los reactivos (combustible y comburente) en el contexto de la reacción de combustión presentada, no así cuando se habla de los factores energéticos puestos en juego. El rol de los reactivos y los cambios producidos en el aire cambian significativamente (y en sentido positivo) entre segundo y cuarto, no observándose diferencias significativas entre este último y sexto. En lo que respecta a la comprensión submicroscópica-simbólica del proceso, aproximadamente la mitad logra representar gráficamente las sustancias implicadas y un poco menos de la mitad logra representar formalmente a través de fórmulas y/o nombres de sustancias. La representación microscópica pasa de la utilización de esferas en tanto partículas (segundo) a esferas como representación de átomos (cuarto) a símbolos

químicos como representación de átomos. Aparentemente existe una correlación entre la utilización del lenguaje simbólico y la comprensión macroscópica del proceso.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los alumnos y alumnas de 2do B, 4to Cs. Naturales y 6^{to} Cs. Naturales (2018) del Instituto María Auxiliadora de La Plata por su colaboración en este trabajo, así como también a la Prof. Gabriela Casaza y a las autoridades de esta institución por permitirnos la realización de las encuestas.

Referencias bibliográficas

- Álzate. M.V. (2007). *Campo Conceptual, Composición/ Estructura en química: Tendencias cognitivas, etapas y ayudas cognitivas* (Tesis doctoral), Universidad de Burgos (Departamento de Didácticas Específicas), Burgos, España. Recuperada de http://riubu.ubu.es/bitstream/10259/75/1/Alzate_Cano.pdf
- Ariza, L.G.y Parga D.L. (2011). Conocimiento didáctico del contenido curricular para la enseñanza de la combustión. *Educación Química*, 22(1), 45-50.
- Argentina. Buenos Aires (prov.). Dirección General de Cultura y Educación. (2007). *Diseño Curricular para la Educación Secundaria: 2º año ESB*. Recuperado de <http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/consejogeneral/disenioscurriculares/>
- Argentina. Buenos Aires (prov.). Dirección General de Cultura y Educación. (2010). *Diseño Curricular para Introducción a la Química, 4º año ES Orientación Cs. Naturales*. Recuperado de <http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/consejogeneral/disenioscurriculares/>
- Argentina. Buenos Aires (prov.). Dirección General de Cultura y Educación. (2011). *Diseño Curricular para Química del Carbono, 6º año ES Orientación Cs. Naturales*. Recuperado de <http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/consejogeneral/disenioscurriculares/>
- de Echave Sanz, A. (2016). *El problema didáctico de la combustión. Metodologías combinadas entre trabajos prácticos y realidad ampliada en el caso de una vela encendida* (Tesis doctoral), Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España. Recuperada de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=133084>

- Galagovsky, L. Rodríguez, M. Stamati, N y Morales, L. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 107-211.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: a changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701–705.
- Mayer, R.E. (1985). *El futuro de la psicología cognitiva*. Buenos Aires: Alianza Editorial.
- Traverso Soto J.M. (2017). Mejora de Diseño de una Unidad Didáctica sobre el Estudio de las Reacciones Químicas (Tesis de maestría), Universidad de Cádiz, Puerto Real, España.
Recuperada de https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/19429/TFM%20Secundaria_Juan%20Manuel%20Traverso.pdf?sequence=1&isAllowed=y

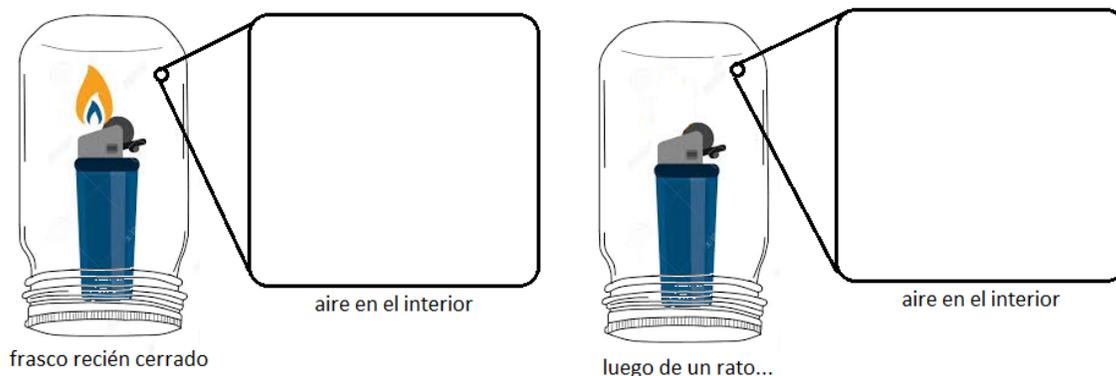
Anexo

El siguiente documento fue entregado a los alumnos, se les permitió la lectura previa y luego se realizó la experiencia, tras lo cual se les dio un tiempo prudencial para contestar las cuestiones planteadas.

La siguiente experiencia tiene como objetivo estudiar el aprendizaje de la Química y así mejorar la enseñanza. ¡Muchas gracias por tu tiempo! Sergio

Luego de observar la experiencia con el encendedor, contestá las siguientes cuestiones:

- 1) Si el encendedor está destapado ¿Hasta cuándo puede permanecer encendido?
- 2) ¿Por qué el encendedor se apaga al poco tiempo de taparlo?
- 3) a) ¿Se produce algún cambio en el aire contenido en el frasco desde que uno lo tapa hasta que el encendedor se apaga?
Sí / No / No sabría contestar
- b) Si contestaste que Sí: ¿En qué cambió el aire dentro del frasco?
- c) Podés explicarlo haciendo dibujos de átomos/moléculas que componen el aire...



- 4) ¿De dónde surge el calor que genera la llama? ¿Estaba guardado en algún lugar? ¿O simplemente apareció?
- 5) ¿Podés simbolizar de alguna manera el proceso que está ocurriendo cuando el encendedor está prendido? Puede llenarse con palabras, fórmulas o lo que quieras....

