

Una investigación sobre la enseñanza de la estructura de la materia en el nivel medio

Teaching the matter structure at high school research

Nair María Sarquis¹ y María Milagros Gonzalez¹

¹ Escuela Sara Bartfeld Rietti, Universidad Nacional de Rosario. General Lagos, provincia de Santa Fe. Argentina.

*E-mail: sarquisnm@gmail.com

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación sobre la implementación de alternativas didácticas innovadoras para trabajar con los estudiantes de primer año de una escuela secundaria con la intención de desarrollar una visión de la estructura de la materia integrada desde el punto de vista atómico molecular con modelos semiclásicos que den cuenta de las relaciones entre la estructura de la materia y su comportamiento macroscópico. Para llevar a cabo dicha investigación se recurrió a la metodología de investigación basada en el diseño y uno de los instrumentos que se utilizó para evaluar la calidad de dicho material fue una encuesta de dos niveles cuyos resultados nos guiaron a identificar los aspectos del diseño que inducían concepciones alternativas.

Palabras clave: Estructura de la materia; Concepciones alternativas; Encuesta de dos niveles; Investigación basada en el diseño.

Abstract

This paper presents the results of a research on the implementation of innovative didactic alternatives to work with first-year high school students with the intention of developing an integrated vision of the structure of matter from the atomic-molecular point of view, with semi-classical models that account for the relationships between the structure of matter and its macroscopic behaviour. To carry it out, the design-based research methodology was used and one of the instruments to evaluate the quality of said material was a two-level survey whose results guided us to identify the aspects of the design that led to misconceptions.

Keywords: Structure of matter; Misconceptions; Two-level survey; Design-based research.

I. INTRODUCCIÓN

Con la creación de una nueva escuela secundaria por parte de la UNR se propuso un currículo innovador en muchos aspectos y uno de ellos fue la enseñanza de física y química. Se pensó en un contenido de primer año que muestre a los ingresantes una visión de la estructura de la materia integrada desde el punto de vista atómico molecular, que sirva de base para un posterior desarrollo de la física y de la química. En este trabajo se presentan los primeros resultados de parte de las investigaciones que se están llevando a cabo para implementar este nuevo currículo.

Esta situación novedosa presenta desafíos, entre los que se destacan la falta de textos escolares acordes a este programa en el mercado y la ausencia de material de laboratorio adecuado para realizar las experiencias escolares correspondientes. Esto llevó a los docentes a elaborar material didáctico adecuado a los objetivos del currículo planteado. Se diseñó un material escrito para uso de los estudiantes intentando plantear modelos semiclásicos que dieran cuenta de las relaciones entre la estructura atómica molecular de la materia y su comportamiento macroscópico. A su

vez se integró al material escrito acceso a simulaciones y animaciones que muestran el carácter dinámico que tienen los procesos atómico moleculares de la materia.

En lo que sigue se describirán brevemente los criterios que orientan la elaboración del material didáctico, la metodología de investigación empleada para evaluar su calidad y necesarias mejoras, las decisiones adoptadas en cada una de las etapas de investigación e implementación de la propuesta, los primeros resultados obtenidos en el primer año y los aspectos a modificar en el rediseño.

A. Criterios de implementación

Desde el inicio de las actividades se acordaron entre autoridades y docentes algunos criterios que orienten la tarea tanto de desarrollo de material didáctico como de implementación:

- En el desarrollo de los temas atómico moleculares se adoptó un modelo semiclásico que permite establecer relaciones entre fenómenos microscópicos inobservables y las consecuencias macroscópicas de los mismos.
- Como consecuencia de lo anterior se necesitó adoptar epistemologías semanticistas que permitan dar cuenta de las relaciones descritas en el punto anterior (Aduriz-Bravo, 2013; Aduriz-Bravo y Ariza, 2014).
- En relación con lo anterior se estableció que el criterio de validación de los aprendizajes se realizara por la exhibición de la comprensión y consecuente explicación por escrito de los fenómenos físicos correspondientes (Keys, 2000; Wallace, Hand, y Prain, 2004).

II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La necesidad de corroborar nuestra hipótesis con relación a que las concepciones alternativas sobre la estructura de la materia son producto del sistema escolar y que con una enseñanza adecuada son evitables, nos llevó a realizar esta investigación adoptando la metodología de investigación basada en el diseño (McKenney y Reeves, 2012; Guisasola, Ametller y Zusa, 2021).

La investigación basada en el diseño tiene tres etapas básicas: investigación preliminar y diseño sobre la base de esa investigación, la fase de implementación de lo diseñado y, finalmente, la evaluación de los resultados. Si los logros de la intervención se encuentran alejados de los esperados, se procede a rediseñar la intervención y se repite el ciclo de implementación y evaluación en iteraciones sucesivas hasta llegar a los objetivos esperados. Este proceso debe, además, contribuir al desarrollo de la teoría (diSessa y Cobb, 2004).

En la etapa de investigación preliminar, se lleva a cabo un análisis de necesidades y contexto, se realiza una revisión de la literatura existente, se desarrolla un marco teórico para elaborar la propuesta de intervención y se tienen en cuenta los materiales necesarios para llevarla a cabo.

Durante la segunda fase, la implementación de la intervención, se utilizan los métodos más adecuados disponibles para la recopilación de datos que permita una comprensión sólida del entorno de aprendizaje. Las formas más comunes incluyen encuestas, observaciones, entrevistas, libros de registro, pruebas previas y posteriores, e informes de trabajos prácticos.

La tercera etapa considera la totalidad de los datos obtenidos para tomar decisiones que permitan enriquecer los resultados alcanzados, y mejorar y refinar los materiales, la práctica y la teoría acorde a lo observado durante el proceso de enseñanza y aprendizaje.

III. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

A. Primera etapa, revisión de la literatura y diseño inicial

La revisión de la literatura destacó que el principal obstáculo a considerar es el de las concepciones alternativas ya que existen gran cantidad de artículos publicados, desde hace tiempo, sobre las dificultades de aprendizaje que tiene los estudiantes sobre la estructura de la materia (Andersson, 1990, Benarroch, 2000 a y b, Benarroch, 2001; Llorens, 1988; Nussbaum 1989; Pozo, Gómez y Sanz, 1999; Seré, 1989). Este es un aspecto muy estudiado, tanto por su importancia social como por encontrarse en cualquier currículum del nivel medio.

Estos estudios coinciden en señalar que los estudiantes mantienen sus concepciones alternativas sobre la estructura de la materia aún después de realizar estudios formales de física y de química; fundamentalmente continúan asociando características macroscópicas de la materia al comportamiento de átomos y moléculas.

Así, si la materia es de un color determinado, verde, por ejemplo, sucede porque sus átomos y moléculas son partículas verdes también (Albanese y Vicentini, 1997); si la materia se dilata ocurre porque sus átomos y moléculas

se dilatan igualmente. De la misma manera, la argumentación que explica la razón de la expansión de la materia al cambiar de fase sólida a fase gaseosa es que ello ocurre porque son las partículas las que se expanden. Si un metal es maleable, ello sucede porque los átomos que lo constituyen también lo son (Ben-Zvi, Eylon y Silberstein, 1986).

En nuestro análisis revisamos cómo se enseñan los conceptos de estructura de la materia en la enseñanza media y universitaria básica tradicional. Aquí presentamos una breve síntesis de lo observado en la enseñanza de la física.

Cuando se desarrolla el tema de dilatación todos los textos lo presentan como propiedad macroscópica de la materia en relación con los cambios de temperatura, y ninguno analiza la relación entre la estructura microscópica de la materia con la temperatura. En óptica, cuando se analiza el color de los objetos se explica que parte de la radiación electromagnética es absorbida y parte reflejada y que la longitud de onda de la radiación reflejada determina el color observado de la superficie, pero no se discute que la absorción y reflexión son producto de la forma en que los átomos y moléculas de la superficie están estructurados, ni tampoco, según la posición epistemológica del docente, que los átomos carecen de color o que carece de sentido hablar de color de un átomo o molécula. Situaciones similares se dan cuando se desarrolla la enseñanza de la ley de Hooke y la deformación, se presenta de modo macroscópico, se calcula el módulo de elasticidad lineal y no se analiza el comportamiento microscópico de la materia ni siquiera para explicar, desde esa perspectiva, la diferencia entre materiales elásticos y maleables.

En la enseñanza tradicional de la química se dan situaciones similares. Se presentan los elementos, y su organización en la tabla periódica, su estructura interna y sus regularidades, pero no se discute más que superficialmente, en términos de órbita u orbitales, la estructura atómica ni sus dimensiones y se avanza a los temas principales de la química, los enlaces, la formación de compuestos y sus propiedades.

Si bien las concepciones alternativas con las que los estudiantes llegan al sistema escolar son construcciones elaboradas por ellos en su interacción con el mundo que les rodea para darle sentido y con ellas interpretar los fenómenos naturales y disponer de explicaciones, descripciones o predicciones, está claro a partir de los ejemplos anteriores que las ideas previas sobre la estructura atómico molecular de la materia no se elabora en relación con el medio, sino que es una construcción causada por el sistema educativo formal. Carrascosa, 2005, y Bañas, Mellado y Ruiz 2004, muestran ejemplos en esta y otras áreas de la ciencia de cómo también los textos inducen o refuerzan las concepciones alternativas.

Nuestra hipótesis de investigación es entonces averiguar si una enseñanza adecuada de modelos semiclásicos que den cuenta de las relaciones entre la estructura atómico molecular de la materia y su comportamiento macroscópico, ayuda a reducir estas concepciones alternativas de origen escolar y facilita con posterioridad una enseñanza de la física y de la química con una relación fluida entre los fenómenos macroscópicos, observables, y los microscópicos atómico moleculares subyacentes.

Sobre esta base se elaboró material escrito para uso de los alumnos complementado con abundantes simulaciones y animaciones que muestran el carácter dinámico que tienen los procesos atómico moleculares de la materia. En todos los casos se tuvo especial atención que tanto en el material escrito como en las ilustraciones estáticas y dinámicas no induzcan concepciones alternativas. Por la misma razón se evitó solicitar que los asistentes al curso aporten material, el típico “busquen material sobre” de la enseñanza media, ya que es imposible controlar la calidad del material incorporado y, en caso de hacerlo, difícil explicar cada uno los errores hallados. Sin embargo, no se prohibió explícitamente la búsqueda.

Otro de los aspectos que se tuvo en cuenta en la elaboración del material escrito destinado fue la correcta asignación ontológica de los conceptos a medida que se incorporaban en el texto y el frecuente repaso de su condición, cuando es posible, a lo largo del texto (Chi, Slotta, y de Leeuw, 1994; Chi, 2008).

El material preparado se organizó en tres unidades didácticas que son:

- Unidad didáctica 1: Modelos atómicos. Los elementos. La tabla periódica y sus características. Moléculas y compuestos.
- Unidad didáctica 2: La materia. Cambios de fase y temperatura. Ebullición y evaporación. Calor desde el punto de vista atómico molecular. La convección como un fenómeno macroscópico.
- Unidad didáctica 3: La emisión de fotones y la luz. La visión como un proceso de interacción. La formación de colores. El espectro electromagnético.

El material incluye el desarrollo temático, las actividades a desarrollar en el aula y fuera de ella y links a simulaciones y animaciones localizadas en el campus virtual de la institución.

B. Segunda etapa, implementación del diseño elaborado

Este diseño se implementó en las tres divisiones de ingresantes a primer año de la escuela y no se llevó a cabo en las mejores condiciones, ya que en el curso lectivo 2021 aún nos encontrábamos en las etapas finales de la pandemia de covid-19, de modo que las clases se desarrollaron de una forma poco tradicional: durante los primeros dos meses

asistían a clases presenciales la mitad de cada curso, mientras la otra mitad participaba de clases virtuales durante una semana y a la siguiente se invertía el orden.

Los dos meses siguientes, ante el incremento de casos de covid-19, las autoridades provinciales dispusieron el aislamiento total, por lo que las clases se desarrollaron de modo virtual con una reducción de cada clase de ochenta minutos a sesenta, una reducción del 25 por ciento. Por otra parte, algunos estudiantes tuvieron problemas de conectividad, al menos en las primeras semanas.

Esto naturalmente dificultó el desarrollo planeado, en particular las actividades prácticas que se planificaron para desarrollar en el aula y en grupos reducidos, aunque algunas de ellas fueron reemplazadas por otras que los estudiantes realizaron individualmente y con materiales absolutamente domésticos dada la condición de aislamiento, y otras fueron reemplazadas con videos. Finalmente, a partir del inicio del segundo cuatrimestre se pudieron desarrollar clases presenciales con el curso completo.

Durante todo el año se llevó registro de las actividades desarrolladas y se prestó especial atención al aspecto del material didáctico aportado textos e ilustraciones que pudieran inducir concepciones alternativas.

C. Tercera etapa, evaluación

En nuestro caso el proceso de evaluación fue continuo ya que diariamente se evaluó esa etapa minúscula de la implementación, en particular, en búsqueda de expresiones que puedan confundir a los alumnos e inducirlos a concepciones alternativas.

El segundo componente de evaluación del diseño implementado estuvo en los informes de los trabajos prácticos elaborados por los alumnos donde debían dejar registrado por escrito lo observado durante la realización de las experiencias y explicar las causas del fenómeno o de los fenómenos observados a partir de modelos coherentes que den cuenta de las relaciones entre la estructura atómico molecular y los sucesos observados macroscópicamente.

El tercer componente de la evaluación del diseño fueron las pruebas escritas tradicionales y los exámenes finales que permitieron acreditar los conocimientos adquiridos para aprobar la asignatura.

Un cuarto componente fue una encuesta diagnóstica administrada seis meses después de finalizado el curso, en una división de segundo año de 25 alumnos, sin previo aviso, con la advertencia adicional de que se trataba de una encuesta "sin nota".

Mientras las tres primeras instancias de evaluación cumplieron la doble función de, por un lado, constituir la típica evaluación escolar necesaria para la acreditación de la asignatura, por la otra parte fueron un insumo para la investigación en curso. La cuarta componente se implementó para analizar la presencia de concepciones alternativas tiempo después de finalizado el curso.

Es sabido que las concepciones alternativas coexisten con los conocimientos científicos (Shtulman y Valcarcel, 2012; Potvin y Cyr, 2017), lo que se buscó con la encuesta es que las respuestas de los estudiantes reflejen sus opiniones sin la presión de responder la respuesta escolar memorizada y adecuada necesaria para aprobar. Por ese motivo, creemos que los resultados de esta encuesta reflejan más ajustadamente la presencia de las concepciones alternativas luego de finalizar el curso, y que servirán de base para evaluar la eficacia de los cambios a introducir en los próximos ciclos de rediseño de las secuencias de enseñanza aprendizaje. En lo que sigue se presenta la síntesis de las respuestas a esta encuesta.

IV. ENCUESTA DIAGNÓSTICA Y RESULTADOS:

La encuesta constó de quince preguntas de opción múltiple de las cuales diez eran de dos niveles. Las pruebas de preguntas de dos niveles fueron para determinar, no sólo la presencia de concepciones alternativas, sino además tratar de establecer las distintas características de esas concepciones alternativas. Constan de una pregunta y se ofreció, en el primer nivel, cuatro o cinco respuestas posibles de las cuales los estudiantes tuvieron que optar por una (aunque en este caso no se indicó explícitamente). En el segundo nivel, se pidió que dieran las razones por las que optó por la primera respuesta. En esta segunda sección se ofrecieron nuevamente respuestas de opción múltiple y, en nuestro caso, se incorporó la posibilidad de respuesta abierta donde se justifiquen sus razones por las que eligió la primera opción (Odom y Barrow, 1995; Haslam y Treagust, 1987).

Estas pruebas de dos niveles se analizaron a través de tablas que muestran las respuestas que los estudiantes dieron al primer nivel de cada pregunta y las diferentes razones que citaron para sus respuestas. Además, examinamos la combinación de las respuestas del primer nivel sobre el contenido y las respuestas del segundo nivel sobre las razones, buscando las características de las diferentes concepciones alternativas presentes para rediseñar las estrategias didácticas teniéndolas en cuenta.

Una síntesis de los resultados de la encuesta se muestra en la tabla I.

TABLA I. Resultado de la encuesta. El porcentaje indica las distintas respuestas alternativas agrupadas.

N	Preguntas	Porcentaje de respuestas científicas	Porcentaje de respuestas alternativas
1	¿Qué afirmaciones son verdaderas con respecto a las propiedades de átomos de hierro?	78.95	21.05
2	¿Qué enunciado es verdadero recordando las propiedades de las moléculas?	80.00	20.00
3	Los átomos de hierro no se mueven en fase sólida.	85.00	15.00
4	Los líquidos adoptan la forma del recipiente que los contiene. La forma de las moléculas de agua cambia dependiendo de la forma del recipiente.	57.90	42.01
5	¿Qué enunciado es verdadero sobre el hielo, el agua y las moléculas?	73.70	26.30
6	Cuando el agua se mantiene en el refrigerador, se congela y se convierte en hielo. Durante esto, las moléculas de agua:	50.00	50.00
7	Cuando un trozo de hierro se derrite por calentamiento, los átomos de hierro:	50.00	50.00
8	Se coloca una muestra de 1,0 g de yodo sólido en un tubo y se sella el tubo después de eliminar todo el aire. La masa total del tubo y el yodo sólido es de 27,0 g. Luego, el tubo se calienta hasta que todo el yodo se evapora y el tubo se llena con yodo gaseoso. La masa después del calentamiento será:	85.00	15.00
9	El círculo de la izquierda muestra una vista ampliada de una porción muy pequeña de agua líquida en un recipiente cerrado. ¿Qué mostraría una vista ampliada luego que el agua se evaporase?	68.40	31.90
10	Una olla de agua en una cocina comienza a hervir rápidamente. Se coloca una tapa de vidrio en la olla y comienzan a formarse gotas de agua en el interior de la tapa, ¿qué sucedió?	52.63	47.37
11	Cuando las moléculas de agua en la fase gaseosa se calientan, las moléculas se:	90.00	10.00
12	¿Cuál de los siguientes procesos hará que las moléculas se achiquen?	83.33	16.67
13	Cuando el agua a 24° C se enfría a 0° C y se congela, las moléculas de agua:	80.00	20.00
14	Una muestra de amoníaco líquido (NH ₃) se evapora por completo (se transforma en gas) en un recipiente cerrado como se muestra: ¿Cuál de los siguientes diagramas representa mejor lo que “verías” en la misma área de la vista ampliada del vapor?	75.00	25.00
15	Cuando el agua se vaporiza, se cambia a:	50.00	50.00

Del análisis de la encuesta surgió una variante de concepción alternativa en relación con las ideas de átomos y moléculas y el cambio de fase. Se registró que para algunos alumnos las moléculas son sólidas y permanecen en ese estado frente a los cambios de fase. En consecuencia, la molécula de agua a temperatura ambiente es sólida y se mantiene así aunque el agua se evapore o congele, lo mismo ocurre para el caso del hierro. Esto se tuvo en cuenta al momento de revisar y rediseñar el material didáctico y realizar las intervenciones correspondientes.

Cuando por medio de entrevistas no estructuradas se indagó a los estudiantes sobre el origen de esa concepción se descubrió que estaba causada por el efecto combinado de representaciones gráficas que ilustraban a las moléculas como esferas o combinaciones de esferas, sumando a las expresiones docentes que insistían en que “las moléculas no cambian con el cambio de fase de la materia” o dichos equivalentes. Este es, para nosotros al menos, un ejemplo de cómo una intervención didáctica bien intencionada induce concepciones alternativas, y justifica una actitud vigilante respecto del diseño del material didáctico.

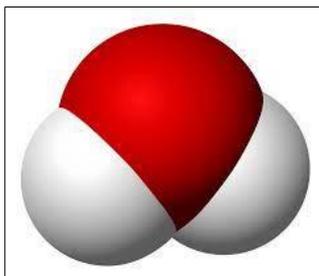


FIGURA 1. Tipo de representación gráfica de una molécula que fue interpretada por los alumnos como un sólido, dando lugar a una concepción alternativa inducida por el sistema escolar.

V. CONCLUSIÓN

El propósito de este trabajo es mostrar algunos resultados de una investigación que se ha desarrollado en una escuela preuniversitaria de nivel medio de la Universidad Nacional de Rosario. En este sentido, se ha mostrado cómo la metodología de la investigación basada en el diseño ayudó a conocer ciertos efectos no deseados de las intervenciones didácticas desarrolladas que contribuyeron a la inducción de concepciones alternativas en los estudiantes sobre la naturaleza atómico molecular de la estructura de la materia, y su relación con el comportamiento macroscópico. Además, este método de investigación nos orienta en la revisión y modificación de los diseños didácticos con el fin de mejorar la enseñanza de manera permanente.

REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para ciencia escolar, *Biografía - Escritos sobre la Biología y su enseñanza* 7(13), pp. 25 - 34
- Aduriz-Bravo, A. (2013) Características epistemológicas clave de los modelos científicos relevantes para la didáctica de las ciencias, Comunicación - IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias Girona, 9-12 de septiembre de 2013
- Albanese, A. y Vicentini, M., Why do we Believe that an Atom is Colourless? Reflections about the Teaching of the Particle Model, *Science & Educ.* 6, 251-261, 1997.
- Andersson, B., (1990) Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, 18, 53-85,
- Bañas, Carlos; Mellado, Vicente & Ruiz Constantino (2004) Los libros de texto y las ideas alternativas sobre la energía del alumnado de primer ciclo de educación secundaria obligatoria *Cad. Bras. Ens. Fís.*, 21(3), p. 296-312.
- Benarroch, A. (2000 a) Del modelo cinético-corpúscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 23, 95-108.
- Benarroch, A., (2000 b) El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpúscular de la materia, *Enseñanza de las Ciencias* 18(2), 235-244.
- Benarroch, Alicia (2001) Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpúscular de la materia, *Enseñanza de las ciencias*, 19(1), 123-134
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. and Siberstein, J. (1986) Is an atom of copper malleable? *J. Chem. Educ.* 63(1), 64-66.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D. y de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts, *Learning and Instruction* 4, 27-43
- Chi, M.T.H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). Hillsdale, N J: Erlbaum.
- diSessa, A. A. & Cobb, P. (2004) Ontological Innovation and the Role of Theory in Design Experiments, *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1),77-103
- Haslam, F. y Treagust, D. F. (1987) Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument, *Journal of Biological Education*, 21(3), 203-211.
- Guisasola, J.; Ametller, J. y Zuza, K. (2021) Investigación basada en el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje: una línea de investigación emergente en enseñanza de las ciencias, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1801.

Keys, C. W. (2000). Investigating the thinking processes of eighth grade writers during the composition of a scientific laboratory report. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 676-690.

Llorens, J.A., (1988) La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje, *Investigación en la escuela*, 4, 33-48, 1988

McKenney, S. E. y Reeves, T. C. (2012) *Conducting educational design research*, New York, USA: Routledge.

Nussbaum, J., (1989) La constitución de la materia como conjunto de partículas en fase gaseosa. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid, España: Ediciones Morata, pp. 196-244

Odom, A. L., y Barrow, H. L. (1995). Development and application of a two-tier diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(1), 45-61.

Potvin, P., y Cyr, G. (2017). Toward a durable prevalence of scientific conceptions: tracking the effects of two interfering misconceptions about buoyancy from preschoolers to science teachers. *J. Res. Sci. Teach.*

Seré, M. G. (1989) El estado gaseoso. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid, España: Ediciones Morata, pp. 196-244

Shtulman, A., y Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition* 124, 209–215.

Wallace, C. S., Hand, B. B., Prain, V. (2004) *Writing and learning in the science classroom*. New York: Springer Science & Business Media.