

Investigación en didáctica de la Química

CONCEPCIONES (ERRÓNEAS) DE DOCENTES DE PRIMARIA Y SECUNDARIA ACERCA DE LA NATURALEZA DE LA MATERIA

Valeria Edelsztein

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Buenos Aires, Argentina.

E-mail: valecaroedel@yahoo.com

Recibido: 02/12/2025. Aceptado: 29/04/2025.

Resumen. Este estudio explora las concepciones acerca de la naturaleza de la materia y la teoría cinético-corpúscular entre 99 docentes de escuelas primaria y secundaria en Buenos Aires. Estos participaron en actividades como preguntas de opción múltiple y resolución de problemas. Los resultados revelaron concepciones erróneas referente a los cambios de fase, el espaciado entre partículas y la relación entre la energía cinética y el movimiento de las partículas. Si bien los docentes de secundaria mostraron una mejor comprensión de la naturaleza particulada de la materia, prevalecieron concepciones erróneas como la creencia de que las partículas cambian de tamaño durante las transiciones de fase o que no hay espacio entre las partículas en estado sólido. Los docentes de primaria mostraron tendencia hacia modelos intuitivos y continuos de la materia. Estos hallazgos destacan la necesidad de intervenciones para abordar estas concepciones erróneas y mejorar la formación docente en conceptos fundamentales sobre la materia.

Palabras clave. naturaleza particulada de la materia, concepciones erróneas, docentes de nivel primario, docentes de nivel secundario.

Elementary and High School Teachers' (Mis)Conceptions on the Nature of Matter

Abstract. This study explores the conceptions about the nature of matter and the kinetic-corpuscular theory among 99 primary and secondary school teachers in Buenos Aires. They participated in activities such as multiple-choice questions and problem-solving. The results revealed misconceptions regarding phase changes, the spacing between particles, and the relationship between kinetic energy and particle motion. While secondary school teachers showed a better understanding of the particulate nature of matter, misconceptions such as the belief that particles change size during phase transitions or that there is no space between particles in the solid state prevailed. Primary school teachers tended toward intuitive and continuous models of matter. These findings highlight the need for interventions to address these misconceptions and improve teacher training in fundamental concepts about matter.

Keywords. particulate nature of matter, misconceptions, elementary school teachers, high school teachers.

INTRODUCCIÓN

Comprender cómo los estudiantes conceptualizan fenómenos complejos es fundamental en la investigación educativa, particularmente en el contexto de



la enseñanza de las ciencias. A lo largo de los años, numerosos estudios han explorado las concepciones intuitivas o espontáneas profundamente arraigadas en estudiantes de todos los niveles y en diversas áreas del conocimiento, así como los desafíos que implica modificarlas mediante procesos de cambio conceptual a través de métodos instruccionales (Limón y Mason, 2002; Pozo y Gómez Crespo, 2005; Reiner, Slotta, Chi y Resnick, 2000; Schnotz, Osniadou y Carretero 1999). Estos desafíos no solo son significativos para mejorar el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias, sino también para avanzar en la comprensión de los procesos y sistemas cognitivos subyacentes (Pozo y Gómez Crespo, 2005). Sin embargo, las investigaciones demuestran consistentemente que estas concepciones son altamente resistentes al cambio, ya que están profundamente enraizadas en las experiencias cotidianas y el razonamiento intuitivo (Duit y Treagust, 2003; Nakhleh, 1992; Ayas, Özmen y Çalik, 2009; Özmen, 2013).

Desde la década de 1980, un número creciente de estudios también ha investigado el papel de las concepciones de los y las docentes (Duit, 2007; Treagust y Duit, 2008; West y Pines, 1985). Las investigaciones han revelado que en gran medida sostienen concepciones sobre conceptos y procesos científicos que divergen de las perspectivas científicas y, a menudo, reflejan las concepciones previas a la instrucción de los/as estudiantes (Duit, 2007).

En este trabajo abordaremos específicamente las concepciones acerca de la naturaleza particulada de la materia (NPM) y la teoría cinético-corpúscular (TCC) en un grupo de docentes de educación primaria y secundaria de Buenos Aires, y analizaremos sus respuestas frente a preguntas relacionadas con casos específicos. Si bien existe una vasta producción académica enfocada en el análisis de las concepciones de los estudiantes acerca de la NPM y la TCC, son considerablemente menos frecuentes los estudios que indagan en los modelos que sostienen los docentes en ejercicio. Este aspecto resulta particularmente relevante, dado que los modelos conceptuales que manejan los/as docentes no solo median la interpretación de los fenómenos químicos, sino que además funcionan como puentes fundamentales entre los niveles de representación macroscópico y microscópico. Dichos modelos, por su parte, se emplean de manera recurrente en las prácticas de aula para explicar y justificar fenómenos observables, como cambios de estado, disoluciones o reacciones químicas. Comprender las concepciones docentes, por tanto, no solo permite identificar posibles fuentes de obstáculos en los procesos de enseñanza, sino también ofrece una base para diseñar propuestas formativas orientadas a promover una visión científicamente fundamentada y articulada de la materia y sus transformaciones.

Primero, una definición

La comunidad de didactas se ha centrado durante mucho tiempo en el estudio de las concepciones erróneas. Sin embargo, como señalaron Rai y Kumar (2019), un análisis de la literatura muestra una gran diversidad en la forma en que se define el término "concepciones erróneas". En general, puede decirse que se describen como creencias o ideas incorrectas que divergen de las perspectivas científicas aceptadas, a menudo debido a razonamientos defectuosos, y también se les denomina concepciones alternativas, teorías ingenuas, marcos alternativos y preconcepciones (Rai y Kumar, 2019;

Rajendra y Khandagale, 2022). En este artículo utilizaremos el término "concepciones erróneas" para referirnos a "entendimientos o explicaciones que difieren de lo que es científicamente correcto" (National Research Council, 2012, p. 58).

En las últimas décadas, se han relevado concepciones erróneas de estudiantes en áreas científicas como física (Eryilmaz, 2002), química (Lemma, 2012) y biología (Abu-Hola, 2004; Rajendra y Khandagale, 2022; Svandova, 2014). También se han identificado en egresados (Coetzee y Imenda, 2012; Rajendra y Khandagale, 2022) y docentes (Abu-Hola, 2004; Hala, Syahdan, Pagarra y Saenab 2018).

El (problemático) caso de la naturaleza de la materia

Como señalan diversos autores, la NPM, crucial para la comprensión de temas químicos más avanzados, es notablemente difícil de asimilar (Özalp y Kahveci, 2015). Lograr una comprensión exhaustiva implica integrar dos niveles de análisis: poder describir las propiedades macroscópicas observables de diversos materiales y sus cambios—como los cambios en los estados de agregación, la formación de mezclas y las variaciones de volumen y presión—a través de un modelo microscópico. Este modelo, conocido como TCC, permite conceptualizar la materia como un sistema complejo de partículas que interactúan. Además, el uso de este marco microscópico requiere reconocer ciertas suposiciones:

1. La materia está formada por partículas imperceptibles a simple vista (es decir, la materia es discreta y no continua).
2. Estas partículas están en constante movimiento e interactúan entre sí mediante fuerzas regidas por las leyes de la física (es decir, las partículas son dinámicas e interactivas, no estáticas).
3. Entre las partículas existe espacio vacío.

La TCC se utiliza con frecuencia para explicar propiedades de los materiales, estados de la materia y cambios de fase, reacciones químicas y ciclos biológicos, y constituye una herramienta poderosa para el modelado y diseño experimental. Dado que permite predecir el comportamiento de la materia bajo diversas condiciones, es un componente clave en muchos currículos de ciencias desde la educación primaria hasta los primeros años de universidad (Treagust y col., 2009). Desde la década de 1970, numerosos estudios han examinado la comprensión de la TCC por parte de estudiantes en diversos niveles educativos. La mayoría de estas investigaciones se realizaron durante las décadas de 1980 y 1990, y un menor número de estudios se llevaron a cabo en los años 2000 (Harrison y Treagust, 2003; Kapici y Akcay, 2016). En conjunto, esta literatura indica que los y las estudiantes de nivel primario, secundario y universidad sostienen muchas concepciones erróneas, incluso después de intervenciones educativas específicas, particularmente al transitar entre representaciones macroscópicas, microscópicas y simbólicas (Özmen, 2013).

Un obstáculo importante para la comprensión parece ser la concepción errónea de que la materia es continua y no discreta, y que las partículas están en contacto entre sí, sin espacio vacío entre ellas (Griffiths y Preston, 1992;

Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer, Blakeslee, 1993; Nakhleh, 1992). Según Lee y col. (1993), esta idea incluye "diferentes tipos de sustancia [o aire] entre moléculas" (p. 257). Esta concepción se refuerza con los diagramas en libros de texto escolares (Andersson, 1990; Harrison, 2001).

Otro punto crucial es que las y los estudiantes no relacionan las propiedades macroscópicas con el comportamiento colectivo de las partículas (Johnson, 1998; Bucat, 2004; Chandrasegaran, Treagust y Mocerino, 2007; Stojanov, Šoptrajanov, y Petrusevski, 2012). En su lugar, atribuyen estas propiedades a las características individuales de las partículas microscópicas (Albanese y Vicenti, 1997; Andersson, 1986; Johnson, 1998). Por ejemplo, "las moléculas en el hielo son más pesadas que en el líquido, y las del vapor de agua son las más ligeras" (Krnjel, Watson, Glazar, 1998). Incluso cuando los estudiantes comprenden conceptos fundamentales de la TCC, tienen dificultades para aplicarla en escenarios desconocidos (Ayas y col., 2009; Haidar y Abraham, 1991).

Desde la perspectiva docente, Valanides (2000), Tatar (2011), Håland (2013) y Aydin y Altuk (2013) han evidenciado concepciones erróneas entre futuros profesionales, particularmente sobre propiedades macroscópicas y microscópicas de la materia. Estas investigaciones subrayan la importancia de comprender sus concepciones sobre la NPM y abordar sus errores conceptuales, dado su impacto directo en el aprendizaje de los y las estudiantes (Kolomuç y Tekin, 2011; Rai y Kumar, 2019; Sopandi, Latip, y Sujana 2017).

Chophel (2022) agrupa las principales concepciones erróneas como desafiantes en cuatro puntos clave:

1. Toda la materia está compuesta por partículas discretas.
2. El espacio entre las partículas está vacío.
3. Las partículas están en movimiento aleatorio constante.
4. Existen enlaces o fuerzas entre las partículas.

Estas categorías, consistentes con las tres suposiciones de la TCC, servirán como marco para el análisis de resultados en este estudio.

OBJETIVOS

El objetivo de este artículo es explorar las concepciones sobre la NPM que tienen docentes de nivel primario y secundario en ejercicio. En particular, realizamos una investigación diagnóstica exploratoria a través de diversas actividades, centrándonos en los cuatro grupos de concepciones erróneas comunes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

En el estudio participaron 53 docentes de primaria (P) de 6° y 7° grado (49 mujeres; 4 varones) y 46 docentes de ciencias de nivel secundario (S) (25 mujeres; 21 varones) de escuelas de gestión pública y privada de la Ciudad

y la Provincia de Buenos Aires. Los y las docentes de 6° y 7° grado trabajan con estudiantes de entre 10 y 12 años, mientras que en secundaria enseñan a estudiantes de entre 13 y 17 años. Todos los docentes participantes eran profesionales en ejercicio con al menos un año de experiencia y provenían de instituciones con las cuales la autora mantenía vínculo previo a través de actividades profesionales.

Los docentes de nivel secundario poseen una formación científica específica. Los profesorados de educación secundaria y superior en ciencias (Física, Química o Biología, entre otros) consisten típicamente en un programa de cinco años que incluye contenidos disciplinares específicos en profundidad, además de aspectos pedagógicos y práctica profesional docente (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2025a; Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), 2025). El título de docente de primaria se obtiene luego de cursar los profesorados de educación primaria, típicamente programas de cuatro años que proporcionan un enfoque integral en aspectos pedagógicos y, además, abarcan el dominio de las materias enseñadas en la primaria, como Matemática, Lengua, Ciencias Sociales y Ciencias Naturales, junto con estrategias de enseñanza para cada área (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2025b). Sin embargo, los docentes de primaria no adquieren un conocimiento específico y profundo en biología, química o física.

Recolección de datos

Uno de los métodos más utilizados para identificar concepciones erróneas es la entrevista que, aunque proporciona detalles valiosos, limita el tamaño de la muestra. En cambio, las preguntas de opción múltiple son más estructuradas y eficientes, permitiendo obtener datos cuantificables de muestras más grandes. Como complemento, las preguntas abiertas permiten respuestas más completas y revelan habilidades de pensamiento de orden superior. Por ello, en este caso, elegimos usar preguntas de opción múltiple junto con un problema de respuesta abierta para explorar las respuestas de los y las docentes.

Cada docente realizó dos actividades como parte de sesiones más amplias de tres horas de duración que incluyeron capacitación específica en ciencias. En las sesiones no se abordó el contenido particular de la NPM ni la TCC. En su lugar, se trataron temas como planificación de clases, evaluación en ciencias y desarrollo de experiencias de laboratorio, entre otros.

Todos los docentes fueron informados de que los datos se utilizarían para investigar y dieron su consentimiento. La participación fue voluntaria. Se priorizó el cumplimiento de los principios éticos a lo largo de toda la investigación, con un fuerte énfasis en proteger el derecho de los participantes a retirarse, garantizar la confidencialidad y proteger la privacidad.

Actividad 1 (30 minutos)

Consistió en un primer cuestionario con cinco preguntas de respuesta única (Tabla 1, columna izquierda) y un segundo cuestionario con cuatro preguntas de opción múltiple, donde los y las participantes podían elegir más de una opción (Tabla 2, columna izquierda).

Para anticipar posibles respuestas y diseñar las opciones de elección, nos basamos en investigaciones previas (Ayas y col., 2009; Pozo y Gómez Crespo, 2005; Valanides, 2000; Özalp y Kahveci, 2015; Stojanovska, Šoptrajanov, y Petrusevski, 2012).

Ambos cuestionarios se realizaron al inicio de las sesiones, se entregaron en hojas impresas y se recolectaron al finalizar.

Actividad 2 (20 minutos)

Consistió en un problema tomado de Ben-Zvi, Eylon y Silberstein (1986):

Un alambre metálico tiene las siguientes propiedades: 1) es marrón, 2) es maleable, 3) conduce electricidad y calor. Cuando se calienta al vacío, se evapora y se convierte en un gas con las siguientes propiedades: 4) es amarillo, 5) tiene un olor penetrante, 6) reacciona con plásticos.

- a) Si pudieras aislar una partícula del alambre, ¿cuál de estas seis propiedades tendría?
- b) Si pudieras aislar una partícula del gas, ¿cuál de estas seis propiedades tendría?

Al finalizar la tarea, los y las docentes entregaron sus respuestas en hojas impresas y continuaron con la sesión. Las sesiones de docentes de primaria y secundaria se realizaron por separado, pero todos desarrollaron las mismas actividades en condiciones similares.

Análisis de datos

Para el análisis de las respuestas de opción múltiple, se calcularon los porcentajes de elección para cada opción y se realizó un test de normalidad de Anderson-Darling específico para muestras pequeñas que permite determinar qué tan bien se ajusta una distribución a los datos observados.

También se llevaron a cabo pruebas t para dos muestras. Valores de p inferiores a 0,05 se consideraron indicadores de diferencias significativas en los puntos porcentuales (delta) entre las poblaciones en estudio.

RESULTADOS

Las Tablas 1 y 2 presentan los porcentajes de elección de los y las docentes de primaria y secundaria en la Actividad 1, junto con las diferencias absolutas entre ambos grupos (delta) y los valores de p, que indican si estas diferencias son estadísticamente significativas.

Tabla 1. Porcentaje de docentes P y S que seleccionaron cada opción en las preguntas de respuesta única de la Actividad 1. Las opciones científicamente más adecuadas están resaltadas en negrita.

Elegí la opción que te parezca más adecuada en cada caso:	% elección		Λ
	P	S	
. En una botella de aceite de oliva puro, ¿qué hay entre las partículas que forman el aceite?			
a. Nada, no hay espacio entre las partículas	43,4	32,6	10,8
b. Un espacio vacío en el que no hay nada	22,6	43,5	20,9*
c. Más aceite	18,9	6,5	12,4
d. Aire	15,1	17,4	2,3
e. Alguna otra sustancia	0,0	0,0	0,0
. Cuando se añade una cucharadita de aceite a un vaso de agua se forma una capa delgada que cubre toda la superficie. Si esa misma cucharadita de aceite se añadiera a un lago, ¿qué ocurriría?			
a. Se extendería, pero solo cubriría hasta cierta área	17,0	58,7	41,7*
b. Se extendería y cubriría toda la superficie	34,0	17,4	16,6
c. El aceite se disolvería en el agua porque hay una cantidad mucho mayor de esta última	20,8	0,0	20,8*
d. Las partículas de aceite se separarían lo suficiente como para cubrir toda la superficie	28,3	23,9	4,4
. ¿Qué hay entre las partículas que forman el aire?			
a. Nada, no hay espacio entre las partículas	0,0	0,0	0,0
b. Un espacio vacío en el que no hay nada	37,7	63,0	25,3*
c. Más aire	50,9	10,9	40,0
d. Alguna otra sustancia	11,3	26,1	14,8
. Al mezclar 250 mL de agua con 250 mL de alcohol, el volumen total de la solución es de 480 mL. ¿Qué podría explicar esto?			
a. Parte del alcohol se evapora al mezclar	32,1	17,0	15,1
b. Las partículas de agua y alcohol interactúan entre sí	24,5	35,8	11,3
c. Las partículas de alcohol desplazan las partículas de agua, ocupando su lugar	15,1	13,2	1,9
d. Hay una reacción química entre el agua y el alcohol	5,7	1,9	3,8
e. El alcohol es menos denso que el agua	22,6	18,9	3,7
. Imaginá un anillo de oro puro, ¿qué hay entre las partículas que forman el oro del anillo?			
a. Nada, no hay espacio entre las partículas	75,5	45,7	29,8*
b. Un espacio vacío en el que no hay nada	13,2	54,3	41,1*
c. Más oro	11,3	0,0	11,3
d. Aire	0,0	0,0	0,0
e. Alguna otra sustancia	0,0	0,0	0,0

*p < 0.05

Tabla 2. Porcentaje de docentes P y S que seleccionaron cada opción en las preguntas de selección múltiple de la Actividad 1. Las opciones científicamente más adecuadas están resaltadas en negrita.

Elegí la opción que te parezca más adecuada en cada caso:	% elección		Λ
	P	S	
· Cuando el hierro se calienta hasta fundirse para crear una herramienta, las partículas de hierro...			
a. Se hacen más pequeñas	1,9	0,0	1,9
b. Se hacen más grandes	41,5	28,3	13,2
c. Mantienen su tamaño	32,1	52,2	20,1*
d. Se vuelven líquidas	32,1	4,3	27,8*
e. Comienzan a moverse	47,2	45,7	1,5
f. Se mueven más rápido	30,2	32,6	2,4
g. Se mueven más lento	0,0	0,0	0,0
h. Se calientan	49,1	26,1	23,0*
i. Se enfrían	1,9	0,0	1,9
· Cuando se limpia una superficie con alcohol y este se evapora, sus partículas...			
a. Se convierten en otra sustancia	18,9	4,3	14,6
b. Se hacen más pequeñas	0,0	0,0	0,0
c. Se hacen más grandes	58,5	50	8,5
d. Mantienen su tamaño	20,8	41,3	20,5*
e. Se vuelven gaseosas	35,8	19,6	16,2
f. Se mueven más rápido	77,4	78,3	0,9
g. Se mueven más lento	0,0	0,0	0,0
h. Se calientan	37,7	26,1	11,6
i. Se enfrían	0,0	0,0	0,0
j. Se acercan entre sí	13,2	2,2	11,0
k. Se alejan entre sí	32,1	65,2	33,1*
· Cuando congelás agua para hacer cubitos de hielo, las partículas de agua...			
a. Se vuelven sólidas	41,5	19,6	21,9*
b. Dejan de moverse	54,7	30,4	24,3*
c. Se mueven más rápido	0	0,0	0,0
d. Se mueven más lento	26,4	47,8	21,4*
e. Se calientan	0	0,0	0,0
f. Se enfrían	66,0	10,9	55,1*
· Cuando el vapor de la ducha se condensa en el espejo del baño, las partículas de agua...			
a. Se vuelven líquidas	37,7	17,4	20,3*
b. Se mueven más rápido	1,9	0,0	1,9
c. Se mueven más lento	26,4	80,4	54,0
d. Se calientan	0,0	0,0	0,0
e. Se enfrían	43,4	8,7	34,7*
f. Se acercan entre sí	32,1	58,7	26,6*
g. Se alejan entre sí	11,3	6,5	4,8
h. Se hacen más pequeñas	54,7	47,8	6,9
i. Se hacen más grandes	5,7	0,0	5,7
j. Mantienen su tamaño	20,8	52,2	31,4*

*p < .05

La Tabla 3 muestra las respuestas dadas por ambos grupos al problema, organizadas para el análisis en las cinco categorías utilizadas por Ben-Zvi y col. (1986). Se destacan las diferencias entre los grupos y se indica su significancia estadística.

Tabla 3. Porcentaje de docentes P y S que atribuyeron las propiedades a los átomos aislados en el problema. La opción más científicamente adecuada está resaltada en negrita.

Categorías	% atribución		Λ
	P	S	
a. Los átomos aislados del sólido tienen las propiedades del sólido y los átomos aislados del gas tienen las propiedades del gas.	35,8	15,2	20,6*
b. Los átomos, tanto aislados del estado sólido como del gas, siempre tienen las seis propiedades.	5,7	4,3	1,4
c. Los átomos aislados del sólido tienen las propiedades del sólido y los átomos aislados del gas tienen las propiedades del gas, pero algunas de las propiedades no puede tenerlas un solo átomo.	26,4	19,6	6,8
d. Los átomos aislados solo tienen las propiedades del gas.	3,8	4,3	0,5
e. Los átomos aislados no tienen ninguna propiedad.	24,5	54,3	29,8*
f. No clasificado.	3,8	2,2	1,6

*p <.05

DISCUSIÓN

En primer lugar, abordaremos las concepciones erróneas observadas en las respuestas de los docentes de primaria y secundaria relacionadas específicamente con los cuatro principios clave de la TCC y, en términos más generales, con la NPM. Posteriormente, analizaremos otras concepciones erróneas vinculadas al tamaño y la forma de las partículas, especialmente durante los cambios de estado.

Concepción errónea #1: la materia es continua

Según los resultados de la Tabla 1, el 18,9% de las y los docentes de primaria señaló que hay “más aceite” entre las partículas de aceite de oliva, porcentaje que aumenta al 50,9% para el aire y disminuye al 11,3% en el caso del oro. Estas respuestas indican una comprensión limitada de la NPM, ya que las y los docentes parecen conceptualizar la materia como una mezcla heterogénea con partículas suspendidas en una fase continua. Además, consideran al aire como un sistema con partículas más separadas, mientras que perciben los líquidos y sólidos como más compactos. Este razonamiento también se refleja en la creencia de que en los sólidos las partículas están en contacto directo, sin espacio entre ellas.

En secundaria se observa un patrón similar, aunque con menores porcentajes para gases y líquidos (10,9% y 6,5%, respectivamente), y sin selección de la opción “más oro” en sólidos. Estas diferencias pueden atribuirse a la formación científica más específica de las y los docentes de secundaria.

Las tendencias se replican en la pregunta sobre el aceite añadido a un lago. Mientras el 58,7% de los docentes de secundaria identificó correctamente que el aceite cubre un área limitada, solo el 17,0% de los docentes de primaria lo hizo. Un mayor porcentaje de docentes de primaria (34,0% frente al 17,4% de secundaria) creyó que el aceite cubriría toda la superficie del lago. De acuerdo con la NPM, la capa de aceite no puede extenderse infinitamente, sino que cubrirá una superficie limitada, determinada por el tamaño de las moléculas y sus interacciones. Sin embargo, más del 20% de docentes de ambos niveles seleccionó incorrectamente que las partículas de aceite se separarían lo suficiente como para cubrir toda la superficie (28,3%

primaria y 23,9% secundaria, Tabla 1, 2d). Esto sugiere una comprensión parcial de la NPM y la TCC: desconocen que las interacciones moleculares en los líquidos impiden que las moléculas se dispersen o bien que, cuando se vencen esas interacciones, lo que ocurre es un cambio de fase. Además, el 20,8% de las y los docentes de primaria sostuvo erróneamente que el aceite se disolvería en el agua, lo que denota que no comprenden totalmente el concepto de inmiscibilidad, ya que asumen que la naturaleza líquida de ambas sustancias permitiría que se mezclaran de manera uniforme, a pesar de sus propiedades distintivas.

Concepción errónea #2: el espacio entre las partículas no está vacío

Reconocer que hay espacio vacío entre partículas es un desafío tanto para estudiantes como para docentes, algo que también corroboran los resultados de este estudio.

En el caso de los gases, el 63,0% de las y los docentes de secundaria identificó correctamente la presencia de espacio vacío, frente al 37,7% de primaria (Tabla 1, 3a). Sin embargo, el 50,9% de los docentes de primaria consideró erróneamente que “más aire” llena este espacio, una idea menos frecuente en secundaria (10,9%) (Tabla 1, 3c). En cuanto a los líquidos, el 43,5% de los docentes de secundaria seleccionó la respuesta correcta, frente al 22,6% de primaria (Tabla 1, 1b). En cambio, el 43,4% de las y los docentes de primaria y el 32,6% de secundaria sostuvieron incorrectamente que no hay espacio vacío entre las partículas de aceite (Tabla 1, 1a). Con relación a los sólidos, aunque el 54,3% de los docentes de secundaria identificó correctamente la presencia de espacio vacío, solo lo hizo el 13,2% de primaria (Tabla 1, 5b). Consecuentemente, el 75,5% de primaria y el 45,7% de secundaria indicaron erróneamente que no existe espacio entre las partículas (Tabla 1, 5a).

Estas concepciones erróneas pueden derivar de las representaciones de la NPM en materiales educativos. Los sólidos suelen mostrarse como empaquetados de manera compacta en un patrón regular, lo que refuerza la idea de que “no hay espacio entre las partículas”. Por otro lado, los gases se representan con amplios espacios entre partículas, generando la concepción errónea de que este espacio está lleno de “más aire” u “otras sustancias”.

La compresibilidad también podría influir en estas concepciones erróneas. Los gases, al ser altamente compresibles, se asocian más fácilmente con la idea de espacio vacío mientras que los sólidos, percibidos como incompresibles, refuerzan la concepción errónea de que no hay espacio vacío entre las partículas, pese a su existencia a nivel microscópico.

Estos hallazgos están en consonancia con investigaciones existentes sobre las concepciones erróneas de los estudiantes, así como con los limitados estudios que analizan las ideas erróneas entre los docentes (Aydin y Altuk, 2013; Griffiths y Preston, 1992; Sopandi y col., 2017; Tatar, 2011; Treagust et al., 2009).

Concepción errónea #3: las partículas en los sólidos no tienen movimiento

Una concepción errónea destacada está relacionada con el movimiento de las partículas, especialmente en los cambios de fase (Tabla 2). Al preguntar sobre la congelación del agua, el 54,7% de los y las docentes de primaria y el 30,4% de secundaria sostuvieron incorrectamente que las partículas dejan de moverse (Tabla 2, 3b). Asimismo, el 47,2% de primaria y el 45,7% de secundaria indicaron erróneamente que las partículas de hierro “comienzan a moverse” al fundirse (Tabla 2, 1e). Esto sugiere que una gran parte del profesorado, aunque comprende que el proceso de fusión implica un aumento en el movimiento de las partículas, desconoce que las partículas en un sólido, como el hielo o el hierro sólido, mantienen un movimiento vibratorio aun cuando sus posiciones estén “fijas”. Esto coincide con los hallazgos de Tatar (2011) en la que estudiantes de profesorado de primaria indicaron que las partículas de un sólido no podían moverse debido a que estaban fuertemente conectadas entre sí.

Con respecto al movimiento de las partículas como función de la temperatura, los resultados muestran que las y los docentes identifican más fácilmente el aumento de movimiento en transiciones de líquidos a gases que de sólidos a líquidos, posiblemente porque perciben mayores espacios entre partículas en los gases. Por ejemplo, el 77,4% de primaria y el 78,3% de secundaria respondieron correctamente sobre la evaporación del alcohol (Tabla 2, 2f), pero solo el 30,2% y el 32,6%, respectivamente, lo hicieron en el caso de la fusión del hierro (Tabla 2, 1f).

En cambios inversos, como la condensación del vapor de agua, el 80,4% de docentes de secundaria reconoció que las partículas se mueven más lento, frente al 26,4% de primaria. De manera similar, al discutir sobre la congelación del agua, la combinación de respuestas como “se mueven más lento” (Tabla 2, 5d) y “dejan de moverse” (Tabla 2, 5b) sugiere que este cambio en el movimiento de las partículas es más fácilmente perceptible para ambos grupos de docentes, aunque la representación de partículas en materiales sólidos como inmóviles es científicamente errónea.

Estos hallazgos destacan que las y los docentes tienen una comprensión más adecuada del movimiento de las partículas en la fase gaseosa en comparación con las transiciones que involucran sólidos, particularmente en casos donde los cambios en el movimiento son menos pronunciados, como en la fusión.

Los resultados están en línea con otras investigaciones, principalmente sobre concepciones erróneas entre estudiantes (Boz, 2006; Sreypouv y Shimizu, 2017; Tatar, 2011).

Concepción errónea #4: las partículas no interactúan entre sí

En la Tabla 1, la pregunta 4 aborda la mezcla de agua y alcohol, cuyos volúmenes no son aditivos. Solo el 24,5% de los y las docentes de primaria y el 35,8% de secundaria seleccionaron correctamente que esto se debe a las interacciones entre partículas (Tabla 1, 4b). Un 22,6% de primaria y un 18,9% de secundaria atribuyeron erróneamente el fenómeno a diferencias de densidad (Tabla 1, 4e). Esto sugiere una posible confusión entre los conceptos de masa y volumen, lo que los lleva a concluir erróneamente que, para una

misma masa, los dos líquidos ocuparían volúmenes diferentes, explicando así la discrepancia observada.

Estos hallazgos, que destacan las mayores dificultades que enfrentan los docentes de primaria para comprender el concepto de enlaces e interacciones entre partículas, se alinean con una concepción errónea más amplia sobre la distancia entre partículas en diferentes fases.

Durante la evaporación, cuando las partículas ganan energía cinética, el 13,2% de primaria y el 2,2% de secundaria sostuvieron incorrectamente que las partículas se acercan (Tabla 2, 2j). En cambio, el 65,2% de secundaria y el 32,1% de primaria reconocieron correctamente que se alejan (Tabla 2, 2k). Esto evidencia que los docentes de secundaria comprenden mejor cómo el aumento de energía cinética debilita las interacciones intermoleculares, permitiendo mayor separación.

Un patrón similar se observa en la condensación del vapor de agua: el 58,7% de secundaria identificó correctamente que las partículas se acercan, frente al 32,1% de primaria (Tabla 2, 4f). Por otro lado, un 11,3% de primaria y un 6,5% de secundaria sostuvieron erróneamente que las partículas se alejan (Tabla 2, 4g), posiblemente debido a la concepción errónea de que las partículas que se mueven más rápido pasan, en promedio, más tiempo próximas entre sí.

Concepciones erróneas sobre el tamaño de las partículas

Los datos en la Tabla 2 revelan una persistente concepción errónea sobre el cambio de tamaño de las partículas al pasar de una fase a otra. Un ejemplo claro se observa en las respuestas sobre la fusión del hierro, en la que el 41,5% de los docentes de primaria y el 28,3% de secundaria sostuvieron incorrectamente que las partículas "se agrandan" al fundirse (Tabla 2, 1b). Este error refleja una comprensión incorrecta de la NPM y la TCC, ya que las partículas no modifican su tamaño durante los cambios de fase, sino que aumentan su energía, disminuyen sus interacciones y se separan más. Solo el 32,1% de los docentes de primaria y el 52,2% de los de secundaria reconocieron correctamente que las partículas mantienen su tamaño (Tabla 2, 1c). Este error se extiende a la evaporación del alcohol: el 58,5% de los docentes de primaria y el 50% de los de secundaria sostuvieron erróneamente que las partículas "se agrandan" durante la evaporación (Tabla 2, 2c). Solo el 20,8% de primaria y el 41,3% de secundaria respondieron correctamente que las partículas mantienen su tamaño (Tabla 2, 2d). Esto muestra una brecha en la comprensión de cómo la energía afecta el movimiento y el espaciamiento de las partículas durante los cambios de fase.

Este patrón de error es más pronunciado en docentes de primaria, probablemente debido a una comprensión incompleta de la NPM y de cómo los cambios de energía afectan las interacciones y el espaciamiento, pero no el tamaño de las partículas, lo que coincide con hallazgos previos (Aydin y Altuk, 2013; Sreypouv y Shimizu, 2017; Stojanovska y col., 2012; Valanides, 2000).

Concepciones erróneas sobre propiedades microscópicas y macroscópicas

En el reconocido estudio de Ben-Zvi y col. (1986), se observó que los estudiantes de secundaria atribuyen características macroscópicas de un material a sus átomos individuales, lo que refleja una concepción errónea asociada a un modelo continuo de la materia. Los docentes de primaria y secundaria mostraron una tendencia similar: el 35,8% y el 15,2%, respectivamente, sostuvieron incorrectamente que un átomo conserva las propiedades macroscópicas del material (Tabla 3, a). Esta perspectiva podría explicar por qué muchos docentes sostuvieron que las partículas cambiaban de tamaño al modificarse su estado de agregación (Tabla 2).

Además, estos resultados son consistentes con el hecho de que una proporción significativa de docentes de primaria indicó que, cuando el hierro se funde, las partículas "se vuelven líquidas" y "se calientan" (32,1% y 49,1%, respectivamente, Tabla 2, 1d, h). De manera similar, cuando el alcohol se evapora, señalaron que las partículas "se vuelven gaseosas" y "se calientan" (35,8% y 37,7%, respectivamente, Tabla 2, 2e, h). Asimismo, creyeron que, cuando el agua líquida se congela, las partículas "se vuelven sólidas" y "se enfrían" (41,5% y 66,0%, respectivamente, Tabla 2, 3a, f), y cuando el vapor se condensa, las partículas "se vuelven líquidas" y "se enfrían" (37,7% y 43,4%, respectivamente, Tabla 2, 4a, e). Estas respuestas fueron menos frecuentes entre los docentes de secundaria, aunque todavía significativas.

En cuanto a la atribución parcial de propiedades a los átomos, el 26,4% de los docentes de primaria y el 19,6% de secundaria indicaron que algunas propiedades macroscópicas no pueden atribuirse a un solo átomo, pero sí otras (Tabla 3, c). Estos docentes parecen estar en una transición hacia un modelo particulado, pero todavía se ven influenciados por un modelo intuitivo y continuo de la materia, donde las partículas se perciben como versiones en miniatura de la sustancia en su conjunto (Ben-Zvi y col., 1986).

Solamente el 54,3% de los docentes de secundaria y el 24,5% de primaria señaló correctamente que ninguna propiedad macroscópica debe atribuirse a los átomos individuales (Tabla 3, e).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En este artículo buscamos explorar cómo las y los docentes de primaria y secundaria conceptualizan la NPM. Los y las docentes de secundaria presentaron consistentemente concepciones más adecuadas que sus pares de primaria en la mayoría de las preguntas, lo que probablemente se deba a su formación científica más especializada. Sin embargo, ambos grupos mostraron concepciones erróneas notables, particularmente en relación con el comportamiento de las partículas durante los cambios de fase, el espaciado entre partículas y la relación entre la energía cinética y el movimiento de las partículas.

Es necesario reconocer algunas limitaciones de esta investigación. En primer lugar, el tamaño de la muestra fue relativamente pequeño, lo que limita la generalización de los hallazgos a una población más amplia de docentes.

Aunque los resultados proporcionan una instantánea de las concepciones erróneas comunes, muestras más grandes y diversas ofrecerían una visión más completa de cuán extendidas están estas ideas en diferentes contextos educativos. En segundo lugar, el estudio se basó en datos autoinformados mediante preguntas de opción múltiple. Este formato, si bien útil para identificar concepciones erróneas, puede no capturar completamente la profundidad del entendimiento de las y los docentes ni la complejidad de sus procesos de pensamiento. Preguntas abiertas o entrevistas podrían complementar esta información, especialmente para determinar si estas concepciones erróneas están vinculadas a habilidades de razonamiento deficientes, escasa retención de conocimientos, falta de formación profesional, recursos de aprendizaje insuficientes o difíciles de acceder, y/o uso limitado de literatura científica, como sugieren estudios previos (Abu-Hola, 2004; Hala et al., 2018; Svandova, 2014) o bien a otros factores como experiencias cotidianas, razonamiento intuitivo, orígenes sensoriales, etc.

Dado que esta investigación se centró en las respuestas de los y las docentes, pero no evaluó cómo estas concepciones erróneas podrían influir en sus prácticas de enseñanza en el aula, futuras investigaciones podrían explorar el impacto directo de tales concepciones en los resultados de aprendizaje de los estudiantes. Asimismo, sería relevante indagar en las razones subyacentes que explican la persistencia de estas concepciones, así como evaluar la eficacia de estrategias de enseñanza específicas diseñadas para mejorar la comprensión docente sobre la teoría cinético-corpúscular de la materia. En particular, resultaría pertinente profundizar en el estudio de las concepciones, su justificación y su origen mediante la aplicación de técnicas de investigación cualitativa, que permitan captar la complejidad de los marcos interpretativos de los docentes. Complementariamente, una línea de trabajo prometedora sería el diseño, implementación y evaluación de propuestas formativas que apunten a confrontar de manera explícita estas concepciones erróneas en el aula, facilitando la construcción de modelos conceptuales más acordes con los fundamentos científicos actuales.

Estos resultados, de todas formas, resultan un buen punto de partida diagnóstico para recalcar que las y los docentes, especialmente en el nivel primario, podrían beneficiarse de intervenciones específicas dirigidas, particularmente en áreas como el movimiento de las partículas, las transiciones de fase y la visión microscópica de la materia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Hola, I. (2004). Biological science misconceptions amongst teachers and primary students in Jordan: diagnosis and treatment. *Advances in Learning, Commerce and Security*, 1, 109–118.
- Albanese, A., y Vicenti, M. (1997). Why do we believe that an atom is colourless? Reflections about the teaching of the particle model. *Science & Education*, 6, 251–261. <https://doi.org/10.1023/A:1017933500475>
- Andersson, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53-85. <https://doi.org/10.1080/03057269008559981>

- Ayas, A., Özmen, H., y Çalik, M. (2009). Students' conceptions of the particulate nature of matter at secondary and tertiary level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 165-184. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9167-x>
- Aydin, A., y Altuk, Y. G. (2013). Turkish Science Student Teachers' Conceptions on the States of Matter. *International Education Studies*, 6(5), p104. <https://doi.org/10.5539/ies.v6n5p104>
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. S. y Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of chemical education*, 63(1), 64-66. <https://doi.org/10.1021/ed063p64>
- Boz, Y. (2006). Turkish Pupils' Conceptions of the Particulate Nature of Matter. *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 203-213. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9003-9>
- Bucat, R. (2004). Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 215-228. <https://doi.org/10.1039/B4RP90025A>
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., y Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293-307. <https://doi.org/10.1039/B7RP90006F>
- Chophel, Y. (2022). *Remediating misconceptions related to particulate nature of matter using video animation: an action research*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6496773>
- Coetzee, A., y Imenda, S.N. (2012). Alternative conceptions held by first year physics students at a South African university of technology concerning interference and diffraction of waves. *Research in Higher Education Journal*, 1-13.
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(1), 3-15. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75369>
- Duit, R., y Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Eryilmaz, A. (2002). Effects of Conceptual Assignments and Conceptual Change Discussions on Students' Misconceptions and Achievement Regarding Force and Motion. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 1001-1015.
- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) (2025). *Profesorados en ciencias*. <https://exactas.uba.ar/ensenanza/carreras-de-grado/profesorados-en-ciencias/>

- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (2025a). *Profesorados de Educación Secundaria y/o Superior*. <https://buenosaires.gob.ar/profesorados-y-formacion-en-educacion/profesorados-de-educacion-secundaria-yo-superior>
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (2025b). *Profesorado de Educación Primaria*. <https://buenosaires.gob.ar/profesorados-y-formacion-en-educacion/profesorado-de-educacion-primaria>
- Griffiths, A. K., y Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611-628. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290609>
- Haidar, A. H., y Abraham, M. R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 919-938. <https://doi.org/10.1002/tea.3660281004>
- Hala, Y., Syahdan, U. A., Pagarra, H., y Saenab, S. (2018). Identification of Misconceptions on Cell Concepts among Biology Teachers by Using CRI Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028.
- Harrison, A. G. (2001). How do Teachers and Textbook Writers Model Scientific Ideas for Students? *Research in Science Education*, 31(3), 401-435. <https://doi.org/10.1023/A:1013120312331>
- Harrison, A. G., y Treagust, D. F. (2003). The Particulate Nature of Matter: Challenges in Understanding the Submicroscopic World. En J. K. Gilbert, O. Jong, R. Justi, D. F. Treagust, y J. H. Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (Vol. 17, pp. 189-212). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_9
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a basic particle theory: A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393-412. <https://doi.org/10.1080/0950069980200402>
- Kapici, H. O., Akcay, H. (2016). Particulate Nature of Matter Misconceptions Held by Middle and High School Students in Turkey. *European Journal of Education Studies*, 2, 43-58.
- Kolomuç, A., y Tekin, S. (2011). Chemistry Teachers' Misconceptions Concerning Concept of Chemical Reaction Rate. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v3i2.194>
- Krnel, D., Watson, R., Glazar, S. A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of matter. *International Journal of Science Education*, 20, 257-289. <https://doi.org/10.1080/0950069980200302>
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D., y Blakeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conception of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300304>
- Lemma, A. (2012). Diagnosing the diagnostics: misconceptions of twelfth

- grade students on selected chemistry concepts in two preparatory schools in eastern ethiopia. *African Journal of Chemical Education*, 2(2), 16-31. <https://www.ajol.info/index.php/ajce/article/view/82443>
- Limón, M. y Mason, L. (2002). *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Kluwer Academic Publicshers.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191. <https://doi.org/10.1021/ed069p191>
- National Research Council (2012). Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering. En: S. R. Singer, N. R. Nielsen y H. A. Schweingruber (Ed.). *Committee on the Status, Contributions, and Future Directions of Discipline-Based Education Research, Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education*. The National Academies Press. <https://nap.nationalacademies.org/read/13362/chapter/8?term=58>
- Özalp, D. y Kahveci, A. (2015). Diagnostic assessment of student misconceptions about the particulate nature of matter from ontological perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 619-639. <https://doi.org/10.1039/C5RP00096C>
- Özmen, H. (2013). A Cross-National Review of the Studies on the Particulate Nature of Matter and Related Concepts. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 5(2), 81-110. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v5i2.77>
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (2005). The embodied nature of implicit theories: the consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and Instruction*, 23(3), 351-387. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2303_2
- Rai, A.K. y Kumar, S. (2019). Misconceptions in Science: A Theoretical Analysis. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(6), 543-551.
- Rajendra, C. y Khandagale, V. (2022). Intricacies in Identification of Biological Misconceptions. *Scholarly Research Journal for Interdisciplinary Studies*, 9(70), 16810-16819.
- Reiner, M., Slotta, J., Chi, M., y Resnick L. (2000) Naive Physics Reasoning: A Commitment to Substance-Based Conceptions. *Cognition and Instruction*, 18, 1-34. https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1801_01
- Schnotz, W., V Osniadou, S. y Carretero, M. (1999) *New perspectives on conceptual change*. Oxford: Pergamon
- Sopandi, W., Latip, A. y Sujana, A. (2017). Prospective Primary School Teachers' Understanding on States of Matter and Their Changes. *Journal of Physics: Conference Series*, 812, 012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/812/1/012075>
- Sreyppouv, O. y Shimizu, K. (2017). Exploring misconceptions about the

- characteristics of solid, liquid, and gas among junior high school students in Kampot province, Cambodia. *Unnes Science Education Journal*, 6. <https://doi.org/10.15294/USEJ.V6I3.20351>
- Stojanovska, M., Šoptrajanov, B. y Petrusovski, V. (2012). Addressing misconceptions about the Particulate Nature of Matter among Secondary-School and High-School Students in the Republic of Macedonia. *Creative Education*, 3, 619-631. <https://doi.org/10.4236/ce.2012.35091>
- Svandova, K. (2014). Secondary School Students' Misconceptions about Photosynthesis and Plant Respiration: Preliminary Results. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 10(1), 59-67. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1018a>
- Tatar, E. (2011). Prospective primary school teachers' misconceptions about states of matter. *Educational Research and Reviews*, 6(2), 197-200.
- Treagust, D., Chandrasegaran, A., Crowley, J., Yung, B., Cheong, I. y Othman, J. (2009). Evaluating students' understanding of kinetic particle theory concepts relating to the states of matter, changes of state and diffusion: A cross-national study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 141-164. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9166-y>
- Treagust, D.F. y Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 297-328. <https://doi.org/10.1007/s11422-008-9090-4>
- Valanides, N. (2000). Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(2), 249-262. <https://doi.org/10.1039/A9RP90026H>
- West, L. H. y Pines, A. L. (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. Sydney Academic Press.