

Caracterizando la Evolución de los Modelos Sustancia, Cambio Químico y Termodinámica a lo largo de la Trayectoria Escolar

Ainoa Marzabal

Pontificia Universidad Católica de Chile

amarzabal@uc.cl

Valeria Cabello

Pontificia Universidad Católica de Chile

vmcabello@uc.cl

Luigi Cuellar

Universidad Católica de la Santísima Concepción

lcuellar@ucsc.cl

Virginia Delgado

Pontificia Universidad Católica de Chile

vcdelgad@uc.cl

Franklin Manrique

Universidad de Santiago de Chile

cobaltato@gmail.com

Patricia Moreira

Pontificia Universidad Católica de Chile

pmmoreira@uc.cl

Cristian Merino

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

cristian.merino@pucv.cl

Macarena Soto

Pontificia Universidad Católica de Chile

macarena.soto@uc.cl

Línea temática: Aprendizaje, Modelización y Argumentación en la enseñanza de las ciencias
Modalidad: Simposio

Resumen

El análisis de la implementación del currículum escolar de Ciencias vigente en Chile evidencia la necesidad de identificar cuáles son sus núcleos estructurantes, y de qué manera se espera que progresen a lo largo de la trayectoria escolar. Con el objetivo de caracterizar las trayectorias de

aprendizaje esperadas para los modelos de materia, cambio químico y termodinámica, se definen hipótesis de progresión a partir del análisis documental de literatura disciplinar, curricular y didáctica, que posteriormente se refinan y validan a partir de evidencias de desempeño de estudiantes chilenos de Educación Media. Se espera que estas trayectorias de aprendizaje esperadas constituyan criterios didácticos y evaluativos que puedan orientar la toma de decisiones del profesorado en el diseño e implementación de secuencias didácticas orientadas a favorecer el desarrollo de los núcleos estructurantes de la Química escolar.

Palabras clave: Química, Aprendizaje, Modelos, Modelización, Trayectorias de aprendizaje

INTRODUCCIÓN

En 2005 en Chile se inició una importante reforma curricular, con el propósito de reorientar los objetivos y contenidos hacia un aprendizaje contextualizado de conocimientos científicos relevantes para todos. Estos cambios se han materializado en sucesivos ajustes curriculares, que culminaron en 2019 (Mineduc, 2013; 2015; 2019). A pesar del tiempo transcurrido, el análisis del Currículum vigente de ciencias sugiere una apropiación incipiente del enfoque de alfabetización científica (Uribe & Ortiz, 2014), unos planes de estudio sobrecargados de contenidos que muestran discontinuidades, falta de articulación, integración y progresión conceptual (Contreras & González, 2014), abstractos, difíciles de comprender y ajenos a las experiencias e ideas de los estudiantes (Sosa & Méndez, 2011).

Para los profesores del sistema escolar, analizar críticamente el currículum para identificar las principales ideas a trabajar constituye un gran desafío, considerando que la mayoría fueron formados con una organización tradicional de los contenidos (Cofré et al., 2010) donde no se hacen explícitas las ideas clave de la ciencia, los modelos que sustentan sus teorías ni de qué manera se han desarrollado históricamente (Talanquer, 2011).

Los antecedentes presentados evidencian la necesidad de identificar núcleos estructurantes que permitan interpretar el currículum en términos de nociones integradoras que puedan trabajarse con mayor profundidad y que permitan abordar las cuestiones sociocientíficas actuales, y de qué manera se espera que estas ideas vayan progresando a lo largo de la trayectoria escolar.

LOS MODELOS CIENTÍFICOS ESCOLARES COMO NÚCLEOS ESTRUCTURANTES DEL CURRÍCULUM ESCOLAR DE CIENCIAS

En los últimos años han aparecido numerosas propuestas que tratan de delimitar los núcleos estructurantes que permiten organizar el saber de los currículums escolares de ciencias. Desde nuestra perspectiva, la propuesta de estructurar el currículum escolar de ciencias en base a los modelos científicos escolares (MCE) es la más apropiada para formar ciudadanos competentes en el área científica, ya que constituyen nociones integradoras que permiten reducir la carga curricular, son aplicables a un amplio repertorio de situaciones y los procesos asociados a su desarrollo están sustentados en el constructivismo social (Fensham, 2008).

Los MCE son modelos cognitivos, análogos estructurales de lo que representan que los estudiantes construyen al explicar fenómenos, hacer predicciones, argumentar sus puntos de vista o resolver problemas en la clase de ciencias (Thagard, 2010). Un MCE es una guía extremadamente potente para interpretar el mundo en el contexto de la Actividad Científica Escolar (Adúriz & Izquierdo, 2009).

Varios autores han tratado de identificar los modelos de la Química, la Física, la Biología y la Geología relevantes para la formación de ciudadanos (Krell, Reinisch & Krüger, 2015). En el caso de la Química, asumiendo que es la ciencia que estudia la composición, estructura y propiedades de la materia y las reacciones químicas por las cuales una sustancia se convierte en otra (Smith *et al.*, 2006), es esencial la construcción de una noción de materia y de reacción química complejas en el nivel escolar (Raviolo *et al.*, 2011), que considere además los intercambios de energía asociados a los procesos de cambio (García-Carmona & Criado, 2013). Esto nos ha permitido identificar tres modelos de la Química escolar (MQE): a) el modelo de sustancia, b) el modelo de cambio químico y c) el modelo termodinámico, que se espera que los estudiantes vayan construyendo a lo largo de la trayectoria escolar.

En cuanto a la construcción progresiva de estos modelos químicos en la escuela, en la última década se ha identificado cierta convergencia en las formas sucesivamente más sofisticadas en que los estudiantes razonan sobre un determinado dominio disciplinar a medida que aprenden (Smith *et al.*, 2006). Estas trayectorias de aprendizaje surgen en la educación científica como una exploración de la secuencia en que los estudiantes desarrollan explicaciones más sofisticadas sobre fenómenos naturales en el marco de una “gran idea”, que corresponde a un principio organizador de una disciplina (Prieto *et al.*, 2002). Las trayectorias de aprendizaje pueden conceptualizarse como los sucesivos estados por los que pasa un estudiante en la evolución de sus ideas (Prieto *et al.*, 2002): aunque concibamos la comprensión como un proceso continuo y multidimensional, partimos del supuesto de que éste puede ser estudiado caracterizando estados discretos intermedios, que en nuestro caso corresponden a los modelos cognitivos que, sucesivamente, los estudiantes van construyendo (Talanquer, 2014).

En el contexto específico del aprendizaje de la Química hemos encontrado trabajos que han tratado de caracterizar trayectorias de aprendizaje, la mayoría de los cuales comprenden los niveles de 7° básico a 4° medio. Para esta etapa escolar se han reportado trayectorias de aprendizaje de los modelos de materia (Smith *et al.*, 2006; Garrido, 2017), cambio químico (Weinrich & Talanquer, 2015) y termodinámica (Cooper & Klymkowsky). En los tres casos se trata de propuestas incipientes, poco convergentes y que requieren de un proceso de refinamiento a través de estudios longitudinales más amplios para llegar a construir progresiones de aprendizaje a partir del estudio de trayectorias de aprendizaje de estudiantes a lo largo de intervalos de tiempo prolongados (Shea & Duncan, 2013).

En esta comunicación presentamos los resultados de la primera etapa de trabajo, cuyo objetivo fue caracterizar las trayectorias de aprendizaje esperadas para los modelos materia, cambio químico y termodinámica, que esperamos refinar y validar posteriormente. Estas trayectorias

de aprendizaje esperadas constituyen un punto de partida desde el cual orientar secuencias de enseñanza y aprendizaje enfocados en promover la evolución de los MCE de los estudiantes, y caracterizar las evidencias de aprendizaje de los estudiantes durante estas secuencias.

METODOLOGÍA

Desde el punto de vista metodológico, la caracterización de las trayectorias de aprendizaje esperadas para los tres MQE puede realizarse mediante una aproximación cualitativa interpretativa que permite identificar la progresión en dominios específicos de la ciencia escolar (Prieto et al., 2002) y que involucra tres etapas: 1) Construcción del mapa de dominio, 2) Definición de una hipótesis de progresión y 3) Identificación de la trayectoria de aprendizaje esperada.

La construcción del mapa de dominio corresponde a la representación mediante un mapa organizador de las ideas clave y las relaciones que se espera que los estudiantes en edad escolar construyan. Para la representación de estos mapas se identificaron los componentes de los tres MQE, considerando las categorías de análisis de Moreira, Marzabal y Talanquer (2019): las entidades – como componentes materiales del sistema -, las propiedades – como características relevantes de las entidades -, las actividades – como las interacciones entre las entidades que causan los fenómenos observados - y la organización – como la ubicación espacio temporal de las entidades durante el fenómeno.

A continuación, se definió una hipótesis de progresión a partir de un nuevo análisis documental que incorporó los estudios teóricos y empíricos de los aprendizajes de los estudiantes en este dominio disciplinar específico, y que permitió identificar los peldaños (*stepping – stones*) que corresponderían a los modelos intermedios que se espera que los estudiantes construyan (Talanquer, 2014). En esta segunda etapa exploramos la hipótesis de progresión mediante la comparación de los diagramas en los niveles escolares sucesivos.

La última etapa de trabajo, actualmente en desarrollo, se centra en el refinamiento y validación de las hipótesis de progresión a partir de evidencias del desempeño de estudiantes en actividades que permitan identificar sus modelos cognitivos. Con este propósito se espera seleccionar una muestra dirigida de máxima variación (Creswell, 2009) de 300 estudiantes de Educación Media de establecimientos educacionales chilenos. La estrategia de recogida de datos permitirá disponer de evidencias que permiten identificar los MCE químicos de los estudiantes; para ello se considerarán sus producciones escritas en respuesta a tareas diseñadas y validadas para este fin. En estas tareas los estudiantes deben conceptualizar, idealizar o simplificar fenómenos asociados a cuestiones socio científicas orientadas hacia aspectos personales y sociales, para formular explicaciones (Gilbert & Justi, 2016). La estrategia de análisis de estos datos se basa en la identificación de los modelos cognitivos de los estudiantes a partir de la hipótesis de progresión, considerando cada uno de sus peldaños o *stepping stones* como categorías de análisis. El proceso de refinamiento de la hipótesis de progresión consistirá en confirmar la presencia de los peldaños propuestos, e identificar la presencia de nuevos peldaños mediante una estrategia de comparación constante hasta llegar al punto de saturación (Johnson, 2013).



Revista Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza. Año 2021; Número **Extraordinario**. ISSN 2619-3531. *Memorias V Congreso Latinoamericano de Investigación en Didáctica de las Ciencias.* 23 y 24 de septiembre de 2021. Modalidad virtual.

RESULTADOS PRELIMINARES

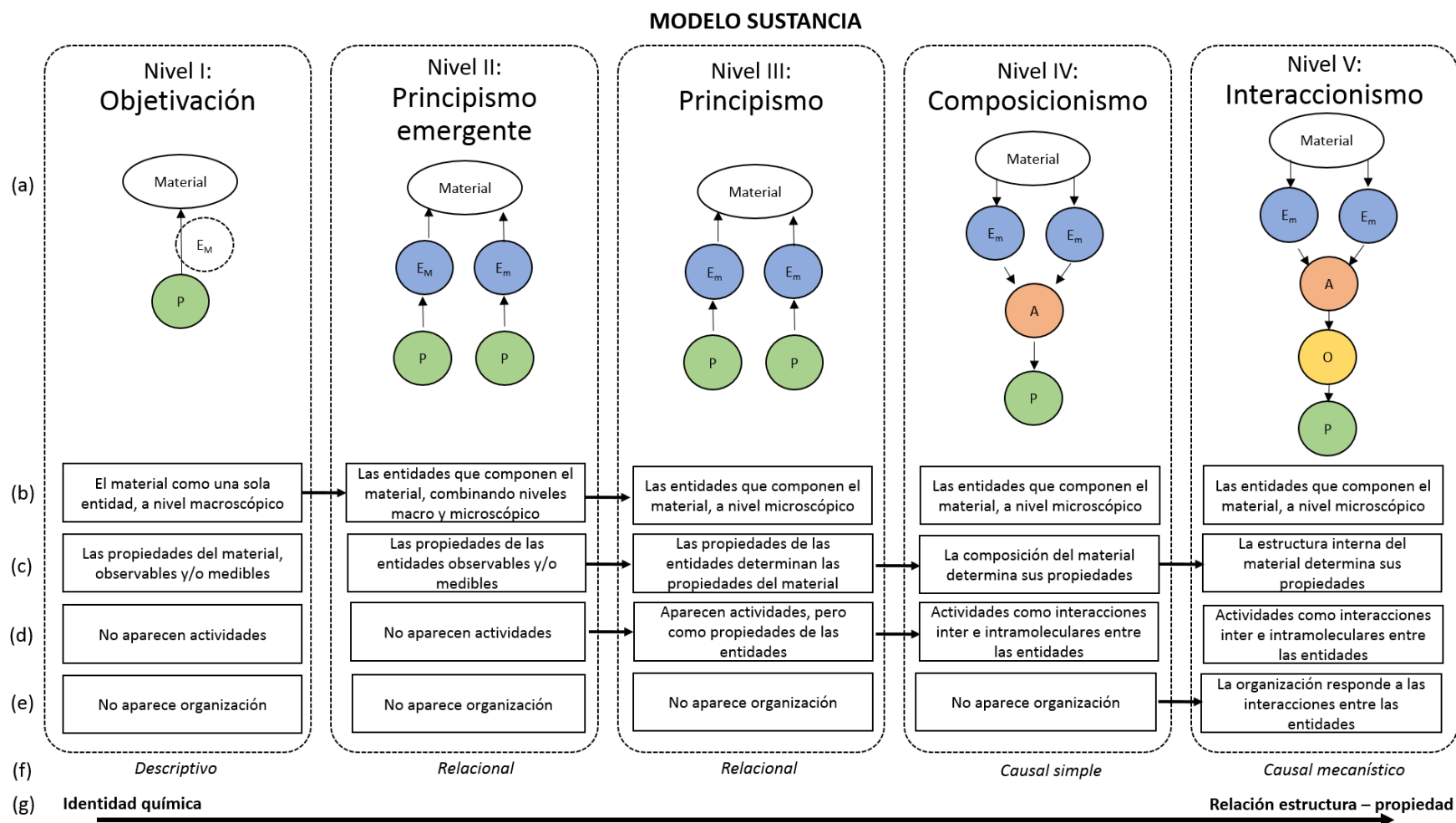
Actualmente hemos construido las hipótesis de progresión para los modelos de sustancia, cambio químico y termodinámica, y estamos construyendo las tareas que aplicaremos a los estudiantes. Nuestro trabajo es, hasta ahora, el resultado del análisis documental y las discusiones del equipo participante.

En consideración a la extensión de esta propuesta, a continuación, presentamos la hipótesis de progresión del modelo de sustancia, a modo de ejemplo (figura 1). En la hipótesis de progresión esperada se caracteriza cada uno de los niveles, en orden creciente de sofisticación conceptual, mediante (a) sus diagramas de razonamiento y los componentes del modelo, considerando (b) las entidades, (c) las propiedades, (d) las actividades y (e) la organización (Moreira, Marzábal y Talanquer, 2019), (f) el nivel de razonamiento causal esperado (Perkins y Grotzer, 2000) y (g) los conceptos disciplinares transversales (Talanquer, 2014) que se van construyendo progresivamente.

En el congreso, esperamos poder presentar las trayectorias de aprendizaje esperadas para cada uno de los tres modelos, mostrando el proceso completo y las evidencias de desempeño de los estudiantes que nos habrán permitido refinar y validar las hipótesis de progresión.

Estas trayectorias de aprendizaje esperadas, caracterizadas en nuestro contexto educativo, esperamos constituyan criterios didácticos y evaluativos que contribuyan a la toma de decisiones del profesorado en la planificación e implementación de secuencias didácticas para favorecer el desarrollo de los tres núcleos estructurantes de la Química escolar.

Figura 1: Hipótesis de progresión para el modelo de sustancia



Bibliografía

- Adúriz, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, (ESP), 40–49.
- Cofré, H., Camacho, J., Galaz, A., Jiménez, J., Santibáñez, D., & Vergara, C. (2010). La educación científica en Chile: debilidades de la enseñanza y futuros desafíos de la educación de profesores de ciencia. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 36(2), 279–293.
- Contreras, S., & González, A. (2014). La selección de contenidos conceptuales en los programas de estudio de Química y Ciencias Naturales chilenos: análisis de los niveles macroscópico, microscópico y simbólico. *Educación Química*, 25(2), 97–103.
- Cooper, M. M., & Klymkowsky, M. W. (2013). The trouble with chemical energy: Why understanding bond energies requires an interdisciplinary systems approach. *CBE—Life Sciences Education*, 12(2), 306-312.
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: choosing among five approaches*. *Qualitative Inquiry and Research Design*. Lincoln: Sage.
- Fensham, P. (2008). Science education policy-making. *Eleven Emerging Issues*.
- García-Carmona, A., & Criado, A. M. (2013). Enseñanza De La Energía En La Etapa 6-12 Años : Un Planteamiento Desde El Ámbito Curricular. *Enseñanza de las ciencias*, 3, 87–102.
- Garrido, A. E. (2017). La construcción del modelo materia en la formación inicial de maestros: análisis desde la perspectiva de la modelización. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 2015-2020.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education* (Vol. 9). Cham: Springer International Publishing.
- Johnson, P. (2013). How students' understanding of particle theory develops: A learning progression. In *Concepts of matter in science education* (pp. 47-67). Springer, Dordrecht.
- Krell, M., Reinisch, B., & Krüger, D. (2015). Analyzing Students' Understanding of Models and Modeling Referring to the Disciplines Biology, Chemistry, and Physics. *Research in Science Education*, 45(3), 367–393.
- Ministerio de Educación. (2013). *Bases curriculares 1° a 6° básico*. Santiago, Chile.
- Ministerio de Educación. (2015). *Bases curriculares 7° básico a 2° medio*. Santiago, Chile.
- Ministerio de Educación. (2019). *Bases curriculares 3° a 4° medio*. Santiago, Chile.
- Moreira, P., Marzabal, A., & Talanquer, V. (2019). Using a mechanistic framework to characterise chemistry students' reasoning in written explanations. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1), 120-131.
- Perkins, D. N., & Grotzer, T. A. (2000). Models and Moves: Focusing on Dimensions of Causal Complexity To Achieve Deeper Scientific Understanding.
- Raviolo, A., Garriz, A., & Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, ISSN-e 1697-011X, Vol. 8, No. 3, 2011, Págs. 240-254, 8(3), 240–254.

- Ruiz, T. P., López, Á. B., & Peinado, V. B. B. (2002). La progresión en el aprendizaje de dominios específicos: una propuesta para la investigación. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(1), 3-14.
- Shea, N. A., & Golan Duncan, R. (2013). From Theory to Data: The Process of Refining Learning Progressions. *Journal of the Learning Sciences*, 22(1), 7–32.
- Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: a proposed learning progression for matter and the atomic-molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 4(1-2), 1-98. Spencer, J. N., Bodner, G. M. and Rickard, L. H. 2006. *Chemistry: Structure and dynamics*, (3rd ed.), Hoboken, NJ: Wiley.
- Sosa, P., & Méndez, N. (2011). El problema del lenguaje en la enseñanza de los conceptos compuesto, elemento y mezcla. *Educación Química*, 8, 44–51.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet.” *International Journal of Science Education*, 33(2), 179–195.
- Talanquer, V. (2013). Progresiones de aprendizaje: promesa y potencial. *Educación química*, 24(4), 362-364.
- Talanquer, V. (2014). Threshold concepts in chemistry: The critical role of implicit schemas. *Journal of Chemical Education*, 92(1), 3-9.
- Thagard, P. (2010). How Brains Make Mental Models. In L. Magnani, W. Carnielli, & C. Pizzi (Eds.), *Model-Based Reasoning in Science and Technology. Studies in Computational Intelligence* (pp. 447–461). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Uribe, M., & Ortiz, I. (2014). Programas de estudio y textos escolares para la enseñanza secundaria en Chile: ¿qué oportunidades de alfabetización científica ofrecen? *Enseñanza de Las Ciencias*, 32(3), 37–52.
- Weinrich, M. L., & Talanquer, V. (2016). Mapping students' modes of reasoning when thinking about chemical reactions used to make a desired product. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 394(17), 394–406.