



Análisis semántico y cognitivo de secuencias didácticas para la modelización

Semantic and Cognitive Analysis of Didactic Sequences for Modeling

Sylvia Moraga-Toledo

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Playa Ancha Valparaíso, Chile.
sylvia.moraga@upla.cl

Mariona Espinet-Blanch

Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, España.
mariona.espinet@uab.cat

RESUMEN • Se analizan las secuencias de enseñanza-aprendizaje de Química (SEAg) diseñadas por los estudiantes del máster de Formación del Profesorado de Ciencias de Secundaria (PCFI). La pregunta del estudio es: ¿De qué manera las actividades presentes en las SEAg diseñadas por PCFI promueven la modelización? En base a la teoría del código de legitimación y la perspectiva de la actividad científica escolar, se propone una herramienta teórico-metodológica de naturaleza semántica y cognitiva para la caracterización de veinte SEAg a través del análisis de contenido. Las conclusiones apuntan a las dificultades que tienen los PCFI para diseñar SEAg que promuevan la modelización y al valor de la herramienta teórico-metodológica utilizada para iluminar dichas dificultades no solamente para la enseñanza de la química sino también de las ciencias.

PALABRAS CLAVE: Modelización; Actividad científica escolar; Teoría del código de legitimación; Onda Semántica; Diseño de secuencias de enseñanza y aprendizaje.

ABSTRACT • The Chemistry Teaching-Learning Sequences (SEAs) designed by the students of the Master of Secondary Science Teacher Training (PCFI) are analyzed. The question of the study is: In what way do the activities in the SEAs designed by PCFI students promote modeling? Based on the legitimation code theory and the perspective of the school scientific activity, a theoretical-methodological tool of a semantic and cognitive nature is proposed for the characterization of 20 SEAs through content analysis. The conclusions point to the difficulties that PCFI students have when designing SEAs that promote modeling, as well as to the value of the theoretical-methodological tool which was used to illuminate these difficulties for the teaching of both chemistry and science in general.

KEYWORDS: Modeling; School scientific activity; Legitimation code theory; Semantic wave; Design of teaching and learning sequences.

Recepción: marzo 2023 • Aceptación: febrero 2024 • Publicación: junio 2024

Moraga-Toledo, S. y Espinet-Blanch, M. (2024). Análisis semántico y cognitivo de secuencias didácticas para la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 5-24
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5915>

INTRODUCCIÓN

Los docentes son uno de los principales agentes que pueden contribuir al cambio educativo (OCDE, 2023), ajustándose a un perfil profesional que les permita responder adecuadamente a los nuevos retos y demandas que surgen en una nueva sociedad del conocimiento y la información. Muchas reformas instruccionales en la enseñanza de las ciencias en todo el mundo abogan por involucrar a los estudiantes en ideas y prácticas disciplinares que vayan más allá de un compromiso cognitivo superficial (European Commission, 2015). La implementación de estas reformas requiere cambiar la manera en que se llevan a cabo las tareas y actividades de aprendizaje en las aulas de ciencias para que los estudiantes puedan desarrollar un pensamiento crítico que promueva la construcción del conocimiento (Tekkumru-Kisa et al., 2015; Couso y Márquez 2023). Varios estudios han demostrado el acceso limitado de los estudiantes a tareas de alto nivel cognitivo, como son evaluar, analizar o reflexionar, lo que indica que existe un problema de la práctica de los profesores de ciencias (Banilower et al., 2013). Una forma de abordar este reto es formar al profesorado de ciencias en ejercicio y en formación en el diseño de secuencias didácticas (European Commission, 2013; Flores, 2016; Jones y Leagon, 2014) como una valiosa oportunidad que promueve la dialéctica teoría-práctica reflexiva (Rodríguez y Blanco, 2021).

El diseño de una secuencia didáctica constituye una herramienta básica de aprendizaje para los PCFI. Existe un acuerdo basado en la investigación empírica sobre los componentes que deben aparecer en este diseño en la enseñanza de las ciencias (Couso, 2011; Karlström y Hamza, 2021). Estos componentes incluyen respuestas a preguntas importantes, tales como qué contenidos específicos enseñar, en qué contexto, a qué objetivos deben apuntar, en qué orden, qué actividades que permitan la reflexión y análisis deben seleccionarse, cómo se implementan y evalúan estas actividades, etc., además de los materiales y recursos que utilizar.

A pesar de la importancia de la buena planificación para la enseñanza de las ciencias, la investigación sobre cómo planifican los PCFI es escasa (John 2006). En un estudio reciente en el contexto de EE. UU., Whittington y Tekkumru-Kkisa (2020) indicaron que los PCFI mostraban una falta de habilidad para seleccionar tareas de aprendizaje de ciencias que ofrecieran oportunidades para el pensamiento crítico. En el contexto de España, algunas investigaciones se han centrado en las dificultades que tienen los PCFI con el diseño de SEA. Los resultados del estudio de Vilches y Perales (2017) muestran las dificultades que tiene este colectivo en cuanto al uso del contexto, la secuenciación de contenidos, la transversalidad, las tareas de aprendizaje y la metodología, entre otros.

En este estudio nos proponemos analizar las trayectorias de construcción de conocimiento que emergen de las SEA de química (SEAc) diseñadas por PCFI como tarea para sus prácticas en centros educativos. Más concretamente, queremos explorar el potencial de una lente teórica, la teoría del código de legitimación (TCL) (Maton, 2011), para iluminar las dificultades que enfrentan los PCFI a la hora de diseñar unos SEAc que promuevan la construcción de significado y conocimiento a través de la modelización científica en el aula de secundaria.

MARCO TEÓRICO

Teoría de códigos de legitimación: una perspectiva semántica para la construcción del conocimiento

La TCL es una teoría joven y de rápido crecimiento que permite explorar y dar forma a las prácticas de conocimiento. Las aportaciones teóricas de la TCL consisten en unos conceptos útiles para interpretar la dinámica de construcción de significados a través del lenguaje, y más concretamente del ámbito de la semántica (Martin et al., 2020).

Maton (2013b, 2014) introduce las ideas teóricas clave de la TCL que sustentaron su proyecto, tanto como estudio de investigación como también de intervención pedagógica. Su propuesta consiste en tres conceptos lingüísticos relativamente nuevos como gravedad semántica (GS), densidad semántica (DS) y ondas semánticas (OS), que actúan como un conjunto de principios organizativos subyacentes a la construcción del conocimiento. Mientras que la gravedad semántica (GS) se entiende como la dependencia o independencia del contexto de los significados construidos, la densidad semántica (DS) focaliza en la concentración de significado en un concepto, término, símbolo, gesto, etc. Cuantos más significados contenga un concepto, más semánticamente denso será.

La DS y la GS se pueden usar como herramientas analíticas por separado o juntas, y pueden variar en intensidad a lo largo de un continuo y en relación entre sí. Cuando se usan juntos, pueden conceptualizar el aprendizaje como ondas semánticas (OS) de formas diferentes. En una onda semántica genérica (figura 1), un docente podría comenzar una clase con una definición abstracta de reacciones de oxidación y reducción. En este caso, estaríamos frente a un escenario donde la gravedad semántica (GS-) es débil debido a que se presenta el concepto descontextualizado y la densidad semántica (DS+) es fuerte en virtud de todo el potencial de significados empaquetados en ese término. A medida que avanza la clase y se trabaja en contacto con los fenómenos, podría darse un proceso de desempaquetamiento mediante el cual se van desgranando los significados y se van conectando con contextos experimentales relevantes. El escenario evolucionaría hacia una gravedad semántica más fuerte (GS+) y una densidad semántica más débil (DS-). Al acercarse el final de la clase se podría producir un proceso de empaquetamiento de significados caracterizado por una gravedad semántica débil (GS-) y una densidad semántica fuerte (DS+).

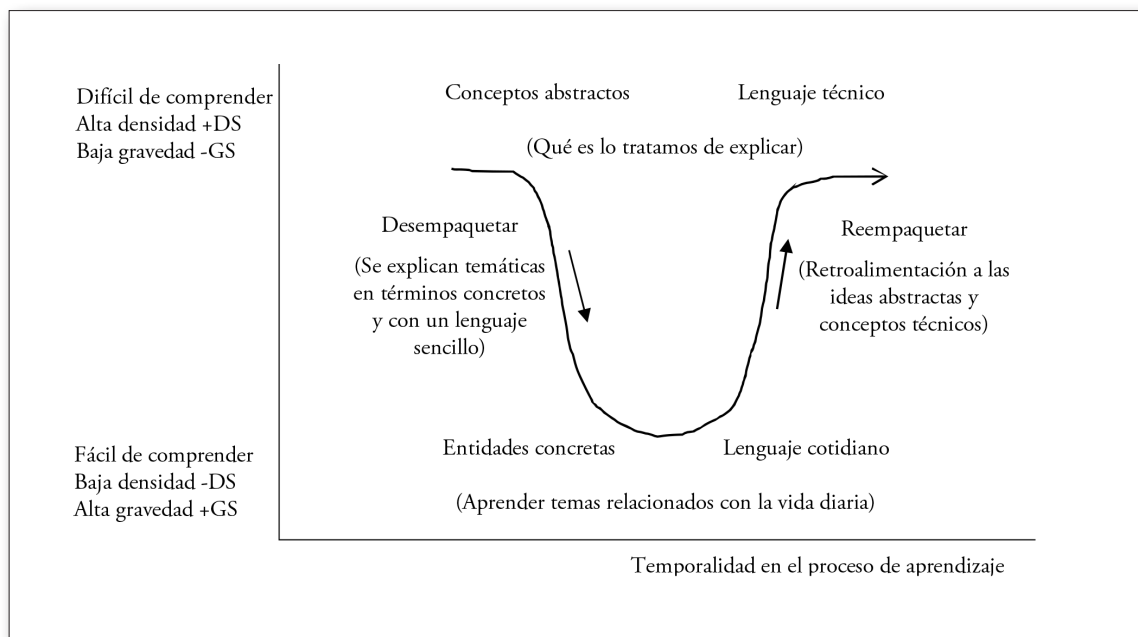


Fig. 1. Onda semántica genérica de Waite et al. (2019).

Por lo tanto, se propone la onda semántica como una manera de representar la transformación del conocimiento en el aula de la figura 1 entre significados condensados descontextualizado y significados simplificados dependientes del contexto. De este modo la práctica de acumulación de conocimiento en el aula se podría explicar a partir de la relación de estos principios organizativos en secuencias representadas en una onda semántica.

En esta línea, se han realizado diversos estudios haciendo uso de la TCL como herramienta teórico-metodológica. Mouton y Archer (2019) utilizaron la TCL para dilucidar por qué los estudiantes que se desempeñaron relativamente bien en biología en la escuela secundaria tuvieron dificultades con la materia en el primer año. Esta investigación reveló que el plan de estudios de biología de la escuela secundaria está en un nivel completamente diferente al plan de estudios universitario. En términos de la dimensión semántica de TCL, el plan de estudios de secundaria mostró poco movimiento desde los significados más simples dependientes del contexto hacia los significados complejos relativamente descontextualizados que se encuentran con frecuencia en el primer año de biología.

Por otra parte, Dankenbring (2021), en su investigación, hace uso del TCL como marco analítico para crear perfiles semánticos de una unidad STEM integrada y de la implementación de lecciones STEM integradas por parte de profesores de secundaria. Específicamente, se analiza la gravedad semántica, o el grado en que el significado está arraigado dentro del contexto en el que se adquiere, para mapear e identificar patrones semánticos que pueden promover o restringir la creación de significado. Los resultados de estos estudios indican que la TCL puede ser una herramienta útil para desarrollar y examinar materiales curriculares STEM integrados, evaluar el discurso del profesor durante la implementación de lecciones STEM integradas, determinar cómo los profesores están integrando múltiples discursos disciplinarios e identificar áreas en las que los profesores pueden beneficiarse de un apoyo adicional a medida que aprenden a implementar STEM integradas.

Finalmente, Cranwell y Whiteside (2020) compararon la complejidad de las explicaciones habladas sobre la sustitución aromática electrofílica dentro de los contextos universitarios y secundarios del Reino Unido a través de una exposición o una presentación. Los hallazgos mostraron que, en todos los niveles de estudio investigados, la densidad semántica era más fuerte y se observaba en el lenguaje específico y abstracto utilizado por los siete participantes, independientemente de la audiencia.

En consecuencia, desde que se plantea la TCL como herramienta teórico-metodológica de naturaleza semántica para comprender cómo se construye el conocimiento a lo largo del tiempo, ha habido investigaciones que se han aplicado en una variedad de disciplinas como biología, química, historia, periodismo, enfermería, inglés y física (Blackie, 2014). Los focos de investigación de estos trabajos han sido diversos e incluyen, por ejemplo, el análisis de los discursos de docentes enseñando química, análisis de los informes de laboratorio escritos por los estudiantes de profesores o el análisis de las planificaciones de clase o lecciones de clase de docentes enseñando informática. Consideramos que aplicar esta herramienta teórico-metodológica para el análisis de las SEA diseñadas por los PCFI es una oportunidad para conocer qué tipo de lenguaje utilizan y cómo lo desarrollan en el diseño de sus actividades para promover la modelización en el proceso de enseñanza de la química.

Actividad científica escolar: una perspectiva cognitiva para la modelización

Dada la gran diversidad de terminología y enfoques presentes, es importante situarnos con respecto a qué entenderemos por modelo y modelización en esta investigación. Por una parte, la idea de modelo que consideramos consiste en una construcción didáctica diseñada especialmente, teniendo en cuenta las finalidades educativas del currículo y las dificultades y capacidades de los estudiantes (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003; Gómez, 2005). Por otra parte, entendemos por modelización la acción de construir el significado de los fenómenos científicos. Esta actividad la llevan a cabo individuos en solitario o integrados en un grupo.

La modelización es importante para la enseñanza de las ciencias porque constituye un proceso que le permite al estudiante construir conocimiento científico útil para explicar los hechos o los fenómenos que le rodean. Pero, para que el estudiante elabore estas representaciones mentales, es fundamental que el docente, además de seleccionar, articular y organizar los saberes, elabore actividades en su SEA que

le permitan al estudiante construirlo. De esta manera, los modelos conceptuales se entienden como tramas de ideas abstractas organizadas y jerarquizadas que se construyen para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo.

La construcción de este conocimiento desde la mirada de la TCL se realiza considerando dos ejes, la densidad y la gravedad semánticas, que se representan a través de la onda semántica. Para este estudio se consideran las bases teóricas de la TCL, pero adaptando las definiciones de gravedad y densidad semánticas a los dos conceptos de naturaleza cognitiva desarrollados para explicar la modelización científica: dimensiones cognitivas (Guidoni, 1985; Izquierdo, 2007) y niveles cognitivos de (Sensévy et al., 2008; Espinet et al., 2012). Creemos que estos dos conceptos constituyen los dos ejes que nos permitirán inferir el camino semántico que el PCFI ha planteado en su SEA.

El primer eje para la construcción del conocimiento: las dimensiones cognitivas

Para adoptar una mirada de naturaleza cognitiva sobre la modelización en la enseñanza de las ciencias, nos basaremos en las dimensiones cognitivas desarrolladas por Izquierdo (2007) para estructurar la actividad científica escolar. La autora aplica los hallazgos de la ciencia cognitiva a la enseñanza de las ciencias e identifica tres dimensiones «independientes» del sistema cognitivo humano que conviene considerar de manera principal al enseñar para que se aprenda significativamente. Estas dimensiones incluyen, por un lado, pensar (mediante representaciones simbólicas o modelos mentales), actuar (adquirir experiencias significativas, personales sobre el mundo natural), y comunicar (utilizando convergentemente una diversidad de lenguajes o sistemas semióticos). Estas tres dimensiones cognitivas, si se trabajan de manera coordinada, permiten que se estructure una buena actividad científica escolar que se parece o es similar a la actividad de los científicos en su núcleo más irreducible y que correspondería a la capacidad de pensar el mundo con teorías.

Pero, para que un modelo sea perdurable, es necesario conectar las dimensiones cognitivas. Esto supone que las actividades han de promover transiciones entre las diferentes dimensiones. Estas transiciones cognitivas son de tres tipos (figura 2): a) la transición que conecta el pensamiento o representación mental con la acción (P-A); b) la transición que conecta la acción y el lenguaje (A-L) y finalmente c) la transición que conecta el lenguaje y el pensamiento (L-P). Sin embargo, en la conducta humana estas tres facetas no siempre se conectan adecuadamente y es necesario identificar las dificultades que puedan presentarse (Merino e Izquierdo, 2011).

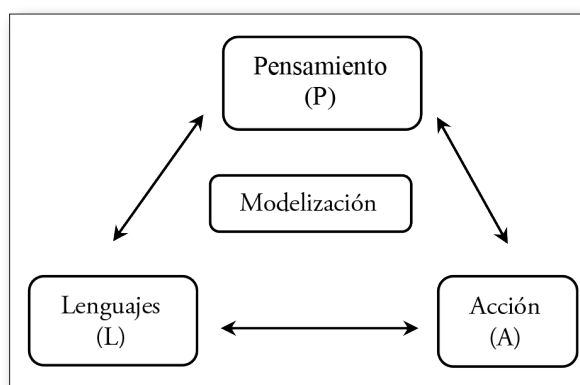


Fig. 2. Transiciones cognitivas entre el pensamiento, lenguaje y acción (adaptado de Merino e Izquierdo, 2011).

Cada aprendiz tiene diversas capacidades que se pueden presentar según las tres diferentes dimensiones cognitivas irreducibles una de la otra: el pensamiento, la acción y el lenguaje. Cuando la persona persigue una finalidad valiosa, se piensa sobre lo que se hace, se inventan los lenguajes adecuados a la nueva experiencia y se establece un consenso respecto a los que van a permitir comunicar, para continuar actuando, pensando, comunicando con éxito hasta alcanzar la meta. En caso contrario, cuando las preguntas no son las adecuadas, los lenguajes usados son aquellos que los científicos han inventado y que resultan ser desconocidos para los estudiantes, las teorías no tienen un significado experimental y los experimentos se llevan a cabo como si fueran una receta de cocina. Así, las tres dimensiones se vuelven absolutamente desconectadas.

En el presente trabajo nos proponemos enriquecer el concepto de densidad semántica a partir de la inclusión de las dimensiones cognitivas. En ambos conceptos se aborda la concentración de significados, pero desde la modelización consideramos que es necesario la interrelación entre estas dimensiones cognitivas para favorecer el aprendizaje. Así mismo, nos facilita la construcción de herramientas de análisis para identificar las acciones cognitivas que se promueven en las SEA diseñadas por los PCFI.

Segundo eje para la construcción del conocimiento: los niveles cognitivos

La modelización según Sensevy et al. (2008) y Espinet et al. (2012) es planteada como una serie de relaciones sistemáticas que se desarrollan a través de la interacción entre dos mundos: a) el mundo de la experiencia, de los objetos y los acontecimientos del ámbito material (el experimental/concreto) y b) el mundo de los conceptos, los modelos y las teorías de las situaciones materiales estudiadas (el abstracto). Para el propósito de este estudio, entendemos la relación entre estos dos mundos como una transición entre los niveles cognitivos concreto y abstracto, que son los caracterizan una actividad que promueve la modelización diseñada por un PCFI. Este eje, que corresponde a los niveles cognitivos, se relaciona con el concepto propio de la TCL gravedad semántica, en cuanto a la dependencia o independencia del mundo concreto de la vida diaria con el mundo abstracto de los modelos teóricos. Como en el caso de las transiciones cognitivas asociadas a la densidad semántica, los niveles cognitivos nos aportan una concreción de la gravedad semántica al ámbito de la educación científica que promueve la modelización, de modo que enriquece el significado de dicho concepto semántico.

PREGUNTA Y OBJETIVOS

La finalidad última de este trabajo consiste en la propuesta de una herramienta de naturaleza semántica y cognitiva para el análisis de las SEA de ciencias. Para ello se utilizarán los conceptos de naturaleza cognitiva como las dimensiones y los niveles cognitivos para representar los significados de modelización, así como también el concepto de onda semántica de naturaleza semántica para representar la evolución del conocimiento propuesto en una SEA. La pregunta de investigación de este trabajo es: ¿de qué manera las actividades de las SEAq diseñadas por el PCFI promueven la modelización? Los objetivos específicos que se abordan son los siguientes: a) caracterizar las actividades de las SEA mediante la identificación de las transiciones cognitivas que demandan y establecer perfiles de modelización y b) representar la trayectoria de construcción de significados de cada SEAq a través de las ondas semánticas e identificar los patrones semánticos comunes a todas ellas.

METODOLOGÍA

El contexto de esta investigación lo constituye el máster de Formación del Profesorado de Educación Secundaria (MFPS) de la especialidad de Ciencias de Catalunya. Los documentos analizados están constituidos por las SEAQ en formato .pdf que diseñan los PCFI para posteriormente aplicarlas en los centros educativos en el contexto del prácticum. Las SEAQ fueron solicitadas a la persona coordinadora del prácticum de cada universidad, brindándonos el material sin la identidad de los y las autoras. Cinco son las universidades participantes que imparten el MFPS de Ciencias en la Catalunya: Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad de Barcelona, Universidad de Girona, Universidad Pompeu Fabra y Universidad de Rovira y Virgili. La muestra quedó conformada por veinte SEAQ que corresponden al periodo comprendido entre 2015 y 2016 (tabla 1).

Tabla 1.
Características de las veinte SEAQ de la muestra seleccionada

<i>Institución</i>	<i>N.º de SEAQ analizadas</i>	<i>Código de identificación</i>	<i>Nivel educativo</i>	<i>Tema</i>	<i>Título</i>
A	1	A1	3.º ESO	La materia	Conocer los elementos. Es elemental
B	6	B1	3.º ESO	Reacciones químicas	Química en acción
		B2	3.º ESO	Modelo atómico y radiactividad	El átomo
		B3	1.º Bachillerato	Reacciones químicas	Estudio de las reacciones químicas
		B4	4.º ESO	Modelo atómico	¿De qué está hecho todo?
		B5	2.º Bachillerato	Modelo atómico	Física nuclear
		B6	3.º ESO	La materia	Energía eléctrica
C	3	C1	3.º ESO	Reacciones químicas	Más allá de la química y de la física
		C2	3.º ESO	La materia	Sustancias puras y mezclas
		C3	1.º Bachillerato	La materia	Tabla periódica
D	5	D1	1.º ESO	Clasificación de la materia	La materia
		D2	3.º ESO	La materia	Sustancias puras y dilución
		D3	3.º ESO	Reacciones químicas	No mezcles eso
		D4	1.º Bachillerato	Leyes de los gases	Motos a gas
		D5	1.º Bachillerato	Modelo atómico	Los átomos
E	5	E1	2.º Bachillerato	Disoluciones	Clasificación de la materia. Las sustancias puras.
		E2	2.º Bachillerato	Reacciones químicas	Los cambios de energía en las reacciones químicas
		E3	3.º ESO	La materia	Los estados físicos
		E4	1.º Bachillerato	La materia	Enlace químico
		E5	3.º ESO	Reacciones químicas	Reacciones químicas

Se realizó un análisis de contenido (Krippendorff, 1990) de las SEAQ considerando la actividad como unidad de análisis. El primer análisis se centró en conocer las transiciones cognitivas de modelización que promueven cada una de las actividades de las veinte SEAQ de acuerdo con el sistema de categorías mostrado en la tabla 2.

Tabla 2.
Transiciones cognitivas de modelización (adaptado de Merino e Izquierdo 2011).

<i>Transiciones cognitivas</i>	<i>Codificación</i>	<i>Supuesto teórico</i>
TC1 Pensamiento→Lenguaje	P→L	El docente en formación coloca al estudiante en situación para que, a partir de sus recursos, sus ideas y su modelo teórico, elabore una respuesta utilizando diferentes modalidades de lenguaje.
TC2 Lenguaje→Acción	L→A	El docente en formación diseña actividades donde utiliza un lenguaje científico, que le permita al estudiante diseñar algún proceso donde aplique lo aprendido y le permita introducirse y trabajar con el fenómeno en cuestión.
TC3 Acción→Pensamiento	A→P	El docente en formación coloca al estudiante en situación para que interactúe con los fenómenos y en paralelo ponga en práctica sus modelos teóricos escolares aprendidos.
TC4 Acción→Lenguaje	A→L	El docente en formación diseña, crea y elabora una actividad que selecciona aspectos de evocación para sondear los modelos explicativos de sus estudiantes. Entonces, la demanda de la tarea implica que el estudiante vaya desde el la acción (observación del fenómeno) al lenguaje, para dar a conocer qué sabe o lo que ha aprendido sobre los fenómenos evocados.
TC5 Pensamiento→Acción	P→A	El docente en formación plantea una actividad que utiliza el modelo teórico escolar para elaborar una acción.
TC6 Lenguaje→Pensamiento	L→P	El docente en formación diseña una actividad en la que, a partir de una narrativa, explica una situación o problema en particular. El estudiante buscará o pensará, a partir de sus modelos teóricos iniciales, una determinada respuesta.

Una vez identificadas las transiciones cognitivas presentes en cada actividad de las SEAg se contabilizó la frecuencia que presentaba cada transición cognitiva y se representó en el triángulo de las transiciones cognitivas (TTC). La figura 3 muestra un ejemplo de TTC para el caso concreto de la SEA D1. Una vez contruidos los veinte TTC correspondientes a cada una de las SEAg de la muestra, se procedió a agruparlos para obtener los perfiles de modelización. Para ello se tuvieron en cuenta dos criterios: grado de presencia de las dimensiones cognitivas conectadas y grado de bidireccionalidad de las transiciones cognitivas presentes en cada TTC.

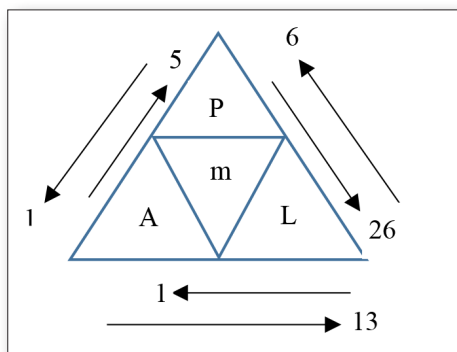

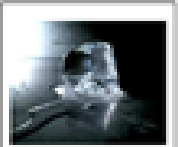


Fig. 3. Triángulo de transiciones cognitivas de modelización de la SEA D1. Clasificación de la materia.

El segundo análisis se centró, en primer lugar, en identificar los niveles cognitivos que proponen las actividades presentes en las SEAg. El sistema de categorías utilizado incluye 5 niveles que conectan el

tránsito entre el mundo concreto [Cotidiano (N1) y Empírico (N2)] y el mundo abstracto [Conceptual (N3), Matemático (N4) y Teórico (N5)] que presentan las actividades (tabla 3).

Tabla 3.
Niveles cognitivos de modelización (Moraga 2018)

Densidad Semántica	Nivel cognitivo		Definición	Ejemplos																						
<p style="text-align: center;">Alta</p> <p style="text-align: center;">Baja</p>	Nivel abstracto	Teórico (T)	5	<p>En este nivel, las actividades solicitan el uso de los <i>modelos teóricos</i> escolares para explicar los fenómenos a nivel microscópico.</p> <p>a) Tras calcular las densidades de cada líquido haz una predicción de lo que ocurrirá si los mezclamos. ¿Por qué crees que pasará esto? b) Si mezclamos los tres líquidos en un vaso de precipitados. Crees tú que el agua y el alcohol al tener densidades diferentes puede ser que se mezclen si los juntas muy bruscamente. Argumenta tu respuesta.</p>																						
		Matemático (M)	4	<p>Las actividades que se clasifican bajo este nivel son aquellas en las que se deben aplicar las expresiones matemáticas, leyes para obtener un dato que permita explicar un hecho.</p> <p>Se hacen grupos de 3-4 alumnos. Cada grupo calcula la densidad de un líquido y, posteriormente, se ponen en común los resultados:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Propiedades</th> <th>Masa</th> <th>Volumen</th> <th>Densidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aceite</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Alcohol</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Propiedades	Masa	Volumen	Densidad	Aceite				Agua				Alcohol									
		Propiedades	Masa	Volumen	Densidad																					
	Aceite																									
	Agua																									
	Alcohol																									
Conceptual (Cp)	3	<p>Se identifica cuando la actividad solicita la explicación de un proceso, en la cual el estudiante responde con un lenguaje técnico, pero a nivel macroscópico.</p> <p>Los sólidos, los líquidos y los gases tienen varias características que los definen y los diferencian. Completa la siguiente tabla según las propiedades correspondientes a los sólidos, líquidos o gases:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Propiedades</th> <th>Sólido</th> <th>Líquido</th> <th>Gas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Volumen</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forma</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Compresibilidad</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fácil de fluir</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Propiedades	Sólido	Líquido	Gas	Volumen				Forma				Compresibilidad				Fácil de fluir				Densidad			
Propiedades	Sólido	Líquido	Gas																							
Volumen																										
Forma																										
Compresibilidad																										
Fácil de fluir																										
Densidad																										
Nivel concreto	Empírico (E)	2	<p>Corresponde a aquella actividad experimental o práctica, en la cual el estudiante debe buscar una respuesta a partir de un proceso empírico.</p> <p>En clase dispones de un conjunto de materiales que puedes utilizar para responder la siguiente tabla. Los materiales disponibles son los siguientes: piedra, agua, recipientes de formas diferentes, 3 jeringas</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Propiedades</th> <th>Sólido</th> <th>Líquido</th> <th>Gas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fácil de derramar</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fácil de aplastar</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forma fija</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen fijo</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Propiedades	Sólido	Líquido	Gas	Fácil de derramar				Fácil de aplastar				Forma fija				Volumen fijo						
	Propiedades	Sólido	Líquido	Gas																						
Fácil de derramar																										
Fácil de aplastar																										
Forma fija																										
Volumen fijo																										
Cotidiano (Cr)	1	<p>Se identifica cuando las preguntas de una actividad son más bien de corte general, familiar, acerca de un proceso de la naturaleza, un fenómeno particular.</p> <p>Describe qué está pasando en cada una de las siguientes imágenes</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>																								

Al identificar las transiciones cognitivas y al distribuirlas a través de los niveles cognitivos de acuerdo con lo que la actividad nos señala, logramos construir una matriz de modelización, que nos permitió vaciar los datos obtenidos y visualizar la propuesta de construcción del conocimiento. La tabla 4 nos muestra un ejemplo de la matriz de modelización de la SEAg D1, que se construye a partir de la relación entre los niveles y las transiciones cognitivas distribuidas secuencialmente. Esta SEAg tiene por título «La materia», está dirigida a estudiantes de educación secundaria de catorce años y su diseño incluye diecisiete actividades organizadas según el ciclo de aprendizaje de Jorba y Sanmartí (1996).

Tabla 4.
Ejemplo de matriz de modelización correspondiente a la SEAg D1. Clasificación de la materia.

Actividades		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	
Fases ciclo aprendizaje		Exploración	Introducción												Síntesis	Aplicación			
Modelización	Abstracto	Teórico				P-L	L-P P-L		A-L P-L	P-L	P-L	P-L A-L	P-L	P-L	P-L		P-A P-A A-L L-A	A-L P-L	
		Matemático					L-P P-L											L-P A-L P-L	
		Conceptual			P-L	P-L	L-P P-L				A-L	A-L		P-L A-P	A-P P-L		P-L A-L		
	Concreto												A-P	A-L P-L		A-L	P-L L-P		
	Cotidiano	P-L	L-P P-L					P-L								A-L P-L			

A partir de esta tabla se pudo construir la onda semántica basada en la propuesta de Maton (2011) al relacionar los niveles y las transiciones cognitivas de cada actividad de la SEAg, lo que a su vez permitió visualizar la evolución teórica de la modelización propuesta por los PCFI. Los niveles cognitivos –concreto, empírico, conceptual, matemático y teórico– se han representado con los numerales 1, 2, 3, 4 y 5 en el eje vertical del gráfico. El eje horizontal del gráfico lo constituye la secuencia de las actividades tal como fueron sugeridas en la SEA atendiendo a las fases del ciclo de aprendizaje (1.ª Fase de exploración, 2.ª Fase de introducción, 3.ª Fase de síntesis y 4.ª Fase de aplicación). Las diferentes transiciones cognitivas se representan con un punto y con un color característico.

Una vez las ondas semánticas de todas las SEAg fueron representadas se procedió a identificar patrones semánticos comunes a todas ellas. Entendemos por patrón semántico un segmento de la

onda semántica que delimita un proceso de modelización y que está constituido por unas transiciones cognitivas en una forma determinada. La figura 4 muestra la onda y los patrones semánticos correspondientes a la SEAq D1.

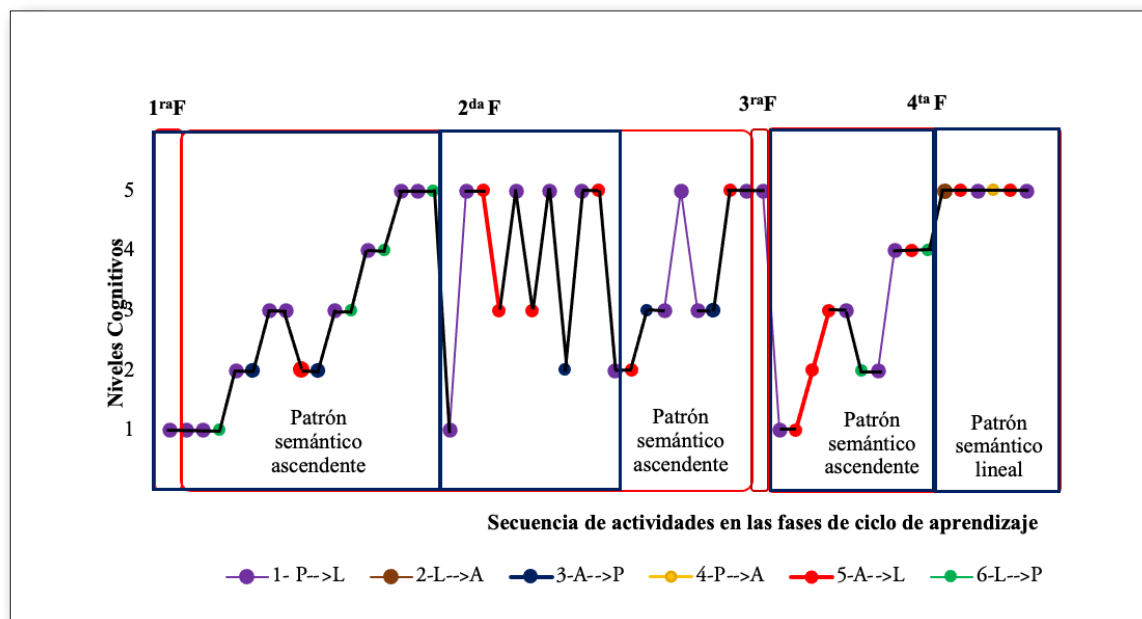


Fig. 4. Onda y patrones semánticos de la SEAq D1. Clasificación de la materia.

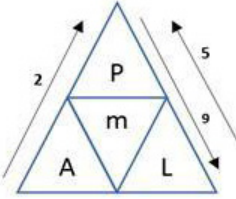
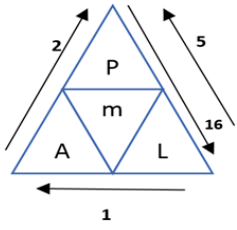
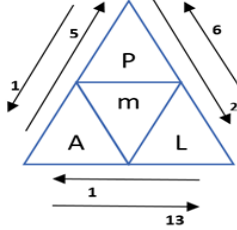
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Transiciones cognitivas y perfiles de modelización de las secuencias didácticas

A partir de la agrupación de los veinte TTC según los criterios de presencia de dimensiones cognitivas conectadas y bidireccionalidad de las transiciones cognitivas se han podido identificar tres perfiles de modelización, representados en la tabla 5. Estos perfiles pueden considerarse como niveles de modelización de una SEA en tanto que como más dimensiones cognitivas estén conectadas y más bidireccionales sean las transiciones, mayor serán las oportunidades que una SEA ofrece al estudiantado para la construcción de MTE.

El primer nivel corresponde al perfil de modelización parcializado y lo constituyen el 25 % (n=5) de las SEAq analizadas y presentan actividades que no conectan algunas de las dimensiones cognitivas, especialmente las relacionadas con la acción. Ello significa que los PCFI generan demandas cognitivas en donde solo se limitan a que el estudiante recuerde y responda a preguntas, ya sea desde sus conocimientos previos o de los conocimientos adquiridos en el aula. Este tipo de actividades, de acuerdo con García y Moreno (2019), en muchas ocasiones se abordan desde la teoría y poco desde la práctica, de modo que se deja de lado la experimentación y, con ello, el desarrollo de las destrezas procedimentales necesarias para la comprensión y el abordaje de las ciencias naturales.

Tabla 5.
Perfiles de modelización de las veinte SEAQ

	<i>Perfil de modelización parcializado</i>	<i>Perfil de modelización unidireccional</i>	<i>Perfil de modelización bidireccional</i>
Descripción del perfil de modelización	Este perfil está compuesto por aquellas SEA que consideran entre uno y cuatro tipos de TC diferentes que no conectan todas las dimensiones cognitivas al diseñar sus actividades. En el ejemplo se han identificado las TC del tipo [P-L y L-P] y A-P.	Este perfil está conformado por aquellas SEA donde se consideran entre tres y cuatro tipos diferentes de TC y se conectan las tres dimensiones cognitivas. Ello supone que las TC son mayoritariamente unidireccionales. En el ejemplo se han identificado transiciones cognitivas del tipo [P-L y L-P]; L-A y A-P.	Este perfil lo constituyen aquellas SEA donde se activan de cinco a seis tipos diferentes de TC mayoritariamente bidireccionales. En el ejemplo se han identificado TC del tipo [P-L y L-P], [A-L y L-A] y [A-P y P-A].
Ejemplo	 <p>Perfil de Modelización Parcializado (4.º ESO, SEA B4)</p>	 <p>Perfil de Modelización Unidireccional (3.º ESO, SEA B2)</p>	 <p>Perfil de Modelización Bidireccional (1.º ESO, SEA D1)</p>
%	25 % (n=5)	30 % (n=6)	45 % (n=9)

El segundo nivel corresponde al perfil de modelización unidireccional, y lo constituyen el 30 % (n=6) de las SEAQ analizadas. Las SEAQ de este perfil incluyen actividades cuyas demandas cognitivas conectan la acción con el pensamiento y el lenguaje, pero de manera unidireccional en su mayoría. La única bidireccionalidad presente en estas SEAQ son las que relacionan el pensamiento con el lenguaje. Esto implica que los PCFI no trabajan de manera coordinada las seis transiciones cognitivas, lo que se infiere de que faltan acciones cognitivas para que el estudiante pueda construir un modelo desarrollando sus habilidades científicas.


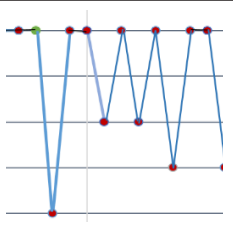
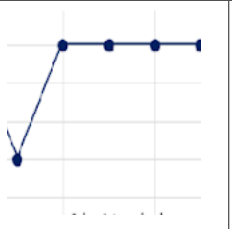
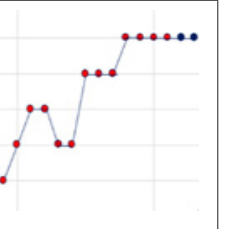
El tercer nivel corresponde al perfil de modelización bidireccional, y lo constituyen el 45 % (n=9) de las SEAQ analizadas. En este nivel los PCFI están diseñando actividades donde hay una conexión entre las dimensiones cognitivas que permiten al estudiante pensar, realizar una acción y finalmente comunicar sus hallazgos a través del lenguaje. De acuerdo con García (2009), los PCFI aportan elementos al estudiante para estar en constante reflexión sobre el fenómeno abordado a través del experimento. Toda actividad en la cual se pida vincular el pensar, el hacer y el comunicar apoyará al estudiante a construir explicaciones sobre un sistema de hechos, construyendo su MTE (Izquierdo 2007).

Si consideramos el nivel parcial y el nivel unidireccional, nos encontramos que un 55 % (n=11) de los PCFI incluyen demandas cognitivas o actividades que no tienden a la promoción de la modelización de manera completa. Esto nos lleva a coincidir con lo que señalan Banilower et al. (2013) y Whittington y Tekkumru-Kkisa (2020) cuando indican que los PCFI muestran una falta de habilidad para seleccionar tareas de aprendizaje o demandas que ofrezcan oportunidades ricas para promover en los estudiantes el análisis, la reflexión, o el pensamiento crítico conectado con la intervención ante los fenómenos naturales.

Ondas y patrones semánticos de las SEA diseñadas por los profesores de ciencias en formación inicial

Los resultados correspondientes al segundo objetivo, representar la trayectoria de construcción de significado de cada SEAq a través de las ondas semánticas e identificar los patrones semánticos comunes a todas ellas, se recogen en la tabla 6 y la tabla 7. A partir de la comparación de las ondas semánticas de las veinte SEAq ha sido posible identificar cuatro tipos de patrones semánticos: el lineal, el zigzag, el mixto y el ascendente (tabla 6). Los patrones más frecuentes del total de 152 instancias identificadas en la SEAq de la muestra son el zigzag y el lineal con una frecuencia de 44 (29 %) cada uno, prosiguiendo el patrón ascendente con una frecuencia de 36 (24 %) y finalizando con el patrón mixto con una frecuencia de 28 (18 %).

Tabla 6.
Patrones semánticos (PS) identificados en las ondas semánticas de las veinte SEAq.

	<i>Patrón Lineal</i>	<i>Patrón Zigzag</i>	<i>Patrón Mixto</i>	<i>Patrón Ascendente</i>
Patrón semántico				
Definición de la onda	La secuencia de TC de este PS se mantiene en un nivel cognitivo determinado. Este PS se encuentra mayoritariamente situado al nivel cognitivo Abstracto (conceptual, matemático o teórico).	La secuencia de TC de este PS se caracteriza por conectar de manera continuada y sinusoidal los niveles cognitivos concretos y abstractos.	La secuencia de TC de este PS consiste en la transición de un nivel a otro. Se puede entender como la combinación resultante del ascendente y lineal.	La secuencia de TC de este PS evoluciona desde un nivel cognitivo concreto a un nivel abstracto, es decir, emigra desde el mundo real al mundo de las ideas.
Frecuencia % (N=152)	44 (29 %)	44 (29 %)	28 (18 %)	36 (24 %)

Al analizar los patrones semánticos de cada SEAq según la fase del ciclo de aprendizaje en la que se encuentran hemos podido identificar la frecuencia correspondiente a cada una de ellas (tabla 7).

Tabla 7.

Frecuencia de los patrones semánticos de las veinte SEAQ por cada fase del ciclo de aprendizaje.

<i>Patrón/Fases</i>	<i>Exploración</i>	<i>Introducción</i>	<i>Síntesis</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Total</i>
P. Lineal	18 % (n=4)	21 % (n=18)	39 % (n=7)	54 % (n=15)	29 % (n=44)
P. Zigzag	23 % (n=5)	36 % (n=30)	28 % (n=5)	14 % (n=4)	29 % (n=44)
P. Mixto	41 % (n=9)	14 % (n=12)	28 % (n=5)	7 % (n=2)	18 % (n=28)
P. Ascendente	18 % (n=4)	29 % (n=24)	5 % (n=1)	25 % (n=7)	24 % (n=36)
Total	100 % (n=22)	100 % (n=84)	100 % (n=18)	100 % (n=28)	100 % (n=152)

Patrón semántico lineal

Las actividades de las SEAQ diseñadas por los PCFI utilizan patrones semánticos de tipo lineal en todas las fases del ciclo de aprendizaje. Sin embargo, su utilización es mayoritaria en las fases de introducción (n=18) y de aplicación (n=15) del ciclo de aprendizaje (tabla 7). Este patrón se caracteriza por proponer transiciones cognitivas de un mismo nivel cognitivo y generalmente situadas en los niveles abstractos. Un ejemplo lo constituye la SEA D3 (p. 30) de 1.º de la ESO «No mezcles eso», donde se estudian las reacciones químicas. En la fase de aplicación:

Los alumnos se encontrarán sentados en sus lugares habituales y resolverán los problemas de forma individual, por ejemplo, *El carbonato de calcio, $\text{CaCO}_3(s)$, se calienta a altas temperaturas y se obtienen óxido de calcio, $\text{CaO}(s)$ y dióxido de carbono. a. ¿Qué tipo de reacción es? b. Escribe la ecuación química y equilibrala, después lo comentarán por parejas y finalmente en grupos de 4-5 alumnos.*

Los estudiantes, durante la fase de aplicación, realizan ejercicios que carecen de conexión con el contexto de la SEAQ. Estos ejercicios se desarrollan a un nivel puramente teórico, aplicando los conceptos trabajados de manera aislada. En este sentido, el PCFI, diseña actividades que colocan al estudiante exclusivamente en el ámbito teórico a lo largo de toda la sesión, dando lugar a un patrón lineal.

Patrón semántico en zig-zag

Se han podido identificar patrones semánticos de tipo zigzag en todas las fases del ciclo de aprendizaje de las SEAQ analizadas, pero su frecuencia es absolutamente mayoritaria en la fase de introducción (n=30) del ciclo de aprendizaje (tabla 7). Este patrón se caracteriza por transiciones alternadas entre los diferentes niveles cognitivos, generalmente asociados al mundo abstracto. Un ejemplo del patrón en zigzag se encuentra en la SEA B1 de 3.º de la ESO, denominada «Química en Acción», la cual aborda diversos tipos de reacciones químicas como redox, ácido-base, combustión y cinética química.

La SEAQ comienza en la página 17 con una imagen impactante de una bicicleta oxidada, seguida de la pregunta a los estudiantes sobre lo que le ocurrió a la bicicleta. El PCFI destaca que esta observación se realiza a nivel macroscópico, visible a simple vista, pero, al tratarse de una clase de química, se explorará y explicará el fenómeno a nivel submicroscópico (átomos y moléculas). A continuación, y ya en la fase de introducción, plantea otra pregunta clave: *¿de dónde proviene el oxígeno que causó la oxidación de la bicicleta?* El PCFI procede a explicar, utilizando un lenguaje teórico, el comportamiento del hierro y el oxígeno en la reacción química (p. 18). Luego, refuerza la comprensión mediante la presentación de un video que ilustra el fenómeno de la reacción de los metales alcalinos con el agua, seguido de la escritura de las ecuaciones correspondientes en la pizarra.

Esta demanda cognitiva diseñada por el PCFI implica situar a los estudiantes en un nivel concreto cada vez que inicia la explicación de un proceso, para evaluar su conocimiento previo y, a partir de ahí,

guiarlos hacia el nivel teórico. Este patrón se repite de manera consistente en la fase de introducción, generando un proceso de enseñanza que se asemeja a un patrón zigzagueante, donde se alternan niveles concretos y teóricos para potenciar la comprensión y el aprendizaje de los estudiantes.

Patrón semántico mixto

Este patrón, como ocurre con los otros tipos, se encuentra presente en todas las fases del ciclo de aprendizaje de las SEAQ que constituye la muestra, aunque es más frecuente en las fases de exploración (n=9) e introducción (n=12) del ciclo de aprendizaje (tabla 7). El patrón semántico mixto se caracteriza por conectar dos niveles diferentes y proponer así un salto sin pasar por todos los niveles cognitivos. Aunque las actividades plantean situaciones concretas, estas sirven de pretexto para trabajar de manera regular en cuestiones de naturaleza abstracta, sean conceptuales, matemáticas o teóricas.

Un ejemplo claro de este enfoque se encuentra en la SEAQ E3 de 3.º ESO, titulada «Los estados físicos», que se centra en el estudio de la materia. El PCFI inicia la clase con una sesión de puesta en común, explorando los conocimientos previos de los alumnos sobre el concepto de gas, su medición y su comportamiento en situaciones cotidianas. Posteriormente, se lleva a cabo una revisión de las unidades de medida de la temperatura y la presión, seguida de la realización de ejercicios prácticos que implican conversiones de unidades (p. 3).

El nivel cognitivo desarrollada por el PCFI se despliega de manera estratégica. En una primera etapa, sitúa al estudiante en un nivel concreto, brindándole la oportunidad de establecer una conexión con el fenómeno estudiado mediante la exploración de sus conocimientos previos. Posteriormente, el enfoque se desplaza hacia la consideración de las variables discutidas en clase, lo que facilita la realización de ejercicios fundamentados en la ley de los gases a un nivel teórico. No obstante, este proceso dibuja un patrón mixto, ya que parte inicialmente desde un nivel concreto para luego realizar un salto abrupto hacia el ámbito matemático y mantenerse en ese nivel en todo lo que dura la sesión.

Patrón semántico ascendente

Se han podido identificar patrones semánticos de tipo ascendente en todas las fases del ciclo de aprendizaje de las SEAQ analizadas, pero su frecuencia es absolutamente mayoritaria en la fase de introducción (n=24) del ciclo de aprendizaje (tabla 7). El patrón semántico ascendente se caracteriza por conectar el mundo de lo concreto con el mundo de la abstracción a través de diferentes niveles cognitivos. Las actividades promueven trayectorias de construcción del conocimiento a partir de situaciones o conceptos de naturaleza cotidiana, para luego descontextualizarlas gradualmente y llegar al nivel más abstracto. Estas transiciones entre el mundo concreto y el abstracto, de acuerdo con lo que señala Aragón-Méndez y Oliva (2020), permiten que los estudiantes se impliquen en la reconstrucción de sus modelos. Para ello se plantean el modelo inicial, luego hacen su revisión y validación mediante su aplicación a diversas situaciones y la formulación del modelo consensuado y validado. Entendemos que, de esta forma, se pone en situación a los estudiantes y las estudiantes para construir modelos, trabajar sobre ellos y aprender acerca de su naturaleza.

Un caso ilustrativo es la SEA D2 de 3.º ESO, titulada «Sustancias puras y dilución». El PCFI plantea una interrogante a sus estudiantes (p. 19)

Si al ducharte o lavar los platos utilizas agua caliente, ¿qué sucederá con las sustancias que se disuelven? ¿Crees que la temperatura afectará su solubilidad? Reflexiona sobre esto durante el fin de semana y elabora tu hipótesis o posible solución a la pregunta de investigación. El lunes nos dirigiremos al laboratorio para que compruebes tu hipótesis, donde los estudiantes deben diseñar su propuesta y luego presentar un informe que abarque los aspectos clave: objetivo, hipótesis, materiales, procedimiento, resultados y conclusiones, gra-

ficando el comportamiento de la solubilidad de un sólido versus temperatura (p 21), como se explica en el dossier proporcionado por el PCFI.

Después de realizar el experimento, surge una nueva pregunta (p. 22): «Si tenemos una bebida gaseosa, donde el soluto es un gas en lugar de un sólido, ¿ocurrirá lo mismo al aumentar la temperatura? ¿Por qué? (p. 22). ¿Cómo será el nuevo gráfico?».

El PCFI diseña demandas cognitivas que guían al estudiante desde un nivel concreto, situándolo en el fenómeno y explorando sus ideas previas, hasta plantear un desafío que implica diseñar un protocolo experimental para resolver el problema. Los estudiantes obtienen datos que luego plasman en gráficos, argumentando sus respuestas y relacionándolas con el modelo teórico. Este proceso hace que el estudiante transite por cada eslabón del mundo concreto (cotidiano y empírico) al mundo abstracto (conceptual, matemático y teórico). La presentación de una nueva interrogante hace que el estudiante recorra nuevamente cada uno de estos niveles cognitivos, creando así un patrón ascendente cada vez que inicie un nuevo proceso de enseñanza.

CONCLUSIONES

El presente estudio se planteó responder a la pregunta: ¿de qué manera las actividades presentes en las SEAQ diseñadas por PCFI promueven la modelización? Esta pregunta orientó un proceso de análisis de contenido de textos didácticos con la finalidad de identificar las dificultades a las que se enfrentan los PCFI al diseñar trayectorias de aprendizaje. La mirada utilizada para este análisis ha supuesto la utilización de dos referentes teóricos diferentes pero complementarios. Por un lado, la teoría de los códigos de legitimización nos ha permitido imaginar una SEA como una trayectoria de construcción de conocimiento (onda semántica) que pivota entre la concreción y la abstracción. El potencial más importante para este estudio ha sido la idea de los patrones semánticos que han dotado de nuevo significado la secuencia de actividades. Sin embargo, ha sido necesario completar esta mirada con las contribuciones del marco teórico de la actividad científica escolar a través de los conceptos de dimensiones, transiciones y niveles cognitivos propios de la modelización en ciencias. El resultado ha sido la creación de una herramienta teórico-metodológica que puede utilizarse tanto en investigación como en formación de profesores de ciencias para analizar SEA, tanto de química como de ciencias en general. El hecho de que la investigación no se haya centrado en una SEA que trabaja un MTE concreto de química facilita la transferencia de la herramienta generada.

Los resultados relacionados con cada uno de los dos objetivos de esta investigación nos permiten apuntar a algunas dificultades que muestran tener los PCFI al diseñar SEAQ que potencien la modelización científica. En relación con el primer objetivo hemos podido identificar que las actividades que componen las SEAQ diseñadas por los PCFI proponen movilizar las transiciones entre las tres dimensiones cognitivas propias de la modelización como el pensamiento (P), el lenguaje (L) y la acción (A). Sin embargo, sus propuestas privilegian en exceso el pensamiento y el lenguaje en detrimento de la acción, y las transiciones cognitivas son poco bidireccionales. El análisis de las maneras diferentes de conectar estas dimensiones por parte de los PCFI nos ha permitido identificar tres perfiles de modelización concebidos como niveles de modelización de una secuencia didáctica entendidos como una progresión.

En relación con el segundo objetivo hemos podido articular una mirada global y a la vez micro de como representar la tensión entre el mundo concreto y el abstracto que subyace en las SEAQ diseñadas por los PCFI. Las secuencias didácticas pueden así considerarse como agrupaciones secuenciadas de patrones semánticos (lineal, mixto, zigzag, ascendente) que actúan como unidades básicas de significado proponiendo la conexión entre el mundo concreto y abstracto en la construcción del conocimiento.

Los PCFI diseñan SEAQ que privilegian los niveles cognitivos abstractos en exceso, y evidencian tener dificultades para introducir patrones semánticos que conecten de forma más gradual el mundo concreto con el abstracto propios de la modelización.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado parcialmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2022-138166NB-C22b) y se ha realizado dentro del grupo de investigación SGR ACELEC, ref.2021 SGR 00647 como también al proyecto UPA 19101 de la Universidad de Playa Ancha-Chile.

REFERENCIAS

- Aragón-Méndez, M. M. y Oliva, J. M. (2020). Relación entre la competencia de pensamiento analógico y la competencia de modelización en torno al cambio químico. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 15(1), 83-100.
<http://doi.org/10.14483/23464712.14441>
- Banilower, E. R., Smith, P. S., Weiss, I. R., Malzahn, K. A., Campbell, K. M. y Weis, A. M. (2013). *Report of the 2012 national survey of science and mathematics education*. Horizon Research, Inc.
- Blackie, M. A. (2014). Creating semantic waves: Using Legitimation Code Theory as a tool to aid the teaching of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 462-469.
<https://doi.org/10.1039/C4RP00147H>
- Cranwell, P. B. y Whiteside, K. L. (2020). Investigation into the semantic density and semantic gravity wave profile of teachers when discussing electrophilic aromatic substitution (SEAr). *Journal of chemical education*, 97(10), 3540-3550.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c0057>
- Dankenbring, C. A. (2021). Legitimation Code Theory as an Analytical Tool for Examining Discourse Within Integrated STEM Education [Tesis doctoral, Universidad de Purdue].
<https://doi.org/10.25394/pgs.15082461.v1>
- Couso, D. (2011). Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: Modelos para su diseño y validación. En A. Caamaño (Coord.), *Didáctica de la física y química* (pp. 57-74). Graó.
- Couso, D., Márquez, C. (2023) (Eds.). *Pensar críticament a l'aula de ciències: Activitats competencials per a estudiants de secundària*. Graó.
- Espinet, M., Izquierdo, M., Bonil, J., y Ramos de Robles, L. (2012). The role of language in modeling the natural world: Perspectives in science education. En B. Fraser, K. Tobin, C. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education*, V24 (pp.1385-1403). Springer Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_89
- European Commission (2013). *Supporting Teacher Competence Development for Better Learning Outcomes*. European Commission Education and Training UE.
- European Commission (2015). *Science education for responsible citizens*. European Union.
<https://doi.org/10.2777/12626>
- Flores, M. A. (2016). Teacher Education Curriculum. En J. Loughran y M. L. Hamilton (Eds.), *International Handbook of Teacher Education* (pp.187-230). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-981-10-0366-0_5
- García, E. (2009). *Historia de las ciencias en textos para la enseñanza*. Editorial Universidad del Valle.

- Gómez, A. A. (2005). La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escolar [Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona]. Bellaterra.
- Guidoni, P. (1985). On natural thinking. *European Journal of Science Education*, 7(2), 133-140. <https://doi.org/10.1080/0140528850070204>
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales*, 6, 125-138.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, 27-43.
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua: Propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Ministerio de Educación.
- Jones, M. G. y Leagon, M. (2014). Science teacher attitudes and beliefs. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. II, pp. 830-847). Routledge.
- John, P. (2006). Lesson planning and the student teacher: Re-thinking the dominant model. *Journal of Curriculum Studies*, 38(4), 483-498. <https://doi.org/10.1080/00220270500363620>
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua: Propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas. Ministerio de Educación.
- Karlström, M. y Hamza, K. (2021) How Do We Teach Planning to Preservice Teachers. A Tentative Model. *Journal of Science Teacher Education*, 32(6), 664-685. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.1875163>
- Krippendorff, K. (1990). *Metodología de análisis de contenido. Teoría y Práctica*. Paidós.
- Martin, J. R.; Maton, K. y Doran, Y. J. (Eds.). (2020). *Assessing Academic Discourse: Systemic Functional Linguistics and Legitimation Code Theory*. Routledge.
- Maton, K. (2011). *Theories and things: The semantics of disciplinarily*. En F. Christie y K. Maton (Eds.), *Disciplinarily: Functional linguistic and sociological perspectives* (pp. 62-89). Continuum.
- Maton, K. (2013b). Making semantic waves: a key to cumulative knowledge-building, *Linguistics and Education*, 24(1), 8-22. <https://doi.org/10.1016/j.linged.2012.11.005>
- Maton, K. (2014). *Knowledge and knowers: towards a realist sociology of education*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203885734>
- Merino, C. y Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*. 22(3), 212-223. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30137-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30137-X)
- Moraga, S. (2018). El contexto y la modelización en la enseñanza de la química: Análisis de las secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por el profesorado de ciencias de educación secundaria en formación inicial [Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona].
- Mouton, M. y Archer, E. (2019). Legitimation code theory to facilitate transition from high school to first-year biology. *Journal of Biological Education*, 53(1), 2-20. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1420681>
- OCDE (2011a): Organisation for European Economic Cooperation. http://www.oecd.org/document/t/48/0,3343,en_2649_201185_1876912_1_1_1_1,00.html
- Rodríguez Mora, F. y Blanco López, A. (2021). Diseño de una secuencia de enseñanza aprendizaje para el desarrollo de competencias científicas en el contexto del consumo de agua envasada. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1803. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1803

- Sensévy G., Tiberghien A., Santini J., Laubé S. y Griggs P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases Study and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424-446. <https://doi.org/10.1002/sce.20268>
- Tekumru-Kisa, M., Stein, M. K., y Schunn, C. (2015). A framework for analyzing cognitive demand and content-practices integration: Task analysis guide in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(5), 659-685. <https://doi.org/10.1002/tea.21208>
- Toma, R. B., Greca, I. M., y Meneses-Villagrà, J. A. (2017). Dificultades de maestros en formación inicial para diseñar unidades didácticas usando la metodología de indagación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 442-457. <http://hdl.handle.net/10498/19228> https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.11
- Vílchez González, J. M. y Perales Palacios, F. J. (2017). El diseño de unidades didácticas en la formación inicial de profesores de ciencias: validación de una rúbrica. *Perspectiva Educacional*, 57(1), 70-98. <http://dx.doi.org/10.4151/07189729-vol.57-iss.1-art.642>
- Waite, J., Maton, K., Curzon, P. y Tuttiett, L. (2019). Unplugged computing and semantic waves: Analysing crazy characters. En *Proceedings of the 2019 Conference on United Kingdom & Ireland Computing Education Research* (pp. 1-7). <https://doi.org/10.1145/3351287.3351291>
- Whittington, K. y Tekumru-Kisa, M. (2020): Pre-service Science Teachers as Curriculum Designers: Learning Opportunities Afforded in Task Selection, *Journal of Science Teacher Education*, 31(5), 537-555. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1728952>

Semantic and Cognitive Analysis of Didactic Sequences for Modeling

Sylvia Moraga-Toledo

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Playa Ancha Valparaíso, Chile.

sylvia.moraga@upla.cl

Mariona Espinet-Blanch

Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales.

Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, España.

mariona.espinet@uab.cat

Teachers are key actors in educational change, and it is imperative that they respond to the new challenges and requirements of the knowledge society through their participation in the educational reforms which promote the development of critical thinking and the construction of scientific literacy among students. One way to confront these challenges is by providing training to pre-service science teachers (PSSTs) in the design of teaching and learning sequences (TLSs), since this task represents a valuable opportunity for theoretical-practical reflection.

The research presented here tried to address the following question: How do the activities within the TLSs designed by PSSTs promote modeling? To answer this, the trajectories of knowledge construction emerging from 20 chemistry teaching and learning sequences (TLScs) designed by PSSTs as part of their practicum in secondary schools from five universities in Catalonia were analyzed. The analysis was oriented by two complementary theoretical frameworks: the legitimation code theory and the school scientific activity, more specifically, in relation to the dimensions, cognitive transitions, and cognitive levels associated with modeling in science learning.

In particular, we aimed to explore the potential of a theoretical lens, the legitimation code theory (LCT) (Maton, 2011), to shed light on the difficulties that PSSTs face when designing TLCs, the type of language they use, and how they promote the construction of meaning and knowledge through scientific modeling in the secondary school classroom.

From the perspective of LCT, knowledge building is carried out considering two axes, semantic density and semantic gravity, which are represented through the semantic wave. In this sense, it is proposed to enrich semantic density with the cognitive dimensions of thought (mental representations), action (meaningful experiences), and communication (languages) coming from the perspective of SSA, as both theories deal with the concentration of meanings. Likewise, we suggest relating concrete and abstract cognitive levels to semantic gravity. This would provide concreteness to these theoretical concepts for the analysis of modeling in science teaching. We believe that these two concepts, semantic density and semantic gravity, constitute the two axes that will allow us to infer the semantic path that PSSTs have proposed in their TLSs.

The combination of these two approaches led to the creation of a theoretical-methodological tool, applicable both in research and in the training of science teachers, which allows the analysis of TLSs, both in chemistry and in general science.

The results of this research revealed certain difficulties experienced by PSSTs in the design of TLSs, especially regarding the promotion of scientific modeling. The activities proposed by PSSTs tend to emphasize thought and language over action, and cognitive transitions are mostly unidirectional. The analysis led to the identification of three modeling profiles, conceived as levels of modeling didactic sequences, which help make progress in understanding the development of modeling within a didactic sequence.

Additionally, it was observed that TLSs designed by PSSTs tend to privilege abstract cognitive levels to the detriment of the gradual connection between the concrete and abstract world, an essential characteristic of scientific modeling. Didactic sequences were conceptualized as sequenced sets of semantic patterns (linear, mixed, zigzag, ascending), which act as basic units of meaning, facilitating the connection between both realms. However, it was evidenced that PSSTs face difficulties when introducing semantic patterns that facilitate this gradual transition.