

Competencias científicas y modelización: estudio de un caso en la formación de docentes

Scientific competencies and modeling: a case study in teacher training

 Silvia Umpiérrez-Oroño¹

 Nazira Píriz-Giménez¹

 María Jimena Olivero¹

 Claudia Cabrera-Borges¹

 Natalia Donato¹

¹Consejo de Formación en Educación, Montevideo, Uruguay.
Autora correspondiente: sumpierrez@anep.edu.uy

Resumen: Este trabajo se basa en la concepción de modelización como estrategia didáctica que propicia *hacer ciencia* en el aula y desarrollar competencias científicas. Se propuso conocer qué competencias científicas se desarrollan cuando los estudiantes construyen modelos explicativos de procesos biológicos. La experiencia en estudio, a nivel terciario, se enmarca en un curso de biofísica, en formación docente de modalidad híbrida. Se valoró el desarrollo de competencias científicas en 81 estudiantes de profesorado de ciencias biológicas, mientras construían modelos explicativos de respuestas a estímulos, en situaciones biofísicas ficticias. Para identificar las competencias en desarrollo, se aplicó un repertorio de competencias científicas pretestado y validado. Se aplicó la técnica de análisis de contenido con enfoque cualitativo. Los resultados permiten afirmar que la modelización constituye una instancia de aprendizaje rica en cuanto a las competencias científicas que habilita. Se sugirieron mejoras para aumentar la usabilidad del repertorio utilizado.

Palabras clave: Enseñanza de biología; Enseñanza superior; Competencias científicas; Formación del profesorado.

Abstract: This paper is based on the conception of modeling as a didactic strategy that promotes *doing science* in the classroom and developing scientific skills. It was proposed to gain knowledge of which scientific skills are developed when students build explanatory models of biological processes. The study experience, at the tertiary level, is part of a biophysics course in teacher training in the hybrid modality. The development of scientific competencies was assessed among 81 biological sciences teaching students while they built explanatory models of responses to stimuli in fictitious biophysical situations. To identify developing competencies, a pre-tested and validated repertoire of scientific competencies was applied. Content analysis was applied in a qualitative approach. The results allow us to affirm that modeling constitutes a rich learning instance in terms of the scientific competences that it enables. Improvements have been suggested to increase the usability of the used repertoire.

Keywords: Biology teaching; Higher education; Scientific literacy; Teacher training.

Recibido: 01/05/2023

Aprobado: 25/08/2023



Introducción

Este trabajo se llevó adelante en el marco de la enseñanza de biofísica, una asignatura curricular en la formación de docentes para el nivel de enseñanza media de Uruguay. Se basa en la noción de *hacer ciencia* en el aula, entendida como la promoción de la actividad científica escolar en el estudiantado. Esto significa ayudarlos a comprender fenómenos y procesos desde la perspectiva de quienes practican una profesión científica, utilizando sus métodos y diseñando estrategias que siguen los principios de construcción de conocimiento científico. Adúriz-Bravo e Izquierdo (2009), identifican lo que aquí denominamos “hacer ciencia”, como la actividad científica escolar en la cual el docente combina elementos didácticos con conocimiento científico, para generar experiencias en torno a la naturaleza de la ciencia y su aprendizaje. Angulo (2002) destaca la importancia de que el estudiantado se apropie de los modelos, y, por tanto, piense desde los modelos, los desarrollen y ajusten para elaborar sus propias descripciones y explicaciones, construyendo nuevos significados sobre la ciencia.

Los modelos científicos son configuraciones teóricas, ideales, aplicables y transferibles a múltiples situaciones en las que reaparece el fenómeno al que describen o explican. Para proponer un modelo científico se requiere manejar el lenguaje científico y una red compleja de conocimientos que lo sustentan y le dan fundamento. Sin embargo, también se requiere entender la lógica de pensamiento que da lugar, en la mente del científico, a la creación de un modelo. En esa línea, entonces, si deseamos que sea posible hacer ciencia escolar, la modelización podría constituir una estrategia didáctica necesaria en la formación de docentes para promover el desarrollo de competencias científicas. Corresponde mencionar que su ejercitación en dicho estudiantado promueve también el desarrollo de otras competencias: competencia conceptual y lingüística de las disciplinas, competencias socioemocionales, competencia en diseño de experimentación, entre otras (IZQUIERDO AYMERICH, 2017).

Píriz Giménez y Galagovsky (2021a) encontraron que el uso de modelización como práctica científica en el aula promueve la creatividad, la colaboración y las aproximaciones sucesivas al fenómeno en estudio para describirlo y explicarlo. Asimismo, contribuye a la concientización sobre la posibilidad de divergencia en el pensamiento científico y la noción de coexistencia de diversos modelos para un mismo objeto de estudio. Resta, sin embargo, profundizar en investigaciones que indaguen con mayor detalle qué competencias científicas se fomentan a partir de la estrategia didáctica de modelización.

A partir de un Repertorio de Competencias Científicas (RCC) factibles de ser desarrolladas en actividades de clase en formación docente, este estudio se propuso conocer cuáles de ellas se desarrollan cuando estudiantes de profesorado *hacen ciencia*, al construir modelos explicativos de procesos biofísicos ficticios. Adicionalmente, se analizan las potencialidades y proponen mejoras en la usabilidad del RCC, para la identificación o el rastreo de competencias en una propuesta de enseñanza.

Marco teórico

Modelización

La inmersión en las ciencias experimentales cobra sentido cuando esta da lugar a la formulación de preguntas acerca de nuestro mundo y a la búsqueda de respuestas. En este camino, nacen posibles pero inexactas soluciones y representaciones internas

(TAMAYO ALZATE, 2013) que, en la medida en que se asemejan al sistema o fenómeno estudiado, conforman un modelo de él. Estos modelos se pueden entender como representaciones idealizadas de sistemas reales que incluyen aspectos generales y específicos, que son capturados de tales sistemas, todos ellos con bases hipotéticas (DÍAZ GUEVARA *et al.*, 2019). De esta manera, los modelos son *mediadores* entre el mundo y las teorías, por lo que tienen un rol esencial tanto en la producción de conocimiento científico como en su enseñanza (OLIVA, 2019). A través de los modelos, las teorías toman significado en el plano real de la vida. Por otra parte, en la investigación didáctica, desde la introducción de los modelos y la modelización en la década de los 1980, el uso de dichos términos ha variado y presentan polisemia (DÍAZ GUEVARA *et al.*, 2019). La modelización es una estrategia didáctica potente (MACHADO; FERNANDES, 2021), que toma especial jerarquía en la formación del profesorado (TAMBARUSSI; KLÜBER, 2017) en particular porque contribuye al pensamiento crítico y a una concepción de ciencia como actividad humana (PAGANINI; JUSTI; MOZZER, 2014).

En síntesis, existen diferentes acepciones de qué es la modelización; en este trabajo, se ha optado, por un lado, por la que la considera una práctica científica, es decir como oportunidad para *hacer ciencia* en el aula en un *proceso de construcción de conocimiento* (OLIVA, 2019; PAGANINI; JUSTI; MOZZER, 2014). Por otro lado, a partir de Balduzzi, Bertoldi y Grill (2013), se toma también a la modelización como un dispositivo didáctico, que permite desarrollar competencias científicas, durante las experiencias de aprendizaje que apuntan a conseguir la propuesta de un modelo por parte de los estudiantes.

Competencias científicas

Tanto el término competencias como el concepto de competencias científicas, resultan polisémicos en las comunidades educativas (BALDUZZI; BERTOLDI; GRILL, 2013; DÍAZ BARRIGA, 2006; OLIVERO, 2021; TARDIF, 2012). Sin embargo, la revisión teórica conduce a identificar ciertos aspectos que tienen en común entre ellas:

- las competencias se asocian a una actividad, una acción, una práctica, guiada por la reflexión (PERRENOUD, 2008; SANMARTÍ PUIG; MÁRQUEZ BARGALLÓ, 2017);
- dicha actividad, acción o práctica es compleja y es social, política e históricamente situada (DÍAZ BARRIGA, 2015; PERRENOUD, 2008; QUINTANILLA-GATICA; ORELLANA-SEPÚLVEDA; PÁEZ-CORNEJO, 2020);
- las competencias se construyen durante toda la vida (DÍAZ BARRIGA, 2006, 2015; PERRENOUD, 2008);
- y su construcción está atravesada por la activación de procesos y conceptos, e intervenida por aspectos actitudinales, emocionales, culturales y epistémicos (DÍAZ BARRIGA, 2015; FRANCO-MARISCAL, 2015; QUINTANILLA-GATICA; ORELLANA-SEPÚLVEDA; PÁEZ-CORNEJO, 2020; SANMARTÍ PUIG; MÁRQUEZ BARGALLÓ, 2017).

Balduzzi, Bertoldi y Grill (2013, p. 22) discuten la necesidad de precisar el concepto y la posición de las competencias en los marcos de formación, “[...] en tanto proceso de cambio individual y colectivo, proceso en el que intervienen las dimensiones social, cultural, axiológica y política”. Afirman que las competencias deben ser reconceptualizadas a la luz de dichos marcos. Entienden la formación como un proceso de cambio subjetivo y hacia el otro, hacia adentro y sobre el contexto, en el cual se interioriza conocimiento a la vez que se lo transforma. Es un proceso individual, que sucede con otros, dicho de otra forma, es ontológico y social, recreador de cultura y nunca acabado. En ese escenario se despliegan

acciones y discursos, conformando lo que estas autoras denominan dispositivos de formación. En el estudio que sustenta esta comunicación el dispositivo corresponde a la propuesta de modelización. Consideramos que resulta interesante, por tanto, conocer los alcances de un dispositivo propuesto en un marco de formación docente, en relación con qué competencias científicas promueve. Para ello, se hizo necesario partir de un listado inicial de ellas.

De acuerdo con Umpiérrez Oroño (2020), no hay listados genéricos de competencias científicas disponibles. Existen listados que están contruidos en contextos particulares, como un plan curricular o un perfil profesional, o para dar respuestas a pruebas estandarizadas. La propuesta de Umpiérrez Oroño (2019, 2020), consiste en un repertorio (RCC) genérico, abierto, incrementable, que incluye los campos de conocimiento de las ciencias naturales y sociales. Se compone de cuatro dimensiones en el desarrollo de competencias científicas: la teórica, la metodológica, la axiológica y la socio-comunitaria (o de transferencia social), e incorpora aspectos vinculados al desarrollo sustentable, la salud y la justicia social. En este repertorio, las dimensiones no son excluyentes entre sí, ni herméticas. Resulta relevante informar que este trabajo se basa en una concepción de ciencia coherente con la que se planteó para la construcción del RCC: “[...] la ciencia como una práctica humana, sociocultural, histórica, contextualizada e interdisciplinaria”. (UMPIÉRREZ OROÑO, 2019, p. 67).

Metodología

Se trata de un estudio de caso único enmarcado desde un enfoque cualitativo (CRESWELL; CRESWELL, 2018; YIN, 2014). Se caracteriza, además, por su carácter descriptivo cuyo análisis es de tipo deductivo, dado que se interpretaron los datos utilizando como categorías apriorísticas el RCC propuesto por Umpiérrez Oroño (2019, 2020).

El caso se conforma a partir de las producciones del estudiantado (81 estudiantes) perteneciente a una cohorte de la asignatura Biofísica, presente en primer año de Profesorado en Ciencias Biológicas, en un curso en modalidad híbrida (presencial-virtual), durante los años lectivos 2020 y 2021. El curso se desarrolló en una plataforma institucional (Schoology), donde se deja registro de las actividades en forma automática. A continuación, se brindan algunos detalles de la propuesta de la que emergen los datos que son analizados en este artículo.

Los/as estudiantes se organizaron en subgrupos de dos ó tres personas con el objetivo de construir en forma colectiva, modelos explicativos de respuestas a estímulos en situaciones ficticias tomadas de escenas de la película @Avatar. Cada subgrupo tuvo acceso a un foro de discusión independiente en el que compartieron información, hicieron acuerdos en forma fundamentada, y recibieron orientaciones por parte de la docente de acuerdo con las necesidades de cada equipo. La tarea se desarrolló durante 10 semanas y constituyó parte del segundo parcial del curso. Se realizó una primera entrega en la semana cinco que recibió una devolución, y una entrega final con defensa oral en un encuentro virtual sincrónico, en el que cada subgrupo presentó sus producciones y conoció las elaboraciones del resto de los equipos. Se utilizaron dos escenas de la película mencionada, cada una de las cuales ilustraba una respuesta ficticia diferente. En ambas escenas, estructuras asimilables a seres vivos responden al contacto físico, o bien mediante su cierre o bien mediante emisión de luz. Para cada respuesta, los estudiantes debían elaborar un modelo científico explicativo sustentado en el conocimiento vigente

que incluyera aspectos estructurales y funcionales, proponiendo diversos niveles de organización biológica, desde lo macroscópico hasta el nivel subcelular y molecular (PÍRIZ GIMÉNEZ; GALAGOVSKY, 2021a, 2021b).

Los aportes registrados en los foros, los documentos de las entregas realizadas y las defensas orales (grabadas en video), constituyeron las unidades de análisis de las que se tomaron datos incorporados en los resultados, a partir de un análisis de contenido (ANDRÉU ABELA, 2002; RAMOS; POCRIFK; SIMONIAN, 2016). No se produjo selección de sujetos, ni de datos, sino que se tomaron todas las producciones estudiantiles de la cohorte, en todas las unidades de análisis recién mencionadas. Esto se justifica por accesibilidad, dado que era el grupo al que el equipo de la investigación tenía acceso. Como parte del análisis se procedió a codificar los segmentos que correspondían con las categorías apriorísticas derivadas del RCC propuesto por Umpiérrez Oroño (2019, 2020). El análisis se organizó tomando las competencias de cada dimensión del RCC (teórica, metodológica, axiológica y de transferencia), y rastreándolas dentro de las afirmaciones, reflexiones o manifestaciones de los estudiantes y de sus producciones (foros, las entregas realizadas y las defensas orales). Se trató de un registro de presencia/ausencia de evidencias que indicaban que se estaba poniendo en juego el desarrollo de ciertas competencias científicas. La reducción de datos se produjo mediante el registro (transcripción), en un cuadro de doble entrada, de aquellos segmentos discursivos o gráficos que se vinculaban con una o más competencias; se estableció un orden en el análisis, por las dimensiones del repertorio. Para cada dimensión se volvía a revisar todo el cuerpo de datos, lo cual permitió un manejo profundo y exhaustivo de su contenido.

Una vez que el análisis avanzó, fue posible identificar aspectos de mejora del RCC. Para eso, a medida que se lo utilizaba como sistema categorial, se fueron sistematizando las situaciones de análisis en las que la herramienta (RCC) no era suficientemente clara en cuanto a la definición de cada competencia, la ubicación en una determinada dimensión, o los límites entre sus dimensiones.

Los criterios de rigor científico fueron:

- Vigilancia del sesgo: para afirmar que una competencia estaba siendo desarrollada, la lectura y registro de segmentos se llevó a cabo por dos integrantes del equipo de investigación. Ante la duda, se consultaba a un tercer integrante.
- Triangulación: Se realizó confrontación de evidencias de más de una fuente de datos (foros, documentos, video) de los grupos de estudiantes.
- Credibilidad: Se utilizó una herramienta de análisis (RCC) que ya ha sido testeada y validada. Se aumenta la credibilidad también al proporcionar ejemplos al lector, que constituyen evidencias de las competencias desarrolladas durante la actividad de modelización.

Resultados

La presentación de los resultados se organiza exponiendo cuáles competencias se desarrollaron, de acuerdo con cada una de las dimensiones a las que refiere Umpiérrez Oroño (2019, 2020) en su RCC.

Competencias desarrolladas

Se ejemplifica y/o comenta cada una de las competencias desarrolladas, con transcripciones de aportes de estudiantes tomados de foros, las entregas realizadas y las defensas orales, a lo largo de los cuales fueron construyendo colectivamente y compartiendo con la docente, los modelos explicativos. Cada aporte extraído del foro es seguido de un código que corresponde a la persona que lo hizo, y el número del grupo al que pertenecía. Los otros aportes, se discriminan indicando si provienen de los documentos de las entregas realizadas o de los videos que se grabaron de las defensas orales.

En la dimensión teórica: de las cinco competencias incluidas en esta, fue posible identificar evidencias vinculadas a cuatro de ellas (**tabla 1**). A partir de la lectura de las evidencias es posible apreciar que en múltiples casos los estudiantes recurren a la comparación al momento de analizar el proceso a modelizar. El conocer los modelos vigentes permite establecer analogías con los fenómenos ficticios a explicar y habilitan su incorporación en las propuestas que elaboran. Asimismo, tales comparaciones son utilizadas en sus fundamentaciones del modelo que proponen. Cabe mencionar que, en el repertorio, para aquellas competencias que contenían el término *teorías*, se sustituyó por *modelos* a efectos de que fuera aplicable a la situación didáctica implementada.

En la **tabla 1** se ofrecen transcripciones de aportes de estudiantes o comentarios alusivos, a modo de evidencias, para cada una de las categorías de la dimensión teórica.

Tabla 1 – Transcripciones de aportes de estudiantes y/o comentarios alusivos a ellos en relación con la dimensión teórica

Competencia	Aportes de estudiantes que la ilustran y/o comentarios alusivos a ellos
Identificar y describir datos, hechos, procesos y fenómenos	[...] <i>En el bosque se observa una especie de planta que se cierra ante el contacto, al principio solo se cierra una de ellas y al tercer contacto se produce un efecto en cadena donde todas las plantas se cierran como en efecto dominó.</i> (N.S, g.7)
Conocer y comprender los principales modelos (*) que fundamentan los conocimientos científicos, las metodologías y tecnologías	[...] <i>Pensando en conceptos o ideas que podamos utilizar para la elaboración de este modelo, se me ocurrió por ejemplo la presencia en estos seres, de microfilamentos que se puedan deslizar unos sobre otros y producir un compactamiento tal que permite que se encojan, tomando como idea el solapamiento de los filamentos de actina y miosina en las fibras musculares.</i> (N.L, g.8) [...] <i>En síntesis, propongo que primero se dan estímulos 'subumbrales', y generan una respuesta electrotónica producida por corrientes iónicas inespecíficas, por lo que solo una de estas estructuras decrece (la respuesta es local). Posteriormente se alcanza un valor umbral y se genera un potencial de acción que produce que todas las demás desaparezcan.</i> (A.M, g.1)
Vincular y comparar diversos modelos, conocimientos científicos, metodologías científicas y tecnológicas entre sí	[...] <i>si bien está expresado como si fuera un solo tipo de respuesta la que se da en el primer video, hay dos situaciones distintas que podrían conllevar dos tipos de bioluminiscencia distinta: por un lado la bioluminiscencia de las 'plantas' con 'pelitos' que podría ser por un tipo de luciferina [coelenteracina] unida a una fotoproteína [aequorina], y por otro lado la bioluminiscencia que se da cuando pisan el suelo que podría ser causada por bacterias u hongos [muy probablemente bioluminiscencia intracelular].</i> (J.R, g.1) <i>Se puede sugerir que las comunidades bacterianas se asemejan a los tejidos de los organismos eucariontes en virtud de que: (1) Las células se encuentran en íntimo contacto; (2) Mantienen una organización especializada; (3) Conservan una comunicación continua con las células adyacentes y distantes; (4) Utilizan señalización química cuya acción es similar a la de las hormonas de mamíferos; [...]</i> (Y.M, g.4)
Vincular y comparar diversos modelos, conocimientos científicos, metodologías científicas y tecnológicas, con su presencia o incidencia en la vida cotidiana y con el contexto	[...] <i>Se podría ver como un acto de señuelo para poder atraer sus presas, de defensa, reproducción y comunicación.</i> (N.E, g.9) [...] <i>Realizando este tipo de actividad pudimos relacionar los conceptos trabajados en biofísica referidos a las respuestas eléctricas de las membranas celulares, con situaciones reales que ocurren en los seres vivos que estudiamos, que nos rodean y por qué no en nosotros mismos.</i> (T.M, g.5)

(*) El término modelos se propuso en sustitución a teorías.

En la dimensión metodológica: también de las cinco competencias propuestas por Umpiérrez Oroño (2019, 2020), se encontraron evidencias de la habilitación de cuatro de ellas (**tabla 2**). En los resultados se aprecia que, vinculado a esta dimensión, surge con frecuencia el planteo de hipótesis, implícito en expresiones como “*podríamos decir que... se trata de una colonia de bacterias*”. Asimismo, en ocasiones surge el cuestionamiento de la validez de modelos para su aplicación. Es el caso de la expresión que comienza con: “*para una está bien, pero en un determinado momento...*”. En ella se plantea que el modelo ya no sería válido para explicar cierto tipo de respuesta y surge también una nueva hipótesis, la de que respondan al sonido u otro tipo de estímulo. En estos ejemplos queda ilustrado cómo la dimensión metodológica se encuentra en permanente diálogo con la teórica, no se puede independizar en procesos de modelización. Es posible que tal imbricación permita explicar que ambas dimensiones resulten en este caso, las mayormente habilitadas.

Tabla 2 – Transcripciones de aportes de estudiantes y/o comentarios alusivos a ellos en relación con la dimensión metodológica

Competencia	Aportes de estudiantes que la ilustran y/o comentarios alusivos a ellos
Construir o reconocer, caracterizar y relacionar categorías y/o variables científicas	[...] <i>La luminosidad que se produce, podría relacionarlo en que estos organismos responden a ciertas vibraciones del piso, cuando mayor es la vibración del piso mayor va a ser la intensidad de la respuesta de los organismos.</i> (P.G, g.5)
Generar conocimiento aplicando metodologías científicas	<i>La comunicación entre células permite la transmisión de información desde el punto donde se origina un suceso hasta cualquier parte de un órgano o tejido. Neelson en 1979 describe por primera vez este fenómeno de transmisión de información entre bacterias...podríamos decir que la emisión de luz que observamos en los 'hongos' se trata de esa colonia de bacterias que denominan quorum sensing, asociadas a los mismos.</i> (B.A, g.4) <i>Estuve leyendo sobre las plantas carnívoras y las dormilonas, en el caso de las dormilonas la pérdida de agua en las células de las hojas es la razón por la cual se cierran cuando las tocamos...para una está bien, pero en un determinado momento en el video toca una y se cierran todas en cadena, podrían ser sensibles al sonido y no solo al tacto.</i> (G.A, g.7)
Utilizar tecnologías de la comunicación, la información y multimedia	En vistas de que el curso fue en modalidad virtual, la interacción y producciones colectivas se desarrollaron en una plataforma. Las tecnologías fueron imprescindibles para hacer posible los intercambios, además de la elaboración de dibujos y gráficos como las del Anexo A , que los estudiantes incorporaron en documentos digitales para su entrega en plataforma.
Representar en diferentes formatos, los conocimientos científicos, las metodologías y las tecnologías	Por razones de espacio se incorporan dos ejemplos de representaciones en Anexo A .
Argumentar sobre la validez o pertinencia de conocimientos científicos, metodologías y tecnologías	[...] <i>el hecho de considerar al organismo como una planta y lo visible como un órgano complejiza la tarea de explicar lo sucedido... preferí tomar a lo visible como una única célula para poder diferenciar bien las reacciones individuales de las reacciones en conjunto, a través de las 2 respuestas eléctricas estudiadas. Si tú lo planteas como un órgano y las respuestas eléctricas en cuestión únicamente como potenciales de acción no me queda claro por qué la diferencia de las reacciones.</i> [...] (F.P, g.5) [...] <i>esta es la parte que me parece conveniente adaptar para el modelo explicativo, ya que dichas colonias utilizan señalizaciones para su comunicación. Para este caso, las mismas funcionarían como tejidos excitables, otorgando así la capacidad de desencadenar potenciales de acción con respuestas rápidas y que llegan lejos.</i> (Y.M, g.4)

Fuente: elaboración de los autores a partir de los foros de discusión grupal en plataforma.

En la dimensión axiológica: de las ocho competencias propuestas por Umpiérrez Oroño (2019; 2020) en esta dimensión, tal como lo muestra la **tabla 3**, sólo se identificó la habilitación de dos de ellas.

Tabla 3 – Transcripciones de aportes de estudiantes y/o comentarios alusivos a ellos en relación con la dimensión axiológica

Competencia	Aportes de estudiantes que la ilustran y/o comentarios alusivos a ellos
Seleccionar y jerarquizar las fuentes de información por las que se comunica o informa un hecho o proceso científico	Los estudiantes compartieron links a trabajos, por ejemplo: Algunas citas compartidas en los foros y trabajos entregados fueron las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> – luis alfonso escudero ballesteros.pdf – (PDF) Fundamentos de Excitabilidad (researchgate.net) – Bioluminiscencia, fascinante fenómeno natural (inecol.mx) Se trata de material pertinente al nivel terciario y a la disciplina en cuestión.
Discernir sobre la validez o pertinencia de conocimientos científicos, metodologías y tecnologías	<i>Si hablamos de una reacción química que va a producir luz hablamos de bioluminiscencia, ¿verdad? Si es así van a intervenir la enzima luciferasa, la proteína luciferina, oxígeno y ATP. La luciferasa cataliza la oxidación y con el ATP se obtiene energía celular que permite producir esa emisión de luz. (A.F, g.4)</i> <i>Pensando que los canales iónicos son mecano-sensibles, puede ser comparativo con las células del oído, en este caso podemos plantear que esta planta posee células ciliadas y que una presión sobre estas hace que los cilios produzcan una tracción y abran los canales por los que ingresan iones. (R.P, g.5)</i>

Fuente: elaboración de los autores a partir de los foros de discusión grupal en plataforma.

Las categorías habilitadas en esta dimensión se imbrican también profundamente con la teórica, en tanto para poder discernir sobre la validez de un modelo científico es preciso conocerlo. De igual manera, para seleccionar y jerarquizar fuentes es necesaria la dimensión teórica. Esto queda en evidencia en la diversidad de fuentes compartidas por estudiantes, las que estarían vinculadas directamente con la familiarización con el conocimiento y el nivel de profundización que logra cada persona.

En la dimensión de transferencia (aplicación socio-comunitaria): de las ocho competencias propuestas por Umpiérrez Oroño (2019, 2020) en esta dimensión, se identificó la habilitación de cuatro de ellas (**tabla 4**).

Tabla 4 – Transcripciones de aportes de estudiantes y/o comentarios alusivos a ellos en relación con la dimensión socio-comunitaria

Competencia	Aportes de estudiantes que la ilustran y/o comentarios alusivos a ellos
Trabajar colaborativamente en emprendimientos de carácter científico	Queda determinada esta modalidad de trabajo desde la consigna, y efectivamente se logran intercambios a partir de información e ideas que se comparten, realizándose acuerdos que permitieron la construcción colaborativa de modelos.
Comunicar los conocimientos científicos, metodologías y tecnologías, en diversas modalidades	Se pone en evidencia tanto en las representaciones elaboradas por estudiantes para ilustrar sus propuestas de modelos, como en los videos y en las fundamentaciones de los trabajos entregados.
Dimensionar la ciencia como una producción humana perfectible, social e histórica	Se pone en evidencia en la defensa final de los modelos construidos (videos), cuando los presentan a sus pares y comprenden la multiplicidad de posibilidades y la viabilidad en la coexistencia de modelos disímiles para un mismo fenómeno.
Debatir sobre la validez o pertinencia de conocimientos científicos, metodologías y tecnologías científicas	<i>Vos decís como el proceso inverso a la fotosíntesis? Me parece que no. No sé si te estoy entendiendo, pero yo planteaba que la emisión de luz se da por una respuesta eléctrica y esta es generada por el paso de iones a través de la membrana modificando el potencial de membrana. (N.M, g.9)</i> <i>Compañera, todo lo que hemos aportado me parece que vamos bien, pero me tranco un poco al pensar por qué ciertas plantas no son estimuladas y sin embargo se encienden, por eso te decía que podríamos proponer que las demás actuaran como termorreceptores... también irradian calor que hace que el resto de las plantas se estimulen respondiendo también con la misma respuesta, la luminosidad. Decime qué pensás. (M.S, g.8)</i>

Fuente: elaboración de los autores a partir de los foros de discusión grupal en plataforma.

Nuevamente vislumbramos cómo la dimensión teórica resulta esencial en esta otra dimensión en tanto no es posible comunicar o debatir, sin un conocimiento profundo de los contenidos de referencia. Los resultados ponen en evidencia cómo en los foros de

discusión, los estudiantes intercambian y confrontan ideas acerca de posibles componentes a incluir en los modelos. Tal intercambio de argumentos conduce al logro de acuerdos sobre el modelo más pertinente.

Discusión y conclusiones

Comenzaremos por discutir qué competencias científicas se despliegan cuando estudiantes de profesorado *hacen ciencia* al construir modelos explicativos de procesos científicos. En el caso estudiado, de las 27 competencias propuestas por Umpiérrez Oroño (2019, 2020), se pone en evidencia la habilitación de 15 de ellas, correspondientes a las 4 dimensiones en las que dicha autora organiza las competencias. Era esperable no encontrar todas las competencias en una experiencia de aprendizaje, ya que en el diseño del RCC se plantea: "No es una enumeración de competencias a ser agotadas a lo largo de un curso o una carrera" (UMPIÉRREZ OROÑO, 2020, p. 67). Esa misma autora declara que no necesariamente se busca encontrar el desarrollo de todas las competencias en una actividad, para que se constituya en una buena propuesta de aprendizaje.

En el caso estudiado, las más fomentadas fueron la Metodológica (Aplicar), la Teórica (Conocer) y la de Aplicación socio comunitaria (Transferir), resultando menos habilitada la Axiológica (Valorar). Es posible afirmar que la modelización, entendida como *producción de conocimiento* en el aula, constituye una competencia compleja (OLIVA, 2019) que involucra numerosas competencias asociadas a todas las dimensiones. Ello queda evidenciado en la aplicación del RCC al trabajo de un estudiante (aportes individuales a los foros de discusión) y en su aplicación a una población (las evidencias proporcionadas durante el proceso de modelización, en diferentes momentos, por el grupo de estudiantes). Se entiende que el RCC puede ser aplicado tanto individual como grupalmente, ya que incluye una dimensión, la socio- comunitaria, que aborda el desarrollo de competencias *con y para otros* (UMPIÉRREZ OROÑO, 2019). Un resultado interesante constituye el hecho de que la dimensión teórica oficia de 'sostén' de categorías correspondientes a otras dimensiones. De esta manera, es posible plantear que las diversas dimensiones se superponen, por lo que existe cierto grado de interdependencia. Tal superposición es acorde a la concepción de Umpiérrez Oroño (2019; 2020), de un repertorio de competencias dispuestas en dimensiones no estancas ni herméticas.

En cuanto a las competencias habilitadas a partir de la modelización como *producción de conocimiento* (OLIVA, 2019), nos preguntamos si es posible que las diversas categorías y dimensiones a las que se habilita podrían variar según los contenidos disciplinares sobre los que se construye el modelo. Asimismo, podría graduarse a modo de progresión, el vínculo con el conocimiento en cuanto a que, a modo de ejemplo, la capacidad de discernir sobre la validez de un modelo científico podría ser previa a la capacidad de argumentar sobre dicho discernimiento. A su vez la capacidad de argumentar sería previa a la de debatir, de manera que gradualmente se podrían proponer niveles progresivos de uso del conocimiento. Ello además requiere de otros aspectos como por ejemplo de la personalidad, que podrían influir directamente en el decidir participar o no de un debate. Estas reflexiones abren nuevas líneas de investigación tales como las asociadas a la construcción de progresiones de aprendizaje en competencias científicas, que sustenten propuestas didácticas para la graduación de su desarrollo.

¿En qué medida resulta válido el uso de herramientas semiestructuradas, como el RCC, para la identificación o el rastreo de competencias que se desarrollan en una propuesta de enseñanza? Por un lado, los resultados reivindican el uso del RCC como una herramienta de análisis de prácticas de enseñanza encaminados al desarrollo de competencias, como instrumento de rastreo, más que como orientador de planificación o diseño. Así, propuesto como herramienta post facto, se evita el efecto corsé, que podría limitar la creatividad, la libertad y la contextualización en el diseño de la clase. No se trata de un listado que estructura las prácticas, sino un posible sistema categorial mediante el cual estudiar si una estrategia didáctica puesta en práctica promueve el desarrollo de ciertas competencias científicas, y qué dimensiones prioriza.

Sin embargo, por otro lado, la representación del repertorio en forma de tabla no es la más feliz; y si bien es operativa, sugiere una estructuración que no es deseable. Una organización más coherente con los resultados podría ser la representación tridimensional, donde se evidencien las superposiciones, las imbricaciones de las competencias *fronterizas* (UMPIÉRREZ OROÑO, 2020). En este mismo sentido, parecería pertinente reorganizar la representación de las relaciones entre las competencias. La aplicación al cuerpo de datos de este trabajo de investigación ha mostrado la posibilidad de graduación de complejidad de las competencias. Por ejemplo, discernir, argumentar y debatir podrían constituir una progresión que permite avanzar en la espiral de desarrollo de competencias. El repertorio debe abrir la posibilidad de identificar dichas progresiones como elemento de aporte al diseño de prácticas de enseñanza. También resulta interesante habilitar, en este, otras relaciones, tales como el establecimiento de la dimensión que es considerada como basal en el *hacer ciencia* en el aula: la dimensión teórica. Es posible señalar el carácter permanente de la dimensión teórica en las demás dimensiones, constituyendo el sostén de las dimensiones metodológica, de transferencia y axiológica.

El RCC fue creado como un listado abierto e incrementable, dúctil, y ello tiene un doble efecto: por un lado, su aplicación sobre un cuerpo de datos habilita un análisis que impulsa la mejora en el diseño de dispositivos de formación; por otro lado, cada vez que se aplica, el repertorio se deconstruye y reconstruye para aumentar su usabilidad. El presente trabajo encuentra como aporte de mejora al RCC, como alternativa a su representación estructurada en forma de tabla, una representación más dinámica, que permita insinuar las transgresiones planteadas por las competencias *fronterizas* y orientar el diseño de secuencias didácticas. Para ello, parece oportuno continuar trabajando en su mejora, aplicándolo a nuevos cuerpos de datos e incorporar las posibilidades que brindan las tecnologías digitales. Quedan algunas interrogantes: ¿qué tanto profundiza el repertorio utilizado, en competencias científicas directamente vinculadas con el *hacer ciencia*, tales como: la identificación de problemas, la formulación de preguntas *investigables*, el planteo de hipótesis y predicciones, el diseño de experimentos, la recolección de datos, su interpretación y la elaboración de conclusiones?; ¿resulta posible y de ayuda para la enseñanza de las ciencias, la graduación de la competencia denominada *generar conocimiento*, eventualmente mediante la incorporación de categorías intermedias que consideren los diversos aspectos señalados en cuanto al *hacer ciencia*?

Para finalizar, destacamos, por un lado, la riqueza ofrecida por la modelización en su acepción de *hacer ciencia* en cuanto a la multiplicidad de competencias científicas que habilita y que corresponden a la totalidad de las dimensiones. Las producciones de los estudiantes fueron el resultado de un dispositivo didáctico (segmentos de una película

de ciencia ficción) propuesto como disparador de actividades cognitivas tales como la imaginación y la creatividad, ingredientes fundamentales del quehacer científico. Se considera que además de esta forma, se promovió la aplicación de los conocimientos frente a fenómenos novedosos, otro de los componentes inevitables cuando se desea formar al estudiante en la utilización de sus habilidades y saberes en situaciones imprevistas.

Agradecimiento

Se agradece al Consejo de Formación en Educación y especialmente a los estudiantes involucrados en la propuesta sin quienes habría sido imposible llevar adelante el estudio.

Referencias

- ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO, M. Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Buenos Aires, v. 4, n. 1, p. 40-49, 2009. Recuperado el 1 dic. 2021 de: <https://tinyurl.com/5n7bnrmx>.
- ANDRÉU ABELA, J. *Las técnicas de análisis de contenido: una revisión actualizada*. Sevilla: Fundación Centro de Estudios Andaluces, 2002.
- ANGULO, F. Aprender a enseñar ciencias: análisis de una propuesta para la formación inicial del profesorado de secundaria, basada en la metacognición. *Revista Educación y Pedagogía*, Bogotá, v. 14, n. 33, p. 337-343, 2022.
- BALDUZZI, M.; BERTOLDI, M.; GRILL, E. Los espacios de práctica como dispositivos de formación. *Revista Contextos de Educación*, Córdoba, Argentina, v. 13, n. 15, p. 20-30, 2013.
- CRESWELL, J.; CRESWELL, D. *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approach*. Los Ángeles: Sage, 2018.
- DÍAZ BARRIGA, A. El enfoque de competencias en la educación ¿Una alternativa o un disfraz de cambio? *Perfiles Educativos*, México, v. 28, n. 111, p. 7-36, 2006.
- DÍAZ BARRIGA, F. ¿Es posible enseñar competencias disociadas de los contenidos curriculares? In: ALBA, A.; LOPES, A. C. (ed.). *Diálogos curriculares entre México y Brasil*. Coyoacán: UNAM, 2015. p. 235-252.
- DÍAZ GUEVARA, C. A.; GARAY GARAY, F. R.; ACOSTA PAZ, J. D.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Los modelos y la modelización científica y sus aportes a la enseñanza de la periodicidad química en la formación del profesorado. *Didacticae: revista de investigación en didácticas específicas*, Barcelona, n. 5, p. 7-25, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1344/did.2019.5.7-25>.
- FRANCO-MARISCAL, A. Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación: un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 33, n. 2, p. 231-252, 2015.
- IZQUIERDO AYMERICH, M. Atando cabos entre contexto, competencias y modelización ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning*, Valencia, v. 10, n. 1, p. 309-326, 2017. Doi: <https://doi.org/10.4995/msel.2017.6637>.
- MACHADO, J; FERNANDES, B. L. P. Model conceptions in science education research: features and trends. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 27, p. 1-17, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1516-731320210014>.
- OLIVA, J.M. Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, Barcelona, v. 37, n. 2, p. 5-24, 2019. Recuperado el 15 oct 2022 de: <https://tinyurl.com/3phcbrzt>.

OLIVERO, M. J. *El desarrollo de competencias científicas por parte de formadores de profesores de enseñanza media en Uruguay*. 2021. Tesis (Maestría en Educación) – Instituto de Educación, Universidad ORT, Montevideo, 2021.

PAGANINI, P.; JUSTI, R; MOZZER, N. B. Mediadores na coconstrução do conhecimento de ciências em atividades de modelagem. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 20, n. 4, p. 1019-1036, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/1516-73132014000400016>.

PERRENOUD, P. *Construir competencias desde la escuela*. México, D.F.: J. C. Sáez Editor, 2008.

PÍRIZ GIMÉNEZ, N; GALAGOVSKY, L. ¿Es posible ‘hacer ciencia’ en foros de aprendizaje? Modelización de respuestas a estímulos en seres vivos, por estudiantes de profesorado. In: CONGRESO INTERNACIONAL EN INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 11., 2021, Montevideo. *Actas electrónicas* [...]. Montevideo, 2021a. p. 1003-1007. Recuperado el 15 oct. 2022 de: <https://tinyurl.com/2s46cf6z>.

PÍRIZ GIMÉNEZ, N.; GALAGOVSKY, L. Respuestas a estímulos en seres vivos: construcción de modelos explicativos en situaciones ficticias, por estudiantes de profesorado. *Bio-grafía: escritos sobre la biología y su enseñanza*, Bogotá, 2021b. (Número especial). Recuperado el 15 oct. 2022 de: <https://tinyurl.com/4s5ycdnk>.

QUINTANILLA-GATICA, M.; ORELLANA-SEPÚLVEDA, C.; PÁEZ-CORNEJO, R. Representaciones epistemológicas sobre competencias de pensamiento científico de educadoras de párvulos en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 38, n. 1, p. 47-66, 2020. Doi: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2714>.

RAMOS, D.; POCRIFKA, D.; SIMONIAN, M. Etapas da análise de conteúdo complementadas por ciclos de codificação: possibilidades a partir do uso de software de análise qualitativa de dados. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO EM INVESTIGAÇÃO QUALITATIVA, 5., 2016, Porto, Portugal. *Atas* [...]. Porto: Universidade Lusófona, 2016. v. 1, p. 789-798. Recuperado el 1 dic. 2021 de: <https://tinyurl.com/36bzydbp>.

SANMARTÍ PUIG, N.; MÁRQUEZ BARGALLÓ, C. Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice: revista de educación científica*, A Coruña, v. 1, n. 1, p. 3-16, 2017. Doi: <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>.

TAMAYO ALZATE, O. E. Modelos y modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 9., 2013, Girona. *Actas* [...]. Recuperado el 1 dic. 2021 de: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/308487>.

TAMBARUSSI, C.; KLÜBER, T. E. Formação de professores em modelagem matemática no contexto do programa de desenvolvimento educacional do Paraná, PDE. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 23, núm. 4, pág. 851-866, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/1516-731320170040007>.

TARDIF, M. *Los saberes del docente y su desarrollo profesional*. Madrid: Ed. Narcea, 2012.

UMPIÉRREZ OROÑO, S. *Análisis de trabajos finales de grado de la carrera de maestra/o en educación primaria de Uruguay*: informe de investigación desarrollada en año sabático. Montevideo: Consejo de Formación en Educación, 2020. Recuperado el 1 dic. 2021 de: <https://tinyurl.com/4t67c983>.

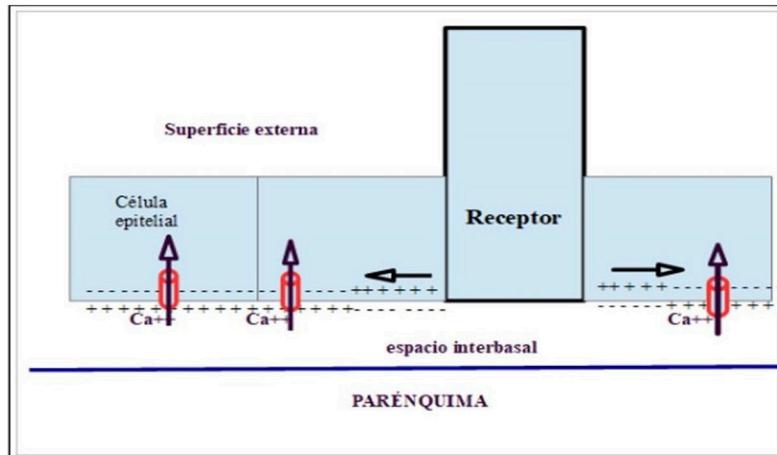
UMPIÉRREZ OROÑO, S. Clasificación temática, construcción de sistema de categorías y repertorio de competencias científicas para el análisis cualitativo de trabajos finales de carrera. *Rutas de Formación: prácticas y experiencias*, Bogotá, n. 9, p. 55-69, 2019. Doi: <https://doi.org/10.24236/24631388.n.2019.3315>.

YIN, R. *Case study research design and methods*. 5th ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.

ANEXOS

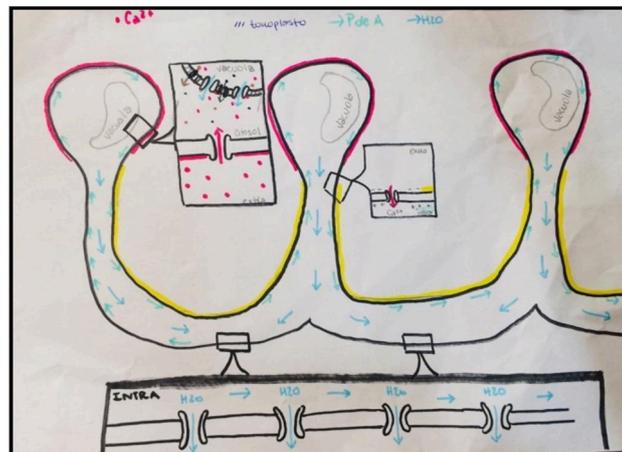
Anexo A – Ejemplos de representaciones elaboradas por estudiantes en el proceso de modelización de respuestas a estímulos en seres vivos ficticios

Figura 1 – Representación elaborada por estudiantes durante el proceso de modelización para representar la participación de ciertas moléculas en la comunicación intercelular



Fuente: Producida por los estudiantes: N.L, G.B y G.A (grupo 7).

Figura 2 – Representación elaborada por estudiantes durante el proceso de modelización para representar vías por las que se produciría salida de agua en células



Fuente: Producida por los estudiantes: A.M, E.N y J.R (grupo 1).