

# Apoyo al hacer científico de estudiantes: análisis de actividades químicas en un software educativo

*Support for students' scientific work: analysis of chemical activities in educational software*

Marcelle Cristina Correia Sena,<sup>1</sup> Luciana Abreu Nascimento<sup>2</sup> y Fernando César Silva<sup>3</sup>

## Resumen

El enfoque de los procesos de enseñanza y aprendizaje busca que los estudiantes participen activamente en clase y comprendan los aspectos entrelazados de ciencia y sociedad. Esta investigación se orienta a responder la pregunta: ¿Cómo los docentes construyen actividades de Química vinculadas a las simulaciones PhET? Utilizando un enfoque cualitativo, empleamos los dominios del conocimiento científico como herramienta analítica para evaluar las actividades en portugués. Los resultados muestran que el dominio conceptual predomina, indicando que la Química se percibe como un cuerpo de conocimientos acumulados. Como implicaciones, defendemos que las actividades de enseñanza en química deben abordar también la construcción del conocimiento científico, promoviendo los dominios epistémico, social y material de forma articulada en el aula.

**Palabras clave:** enseñanza de la química, simulaciones PhET, dominios del conocimiento científico, enfoque cualitativo, ciencia y sociedad.

## Abstract

The approach to teaching and learning processes aims for students to actively participate in class and understand the interconnected aspects of science and society. This research is aimed at answering the question: How do teachers construct Chemistry activities linked to PhET simulations? Using a qualitative approach, we employed the domains of scientific knowledge as an analytical tool to evaluate the activities in Portuguese. The results show that the conceptual domain predominates, indicating that Chemistry is perceived as a body of accumulated knowledge. As implications, we argue that Chemistry teaching activities should also address the construction of scientific knowledge, promoting the epistemic, social, and material domains in an articulated manner in the classroom.

**Keywords :** Chemistry teaching, PhET simulations, domains of scientific knowledge, qualitative approach, science and society.

## CÓMO CITAR:

Correia Sena, M. C., Nascimento, L. A., y Silva, F. C. (2025, abril-junio). Apoyo al hacer científico de estudiantes: Análisis de actividades químicas en un software educativo. *Educación Química*, 36(2). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2025.2.88924>

<sup>1</sup> Escola Estadual João Guimarães Rosa, Betim- MG, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Poços de Caldas- MG, Brasil.

<sup>3</sup> Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte- MG, Brasil.

## Introducción

Las Tecnologías Digitales de la Información y la Comunicación (TDIC) impactan directamente en la educación, presentando tanto potencialidades como limitaciones que deben ser analizadas por los docentes. Considerar a los estudiantes como participantes activos en su propio aprendizaje implica evaluar las TDIC no solo como recursos para transmitir contenidos, sino también como herramientas que faciliten la implicación intelectual de los estudiantes, permitiéndoles comprender el contenido y los procesos que llevan a esta comprensión (Paula, 2017).

Involucrar a los estudiantes en la construcción de comprensión no significa simplemente enseñarles a ser científicos, sino ofrecer una propuesta formativa que reconoce e incorpora la práctica científica en el contexto escolar. Esta propuesta reconoce que el trabajo en el aula no se basa únicamente en aspectos conceptuales (Stroupe, 2014). El enfoque del trabajo en el aula debe ampliarse, pasando de preguntarse qué y cómo enseñar, a cuestionarse qué deben hacer los estudiantes para aprender ciencias (Duschl, 2008). Esto revela la necesidad de valorar los procesos dialógicos en el aula y la participación activa de los estudiantes para la movilización articulada de los dominios del conocimiento científico. En este sentido, Duschl (2008, p. 275; nuestra traducción) propone tres dominios del conocimiento científico:

- **Dominio conceptual:** Son las estructuras conceptuales y los procesos cognitivos utilizados para razonar científicamente.
- **Dominio epistémico:** Son las estructuras epistémicas utilizadas al desarrollar y evaluar el conocimiento.
- **Dominio social:** Son los procesos y contratos sociales que dan forma a cómo se comunica, representa, argumenta y debate el conocimiento.

Stroupe (2014), utilizando el término *dimensiones del trabajo disciplinario*, retoma estos dominios y agrega un cuarto: el *material*. Este último “abarca la forma en que los actores crean, adaptan y utilizan herramientas, tecnologías, inscripciones y otros recursos para apoyar el trabajo intelectual de la práctica” (Stroupe, 2014, p. 492; nuestra traducción).

En los últimos años, ha crecido el interés por investigar aspectos de la educación científica que van más allá de los contenidos conceptuales, utilizando los dominios del conocimiento científico como referente teórico y metodológico. Esto se ha visto en investigaciones sobre su movilización en el aula (Sasseron, 2021; Silva y Sasseron,

2023), en las relaciones con enfoques investigativos (Van Uum et al., 2016; 2017), en la experimentación en el aula (Wei y Li, 2017), en cursos de formación docente y experiencias museísticas (Lau y Sikorski, 2018), así como en contribuciones al conocimiento de contenidos pedagógicos y a las actitudes conceptuales y sociales de los docentes (Van Uum et al., 2019). Sin embargo, hasta la fecha no existe ningún estudio que analice los aspectos de las TDIC que involucran los dominios conceptual, epistémico, social y material.

Entre las diversas TDIC utilizadas en el aula, el software educativo, como *Physics Educational Technology* (PhET), ha sido ampliamente utilizado en las clases de ciencias, ya que permite una interfaz interactiva en las simulaciones (Rodrigues, 2024). En el caso del software mencionado, vinculado a las simulaciones, también se dispone de propuestas de actividades docentes producidas por profesores de diferentes países, las cuales son objeto del análisis que aquí se presenta. En este sentido, la pregunta que orienta este estudio es: «¿Cómo fueron construidas por los docentes las actividades de Química vinculadas a las simulaciones PhET?» El objetivo de este estudio es investigar si y cómo se manifiestan los dominios conceptuales, epistémicos, sociales y materiales en estas actividades.

### Marco conceptual

Al abordar los desafíos de la educación científica, Stroupe (2014) subraya la importancia de redefinir el papel de los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias, sugiriendo que comparten con el profesorado la responsabilidad de construir y negociar las prácticas del aula, constituyéndose en agentes epistémicos. Además, Stroupe (2014) señala que los enfoques transmisivos pueden llevar a los estudiantes a entender la ciencia como un proceso lineal, en el que se asume que sus ideas sobre la ciencia son erróneas y deben ser corregidas mediante la asimilación pasiva de información. En estos enfoques, según el autor, aunque los estudiantes pueden ser considerados agentes conceptuales, yendo más allá de la simple recepción de información, no se fomenta la creación de un entorno de aprendizaje donde tanto estudiantes como profesores aprendan a través de la participación en la práctica científica.

Redefinir la participación de estudiantes y docentes puede reconfigurar la relación que se establece con el uso de los recursos educativos, incluido el software, en las clases de ciencias. Si se concibe el software simplemente como un depósito de conceptos que deben aprender los estudiantes, el profesor se define como quien presenta la herramienta para que estos puedan abordar, de forma más o menos dirigida, los objetos de estudio que les proporciona. Desde otra perspectiva, según Paula (2017), estos softwares pueden evolucionar de una concepción de recursos educativos a una concepción mediacional, convirtiéndose en herramientas materiales que representan una cultura y permiten a los estudiantes, a través de su uso, acercarse a normas y prácticas específicas.

En este contexto, se concluye que, si bien el software ofrece varias funcionalidades que permiten involucrar a los estudiantes, su valor educativo no reside en el software en sí mismo, sino en el enfoque pedagógico que implementan los docentes al asumir sus roles en el aula. En consecuencia, la reflexión sobre el uso del software en el contexto educativo se centra en la siguiente cuestión: ¿qué deben hacer los estudiantes con el software para aprender? (Grandy y Duschl, 2007; Paula, 2017). Complementamos esta pregunta con: ¿de qué manera el docente y las actividades diseñadas pueden propiciar las condiciones para que esto ocurra?

No restringido solo al software, sino involucrando la diversidad de recursos que pueden utilizarse en el aula para potenciar los procesos dialógicos, y en consecuencia, la participación de los estudiantes, retomamos los cuatro dominios del conocimiento científico que deben articularse en el aula: conceptual, epistémico, social y material (Duschl, 2008; Stroupe, 2014; Sasseron, 2021; Silva et al., 2022).

El dominio conceptual se ha entendido como el conjunto de conceptos, teorías, principios, leyes, modelos e ideas que utilizan profesores y estudiantes en el aula para razonar con y acerca de la ciencia (Duschl, 2008; Furtak et al., 2012). De esta manera, se refiere a lo que discuten los estudiantes para explicar el contenido.

Mientras tanto, el dominio epistémico se refiere a las estructuras y procesos involucrados en la evaluación y el desarrollo de este conocimiento (Duschl, 2008). En el aula, este dominio se manifiesta cuando los estudiantes explican por qué conocen el contenido que están aprendiendo, al mismo tiempo que evalúan y desarrollan su comprensión de los temas y procesos científicos (Duschl, 2008; Stroupe, 2014).

El dominio social implica la forma en que se debaten colectivamente los contenidos en el aula, ya que este análisis no ocurre al azar, sino que se rige por normas, criterios y acuerdos negociados a medida que se construyen entendimientos en el aula (Duschl, 2008; Silva et al., 2022).

Finalmente, el dominio material “aborda la forma en que los actores crean, adaptan y utilizan herramientas, tecnologías, inscripciones y otros recursos para apoyar el trabajo intelectual de la práctica” (Stroupe, 2014, p. 492; nuestra traducción). Podemos decir que este dominio está presente en el contexto escolar a medida que se utilizan y negocian recursos, herramientas y tecnologías para apoyar el trabajo intelectual en el aula.

Silva y Sasseron (2023) analizan la caracterización del dominio material y proponen que este se construye a partir del concepto de objeto epistémico. Desde la perspectiva de Rheinberger (2016), estos autores argumentan que la problematización de los materiales —ya sea a través del reconocimiento de su función o de su conversión en objetos de análisis— impulsa el trabajo intelectual en el aula (Silva y Sasseron, 2023). En otras palabras, el exceso de información sobre la función y el uso de los materiales limita las posibilidades de investigación.

En este punto, podemos retomar las ideas de agencia conceptual y epistémica mencionadas en esta sección. Presentado como un mero repositorio de contenidos, el software puede favorecer la agencia conceptual de los estudiantes; sin embargo, para promover la agencia epistémica, es crucial que el software en sí mismo sea un objeto de análisis, explorado en su materialidad y negociado entre los estudiantes como una herramienta que apoye la construcción de entendimientos sobre el contenido trabajado. Por lo tanto, defendemos la importancia de que los dominios conceptual, social, material y epistémico se consideren de manera articulada al planificar e implementar clases de ciencias.

La presencia “equilibrada” de dominios en los objetivos de enseñanza ha sido considerada desde las propuestas de Duschl (2008); sin embargo, estudios posteriores han señalado los beneficios de su articulación, como es el caso de Kim y Tan (2013), quienes encuentran que la integración e interacción de los dominios de conocimiento apoya la comunicación y el intercambio de conocimientos entre estudiantes de secundaria. Se

observan relaciones similares en los estudios de Sasseron (2021), quien señala que las acciones que promueven conjuntamente los cuatro dominios favorecen el trabajo con las características epistémicas del conocimiento científico; y en los de Silva y Sasseron (2021), quienes consideran esencial la articulación del dominio social con los dominios conceptual, epistémico y material como esencial para cualificar las prácticas del aula.

## Metodología

Esta investigación sigue un enfoque cualitativo (Kelly, 2023), cuyo objetivo es comprender las actividades de Química en portugués relacionadas con las simulaciones PhET, diseñadas por docentes. Dada la naturaleza de la pregunta de investigación y el instrumento de recolección de datos, se adopta una estrategia de análisis de registros archivados (Yin, 2001), lo que permite explorar la presencia de los dominios del conocimiento científico en el aula.

La plataforma PhET ofrece simulaciones gratuitas, interactivas y basadas en investigación para las áreas de ciencias (física, química, biología) y matemáticas. Estas simulaciones incluyen actividades creadas por profesores de diversos países para su uso con estudiantes. Para acceder a las actividades, es necesario crear una cuenta gratuita. Una vez dentro de la plataforma PhET, los usuarios pueden descargar las actividades. Es relevante destacar que cualquier docente puede proponer nuevas actividades, las cuales son sometidas a una revisión por pares antes de ser publicadas. Este proceso asegura la calidad del contenido, evaluando aspectos como pertinencia, coherencia y alineación con los objetivos de aprendizaje. Cabe mencionar que el equipo de PhET diseña cada simulación con propósitos específicos, tanto para estudiantes como para docentes, garantizando que sean herramientas útiles y alineadas con los dominios del conocimiento, los cuales sirven como instrumentos de análisis.

Cada simulación incluye una pestaña con acceso a las actividades enviadas por los docentes, las cuales se presentan en una tabla que incluye su título, pregunta, autor, nivel, tipo, materia e idioma (las actividades están disponibles en 128 idiomas y se pueden traducir según la elección del usuario). Las actividades analizadas se seleccionaron en el primer semestre de 2023, como se muestra en la Figura 1.

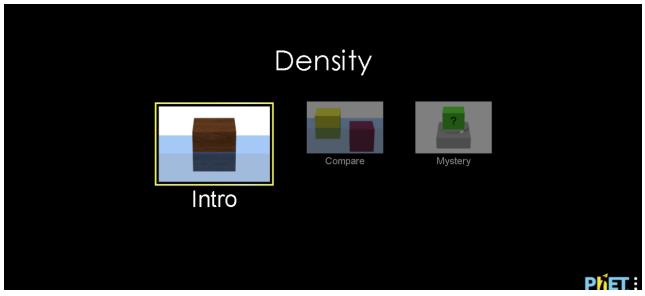
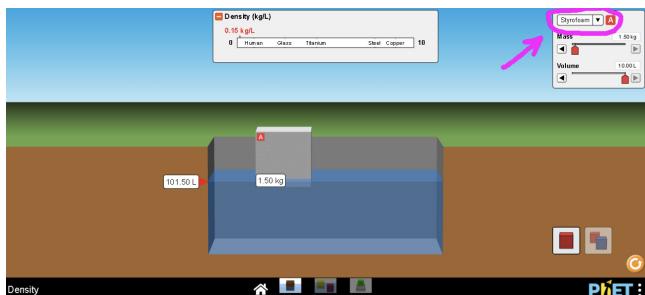
<b>155</b> <b>simulaciones</b>	<b>Selección de</b> simulaciones de Química	<b>30</b> <b>simulaciones de Química</b>	<b>Selección de</b> contenido de la Escuela Secundaria	<b>18</b> <b>simulaciones</b> <b>(Escuela Secundaria)</b>	<b>Selección de</b> actividades en portugués	<b>32</b> <b>actividades (Portugués)</b>
-----------------------------------	--	---	---	---	---	---

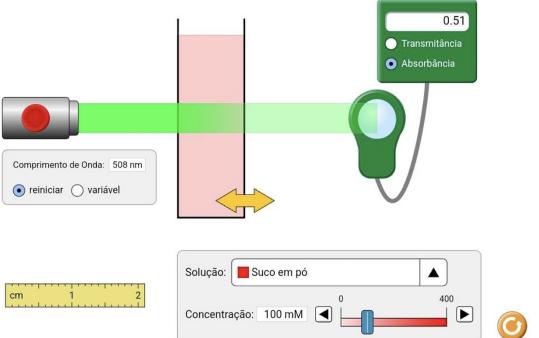
El hecho de que algunas simulaciones estén asociadas a múltiples actividades explica por qué, a partir de solo 18 simulaciones, se derivan 32 actividades en total. Estas actividades fueron diseñadas por docentes que trabajan en escuelas públicas y privadas.

Para analizar las actividades seleccionadas, se evaluaron afirmaciones que ofrecían instrucciones específicas o preguntas para que los estudiantes respondieran. Por ejemplo: “¿La flotabilidad del barco en el mar o en una piscina es la misma? ¿Por qué?”.

Los criterios utilizados para caracterizar los dominios se basaron en los estudios de Duschl (2008), Stroupe (2014) y Manz, Lehrer y Schauble (2020), como se detalla en la Tabla 1.

**FIGURA 1.** Proceso de selección de actividades de Química disponibles en simulaciones.

Dominios	Criterios de caracterización	Ejemplo	Observaciones																												
Conceptual	i) Exposición de teorías, leyes, conceptos, ideas científicas, etc. ii) Mención de teorías, leyes, conceptos, ideas científicas, etc. iii) Explicación de teorías, leyes, conceptos, ideas científicas, etc. iv) Aplicación de teorías, leyes, conceptos, ideas científicas, etc.	<p>“Ingresa a la actividad llamada <i>Intro</i>, elige un material de su preferencia, al costado de la pantalla”.</p>  <p>“Ahora juega un poco con su masa y volumen”.</p> 	El enunciado ya expone los conceptos, de masa y volumen, a ser utilizados, según se muestra en la captura de pantalla del simulador.																												
Epistémico	i) Evaluación de aspectos relevantes del fenómeno involucrado en la simulación. ii) Desarrollo de comparaciones entre la información necesaria para comprender la simulación. iii) Evaluación de las variables involucradas para comprender la simulación. iv) Evaluación de lo que se considera información relevante para explicar el fenómeno involucrado en la simulación; v) Perfeccionamiento de las explicaciones desarrolladas. vi) Desarrollo de representaciones de aspectos que involucran el fenómeno. vii) Justificación de las conclusiones presentadas.	<p>“¿La flotabilidad del barco es la misma en el mar o en una piscina? ¿Por qué?”</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #009640; color: white;">material</th> <th style="background-color: #009640; color: white;">densidade (kg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>madeira</td><td>0.40</td></tr> <tr><td>gasolina</td><td>0.68</td></tr> <tr><td>maçã</td><td>0.83</td></tr> <tr><td>gelo</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>humano</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>água</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>vidro</td><td>2.70</td></tr> <tr><td>diamante</td><td>3.51</td></tr> <tr><td>titânio</td><td>4.50</td></tr> <tr><td>áço</td><td>7.80</td></tr> <tr><td>cobre</td><td>8.96</td></tr> <tr><td>chumbo</td><td>11.34</td></tr> <tr><td>ouro</td><td>19.32</td></tr> </tbody> </table>	material	densidade (kg/L)	madeira	0.40	gasolina	0.68	maçã	0.83	gelo	0.92	humano	0.95	água	1.00	vidro	2.70	diamante	3.51	titânio	4.50	áço	7.80	cobre	8.96	chumbo	11.34	ouro	19.32	La tabla de densidad presentada en la simulación posibilita al estudiante realizar una comparación y evaluación de las diferencias de densidad entre los diversos materiales. El enunciado de la actividad solicita al estudiante que evalúe los diferentes entornos en los que los objetos pueden flotar o hundirse.
material	densidade (kg/L)																														
madeira	0.40																														
gasolina	0.68																														
maçã	0.83																														
gelo	0.92																														
humano	0.95																														
água	1.00																														
vidro	2.70																														
diamante	3.51																														
titânio	4.50																														
áço	7.80																														
cobre	8.96																														
chumbo	11.34																														
ouro	19.32																														

Social	<p>i) La forma en que se establecen normas, rutinas y criterios.</p> <p>ii) La forma en que se negocian, es decir, se ponen en discusión las normas, rutinas y criterios.</p>	<p>“...expresa sus conclusiones en forma de gráficas <math>T=f(c)</math> y <math>A=f(c)</math>.</p> 	<p>Enunciados que indican la forma en que se ponen bajo análisis normas, rutinas y criterios. La solicitud del gráfico, basada en los datos de la simulación, exige que los estudiantes comuniquen sus resultados siguiendo un formato específico (norma), promoviendo así el uso de estándares de comunicación científica.</p>																																																																																																				
Material	<p>Problematización del material, ya sea en función de su uso o de su función, permitiendo la construcción de entendimientos.</p>	<p>“Transforme los resultados anotados en las hojas de cálculo en gráficos y discuta las siguientes preguntas...”</p> <p><b>Experimento 01</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Colisões</th> <th>Pp</th> <th>Pl</th> <th>Pressão (atm)</th> <th>Temperatura (K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>100</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>200</td><td>200</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>300</td><td>300</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>400</td><td>400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>423</td><td>422</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p><b>Experimento 02</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Colisões</th> <th>Pp</th> <th>Pl</th> <th>Pressão (atm)</th> <th>Temperatura (K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>423</td><td>422</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>400</td><td>445</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>300</td><td>545</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>200</td><td>645</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>100</td><td>745</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>00</td><td>845</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p><b>Experimento 03</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Colisões</th> <th>Pp</th> <th>Pl</th> <th>Pressão (atm)</th> <th>Temperatura (K)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>423</td><td>422</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>445</td><td>400</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>545</td><td>300</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>645</td><td>200</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>745</td><td>100</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>845</td><td>.00</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Colisões	Pp	Pl	Pressão (atm)	Temperatura (K)	100	100				200	200				300	300				400	400				423	422				Colisões	Pp	Pl	Pressão (atm)	Temperatura (K)	423	422				400	445				300	545				200	645				100	745				00	845				Colisões	Pp	Pl	Pressão (atm)	Temperatura (K)	423	422				445	400				545	300				645	200				745	100				845	.00				<p>El estudiante deberá completar las hojas de trabajo que se muestran en las respectivas imágenes y utilizar estos datos para crear gráficos. El gráfico no se da, hay que construir y sustentar las respuestas a las preguntas. El gráfico, así como una representación, juega una función en la construcción de la comprensión por parte del estudiante.</p>
Colisões	Pp	Pl	Pressão (atm)	Temperatura (K)																																																																																																			
100	100																																																																																																						
200	200																																																																																																						
300	300																																																																																																						
400	400																																																																																																						
423	422																																																																																																						
Colisões	Pp	Pl	Pressão (atm)	Temperatura (K)																																																																																																			
423	422																																																																																																						
400	445																																																																																																						
300	545																																																																																																						
200	645																																																																																																						
100	745																																																																																																						
00	845																																																																																																						
Colisões	Pp	Pl	Pressão (atm)	Temperatura (K)																																																																																																			
423	422																																																																																																						
445	400																																																																																																						
545	300																																																																																																						
645	200																																																																																																						
745	100																																																																																																						
845	.00																																																																																																						

**TABLA 1.** Categorización de los dominios conceptual, epistémico, social y material en actividades de simulación.

La diferenciación entre los dominios del conocimiento científico puede resultar compleja, ya que son interdependientes (Peters-Burton y Baynard, 2013). En este sentido, pueden caracterizarse en pares, tríos o todos juntos. Como se menciona en el marco conceptual de este trabajo, esta articulación es incluso deseada para calificar las prácticas escolares.

Para facilitar la visualización de los resultados, en la tabla de análisis, los dominios se identifican como: C = Conceptual, E = Epistémico, S = Social y M = Material. Así, la sigla CE remite, por ejemplo, al par conceptual-epistémico.

## Resultados y Discusiones

Presentamos la aparición de los dominios conceptual, epistémico, social y material del conocimiento científico en las actividades asociadas a las simulaciones de PhET (Tabla 2), cuantificando cada uno. Para exemplificar la identificación de estos dominios, analizamos en profundidad la actividad sobre concentración (Tabla 3), en la cual identificamos todos los dominios en uno de los enunciados de esta actividad.

En el análisis de las actividades de Química vinculadas a las simulaciones PhET, fue posible identificar tanto dominios aislados como articulados del conocimiento científico, como se indica en la Tabla 2.

Contenidos	Indicación de la Actividad	Dominios					
		Aislados		Articulados			
		C	CE	CM	EM	CEM	CESM
Densidad	1.1	13			1		
	2.1	2	3				
Gases	3.1			1			
	4.1	3					
Enlaces Intermoleculares	5.1	6					
Polaridad	6.1	9					
Estados Físicos de la Materia	7.1			1		4	
Modelos Atómicos	8.1	8					
	9.1	4					
	9.2	7					
	9.3	10					
	9.4	7					
	10.2	6					
Geometría Molecular	10.3	5					
	11.1	4	3				
	11.2	5	5				
	12.1	3					
Estequioometria	12.2	7					
	13.1	1	1				
	13.2	3					
La escala de pH							

**TABLA 2.** Cuantificación de los dominios identificados en los enunciados de cada actividad analizada, indicando su ocurrencia de forma aislada o articulada.

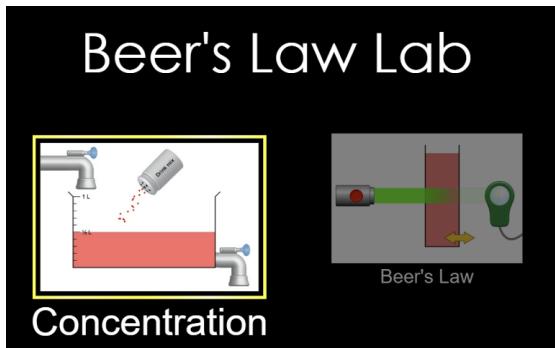
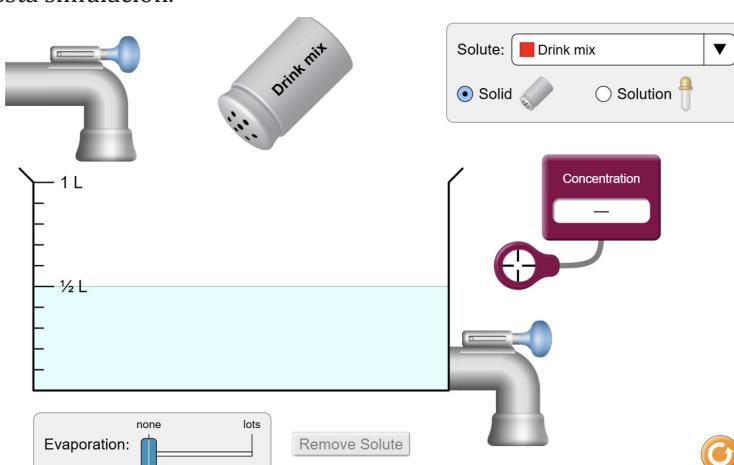
Equilibrio de ecuaciones químicas	14.1	6				
	14.2	7	2	1		
	14.3	1				
	14.5	7	2	1		
Soluciones ácidas y básicas	15.1	4	2			
Concentración	16.1	5				
	16.2	5				
	16.3	6	5			1
Ley de Beer	17.1	6	2			
Átomo	18.1	4				
	18.2	5				
	18.3	2				

Una primera lectura de la Tabla 2 permite identificar el predominio del dominio conceptual, que es el único que aparece de forma aislada. Este resultado puede sugerir que la concepción de ciencia predominante entre los docentes es la que Stroupe (2014) denomina conocimiento acumulado, a partir del cual se planifican las clases de ciencias para presentar un conjunto de información recopilada o construida por los científicos con el fin de revelar la “verdad” sobre el mundo natural. Sin embargo, tal concepción tiende a promover una visión de las ciencias naturales desvinculada de la práctica científica y de las formas en que trabajan las comunidades científicas, en sus normas y prácticas.

La presencia del dominio conceptual de forma desarticulada de los demás también puede indicar una naturaleza más demostrativa y guionizada de las actividades propuestas en el software. Munford y Lima (2007) presentan diferentes niveles de organización que pueden asumir las actividades de enseñanza de las ciencias a través de la investigación, los cuales potencialmente brindan mayor autonomía a los estudiantes. Al analizar la Tabla 2 y observar el predominio del dominio conceptual desarticulado del epistémico, inferimos que los enunciados de las actividades propuestas en PhET no predicen que, por ejemplo, “los estudiantes evalúen sus explicaciones a la luz de explicaciones alternativas y conecten sus explicaciones con el conocimiento científico” (Munford y Lima, 2007, p. 1) para experimentar prácticas epistémicas de la ciencia.

De igual manera, la baja incidencia del par conceptual-material nos lleva a suponer que las herramientas presentadas en las actividades no son consideradas como objetos de estudio en el aula, ni se utilizan para apoyar el trabajo intelectual, lo que limita la autonomía de los estudiantes y aleja al software de una propuesta mediadora (Paula, 2017).

En cuanto a los demás dominios, observamos que ocurren mayoritariamente en pares, siendo recurrente la asociación con el dominio conceptual. Los dominios rara vez ocurren en tríos o todos juntos, y solo una de las afirmaciones de la actividad 16.3 presenta los cuatro dominios juntos, como se indica a continuación (Tabla 3).

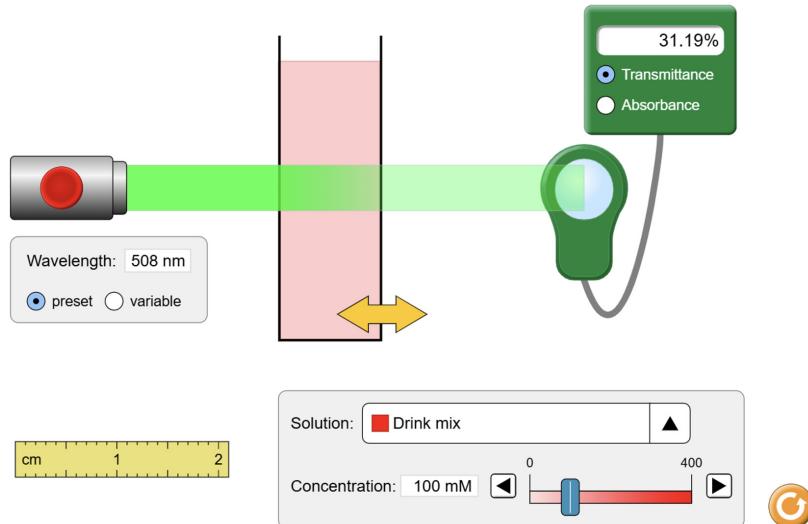
Enunciados [Caracterización del dominio]	Dom.
Ingrese a la simulación multimedia Beer's Law Lab:	
	
Seleccione Concentración [mención de concepto - conceptual] y explore las diversas funciones de esta simulación.	CE
	
1. ¿Puede el tipo de catión presente en una solución afectar su color? ¿Y el anión? Justifique su respuesta con evidencias [solicita una justificación - epistémico].	
2. ¿La concentración [mención de concepto - conceptual] de una solución afecta su apariencia? ¿Cambia la concentración de la solución su color o la intensidad de su color? Justifique su respuesta con evidencias [solicita una justificación - epistémico].	CE
3. Una empresa de bebidas está teniendo problemas en la producción. Supuestamente, la bebida "Drink Mix" con una concentración de 0,100 mol/dm <sup>3</sup> [mención de concepto - conceptual] presenta un color rosa claro. Sin embargo, ¡no siempre es así! ¿Cuál es el problema?	
Presenta una explicación plausible para cada una de las siguientes observaciones [evaluación de lo que se considera información relevante para explicar el fenómeno - epistémico].	
A. La intensidad del color es demasiado baja... ¡la bebida está muy clara!	
B. El color de la bebida no es el correcto! Se ve azul...	
C. La bebida tenía un color de intensidad correcta, pero con el tiempo su apariencia cambió, volviéndose más oscura. Los empleados afirman que no se añadió nada al tanque de mezcla...	CE

**TABLA 3.** Detallamiento del surgimiento conjunto de todos los dominios en la actividad 16.3 sobre concentración.

**Fuente:** elaboración propia con copias de la actividad y pantalla de simulación.

Dom. = dominio, C = conceptual, E = epistémico, S = social y M = material.

Vuelve al menú inicial y selecciona la Ley de Beer [mención de concepto - conceptual] y explora las varias funciones de esta simulación [problematización de la simulación - material]. Selecciona la bebida “Drink Mix” y haz incidir luz verde ( $\lambda = 508 \text{ nm}$ ) en la solución [mención de concepto - conceptual].



CEMS

4. Investiga la intensidad de la luz verde [evaluación de aspectos relevantes del fenómeno involucrado en la simulación - epistémico] que atraviesa la bebida “Drink Mix” en función de la concentración [mención de concepto - conceptual] y presenta tus conclusiones en forma de graficos  $T=f(c)$  e  $A=f(c)$  [forma en que se establecen una norma - social].

5. Cuando la luz verde ( $\lambda = 508 \text{ nm}$ ) pasa a través de la bebida “Drink Mix”, contenida en una cubeta de ancho de 1 cm, la absorbancia es 1,2 [mención de concepto - conceptual]. ¿Cuál es la concentración de esta bebida? Si la absorbancia es 0,60, ¿cuál es la concentración? Y si la absorbancia es 0,30, ¿cuál es la concentración? [aplicación del concepto - conceptual] Cada vez que la absorbancia se reduce a la mitad, ¿qué le sucede a la concentración? ¿Qué relación existe? [justificación de las conclusiones presentadas - epistémico].

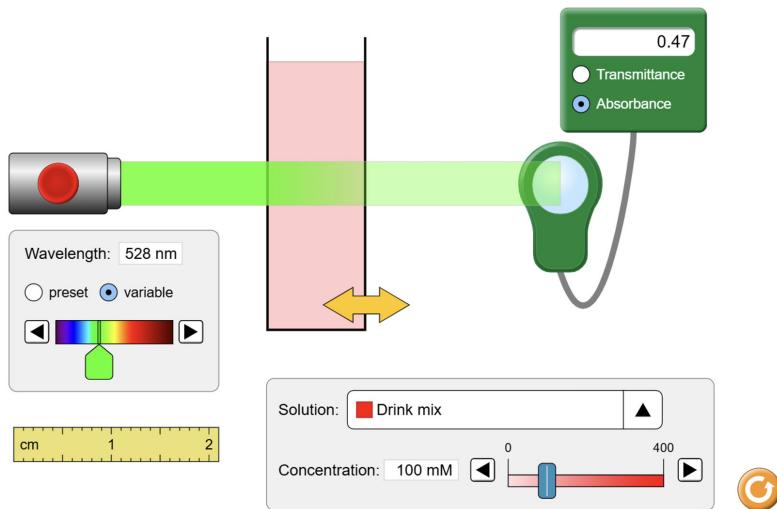
CE

Para ayudar a resolver el problema de la empresa de bebidas, vamos a determinar la concentración [mención de concepto - conceptual] de un determinado soluto en la bebida “Drink Mix”.

C

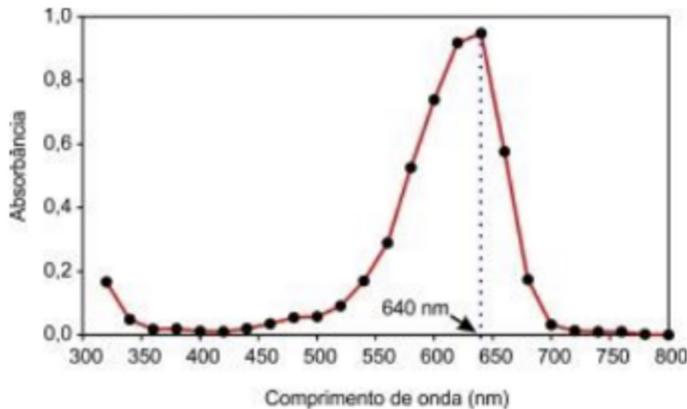
6. Comienza por seleccionar el soluto [mención de concepto - conceptual] que deseas investigar.

7. A continuación, para la concentración 100 mM o 100  $\mu$ M [mención de concepto - conceptual], lee y registra los valores de absorbancia para varios longitudes de onda en la zona del visible [mención de concepto - conceptual] (por ejemplo, realizando lecturas cada 20 nm).



C

8. Construye el espectro de absorción ( $A = f(\lambda)$ ) y concluye cuál es el valor de longitud de onda para el cual el valor de absorbancia es máximo (ver el ejemplo) [mención y aplicación de concepto - conceptual].



C

9. A continuación, lee y registra el valor de absorbancia de varias soluciones del soluto elegido, pero con diferentes concentraciones (a tu elección), a la longitud de onda seleccionada previamente (apartado 8) [mención y aplicación de concepto - conceptual].

C

10. Traza la curva de calibración con base en los valores de absorbancia leídos, en función de las respectivas concentraciones,  $A = f(c)$ , y obtén la recta que mejor se ajusta a ese conjunto de datos [mención y aplicación de concepto - conceptual]. ¿Cuál es el significado de la pendiente de la recta obtenida? [J=justificación de la conclusión presentada - epistémico].

CE

11. Ahora, vuelve a seleccionar la bebida "Drink Mix" con una concentración 0,100 mol/dm<sup>3</sup> y, sin cambiar la longitud de onda, registra la absorbancia [mención y aplicación de concepto - conceptual].

C

12. A partir de la recta de calibración, determina la concentración de este soluto [mención y aplicación de concepto - conceptual] en la bebida "Drink Mix".

C

En esta actividad titulada "El color y la composición cuantitativa de soluciones con iones metálicos" exploramos la caracterización del enunciado que presenta conjuntamente los dominios conceptual, epistémico, social y material del conocimiento científico. La actividad fue diseñada para trabajar con el concepto de concentración y fue desarrollada por profesores de lengua portuguesa. En el cuarto enunciado de esta actividad, se pide a los estudiantes: "Investiga la intensidad de la luz verde que pasa a través de la bebida 'Drink Mix' en función de la concentración y presenta tus conclusiones en forma de gráficos  $T = f(c)$  y  $A = f(c)$ ". El dominio conceptual emerge cuando el enunciado ya considera una relación entre las variables: la intensidad de la luz en función de la concentración. El dominio epistémico surge por el uso del verbo "investigar" y la solicitud de que se presenten conclusiones, es decir, no se trata de una aplicación directa de valores para determinar la intensidad de la luz verde. Durante la actividad, la construcción del gráfico es central para resolver la pregunta, lo que indica la presencia del dominio material; esto se debe a que no se proporcionaron los datos necesarios para construir el gráfico, los cuales se obtendrán de la simulación. También, es en la solicitud del gráfico donde emerge el dominio social, ya que se especifica la forma en que debe presentarse la respuesta, creando una oportunidad para que los estudiantes utilicen un estándar de comunicación de resultados, regido por normas y prácticas, con el fin de asegurar interacciones discursivas críticas que salvaguarden la objetividad del proceso de construcción del conocimiento científico (Longino, 2002).

Otro resultado relevante del análisis de la Tabla 2 es que las actividades 3.1 y 7.1 no presentaron el dominio conceptual de forma aislada. Este resultado es importante, pues indica que los docentes que propusieron estas actividades ya consideraban, en su planificación, articular el dominio conceptual con otros dominios. Por lo tanto, en estas actividades, el concepto es consecuencia de un proceso en el que se consideran otros dominios, acercando la actividad a una comprensión del dominio conceptual presentada por Furtak et al. (2012). Según estos autores, el dominio conceptual implica la manipulación y transformación del conocimiento en el aula, lo cual involucra los conocimientos previos de los estudiantes, las acciones que promueven su expresión y la sistematización conceptual por parte del docente.

La actividad 3.1, titulada "Introducción a la Ley de los Gases", fue diseñada para trabajar con la ley de los gases ideales e involucra tres experimentos que se pueden realizar mediante simulación. A continuación, se presenta un enunciado que contiene una serie de preguntas relacionadas con lo que se puede observar en la simulación para incentivar la recolección de datos por parte de los estudiantes y la construcción de gráficas, y es en este desarrollo donde identificamos la articulación entre dominios. Por ejemplo, en la afirmación "Basado en las leyes de los gases ideales, analice los resultados", emerge el dominio conceptual, ya que los estudiantes ya cuentan con la ley que utilizarán para analizar los resultados. Vinculado a esto, los estudiantes deben realizar el análisis, investigando el comportamiento de las moléculas en la simulación para obtener los datos que permitan la construcción del gráfico, lo que indica el dominio material.

En la actividad 7.1, titulada “¿Por qué diferentes materiales tienen diferentes estados físicos a la misma temperatura?”, se propuso trabajar con los estados físicos de la materia, partiendo de una interacción con el propio entorno de los estudiantes: “Seguramente ya habrás notado que hay materia en diferentes estados físicos a tu alrededor. Para comenzar esta actividad, completa la siguiente tabla con los nombres de los objetos o sustancias que se encuentran a tu alrededor, según su estado físico.” Después de este reconocimiento de los materiales por parte de los estudiantes, se les solicita trabajar con la simulación y entendemos que esta organización pudo haber contribuido a planteamientos en los que emergen juntos los dominios conceptual y material. Traemos como ejemplo la siguiente afirmación: “En la parte inferior de la simulación, seleccione la plataforma Phase Changes e interactúe con la simulación. ¿La variación de temperatura cambia el comportamiento de las partículas?” Esta afirmación indica, por un lado, el dominio conceptual, pues menciona los conceptos que deben relacionarse (temperatura y comportamiento de las partículas). Por otro lado, trae el dominio material, ya que lo que debe explorarse en la simulación no se proporciona previamente al estudiante.

En esta misma actividad (7.1), hubo enunciados que articularon los dominios conceptual, epistémico y material. Por ejemplo: “¡Inicie la simulación y póngase a trabajar! [...] Seleccione la plataforma de estados e interactúe con la simulación. Cambie la unidad de temperatura a °C. Luego seleccione una sustancia y compruebe la organización de las partículas y la temperatura en cada uno de los estados. Complete la siguiente tabla con la información obtenida. No olvide crear un título para su modelo (tabla). A partir de la información obtenida, sin utilizar la simulación, prediga el estado físico de las sustancias de la tabla anterior cuando la temperatura sea de -120°C (Neón, Argón, Oxígeno y Agua).” En este enunciado, las sustancias enumeradas anteriormente serán objetos de interés para los estudiantes (material). Además, se menciona la temperatura (conceptual) y se les solicita a los estudiantes que hagan una predicción, es decir, que analicen la información obtenida de la simulación (epistémico), creando condiciones para que los estudiantes movilicen los dominios material y conceptual para indicar lo que esperan saber y por qué están convencidos de lo que saben (Stroupe, 2014).

La ausencia del dominio social puede proporcionarnos una indicación más de que las formas de construir la comprensión en el aula no cuentan con tanto espacio como los aspectos conceptuales. Aunque existen diversas afirmaciones que enfatizan el debate, por ejemplo: “Reúna un grupo de estudiantes para iniciar preguntas sobre dilución. Presentar el simulador en un show de datos. Haga la pregunta y recopile la respuesta de cada grupo. Utilice el simulador y compruebe de forma dialogada las respuestas de los grupos. Haga una nueva pregunta y así” (16.2), los enunciados finalizan con la propuesta de ideas compartidas en grupos, pero falta una discusión sobre cómo estas ideas serán propuestas, comunicadas, evaluadas y legitimadas en el grupo.

## Conclusión

Las actividades de Química vinculadas a las simulaciones PhET se construyeron principalmente en base a los aspectos conceptuales de la Química. En los planes propuestos en el software, las simulaciones se utilizaron principalmente como herramientas para que los estudiantes revisaran los conceptos, leyes y teorías enseñados en las clases de Química.

Aunque el estudio analiza una cantidad limitada de datos, planteamos la hipótesis de que este énfasis en el dominio conceptual en las actividades está relacionado con una posible concepción que los docentes tienen sobre la Química, una ciencia que puede ser percibida erróneamente como un cuerpo de conocimientos históricamente acumulados que debe ser presentado y, en el mejor de los casos, demostrado a los estudiantes. Esto podría explicar por qué no se consideraron los caminos que conducen a la construcción de ese conocimiento, lo que resultó en la baja ocurrencia de los dominios epistémico y social.

En el aula, esta baja frecuencia tiende a reproducir concepciones simplistas de la ciencia, acercándola a un discurso autoritario que debe ser aceptado sin comprender sus modos de producción, los cuales son precisamente los que confieren objetividad y confiabilidad al conocimiento científico.

A partir de lo que indican los datos, proponemos la importancia de planificar las simulaciones PhET de manera que se articulen los dominios del conocimiento científico, con el fin de incentivar la práctica científica en el contexto escolar. Cuando esta articulación falta, sugerimos que los docentes, en su práctica diaria, busquen promover situaciones que favorezcan la movilización de conceptos, apoyando la propuesta y el análisis de ideas en un proceso de construcción colectiva de la comprensión sobre el objeto de estudio. En cuanto al uso específico de las Tecnologías Digitales de la Información y la Comunicación (TDIC), entendemos que es fundamental que las actividades brinden oportunidades de interacción entre los estudiantes y los materiales, no solo de manera procedural, sino que también permitan a los estudiantes construir evidencia a partir de las simulaciones, debatir sobre los arreglos experimentales más apropiados para investigaciones en curso e, incluso, involucrarse intelectualmente con los materiales.

### ***Agradecimiento***

El tercer autor desea agradecer la financiación de FAPEMIG obtenida a través del proyecto Universal número de proceso APQ-01265-23.

### **Referencias**

- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291. <https://doi.org/10.3102/0091732X0730937>
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., y Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- Grandy, R., y Duschl, R. (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Analysis of a conference. *Science y Education*, 16(2), 141-166. <https://doi.org/10.1007/s11191-005-2865-z>
- Kelly, G. J. (2023). Qualitative research as culture and practice. In N. G. Lederman, D. L. Zeideler, y J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 60-86). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367855758-4>

- Kim, M., y Tan, H. T. (2013). A collaborative problem-solving process through environmental field studies. *International Journal of Science Education*, 35(3), 357-387. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.752116>
- Lau, M., y Sikorski, T-R. (2018). Dimensions of science promoted in museum experiences for teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 29(7), 578-599. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2018.1483688>
- Longino, H. E. (2002). *The fate of knowledge*. Princeton University Press.
- Manz, E., Lehrer, R., y Schauble, L. (2023). Rethinking the classroom science investigation. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(7), 1148-1174. <https://doi.org/10.1002/tea.21625>
- Munford, D., y Lima, M. E. C. de C. (2007). Ensinar ciências por investigação: Em quê estamos de acordo? *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(1), 89-111. <https://doi.org/10.1590/1983-21172007090107>
- Paula, H. F. (2017). Fundamentos pedagógicos para o uso de simulações e laboratórios virtuais no ensino de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 75-103. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec201717175>
- Peters-Burton, E., y Baynard, L. R. (2013). Network analysis of beliefs about the scientific enterprise: A comparison of scientists, middle school science teachers, and eighth-grade science students. *International Journal of Science Education*, 35(16), 2801-2837. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.662609>
- Rheinberger, H.-J. (2016). On the possible transformation and vanishment of epistemic objects. *Theory of Science*, 38(3), 269-278. <https://doi.org/10.46938/tv.2016.364>
- Rodrigues, A. R. D. S. P. (2024). Software educativo en la supervisión de la Química Inorgánica II. *Educación Química*, 35(1), 13-26. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.1.85647>
- Sasseron, L. H. (2021). Práticas constituintes de investigação planejada por estudantes em aula de ciências: Análise de uma situação. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 23, 1-18. <https://doi.org/10.1590/1983-21172021230101>
- Silva, M. B., y Sasseron, L. H. (2021). Alfabetização científica e domínios do conhecimento científico: Proposições para uma perspectiva formativa comprometida com a transformação social. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 23, e34674. <https://doi.org/10.1590/1983-21172021230129>
- Silva, F. C., Nascimento, L. A., Valois, R. S., y Sasseron, L. H. (2022). Ensino de Ciências como Prática Social: relações entre as normas sociais e os domínios do conhecimento. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(1), 39-51. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p39>
- Silva, F. C., y Sasseron, L. H. (2023). Between norms and routines of organic chemistry: the work with the domains of scientific knowledge. *Ensaio: Science Education Research*, 25(e42398). <https://doi.org/10.1590/1983-21172022240148T>

- Stroupe, D. (2014). Examining classroom science practice communities: How teachers and students negotiate epistemic agency and learn science-as-practice. *Science Education*, 98(3), 487-516. <https://doi.org/10.1002/sce.21112>
- Van Uum, M. S., Verhoeff, R. P., y Peeters, M. (2016). Inquiry-based science education: Towards a pedagogical framework for primary school teachers. *International Journal of Science Education*, 38(3), 450-469. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1147660>
- Van Uum, M. S., Verhoeff, R. P., y Peeters, M. (2017). Inquiry-based science education: Scaffolding pupils' self-directed learning in open inquiry. *International Journal of Science Education*, 39(18), 2461-2481. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1388940>
- Van Uum, M. S., Peeters, M., y Verhoeff, R. P. (2019). Professionalising primary school teachers in guiding inquiry-based learning. *Research in Science Education*, 1-28. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-9818-z>
- Wei, B., y Li, X. (2017). Exploring science teachers' perceptions of experimentation: Implications for restructuring school practical work. *International Journal of Science Education*, 39(13), 1775-1794. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2017.1351650>
- Yin, R. K. (2001). *Estudo de caso: Planejamento e métodos*. Porto Alegre: Editora Bookman.