

La explicación científica en el aula. Consideraciones didácticas a partir de las explicaciones de los estudiantes

Scientific explanation in a science classroom. Some
didactic considerations from students' explanations

Guillermo Cutrera¹, Marta Massa² y Silvia Stipcich³

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Educación Científica. Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3350, CP 7600, Mar del Plata. Argentina.

²Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. Av. Pellegrini 250, CP 2000, Rosario. Argentina

³Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Pinto 399, CP 7000, Tandil. Argentina

*Email: guillecutrera@gmail.com

Recibido el 15 de junio de 2021 | Aceptado el 1 de septiembre de 2021

Resumen

El trabajo está orientado por dos cuestiones: cuáles son las características de las explicaciones que formulan los estudiantes de la educación secundaria y cómo definir criterios de análisis de las mismas y enseñarlos a los futuros docentes, como insumos para la intervención didáctica. La investigación adopta una perspectiva cualitativa y un enfoque de estudio de caso instrumental. El caso corresponde a la explicación elaborada por un grupo de estudiantes de educación secundaria en un aula de Físicoquímica. Se recurrió al análisis del discurso, desde una perspectiva lingüística, lógica y representacional y a la dimensión semántica de la Teoría de los Códigos de Legitimación a partir de las nociones de niveles de conceptualización y de descontextualización/contextualización del discurso. El análisis identificó un uso adecuado de la inferencia condicional y que, con la incorporación del modelo científico escolar, los estudiantes entrelazan las relaciones causales; pero también que falta la explicitación de las entidades implicadas en la modelización y que algunas conclusiones son enunciadas sin justificación desde el modelo científico escolar (constancia de la presión). Se discuten consecuencias para las prácticas de enseñanza.

Palabras clave: Explicaciones científicas escolares; Prácticas de enseñanza; Dimensión semántica; Niveles de conceptualización.

Abstract

The work is oriented by two questions: what are the characteristics of the explanations formulated by secondary education students and how to define criteria for analyzing them and teach them to future teachers, as inputs for didactic intervention. The research adopts a qualitative perspective and an instrumental case study approach. The case corresponds to the explanation elaborated by a group of high school students in a Physicochemistry classroom. Discourse analysis was used, from a linguistic, logical and representational perspective and the semantic dimension of the Theory of Legitimation Codes from the notions of levels of conceptualization and decontextualization / contextualization of discourse. The analysis identified an adequate use of conditional inference and that, with the incorporation of the school scientific model, students intertwine causal relationships; but also, that the explicitness of the entities involved in the modeling is lacking and that some conclusions are stated without justification from the school scientific model (constancy of pressure). Consequences for teaching practices are discussed.

Keywords: School scientific explanations; Teaching practices; Semantic dimension; Levels of conceptualization.

www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF

REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, Vol. 33, no. 2 (2021)

169

La evaluación del presente artículo estuvo a cargo de la organización de la XIV Conferencia Interamericana de Educación en Física

I. INTRODUCCIÓN

Promover la (re)construcción de explicaciones de los fenómenos físicos, en el contexto del aula, puede contribuir a la formación de ciudadanos científicamente alfabetizados, principal objetivo de la educación científica (Tang y Daniels-son, 2018). El conjunto de competencias específicas, a desarrollar por los estudiantes, incluye la necesidad de una comprensión científica de los fenómenos (Hamza y Wickman, 2009). Sobre esta base, las competencias definidas en el currículo de la educación secundaria en Argentina destacan la necesidad de que el estudiante no solo adquiera los conocimientos científicos adecuados para interpretar y comprender las leyes y modelos científicos, sino también desarrolle el pensamiento creativo y crítico de manera de llegar a ser capaz de confrontar las explicaciones científicas con las del sentido común (Tate, Ibourk, McElhaney y Feng, 2020).

El aprendizaje de la construcción de una explicación científica escolar depende de la forma en que los profesores aborden su enseñanza o del contexto de aprendizaje creado, pero es importante considerar que el aprendizaje de las habilidades para explicar requiere diferenciar entre los procesos de construcción lógica de una explicación científica y de enseñarla en el aula (Leite y Afonso, 2004). Es decir, la capacidad de construir una explicación científica no es suficiente para garantizar el éxito de enseñar a explicar. Cabe preguntarse, entonces, ¿cuáles son las características de las explicaciones que ya formulan los estudiantes de la educación secundaria?, ¿cómo definir criterios de análisis de tales explicaciones y enseñarlos a los futuros docentes como insumos para la intervención didáctica?

Las dificultades propias del discurso científico, por un lado, y la presencia, frecuentemente simultánea, de diferentes niveles o dominios de representación (Johnstone, 2009) en los textos orales y escritos en la educación científica escolar, fueron recuperadas durante los últimos años en el contexto de investigaciones en didácticas de las ciencias. Estas investigaciones se tradujeron en propuestas –dispositivos de apoyo– para construir explicaciones o investigar el efecto de dichos apoyos en las construcciones explicativas de los estudiantes (Bell y Linn, 2000; de Medeiros, da Silva y Locatelli, 2018; Kenyon y Reiser, 2006; Keys, Hand, Prain y Collins, 1999; McNeill y Krajcik, 2006; Sandoval y Reiser, 2004). En esta línea, este estudio se propone una lectura didáctica como modelo para analizar la explicación elaborada por estudiantes en un aula de Fisicoquímica de la educación secundaria de la provincia de Buenos Aires, Argentina, con el propósito de elaborar sugerencias para el trabajo didáctico con las explicaciones científicas escolares.

II. EXPLICACIONES CIENTÍFICAS ESCOLARES

La explicación científica, tanto erudita como escolar, han sido objeto de estudio desde el campo epistemológico y didáctico. En esta línea, Eder y Adúriz-Bravo (2008) señalan aspectos de los modelos epistemológicos de explicación científica y los tipos de explicación, entre los cuales se encuentra la causal, también presente en la tipología propuesta por Gilbert, Boulter y Rutherford (2000) y Leite y Figueiroa (2004). La misma se elabora a partir de una relación causa–efecto, indicando específicamente las entidades involucradas que provocan el fenómeno observado.

En términos generales, las explicaciones científicas construidas por los estudiantes pueden ser analizadas considerando su función, forma y nivel (Yeo y Gilbert, 2017). La función de la explicación se vincula con el tipo de pregunta a la cual se busca dar respuesta; requiere que el estudiante reconozca el propósito o el contexto en el cual se enmarca la cuestión de manera que sea significativa en la trama del discurso científico. En física y química las funciones más importantes son las interpretativas y las causales. La forma refiere a la estructura de la explicación, es decir, a la manera en que sus diferentes partes se entrelazan. Pueden presentarse organizaciones estructurales diferentes, entre ellas: la causal que consiste en una identificación del fenómeno seguido de una secuencia lógica temporal de eventos, con la incorporación de principios o leyes para dar sentido a la ocurrencia de los eventos. Por último, el nivel atiende a tres características de la explicación: la precisión, la abstracción y la complejidad. Los términos empleados, la existencia o no de ambigüedad en el lenguaje, los tipos de modelos involucrados y los modos de presentar las evidencias y las justificaciones son aspectos a considerar en esta dimensión.

A la luz de la noción de lenguaje social propuesta por Bajtin, Mortimer y Scott (2003) sostienen que, dado que la ciencia puede ser considerada una forma diferente de pensar y hablar sobre el mundo natural producido y validado por una comunidad científica, un requisito para su aprendizaje será introducir a los estudiantes en el lenguaje de la comunidad científica. Las disciplinas científicas poseen formas particulares de organizar el lenguaje y disponen de géneros que dependen de los propósitos comunicativos. La enseñanza de la organización del lenguaje y el género en la disciplina se convierte en una práctica de enseñanza fundamental en el aula, ya que permite a los estudiantes reconocer y familiarizarse con su lenguaje específico y, posteriormente, adquirir las habilidades para participar comunicativamente en la disciplina. En el caso de la explicación científica, el texto contiene verbos que designan procesos que, a su vez, se organizan en una secuencia lógica. El texto se caracteriza, además, por la presencia de conectores que permiten ordenar temporalmente los eventos (Tang, 2015).

Souza y Cardoso (2008) destacan que la dificultad de enseñar y aprender en fisicoquímica se asocia con la falta de comprensión y dominio de los universos macroscópico, simbólico y microscópico que, sostienen, es fundamental para los aprendizajes. Estos autores, además, llaman la atención sobre la importancia de prácticas de enseñanza que promuevan la exploración del lenguaje en los tres niveles. Wu y Shah (2004) enfatizan en las ventajas relacionadas al uso de múltiples formas de representación del conocimiento disciplinar porque la exploración de las posibilidades, asociadas a esas formas de representación del conocimiento a través del lenguaje, puede promover la comprensión de la fisicoquímica. Una explicación científica, presentada en un texto narrativo acerca de un fenómeno, debe incluir una secuencia de diferentes eventos que, relacionados con el fenómeno principal, se interconectan en una relación de causa–efecto; es decir, los efectos producidos por los eventos que suceden primero constituyen la(s) causa(s) de los sucesos que siguen, y así, sucesivamente, hasta alcanzar un efecto final: el fenómeno principal a explicar.

En este trabajo se recupera la propuesta de los niveles de conceptualización, diferenciando entre el nivel macroscópico de los fenómenos del mundo externo percibidos (sustancias, movimientos, atracciones, reacciones químicas, etc.) y el submicroscópico (moléculas, iones, interacciones eléctricas, etc.). El primero de estos niveles se explica en función del segundo mediante modelos submicroscópicos. El contenido de una explicación científica escolar puede ser leído considerando cómo se relacionan los significados con el contexto. Esta relación es expresada en la noción de gravedad semántica (GS) (Macnaught, Maton, Martin y Matruglio, 2013). La gravedad semántica se refiere al grado en que el significado se relaciona con su contexto. Cuanto más fuerte es la gravedad semántica (GS+), el significado depende más de su contexto y se expresa en la "descripción reproductiva"; cuanto más débil es (GS–), el significado depende menos de su contexto recurriendo a la "abstracción", con significados "descontextualizados [...] para crear principios abstractos para su uso en otros contextos potenciales" (Maton, 2009, p.48), es decir, con la referencia a entidades y relaciones semánticas propuestas por el modelo científico escolar. Entre una y otra, existe un continuo de significados con diferentes dependencias con el contexto.

III. METODOLOGÍA

La investigación se enmarca en una perspectiva cualitativa (Taylor y Bogdan, 1987) y en un enfoque de estudio de caso instrumental (Stake, 1995). El caso corresponde a la explicación elaborada por un grupo de estudiantes (con edades entre 14 y 15 años) en un aula de Fisicoquímica en una institución de educación secundaria de la Provincia de Buenos Aires. La construcción del texto explicativo, como contenido de enseñanza, se desarrolló en una secuencia didáctica de seis clases. Las clases fueron grabadas en audio y video. Los registros fueron segmentados en episodios atendiendo a su contenido y transcritos para un análisis del discurso oral. Las intervenciones de los estudiantes y de la docente se codificaron. También se recogieron las producciones escritas de los estudiantes. Se recurrió al análisis del discurso para el procesamiento de los registros. En este trabajo se analiza la explicación escrita elaborada por el grupo durante la primera clase.

Previo al desarrollo de esta secuencia didáctica, el grupo de estudiantes había trabajado en la elaboración de explicaciones escolares. Como parte de este trabajo elaboraron un "glosario" de términos pertenecientes a cada uno de los niveles de conceptualización. En su diario de clase la docente narra el inicio de la clase: *"Para comenzar la clase hicimos una revisión de lo que habían visto sobre modelo de partículas, armamos un glosario de conceptos macro, micro y sus relaciones"*.

En esta clase se inicia el trabajo con fenómenos que involucran transformaciones gaseosas. La docente muestra una situación experimental durante el segundo episodio de la clase: calienta un erlenmeyer sobre un mechero de alcohol, con un globo ajustado en la boca del recipiente. Durante el tercer episodio los estudiantes elaboran la explicación del fenómeno en pequeños grupos. En este trabajo recuperamos para el análisis una de estas explicaciones.

IV. UNA PERSPECTIVA DIDÁCTICA SOBRE EL CONTENIDO DE LA EXPLICACIÓN

La explicación elaborada por el grupo (figura 1 en anexo) se desarrolla en una oración única en su estructura gramatical, con omisión de signos de puntuación:

Si calentamos un Erlenmeyer con un globo en el pico aumenta la temperatura eso hace que aumente la v_m^1 de las partículas y su movimiento provocando que aumenten los choques contra las paredes del recipiente y del globo, aumentando los espacios vacíos y con ellos el volumen manteniendo constante la presión.

¹ v_m : velocidad media.

Para el análisis de su contenido, se la segmenta en proposiciones como se señala en la tabla I, a fin de estudiar la secuencia de relaciones involucradas entre sus referentes lingüísticos.

TABLA I. Análisis de la secuencia de proposiciones que conforman la explicación del grupo de estudiantes.

Proposición	Enunciado	Análisis de su contenido
1 Enunciado condicional (si... entonces...)	<i>Si calentamos un erlenmeyer con un globo en el pico</i>	Se inicia con una referencia al fenómeno en términos de una descripción reproductiva de las circunstancias iniciales en las que se produce el evento a explicar (Maton, 2011). Este primer enunciado está centrado en la percepción del evento y expresa una descripción basada en lo empírico o perceptual, contextualizando el contenido de la explicación (GS+). Incorpora una lectura del fenómeno centrado en términos pertenecientes al lenguaje cotidiano. Hay una clara omisión en el enunciado de la masa de aire contenida básicamente en el erlenmeyer.
	<i>...aumenta la temperatura</i>	En este consecuente, el enunciado alude a la variable de estado temperatura que los estudiantes consideran que modifica su condición inicial. Se incorpora un referente teórico de naturaleza empírica asociado al nivel macroscópico, con una mudanza del lenguaje cotidiano hacia el lenguaje científico escolar y que evidencia una diferenciación conceptual entre términos como calor y temperatura.
2 Enunciado causal	<i>eso hace que aumente la v_m de las partículas y su movimiento</i>	El pronombre indeterminado <i>eso</i> es utilizado con una función anafórica a fin de enlazar la nueva relación entre el cambio en la variable de estado antes mencionado y el modelo científico escolar que se introduce. El verbo utilizado <i>hace</i> connota la relación como causal. De esta forma, los estudiantes incorporan relaciones semánticas propias del modelo científico escolar que recuperan como conocimiento previo, en términos de la relación temperatura-velocidad media de las partículas, descontextualizando el contenido, con reducción de la gravedad semántica (GS-). La explicación transcurre en el contexto del nivel de conceptualización submicroscópico, recuperando relaciones entre términos propios del nivel –velocidad media, partículas, movimiento–. Se mantiene sin explicitar la masa de aire contenida a cuya modelización microscópica se hace referencia, si bien la alusión a las “partículas” en movimiento sugiere su consideración para elaborar esta secuencia de la explicación. En esta secuencia, la relación se establece entre un nivel macroscópico teórico hacia otro submicroscópico, mediante una interpretación de la temperatura en el marco del modelo científico escolar.
3	<i>Provocando que aumenten los choques contra las paredes del recipiente y del globo, aumentando los espacios vacíos</i>	Los estudiantes recurren al uso incorrecto de dos gerundios ² (<i>provocando, aumentando</i>) para establecer una relación de continuidad con la proposición anterior a fin de dar cuenta de otros efectos derivados del cambio en el movimiento de las partículas. El enunciado se mantiene en el nivel submicroscópico, pero se recuperan referencias a entidades del fenómeno (recipiente, globo) al contextualizar los choques de las partículas con las paredes del globo y del recipiente. Cabe destacar que cada parte de la proposición está vinculada con las otras variables de estado no mencionadas explícitamente por los estudiantes, presión (choques contra las paredes del recipiente y el globo) y volumen (aumentando los espacios vacíos).
4	<i>y con ellos el volumen manteniendo constante la presión</i>	La insinuada relación mencionada en el análisis de la proposición 3, se explicita en esta última. En la referencia <i>con ellos</i> los estudiantes establecen la relación entre el nivel submicroscópico (aumento de los espacios vacíos) y el macroscópico (volumen) mediante una interpretación basado en el modelo científico escolar. En cambio, el efecto afirmado de la constancia de la presión no queda sustentado en la interpretación realizada en base al modelo científico escolar.

La delimitación realizada en la proposición 1 se basa en la consideración de criterios lingüísticos que permiten distinguir si una descripción pertenece al nivel empírico o al nivel teórico. Siguiendo a Mortimer (2000), si los referentes presentes en una descripción corresponden a entidades observables, tal descripción pertenece al tipo empírico o perceptual. Su contenido, además, reproduce la información obtenida por los estudiantes de la observación del evento. Este tipo de descripción reproductiva (Maton, 2011) incorpora un lenguaje cotidiano: los significados refieren al contexto de ocurrencia del evento y son recuperados en enunciaciones que reproducen lo percibido. Este contexto es delimitado por la referencia a entidades del mundo cotidiano y corresponden a "referentes específicos" (Tourinho e Silva y Mortimer, 2008). El texto explicativo, elaborado por los estudiantes, entonces, se inicia enunciando una descripción reproductiva y empírica, sin explicitar el sistema material implicado en el proceso en estudio.

En la proposición 2, los estudiantes incorporan al texto relaciones semánticas propias del modelo corpuscular de

² Se usa correctamente un gerundio cuando expresa una acción simultánea o anterior al verbo.

la materia, ubicando su contenido en el nivel submicroscópico, invocando entidades teóricas (las partículas) y estableciendo relaciones causales entre eventos descritos en este nivel de conceptualización. Estos nexos delimitan un rasgo característico del texto explicativo en tanto asigna un mecanismo causal al sistema de relaciones entre entidades creadas intralingüísticamente (Mortimer, 2000). En términos del cambio en el tipo de lenguaje utilizado, el contenido del texto elaborado por el grupo de estudiantes, incorpora el nivel de conceptualización correspondiente al modelo científico escolar y desplaza el tipo de lenguaje del texto hacia el lenguaje científico escolar.

En las proposiciones 3 y 4 el contenido de la explicación transita del nivel de conceptualización submicroscópico al macroscópico, ubicando la referencia en propiedades termodinámicas observables del sistema. La conceptualización se ubica en el nivel macroscópico recuperando parcialmente el evento en términos de referentes fenoménicos utilizados en el inicio de la explicación (se realiza una alusión al “recipiente” y el “globo” al focalizar la explicación sobre sus paredes). En este sentido, el contenido de la explicación no recupera la contextualización inicial del fenómeno en la proposición 3 y, con ello, el evento se reduce en la intensidad de la GS (GS+) al desplazarse el lenguaje hacia el científico escolar con la mención de aquellos referentes macroscópicos observables (volumen, presión) que resultan relevantes para sustentar la explicación.

El contenido del texto explicativo, en estos términos, puede ser analizado considerando transiciones entre diferentes intensidades asociadas a la GS, tipos de referentes y lenguajes sociales asociados. Los cambios (saltos) entre los diferentes tipos de lenguajes priorizados en cada uno de los segmentos del texto explicativo elaborado, ofrecen información respecto de los procesos de contextualización o descontextualización en su contenido. Estos procesos se diferencian por transiciones entre lo abstracto y lo concreto. La referencia a las condiciones iniciales del fenómeno o a su estado final, recurriendo a términos que denotan entidades observables, ubica, en términos relativos, al contenido del enunciado en un nivel concreto. Las referencias realizadas en términos del modelo científico escolar desplazan el contenido del enunciado a un mayor nivel de abstracción. La transición del contenido del texto priorizando referentes concretos a referentes abstractos, caracterizará un proceso de descontextualización en el contenido; una transición inversa, será típica de un proceso de contextualización. Así, el texto elaborado por los estudiantes evidencia procesos de contextualización y descontextualización. Iniciando con una descripción empírica de la situación inicial del fenómeno, que se desplaza hacia las relaciones conceptuales propias del modelo científico escolar en un proceso que supone un cambio en el tipo de referente. En efecto, fijando inicialmente la atención en entidades observables, los estudiantes modifican el contenido del texto desplazando la atención a entidades no observables. Este aumento en la abstracción, con la consecuente descontextualización, finalmente continúa con la contextualización del contenido del texto explicativo al recuperar la atención a referentes observables, en este caso, asociados a las condiciones finales del proceso.

Los referentes observables son objeto del lenguaje cotidiano; los abstractos, son incorporados en el contexto de las relaciones semánticas propias del modelo científico escolar y, por tanto, son propios del lenguaje científico escolar, en acuerdo con la distinción introducida por Taber (2013). El modelo científico escolar introduce, para los estudiantes, términos propios del nivel de conceptualización submicroscópico, pero, además, vincula a estos últimos con aquellos propios del nivel de conceptualización macroscópico.

El dispositivo de traducción (Maton y Doran, 2017) desarrollado para representar el concepto de gravedad semántica, en el análisis de la explicación elaborada por los estudiantes, describe dos niveles que representan intensidades relativas de la gravedad semántica. El nivel más concreto (GS+) comprende conceptos que aparecieron al comenzar el texto explicativo, vinculados con la situación inicial del fenómeno a explicar e inscriptos a significados que usamos en el lenguaje cotidiano. El tipo de referente priorizado es, en esta modalidad, concreto. En el nivel más abstracto (GS-), el significado depende menos fuertemente de su contexto de adquisición o uso y, es de mayor abstracción en los significados, se relaciona con un nuevo tipo de referente –modelo corpuscular–. En este referente, los significados se relacionan con conceptos propios de ambos niveles de conceptualización. La naturaleza de las relaciones semánticas entre conceptos propios del modelo utilizado es otra interesante dimensión del análisis para el contenido de la explicación que no es objeto de estudio en el presente trabajo³.

V. CONCLUSIONES

El caso analizado en este trabajo permitió identificar las características de la explicación elaborada por el grupo de estudiantes (tabla I): una estructura lógica del tipo *dato – justificación – conclusión*, en la cual la ausencia de signos de puntuación constituye una debilidad lingüística en un texto escrito para su lectura comprensiva; la organización del dato mediante una descripción reproductiva y empírica pero incompleta por omisión de algún componente central del sistema en estudio (el aire); un adecuado uso de un enunciado condicional para transitar del dato a la justificación

³ Para este último análisis es posible recurrir a la noción de “densidad semántica” (Maton, 2011).

(y del lenguaje cotidiano al científico escolar) con la introducción de una variable de estado y su tendencia de cambio; la incorporación del modelo científico escolar en el contexto de la justificación (pero aún sin explicitar que es el aire la entidad modelada) y, finalmente, la articulación del modelo para la derivación de dos conclusiones acerca del comportamiento de las otras dos variables de estado, mediante relaciones entre niveles de conceptualización submicroscópico y macroscópico. Sin embargo, en este último tramo, los estudiantes no advierten que la interpretación establecida con la modelización explica solo una de las conclusiones enunciadas.

En síntesis, la explicación analizada, seleccionada a modo de ejemplo, permitió reconocer el adecuado uso de una inferencia condicional y la manera en que se entrelazan las relaciones causales con la incorporación del modelo científico escolar. Asimismo, se pudieron registrar las entidades del sistema de estudio no explicitadas (el aire contenido en el dispositivo experimental en el caso analizado) y posibles conclusiones no justificadas (constancia de la presión en la proposición 4 de tabla I). Ello puede derivar en la elaboración de algunas predicciones, por ejemplo, si el docente les propone explicar lo que sucedería si en lugar del globo colocado en la boca del recipiente se hubiese puesto una tapa rígida.

El procedimiento que hemos utilizado ofrece una perspectiva para orientar el análisis didáctico de explicaciones científicas de fenómenos cotidianos en el aula de ciencia en la educación secundaria. En este sentido, recurrimos a la identificación de la estructura de la explicación (forma) y de aquellos conectores que la organizan en secuencias lógicas. También utilizamos las nociones de niveles de conceptualización y de gravedad semántica para proporcionar una interpretación al texto explicativo elaborado por un grupo de estudiantes⁴. De esta manera pretendemos, además, ofrecer categorías para el análisis didáctico de la enseñanza de este género discursivo en el aula de ciencia, a ser utilizadas durante la formación docente –inicial y continua–, recuperando la importancia de las mediaciones didácticas adecuadas. El sistema categorial elaborado sobre la base del análisis de las propias explicaciones elaboradas por estudiantes constituye un aporte para orientar tales mediaciones. Tal sistema incluye una categoría lingüística (con dos niveles o modalidades: empírico y teórico), una categoría de conceptualización (con niveles que transitan entre el macroscópico y el submicroscópico; empleo de términos disciplinares específicos), una categoría semántica (integrada por las subcategorías gravedad semántica y densidad semántica⁵), una categoría lógica (que contempla las proposiciones enunciadas, el uso de conectores, formas de razonamiento) y una categoría de representación (que analiza los modelos incorporados). El estudio se ha complementado con una mirada de la estructura gramatical de la producción de los estudiantes. Estos aspectos permiten orientar y profundizar la mirada docente y, desde allí mediar en los aprendizajes de construcción de explicaciones. Además, y en línea con la relevancia de una enseñanza explícita de este género en el aula de ciencia, resaltamos, también la importancia didáctica de orientar la atención de los estudiantes de educación secundaria sobre la estructura lógica de las secuencias en la explicación, reconociendo las fortalezas y las debilidades presentes.

Compartimos la idea que la explicación científica de fenómenos en el aula de ciencia es un género discursivo que debe ser aprendido por los estudiantes y, por lo tanto, debe ser enseñado como contenido explícito. Por lo tanto, el trabajo didáctico con las explicaciones ha de ser objeto de discusión en la formación docente inicial, a fin de hacer explícitas estas prácticas de enseñanza, desde una perspectiva reflexiva. Este trabajo proporciona un sistema de categorías que puede ser utilizado para objetivar el contenido de estas prácticas y mediar en las instancias reflexivas.

De esta manera, los resultados de esta investigación recuperan la relevancia de dimensiones didácticas para el trabajo con explicaciones científicas en el aula de ciencia (McNeill y Krajcik, 2006). En efecto, las categorías presentadas en este trabajo y la forma de articular su uso en la lectura de una explicación producida por los estudiantes constituyen un aporte más en la línea de trabajo acerca del discurso científico escolar y su enseñanza, por cuanto permitirían el trabajo didáctico en una doble dimensión: por un lado, con las relaciones semánticas propias del modelo científico escolar utilizado; por otro, con la estructura de la explicación. Con relación a la primera de estas dimensiones, el dispositivo permitiría explicitar las relaciones semánticas y, por tanto, el trabajo con el modelo científico escolar. Si bien en el caso analizado, estas relaciones se inscriben en el nivel submicroscópico, las mismas pueden, también, inscribirse en un nivel macroscópico considerando que el contenido de las explicaciones y, por consiguiente, la lectura del fenómeno, puede presentarse en ambos niveles (Talanquer, 2011). Por otra parte, las variaciones en la intensidad relativa de la GS permiten una lectura de la estructura de la explicación a partir de secuencias de eventos inscriptos en diferentes niveles de conceptualización: las instancias de contextualización-descontextualización-contextualización, relacionadas con la transición entre lenguajes cotidiano y perteneciente al nivel submicroscópico, introducen una regularidad que orienta la construcción de la estructura de la explicación. Finalmente, las instancias de descontextualización en el contenido de la explicación pueden involucrar sucesivas instancias de transiciones entre los niveles de conceptualización, según la complejidad del modelo utilizado.

⁴ Por cuestiones de extensión, en este trabajo se ha presentado solo el análisis de una de las explicaciones producidas por los estudiantes.

⁵ Esta subcategoría no fue incluida en este estudio).

REFERENCIAS

Bell, P. y Linn, M. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797-817.

de Medeiros, E. F., da Silva, M. G. L. y Locatelli, S. W. (2018). A argumentação e o potencial metacognitivo de uma atividade experimental baseada na POA (Previsão-Observação-Argumentação). *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 14(29), 27-42.

Eder, M. L. y Adúriz-Bravo, A. (2008). La explicación en las ciencias naturales y en su enseñanza: aproximaciones epistemológica y didáctica. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 4(2), 101-133

Gilbert, J., Boulter, C. y Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. In *Developing models in science education* (pp. 193-208): Springer.

Hamza, K. M. y Wickman, P. O. (2009). Beyond explanations: What else do students need to understand science? *Science Education*, 93(6), 1026-1049.

Johnstone, A. H. (2009). Foreword, in J. K. Gilbert and D. F. Treagust (ed.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. v-vi), Dordecht: Springer.

Kenyon, L. y Reiser, B. J. (2006). A functional approach to nature of science: Using epistemological understandings to construct and evaluate explanations. Paper presented at the *Annual Meeting of the American Educational Research Association (AERA)*, San Francisco, CA.

Keys, C. W., Hand, B., Prain, V. y Collins, S. (1999). Using the science writing heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(10), 1065-1084.

Leite, L. y Afonso, A. (2004). Forms of reasoning used by prospective physical sciences teachers when explaining and predicting natural phenomena: the case of air pressure. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4(2), 169-191.

Leite, L. y Figueiroa, A. (2004). Las actividades de laboratorio y la explicación científica en los manuales escolares de ciencias. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 10(39), 20-30.

Macnaught, L., Maton, K., Martin, J. y Matruglio, E. (2013). Jointly constructing semantic waves: Implications for teacher training. *Linguistics and Education*, 24(1), 50-63.

Maton, K. (2009). Cumulative and segmented learning: Exploring the role of curriculum structures in knowledge-building. *British Journal of Sociology of Education*, 30(1), 43-57.

Maton, K. (2011). Theories and things: The semantics of disciplinarity. In C. Frances & K. Maton (Eds.), *Disciplinarity: Functional linguistic and sociological perspectives* (pp. 62-84). London: Continuum International Publishing Group.

Maton, K. y Doran, Y. J. (2017). Semantic density: A translation device for revealing complexity of knowledge practices in discourse, part 1—wording. *Onomázein*, 46-76.

McNeill, K. L. y Krajcik, J. (2006). *Supporting students' construction of scientific explanation through generic versus context-specific written scaffolds*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.

Mortimer, E. (2000). *Microgenetic analysis and the dynamic of explanations in science classroom*. Paper presented at the Proceedings of the III Conference for Sociocultural Research.

Mortimer, E. F. y Scott, P. (2003). *Meaning Making In Secondary Science Classrooms*. Maidenhead, Philadelphia: Open University Press.

Sandoval, W. y Reiser, B. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88(3), 345-372.

Souza, K. A. F. D. y Cardoso, A. A. (2008). Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula. *Química nova na escola*, 27(1), 51-56.

Stake, R. (1995). *The art of case study research*. Sage.

Taber, K. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156-168.

Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.

Tang, K. S. (2015). The PRO instructional strategy in the construction of scientific explanations. *Teaching Science*, 61(4), 14.

Tang, K.-S. y Danielsson, K. (2018). *Global developments in literacy research for science education*. Springer.

Tate, E. D., Ibourk, A., McElhaney, K. W. y Feng, M. (2020). Middle School Students' Mechanistic Explanation About Trait Expression in Rice Plants During a Technology-Enhanced Science Inquiry Investigation. *Journal of Science Education and Technology*, 1-14.

Taylor, S. y Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación* (Vol. 1): Paidós Barcelona.

Tourinho e Silva, A. d. C. y Mortimer, E. F. (2008). Aspectos Epistêmicos das Estratégias Enunciativas em uma Sala de Aula de Química. *Química nova na escola*, 31(2).

Wood, D., Bruner, J. S. y Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89-100.

Wu, H. K. y Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492.

Yeo, J. y Gilbert, J. (2017). The Role of Representations in Students' Explanations of Four Phenomena in Physics: Dynamics, Thermal Physics, Electromagnetic Induction and Superposition. In *Multiple Representations in Physics Education* (pp. 255-287). Springer.

ANEXO

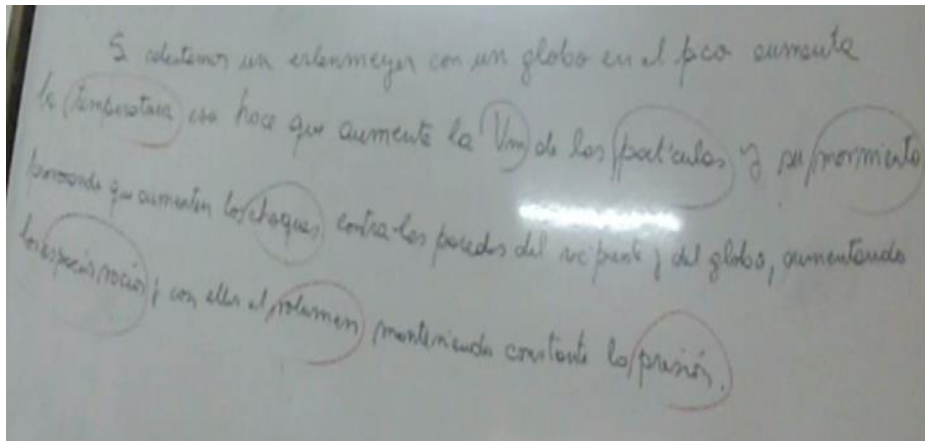


Figura 1. Contenido de la explicación elaborada por los estudiantes.