

Prácticas de explicación científica en docentes: oportunidades para la equidad*

VALERIA M. CABELLO**
DAVID GEELAN***

RESUMEN:

Las explicaciones de las y los docentes sobre conceptos científicos son esenciales para la enseñanza de las ciencias. Si bien existe la posibilidad de que ellas perpetúen la desventaja social, la explicación en la enseñanza de las ciencias puede ser una práctica emancipadora al considerar las necesidades, aspiraciones, experiencias de vida y los conocimientos previos de los diversos grupos estudiantiles. Considerando que la explicación en ciencias es por lo general implementada como un discurso jerárquico, el propósito de este trabajo es, por el contrario, llevar a la educación científica en América Latina hacia prácticas de enseñanza que puedan promover un enfoque dialógico, que distribuya el poder del conocimiento en el aula. En este capítulo, se analizan investigaciones sobre formación docente realizadas en aulas de ciencias, enfocadas en cómo las explicaciones en la enseñanza pueden ofrecer oportunidades para mejorar la equidad educativa y el acceso a los lenguajes de las ciencias.

Palabras clave: equidad educacional; explicación instruccional; educación en ciencias; enseñanza emancipadora; investigación en el aula; alfabetización científica; discurso en clase.

* Agradecemos a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo: ANID/Fondecyt 1221716 y ANID-Programa Iniciativa Científica Milenio-Código NCS2021_014.

** Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile. vmcabello@uc.cl

*** Universidad de Notre Dame, Australia. david.geelan@nd.edu.au

Introducción

Enseñar ciencias implica proporcionar una serie de experiencias y actividades de aprendizaje al estudiantado, donde una de las principales acciones es explicar conceptos científicos. Es una estrategia pedagógica y *una herramienta* cognitiva que satisface la curiosidad de los niños y las niñas por las explicaciones y sus deseos de entender el mundo a través de razones plausibles (Liquin y Lombrozo, 2020). Así pues, las explicaciones docentes desempeñan un papel crucial en la promoción del aprendizaje de las ciencias y el desarrollo de las formas de pensar de las y los aprendices.

El profesorado también obtiene explicaciones del alumnado en las aulas, lo que le permite intercambiar ideas científicas y una mutua comprensión. Sin embargo, las destrezas para desarrollar y defender esas “explicaciones de la enseñanza de las ciencias” suelen aprenderse a partir del modelamiento de las y los docentes.

Es posible que las explicaciones en ciencias se impartan de tal manera que perpetúen las desigualdades sociales (por ejemplo, Bolger y Ecklund, 2022; Tenenbaum y Leaper, 2003): si estas requieren un capital intelectual y social particular de las y los aprendices para comprenderlas, distribuido de forma desigual entre el estudiantado de un aula, la comprensión podría facilitarse para quienes están aventajados.

Sin embargo, las explicaciones de las y los docentes en ciencias, como un dispositivo de enseñanza (producto), y la explicación que se genera en el salón de clase (proceso), pueden llegar a ser emancipadoras siempre y cuando se practiquen como una enseñanza intencional; si se toman en cuenta los diversos conocimientos, intereses, antecedentes, lenguaje, capacidades y capital social e intelectual del alumnado.

En este capítulo, se exploran las explicaciones de las y los profesores de ciencias como una práctica docente intencional, a la vez que se debaten los resultados de investigaciones llevadas a cabo en el aula en Australia, Chile y Canadá. Así pues, se examinan las formas en que estas explicaciones pueden servir de manera eficaz como una práctica emancipadora, para aumentar la equidad y desafiar aquellos patrones arraigados de ventajas y desventajas al aprender ciencias.

Explicación en la ciencia y la enseñanza de las ciencias

La explicación en la práctica de las ciencias ha sido debatida por largo tiempo en la filosofía de la ciencia, ya sea por Platón o Aristóteles, seguidos de Hempel (1965) y Oppenheim (1948), Van Fraassen (1977), Salmon (1978, 1998, 2006) y otros. Por ejemplo, Ruben (2012) ofrece una excelente panorámica acerca de este tema.

En las ciencias, la explicación suele concebirse como una explicación desde la causalidad (Salmon, 2006). Puede decirse que las teorías científicas tienen una combinación de poder descriptivo, predictivo y explicativo; es decir, deben ser capaces de describir con precisión los fenómenos que observamos en la naturaleza y permitirnos predecir los resultados de determinadas intervenciones o sucesos. Al mismo tiempo, ofrecen una explicación causal de esos resultados. Por ejemplo, las leyes del movimiento planetario de Kepler tienen poder descriptivo y predictivo: describen las posiciones pasadas y presentes de los planetas entre sí y con respecto al Sol, y predicen su movimiento futuro y acontecimientos como los eclipses solares y lunares y las conjunciones de los planetas. Kepler las desarrolló a partir de observaciones empíricas y un cuidadoso análisis matemático. Sin embargo, no ofrecen poder explicativo, ya que no explican las causas de los movimientos que describen. Para hacerlo, hay que acudir a las teorías de Newton sobre la gravitación universal o a la relatividad general de Einstein.

Hempel y Oppenheim (1948) propusieron un modelo “deductivo-nomológico” de explicación en la ciencia, basado en leyes científicas y condiciones iniciales para explicar fenómenos y acontecimientos. Salmon (1978, 1984) criticó su modelo por diversos motivos y presentó una argumentación causal/mecánica de las explicaciones científicas.

Para los fines de este capítulo, nos centramos en los diferentes fenómenos a los que Treagust y Harrison (1999, 2000) llamaron “explicaciones de la enseñanza de las ciencias”, y Braaten y Windschitl (2011) describieron como “explicaciones de una explicación”. En tanto las explicaciones en la ciencia se ocupan de la causalidad, las de la enseñanza de las ciencias se construyen para que las y los estudiantes lleven a cabo nuevas comprensiones de los conceptos científicos. Los profesores de ciencias pretenden que su alumnado desarrolle un “modelo mental dinámico y fluido” de conceptos y fenómenos (Harrison y Treagust, 1996). Treagust y Harrison (2000) resumieron

las diferencias entre las explicaciones en ciencias y en la enseñanza de las ciencias, de la siguiente manera:

Existen importantes diferencias filosóficas y epistemológicas entre las [explicaciones] científicas y las explicaciones de la enseñanza de las ciencias. Las explicaciones científicas se caracterizan estrictamente por estar basadas en teorías y pruebas, utilizar los términos científicos correctos e incluir modelos analógicos. Las explicaciones en la enseñanza de las ciencias difieren en rigor, extensión y detalle, implican diversos grados de “explicar cómo” y “explicar por qué”, a veces son abiertas, incluyen la intervención humana y pueden plantear nuevas preguntas al tiempo que responden a preguntas anteriores (p. 1138).

Explicación y explicar: una perspectiva constructivista

La explicación puede considerarse una actividad “transmisiva”, por la que un profesor o una profesora elabora una explicación en su mente y la transmite a sus alumnos o alumnas, utilizándola como vehículo, quienes la memorizan y luego repiten el contenido en un examen, o lo aplican en su vida como una forma de entender el mundo que les rodea. Con base en el trabajo de nuestros colegas alemanes Kulgemeyer y Schecker (2009, 2012), sostenemos que explicar en la enseñanza de las ciencias puede considerarse una práctica constructivista (Geelan, 1997) que se aprende en la formación inicial del profesorado de ciencias.

El constructivismo es una teoría epistemológica, una teoría sobre el conocimiento y sobre cómo llegamos a conocer (Piaget, 1972; Solomon, 1987; Vygotsky, 1978). Aunque algunas estrategias de aprendizaje y actividades del alumnado se han asociado en el pasado con una perspectiva constructivista del conocimiento, esta no prescribe de manera directa métodos de enseñanza; más bien, la metáfora es construir un nuevo edificio a partir de los materiales disponibles, que pueda ampliarse para incluir la idea del “suelo”, sobre el que se lleva a cabo la nueva construcción (la comprensión previa del tema por parte del estudiantado) y la estructura de la disciplina. La construcción es un proceso activo, pero el punto crítico es que la mente está activa en los procesos de aprendizaje; **puede ir o no acompañada de actividad física en un momento dado.**

Las y los alumnos construyen nuevas comprensiones sobre el mundo a partir de sus experiencias, que incluyen, pero no se limitan, al juego

cotidiano, a las interacciones con compañeros y adultos y al uso de los medios de comunicación, así como a otras experiencias en el aula. La explicación del o la docente no es una estrategia en la que se deba confiar solo para aprender conceptos científicos (los experimentos y las actividades prácticas también son importantes), pero puede proporcionar una fuente de “material” con el que las y los alumnos construyan y pongan a prueba nuevas comprensiones a medida que elaboran modelos mentales más sofisticados de los fenómenos.

Kulgemeyer y Schecker (2012) analizan la distinción entre el sustantivo “explicación” y el verbo “explicar”, en el contexto de un enfoque constructivista. Es esencial distinguir entre uno y otro, porque uno puede abrir más posibilidades de equidad en el aula que el otro, lo que es el tema central de este capítulo.

Una “explicación” es un artefacto estático, un producto del pensamiento que converge con la estructura de la disciplina, que puede ser entregado de modo verbal en un aula, escrito en un libro de texto, presentado en video, ilustrado en una animación, o comunicado de muchas otras maneras. Una explicación se diseña y desarrolla para un público concreto, pero, en cierto sentido, debe tratarse de una audiencia imaginada porque, por lo general, la persona que explica no tiene conocimiento directo de esta. Los términos, conceptos y enfoques utilizados para explicar por qué el cielo es azul variarán en función de la edad del público. En las comunicaciones unidireccionales, como los vídeos de YouTube, el o la explicadora no suele tener la oportunidad de recibir comentarios de la audiencia y modificar la explicación para que se ajuste mejor a las necesidades e intereses de quienes se pretende que lleguen a entender el concepto.

Por otra parte, *explicar* es un proceso dinámico en el que la o el profesor ofrece a la clase una explicación “en vivo”. Si conocen bien las etapas de desarrollo y los conocimientos previos del estudiantado, tanto a nivel individual como de aula, las y los docentes pueden adaptar sus explicaciones iniciales en consecuencia. Sin embargo, el entorno del aula les permite obtener retroalimentación instantánea de las y los alumnos a través de preguntas, comentarios, expresiones faciales y lenguaje corporal. A partir de esta información, el profesorado puede decidir elaborar o modificar su explicación y probar una analogía o un enfoque diferente. Durante este proceso, ellas y ellos responden de forma activa a las necesidades del alumnado, ya sea subiendo o bajando el nivel de complejidad de su explicación.

Además, si suponemos que las y los profesores indagan sobre las ideas, experiencias o conexiones iniciales de sus alumnos o alumnas con el tema, pueden remodelar sus explicaciones para el aula a fin de contrastar, vincular, aclarar o negociar el significado. Con este enfoque, se puede potenciar más la construcción de las y los alumnos acerca de conceptos ricos y bien elaborados que coincidan con los conceptos científicos canónicos actuales, y de esta forma puedan incluir sus propias experiencias. Mientras que es menos probable que el alumnado desarrolle concepciones alternativas y malos entendidos, las y los profesores pueden desarrollar y profundizar su pericia para mejorar la comprensión de sus alumnos por medio de un proceso activo y recurrente de entrega, sofisticación o modificación de dichas explicaciones a lo largo del tiempo.

La condición *sine qua non* de una explicación eficaz es el conocimiento por parte del o la profesora sobre las diversas necesidades del alumnado. Esto incluye no solo el conocimiento del estado actual de la comprensión de las y los alumnos del concepto objeto de aprendizaje, sino también su estructura y flexibilidad de pensamiento, el desarrollo del razonamiento científico y las formas de construir nuevos aprendizajes. De ahí que este capítulo se enfoque en esta gama de conocimientos a partir de la cual la práctica de las explicaciones científicas del profesorado puede ofrecer una oportunidad para mejorar la equidad en el aula.

Explicación, comprensión y equidad

Cuando se preguntó a las y los estudiantes de física de secundaria por las cualidades de sus profesoras y profesores favoritos (Geelan, 2020), identificaron dos características (parafraseadas): “Conoce su materia y me conoce a mí”. Es decir, tenían un sólido conocimiento de los contenidos y los conceptos que se enseñaban, lo que aumentaba la confianza del alumnado, por lo que se tomaban el tiempo y ampliaban el interés para llegar a conocer realmente a estos, como aprendices y personas con sus propios antecedentes, necesidades, intereses y habilidades. En un ejercicio similar con estudiantes chilenos (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2010), el 73.2% dijo que “sabe explicar y está dispuesto a hacerlo repetidamente”, como una de las tres características más importantes de un buen o una buena profesora, seguida de “escucha y considera las opiniones de los estudiantes” y “tiene un alto conocimiento del contenido”. Así

pues, el alumnado de estos dos estudios de distintos países percibió que ambos elementos eran esenciales.

A la hora de explicar conceptos o fenómenos científicos como práctica dentro del aula, las y los docentes deben recurrir a cada uno de estos elementos. Tanto sus explicaciones iniciales, como sus revisiones y respuestas a la retroalimentación, se informan por lo siguiente:

- a) Su propia comprensión, rica y bien elaborada, del propio concepto científico; su lugar en la estructura de la disciplina y sus vínculos con otros conceptos científicos; el conocimiento de las ideas erróneas más comunes de sus estudiantes y la forma de cuestionarlas; y una serie de conocimientos pedagógicos y de contenido adicionales (Shulman, 1986).
- b) Su comprensión rica y bien elaborada de *estos* alumnos, de *esta* clase y de *este* año en esta escuela.

Creemos que el potencial de la práctica emancipadora surge de este segundo elemento. Cuando las y los profesores saben quiénes son sus alumnos y alumnas, de dónde vienen, cómo son sus vidas y circunstancias familiares, cuáles son sus capacidades con la lectura, la escritura y el cálculo, sus habilidades y dificultades, sus expectativas, aficiones, deportes e intereses, entre otras características, el proceso de elaborar y ofrecer explicaciones sobre conceptos científicos puede convertirse en una práctica para la equidad en las aulas. Vincular las explicaciones de las y los docentes a las experiencias del alumnado, recibir e interpretar sus comentarios, y comprobar su comprensión y revisar sus explicaciones para construir de forma colectiva el significado, puede ser mucho más eficaz para facilitar el aprendizaje de todas y todos. Asimismo, explicar puede ser una estrategia de integración del conocimiento y, desde esta perspectiva, las explicaciones se consideran artefactos de aprendizaje que abarcan elementos sobre cómo se construyen y reconstruyen las ciencias y la ciencia escolar en las aulas (Bell y Linn 2000). No obstante, desde la formación del profesorado, sostenemos que a las y los docentes se les suele enseñar a proporcionar la “explicación correcta”, en lugar de equiparles para la construcción de explicaciones en el aula, partiendo de la premisa de que el alumnado puede cuestionar de forma abierta sus explicaciones (Charalambous et al., 2011).

Las explicaciones científicas de las y los profesores principiantes en aulas chilenas

En Chile, los logros del alumnado en ciencias se miden por medio de pruebas nacionales e internacionales. Las nacionales se sustentan en el currículo, y el de ciencias es extenso en contenidos. Las pruebas internacionales muestran que uno de los desempeños más débiles del estudiantado chileno es la explicación de fenómenos naturales, basada en teorías, conceptos o ideas científicas. Se han mostrado diferencias de género en los logros nacionales que favorecen el desempeño en ciencias de los niños sobre las niñas (Navarro y Förster, 2012). La brecha de género es un punto crucial para considerar **por qué** no es una tendencia global en los países desarrollados. En **este contexto**, los resultados de las pruebas internacionales y nacionales de ciencias también son en alto grado dependientes del nivel de ingresos de las familias del estudiantado (González et al., 2009; Navarro y Förster, 2012; Valencia y Taut, 2011). Es preocupante debido a que, si bien el país parece estar mejor que otros en Latinoamérica en términos generales, es uno de los que menos equidad tiene en términos de aprendizaje y nivel de ingreso (OCDE, 2018).

En el contexto chileno, se ha demostrado que la calidad del profesorado afecta al aprendizaje del alumnado. En pruebas nacionales, hay una asociación directa entre los niveles de desempeño de las y los docentes y los resultados de aprendizaje de las y los estudiantes (Alvarado et al., 2012). Hoy, algunos esfuerzos en investigación y práctica en el campo de la formación docente avanzan para promover mejores explicaciones en el aula.

La investigación acerca de las explicaciones de profesores y profesoras principiantes y en servicio de ciencias en Santiago de Chile ha identificado elementos estructurales y representacionales que pueden ser aprendidos —algunos con mayor facilidad que otros— durante los programas de formación inicial docente. Estos se centran en los recursos pedagógicos, en general, y el uso del lenguaje en la estructuración de la explicación, en particular (Cabello y Topping, 2018; Cabello et al., 2019; Marzabal et al., 2019).

Investigaciones con estudiantes de pedagogía y docentes principiantes muestran que dar a las y los alumnos definiciones con ejemplos o imágenes es la estrategia más utilizada en las aulas chilenas para comunicar o ilustrar conceptos. Las concepciones alternativas o los malos entendidos del estudiantado no se emplean con frecuencia para enriquecer el proceso de

aprendizaje con explicaciones. De hecho, si aparecían conceptos erróneos, las y los profesores corregían de inmediato a las y los alumnos, al proporcionarles información “correcta”, o simplemente **ignorar** las concepciones alternativas, sin indagar sobre sus causas o ideas subyacentes. Incluso cuando los temas disponían de simulaciones o posibilidades de modelización, las y los alumnos-profesores rara vez utilizaban analogías o metáforas. No hacían referencia a la historia o a la naturaleza de las ciencias para presentar cómo se desarrollan de manera típica los conceptos o las teorías en un contexto sociocultural determinado (Cabello et al., 2019).

Sin embargo, varios aspectos de las explicaciones de las y los profesores pueden modificarse de manera intencionada para llegar a públicos diversos y satisfacer las necesidades de las y los alumnos:

- *Explicar con gestos corporales, como conexión entre conceptos científicos y conceptos de la vida cotidiana.* El lenguaje no verbal expresado mediante gestos y movimientos corporales ayuda al alumnado con diversas formas de procesar la información, o con dificultades sensoriales, a diferenciar los detalles esenciales de los periféricos y a conectar los conceptos científicos con su uso en la vida cotidiana frente a los ámbitos científicos.
- *Explicar utilizando palabras cotidianas para favorecer explicaciones adecuadas al nivel.* Si se considera el nivel del curso de las y los alumnos, sería necesario simplificar o avanzar el lenguaje de la explicación. Por ejemplo, si el lenguaje específico de la asignatura se introduce muy pronto, podría no conectarse con lo que las y los alumnos ya saben, por lo que será necesario utilizar palabras cotidianas para mejorar la comprensión. Por el contrario, si la explicación utiliza en exceso un lenguaje sencillo, el estudiantado con conocimientos previos más sólidos, o académicamente más avanzados que los demás, podría sentir que la explicación no es lo suficientemente desafiante, y dejaría insatisfecha su necesidad cognitiva de comprender por qué se produce el fenómeno a un nivel más sofisticado.
- *Incluir la voz de los científicos y las científicas en la construcción de explicaciones.* ¿Por qué se esforzó el o la científica en postular una idea, sondear una hipótesis o descubrir un patrón? ¿En qué contexto sociohistórico fueron necesarias y se construyeron las teorías que subyacen a las explicaciones? Abordar estas cuestiones, e incluir de forma explícita las voces femeninas (ideas de las científicas y estudiantes) en la construcción de explicaciones, ayuda a dar el sentido epistémico **que**:

- Los conceptos científicos no son definitivos, sino nuestra mejor comprensión actual.
- El conocimiento científico puede ser cuestionado.
- La ciencia está sometida a un escrutinio constante y a una revisión.
- *Explicar utilizando diversas representaciones y formas de construir el conocimiento.* Si bien hemos argumentado que la redundancia en las explicaciones podría sobrecargar el sistema cognitivo de las y los alumnos, creemos que añadir representaciones diversas, complementarias y redundantes en el proceso de construcción de explicaciones podría en realidad enriquecer el aprendizaje y promover la equidad en las aulas, en especial en aquellas con alumnado con necesidades de aprendizaje adicionales. Metáforas, analogías, simulaciones, demostraciones, experimentos y representaciones, concretas o físicas, son ejemplos de formas de diversificar el acceso de las y los alumnos a la construcción del conocimiento.

Estas alternativas no son exhaustivas, sino que, más bien, cada profesor o profesora puede desarrollar diferentes formas de transformar las ideas de sus estudiantes en las clases, manteniendo la equidad al frente y en el centro de su enseñanza. La práctica de las explicaciones debe basarse en las diversas necesidades y características de las y los alumnos, así como en la estructura disciplinar y el uso del lenguaje verbal y no verbal como herramientas didácticas que pueden abrir el acceso a los lenguajes de las ciencias.

Marcos explicativos del profesorado de física en las aulas australianas y canadienses

El sistema educativo australiano se ha descrito como de “alta calidad y baja equidad” (Gannon y Somerville, 2014). Aunque, en general, las y los estudiantes australianos obtienen buenos resultados en pruebas internacionales, como Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS) y el Programme for International Student Assessment (PISA), el estatus socioeconómico está muy relacionado con el rendimiento académico y el crecimiento de la desigualdad social. De hecho, a medida que la financiación se destina cada vez más a las escuelas y al estudiantado más favorecido en términos económicos, aumentan las diferencias entre aquellos y aquellas con mejores y peores resultados, lo que conduce a una disminución del rendi-

miento agregado de las y los estudiantes australianos. Se necesitan cambios sociales y políticos más amplios para volver a centrarse en la “educación para todas y todos” y dotar de recursos adecuados a las escuelas públicas, que atienden un 65% del alumnado, para llegar a los fundamentos de estas desigualdades. No obstante, nos gustaría argumentar que también hay prácticas muy eficaces a disposición del profesorado en todos los sectores, que tienen el potencial de abordar las desventajas de las y los estudiantes y ofrecer oportunidades para el éxito académico y los beneficios económicos concomitantes.

Podría decirse que Canadá está menos dividido en este sentido, aunque su enfoque provincial de la política educativa hace difícil hacer afirmaciones generalizables sobre los enfoques de la educación, la financiación y la equidad. Los resultados que aquí se presentan proceden de Edmonton, Alberta, y al momento del estudio el gobierno provincial financiaba tanto a las escuelas públicas como a las religiosas.

Si dejamos de lado por un momento las diferencias económicas entre Australia y Canadá, en ambos países las formas en que se enseñaba física en el último curso de secundaria eran tan similares a los datos de cuatro clases de Perth (Australia Occidental) y doce clases de Edmonton (Canadá), que se codificaron como un único gran conjunto de datos (Geelan, 2009). Se grabaron varias horas de video desde el fondo de cada aula, y luego se codificaron para identificar las características comunes de las explicaciones del o la profesora en las clases de física. Así, se codificaron las siguientes características:

- Apela a lo aprendido con anterioridad en el curso.
- Conocimientos de otras materias escolares.
- Lenguaje antropomórfico y teleológico.
- Gestos con las manos o movimientos corporales.
- Analogías y metáforas.
- Cálculos en la pizarra o en el *smartboard*.
- Uso de diagramas.
- Animaciones o simulaciones electrónicas.
- Aparatos y demostraciones en las explicaciones.
- Alusiones explícitas a la evaluación.
- Preguntas abiertas y cerradas.
- Chistes y humor.

Estas características se observaron, en distintos grados, en las diversas aulas. Sin embargo, parecía que las diferencias dependían más del estilo personal de enseñanza y de la experiencia de las y los profesores, así como del tema estudiado y el momento del curso escolar o el trimestre (al principio o al final de la relación del profesor con los alumnos), que del país en que se impartía la enseñanza o de la situación socioeconómica de la comunidad escolar. A pesar de lo anterior, hubo excepciones que se analizan con más detalle. En todas las aulas se observan similitudes sorprendentes, como las convenciones de la física y su enseñanza, que parecen tener una “inercia” considerable a la hora de orientar las prácticas.

Tras realizar un análisis temático de la codificación de videos, surgieron los siguientes elementos comunes de las explicaciones del profesorado de física:

1. El “paso a las matemáticas”: las y los profesores solían empezar una explicación de forma cualitativa, con la descripción de una situación física o la utilización de una demostración o un video para introducir a las y los alumnos en los fenómenos que se pretendía explicar; pero, a continuación, pasaban con relativa rapidez a una pizarra u otro medio para escribir cálculos, utilizando las matemáticas como herramienta para codificar y manipular los símbolos que representan las entidades físicas que se debatían. En ocasiones, había un movimiento dinámico entre las ecuaciones y las representaciones verbales, pero a menudo la conclusión de la secuencia se centraba en cómo este cálculo demostraba el poder explicativo del concepto científico.
2. Atención a los requisitos de éxito en los exámenes externos: las y los profesores, por lo general, hablaron del éxito en los exámenes durante sus explicaciones, pero algunos fueron más explícitos que otros al decir: “Este es el contenido de física, y así es como demostrarán en un examen que lo entienden”; mientras que para otros la comprensión y el éxito en los exámenes parecían estar mezclados. A menudo, esta orientación se daba en forma de atajos: “Sáltate un cálculo en este paso al combinar estas cosas para tener más tiempo para el resto del examen”.
3. Uso de analogías: las analogías son omnipresentes en la enseñanza de la física y han recibido una atención considerable por parte de la investigación (por ejemplo, Duit, 1991). Algunos y algunas profesoras prestaron atención de manera explícita a cómo el contexto analógico mapeaba el concepto científico objetivo, incluyendo los lugares en que la analogía se rompía; mientras

que otros no lo hicieron tanto, y quizá condujeron al desarrollo o el refuerzo de concepciones alternativas de las y los alumnos, quienes realizaron mapeos incorrectos no intencionados del concepto familiar al nuevo.

4. Contar historias y referencias a la historia de la ciencia: la evolución de la comprensión humana del mundo se ilustra a menudo con anécdotas de la historia de la ciencia o con descripciones de “callejones sin salida”, como las teorías del flogisto y del éter. Los relatos (quizá míticos) de Arquímedes saliendo de su bañera al grito de “¡Eureka!” cuando resolvió el problema de la densidad; Newton observando (o en algunas versiones siendo golpeado por) una manzana que caía; Galileo realizando experimentos, dejando caer objetos desde la Torre Inclinada de Pisa, etc., se incluían con frecuencia en las explicaciones de las y los profesores.

5. Papel de la tecnología: las tecnologías de la información se utilizaron de diversas formas para ilustrar explicaciones y realizar experimentos. Los y las profesoras fueron más o menos explícitos al hablar de la naturaleza de “caja negra” de los sensores electrónicos conectados a ordenadores, como medio para tomar medidas y realizar experimentos, y hablaron de diversas maneras de la relación dinámica entre ciencia y tecnología.

6. Humor: el humor de las y los profesores de física tendía a ser bastante inexpresivo y seco, pero era una característica de casi todas las aulas observadas. A veces, utilizaban alusiones a la cultura pop (algo anticuadas) para intentar conectar con las y los estudiantes, pero otros también utilizaban el “humor físico”, que requería comprender los conceptos de física para “pillar” el chiste, tanto como medio para enseñar conceptos como para comprobar la comprensión de las y los estudiantes.

Una diferencia interesante observada entre las escuelas de comunidades de nivel socioeconómico más bajo y más alto fue el grado en que el estudiante, alguno en particular, fue incluido o excluido en las preguntas y los debates en clase.

En las escuelas independientes del sector acomodado, conocidas como *grammar schools* en Australia y en los barrios más acomodados de Canadá, las clases de física se centraban en el éxito en los exámenes externos al final del duodécimo curso. Este enfoque se debía a que son la vía de acceso a determinadas carreras universitarias relacionadas con profesiones relativamente lucrativas, lo que significaba que en dichas escuelas se hacía hincapié en la atención explícita a los requisitos del éxito en los exámenes. El objetivo

del curso de física era un examen explícito de éxito, y los problemas se evaluaban y analizaban en función de este criterio.

En estas aulas, el o la profesora solía tener un pequeño grupo de alumnos y alumnas de alto rendimiento, que a menudo se sentaba en la parte de adelante del aula y proporcionaba la respuesta correcta a cualquier pregunta dirigida por el o la profesora a la clase. La secuencia iniciación, respuesta, evaluación (IRE) era el patrón de preguntas más habitual: el o la docente formulaba una pregunta objetiva con una respuesta correcta, entonces un alumno o una alumna ofrecía una respuesta, y el o la profesora indicaba si era correcta, y proporcionaba la que era correcta en caso contrario, para concluir la secuencia. La atención se centraba en las respuestas correctas.

La mayoría de las y los alumnos de la clase no participaban en las discusiones de grupo completo, y la comprobación de la comprensión de todos y todas no era una característica rutinaria de las explicaciones del o la profesora o de las discusiones en clase. Era muy posible que un o una estudiante asistiera a clase, pero no siguiera en realidad lo que se estaba aprendiendo; y la actitud de todos y todas las implicadas parecía ser que el éxito era responsabilidad del o la estudiante, y que el examen “lo ordenaría todo” en cuanto a quién tendría éxito y quién no. Podría decirse que este enfoque pedagógico tiene más probabilidades de perpetuar las desigualdades sociales existentes que de cuestionarlas.

En las escuelas de comunidades de nivel socioeconómico más bajo, la atención se centraba mucho más en la comprensión de los conceptos físicos por sí mismos y como lentes para interpretar las experiencias del mundo. Por lo general, la mayoría o la totalidad del alumnado participaba de forma activa en los debates de clase, y el profesorado les llamaba la atención si no estaban participando o prestando atención. Las preguntas se dirigían por su nombre a todos y todas o a la mayoría, incluidos quienes tenían menos probabilidades de dar una respuesta correcta. Con frecuencia, las y los profesores insistían de modo suave al estudiantado mediante una secuencia de preguntas que los llevaba a comprender y cuestionar las concepciones alternativas con pruebas o argumentos. En estas aulas, también se valoraba y hablaba del éxito en los exámenes, pero la atención se enfocaba en la comprensión de los conceptos de física por parte de las y los alumnos, en particular en garantizar que ninguno se quedara “atrás” en el desarrollo de su comprensión. Por lo general, se veían a sí mismos y se

comportaban como compañeros y colaboradores en el aprendizaje de los demás, más que como competidores.

Puede ser que ya esté claro en dónde se sitúan nuestros valores en estas descripciones de los dos tipos de aulas, pero, al mismo tiempo, es cierto que las y los alumnos que tuvieron éxito en las aulas más competitivas y centradas en el logro tenían más probabilidades de obtener ventajas sociales, una riqueza relativa y una vida más cómoda. ¿Existen formas de combinar las mejores características de ambos enfoques en las explicaciones del profesorado para ayudar a todo el alumnado a tener éxito en sus estudios? ¿Podría hacerse al desarrollar una comprensión profunda de los conceptos científicos fundamentales que hay que aprender, en lugar de solo aprender a cumplir las evaluaciones en condiciones de examen? Aún queda trabajo por hacer para explorar si una enseñanza más explícita de las habilidades de explicación del o la profesora de ciencias podría modificar los procesos de explicación en la práctica. Del mismo modo, se requiere más investigación para explorar hasta qué punto el profesorado en ejercicio tiene la capacidad de mejorar el aprendizaje del alumnado, con base en la construcción de explicaciones en todo el espectro de los contextos escolares.

Conclusión

Construir explicaciones y explicar en las aulas de ciencias constituyen habilidades docentes cruciales para desarrollar la comprensión científica del estudiantado. Sin embargo, estas pueden perpetuar las desigualdades y ventajas sociales si se utilizan sin tener en cuenta sus antecedentes y necesidades. Este es un punto clave si se considera la educación científica latinoamericana, que tiende a seguir enfoques más tradicionales, o bien articular discursos jerárquicos sobre las ciencias y su construcción. En esto, el contexto chileno de enseñanza de las ciencias se asemeja más al contexto regional, que ofrece en específico explicaciones acabadas, basadas sobre todo en explicaciones centradas en el profesorado, y compuestas por imágenes y ejemplos. Como resultado, los niveles de aprendizaje, según las pruebas internacionales y nacionales de ciencias, son altamente dependientes del nivel de ingresos de las familias de las y los estudiantes y su género. Así pues, este país es uno de los que presentan una distribución menos equitativa

en términos de aprendizaje y nivel de ingresos, lo que podría cambiar con enfoques más equitativos de la enseñanza. El propósito de este capítulo fue orientar la enseñanza de las ciencias en América Latina hacia prácticas pedagógicas que promuevan un enfoque dialógico. La aplicación de este tipo de consideraciones busca alentar vías de éxito entre el estudiantado de entornos menos favorecidos, con dificultades de aprendizaje, discapacidades sensoriales, o pertenecientes a grupos habitualmente excluidos de la construcción científica del conocimiento (mujeres, minorías de género, etc.). Sugerimos que esta es una forma de distribuir en lo pedagógico el poder del conocimiento en el aula. Así, la construcción de explicaciones en este escenario de aprendizaje podría mejorar la equidad social y el acceso a las ciencias como estrategia de justicia educativa.

Referencias

- Alvarado, M., Cabezas, G., Falck, D., y Ortega, M. E. (2012). *La Evaluación Docente y sus instrumentos: discriminación del desempeño docente y asociación con los resultados de los estudiantes*. Mineduc.
- Bell, P., y Linn, M. C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797-817. <https://doi.org/10.1080/095006900412284>
- Bolger, D., y Ecklund, E. H. (2022). Seeing is achieving: Religion, embodiment, and explanations of racial inequality in STEM. *Ethnic and Racial Studies*, 45(1), 3-21.
- Braaten, M., y Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639-669.
- Cabello, V. M., y Topping, K. (2018). Explicitación de conceptos científicos a través de explicaciones: simulaciones de una práctica de alto apalancamiento en la formación docente. *Revista Internacional de Investigación Cognitiva en Ciencia, Ingeniería y Educación*, 6(3), 35-47. <https://doi.org/10.5937/ijcrsee1803035C>
- Cabello, V. M., Real, C., y Impedovo, M. A. (2019). Las explicaciones en las áreas STEM: un análisis de las representaciones a través del lenguaje en la formación docente. *Research in Science Education*, 49(4), 1087-1106. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-9856-6>

- Charalambous, C. Y., Hill, H. C., y Ball, D. L. (2011). El aprendizaje de los futuros profesores para proporcionar explicaciones de instrucción: ¿cómo se ve y qué podría tomar? *Journal of Mathematics Teacher Education*, 14(6), 441-463. <https://doi.org/10.1007/s10857-011-9182-z>
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Gannon, S., y Somerville, M. (2014). *Cuestiones contemporáneas de equidad en la educación*. Cambridge Scholars Publishing.
- Geelan, D. R. (1997). Epistemological anarchy and the many forms of constructivism. *Science & Education*, 6(1-2), 15-28.
- Geelan, D. R. (2009, junio). Explaining topics in physics: An international video study. En G. Siemens y C. Fulford (Eds.), *Proceedings of ED-MEDIA 2009 - World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications* (pp. 2541-2546). Honolulu, HI.
- Geelan, D. R. (2020). Competencias del profesor de ciencias físicas en una explicación conceptual. *Ciencias de la Educación*, 10(1), 23. <https://doi.org/10.3390/educsci10010023>
- González, C., Martínez, M. T., Martínez, C., Cuevas, K., y Muñoz, L. (2009). La educación científica como apoyo a la movilidad social: desafíos en torno al rol del profesor secundario en la implementación de la indagación científica como enfoque pedagógico. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 35, 63-78.
- Harrison, A. G., y Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80, 509-553.
- Hempel, C. G. (1965). *Aspects of scientific explanation; And other essays in the philosophy of science*. The Free Press.
- Hempel, C. G., y Oppenheim, P. (1948). Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135-175.
- Kulgemeyer, C., y Schecker, H. (2009). Kommunikationskompetenz in der Physik: Zur Entwicklung eines domänenspezifischen Kompetenzbegriffs. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 131-153.
- Kulgemeyer, C., y Schecker, H. (2012). Physikalische kommunikationskompetenz - Empirische validierung eines normativen modells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 29-54.
- Liquin, E. G., y Lombrozo, T. (2020). A functional approach to explanation-seeking curiosity. *Cognitive Psychology*, 119, 101276.

- Marzabal, A., Merino, C., Moreira, P., y Delgado, V. (2019). Evaluando las explicaciones de la enseñanza de las ciencias en la formación inicial del profesorado: ¿cómo se transfiere esta práctica docente a través de diferentes temas de química? *Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 49, 1107-1123.
- Navarro, M. B., y Förster, C. E. (2012). Nivel de alfabetización científica y actitudes hacia la ciencia en estudiantes de secundaria: comparaciones por sexo y nivel socioeconómico. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Latinoamericana*, 49(1), 1-17.
- OCDE. (2018). *Equidad en la educación: derribando barreras para la movilidad social*. PISA. <https://doi.org/10.1787/9789264073234-en>
- Piaget, J. (1972). *The principles of genetic epistemology*. Basic Books.
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (2010). *Encuesta mis profesores y yo*. https://www.pucv.cl/uuaa/site/docs/20151019/20151019163020/mis_profesores_y_yo.pdf
- Ruben, D-H. (2012). *Explaining explanation* (2da ed.). Paradigm Press.
- Salmon, W. C. (1978). Why ask “why”? An inquiry concerning scientific explanation. *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, 51(6), 683-705.
- Salmon, W. C. (1984). *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton University Press.
- Salmon, W. C. (1998). *Causality and explanation*. Oxford University Press.
- Salmon, W. C. (2006). *Four decades of scientific explanation*. Pittsburgh University of Pittsburgh Press.
- Shulman, L. S. (1986). Los que entienden: el crecimiento del conocimiento en la enseñanza. *Educación e Investigador*, 15(2), 4-14.
- Solomon, J. (1987). Social influences on the construction of pupils’ understanding of science. *Studies in Science Education*, 14(1), 63-82.
- Tenenbaum, H. R., y Leaper, C. (2003). Parent-child conversations about science: The socialization of gender inequities? *Developmental Psychology*, 39(1), 34-47.
- Treagust, D. F., y Harrison, A. G. (1999). The genesis of effective scientific explanations for the classroom. En J. Loughran (Ed.), *Researching teaching: Methodologies and practices for understanding pedagogy*. Routledge.
- Treagust, D. F., y Harrison, A. G. (2000). In search of explanatory frameworks: An analysis of Richard Feynman’s lecture ‘Atoms in motion’. *International Journal of Science Education*, 22(11), 1157-1170.

- Valencia, E., y Taut, S. (2011). *Evidencia de inequidad en el acceso a los docentes mejor calificados en la enseñanza básica chilena*. Centro de Medición MIDEUC.
- Van Fraassen, B. C. (1977). The pragmatics of explanation. *American Philosophical Quarterly*, 14(2), 143-150.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.