



Estudios pedagógicos (Valdivia)

ISSN: 0716-050X

ISSN: 0718-0705

Universidad Austral de Chile. Facultad de Filosofía y Humanidades

Sommer-Lohrmann, Martin; Cabello, Valeria M.
Andamios de retiro gradual. Parte 2: Apoyos a la construcción de explicaciones en ciencia primaria
Estudios pedagógicos (Valdivia), vol. 46, núm. 1, 2020, pp. 269-284
Universidad Austral de Chile. Facultad de Filosofía y Humanidades

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173565056016>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

INVESTIGACIONES

Andamios de retiro gradual. Parte 2:
Apoyos a la construcción de explicaciones en ciencia primaria^{*}

Fading scaffolds. Part 2:
Supports to constructing explanations in primary science

Martin Sommer Lohrmann^a, Valeria M. Cabello^b

^a Colegio Alemán de Santiago.
masommer@dsstgo.cl

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

RESUMEN

El desarrollo de la competencia de explicar científicamente es un desafío para la educación primaria ya que combina habilidades cognitivas, lingüísticas y sustento científico. En contextos hispanoparlantes la investigación para orientar pedagógicamente la construcción de explicaciones en educación primaria es escasa. Este artículo aborda la implementación de un diseño pedagógico para la construcción de explicaciones científicas escolares con apoyo en un sistema de andamiajes. Se buscó facilitar el desarrollo de las habilidades para explicar y, a su vez, la adquisición de conceptos nuevos que forman parte del sustento científico. Los resultados muestran que los y las estudiantes progresaron paulatinamente en la construcción de explicaciones mientras se aplicó el andamiaje. Se discuten orientaciones para el diseño pedagógico de andamios que permitan apoyar la construcción de explicaciones científicas escolares en primaria, con base en esta experiencia, así como del sustento teórico y empírico detallado en la primera parte de este trabajo.

Palabras claves: andamiaje, explicación científica escolar, aprendizaje en ciencias, diseño pedagógico.

ABSTRACT

The development of the skills for constructing scientific explanations is challenging in primary education because it combines cognitive and linguistic elements, as well as a scientific support. Research in Spanish speaking contexts to orient the construction of explanations in the science classroom is scarce. This article addresses the implementation of instructional design for the construction of school scientific explanations with the support of fading scaffolds. The study sought to enhance the development of skills for explaining as well as the acquisition of new concepts which were part of the scientific support. The results show the students' gradual progress on the construction of explanations while scaffolding was applied. We discuss orientations for the instructional design of scaffolding to support the construction of scientific explanations in primary education, based on this experience and, additionally, on the theoretical and empirical underpinning developed on the first part of this work.

Key words: scaffolding, school scientific explanation, learning, instructional design.

* Agradecimientos a la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICYT/FONDECYT/11181050, actualmente Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo ANID/ FONDECYT/ 11181050.

1. INTRODUCCIÓN

Es usual observar en la clase de ciencias, que cuando el/la maestro/a pregunta acerca de los fenómenos naturales que se han tratado en clases anteriores, las respuestas de los y las estudiantes son escasas palabras, muy pocas veces ellos realizan descripciones o explicaciones completas de algún aspecto o elemento del fenómeno tratado, lo que puede culminar en un monólogo explicativo del docente (Reznitskaya y Gregory, 2013). Este tipo de respuesta no debiera sorprender en un contexto educacional que privilegia, también en evaluaciones, la respuesta oral de una sola palabra o, escrita, correctamente marcada dentro de una serie de alternativas dadas a partir del discurso sabio del profesor (Cofré *et al.*, 2010), antes que la expresión oral o escrita del estudiantado sobre su propia representación de los fenómenos naturales, la que daría mejor cuenta de la comprensión de dicho fenómeno (Martín-Díaz, 2013; Yao y Guo, 2018).

Desde una perspectiva curricular, en la enseñanza de las ciencias de varios países se requiere que los y las estudiantes desarrollen explicaciones científicas escolares sobre fenómenos (i.e. Beyer y Davis, 2008; MINEDUC, 2015), ya que explicar aporta a la alfabetización científica de los ciudadanos. Aunque este término posee diversas acepciones, en este estudio se entiende la alfabetización científica como la capacidad de las personas para analizar situaciones con un componente científico que les permita tomar decisiones y, eventualmente, generar productos desde la ciencia (Roberts, 2007), por ejemplo, una explicación o un modelo. Lo anterior, considerando que una ciudadanía alfabetizada científicamente no solo es capaz de manejar conceptos y lenguaje científico, sino que comprende e interpreta teorías o modelos presentes que permiten explicar fenómenos naturales de impacto social, tomando así decisiones pertinentes y respetuosas de su entorno (Bybee, Fensham y Laurie, 2009; Robinson y Crowther, 2001).

En las salas de clases, apoyar la construcción de explicaciones de los y las estudiantes sobre fenómenos naturales es un desafío para los docentes (Márquez, Roca, Gómez, Sardá y Pujol, 2004; Zangori y Forbes, 2013). Es sabido que entre las investigaciones del contexto anglosajón y asiático se han probado herramientas o recursos enfocados en potenciar el desarrollo de este tipo de habilidad en la escuela, entre ellos, los andamios (Hsu, Lai y Hsu, 2015; Lee y Songer, 2004; McNeill y Krajcik, 2009; Tang, 2015). Los andamios son apoyos que se van adaptando a los avances del proceso de aprendizaje del estudiantado, destinados a satisfacer un objetivo de aprendizaje mediante la progresiva transferencia de autonomía sobre dicho proceso hacia el aprendiz (van de Pol, Volman y Beishuizen, 2010).

En el contexto hispanoparlante, en cambio, los estudios sobre sistemas de andamios para apoyar el desarrollo de la habilidad de explicar son muy escasos (Meneses, Hugo, Montenegro, Valenzuela y Ruiz, 2018), lo que abre una posibilidad de investigación que complementa a otros tipos de apoyos pedagógicos que se han sugerido para la construcción de modelos explicativos, tales como las preguntas mediadoras (Márquez *et al.*, 2004).

Adicionalmente, como contexto específico que agrega relevancia a la problemática anterior, se ha obtenido en pruebas internacionales que el estudiantado chileno evidencia un resultado bajo en las explicaciones de fenómenos naturales y el razonamiento científico aplicado a fenómenos cotidianos (MINEDUC, 2007, 2012; OCDE, 2016). Estos datos dan fuerza a la necesidad de trabajar pedagógicamente en este tipo de habilidades desde el nivel primario de enseñanza (Espinoza y Camacho, 2016), que es en Chile el nivel desde el que se espera curricularmente su desarrollo.

Se desprende, de esta forma, la necesidad de investigaciones que respondan al requerimiento curricular de explicar científicamente, a la escasez de estudios acerca del tipo de apoyos mencionados en contexto hispanoparlante y a los bajos resultados de aprendizaje sobre explicaciones científicas escolares.

Por tanto, las preguntas de investigación que aborda el presente estudio son:

1º. ¿En qué medida el diseño y aplicación de andamiajes puede favorecer el desarrollo de explicaciones científicas escolares en estudiantes de primaria?

2º. ¿Qué características debiera poseer el diseño de andamiajes para apoyar la construcción de explicaciones científicas escolares sobre fenómenos naturales?

El propósito de este estudio es visibilizar un diseño flexible de sistemas de andamiaje a partir de una estructura de andamios que van siendo retirados progresivamente en una unidad de aprendizaje de las ciencias en primaria y presentar una rúbrica para su evaluación, ambos aplicables a diferentes temas científicos. Se discuten además los alcances de este tipo de apoyo a partir de los resultados de una implementación desarrollada en Chile, en una unidad de aprendizaje en 5^{to} grado de educación primaria. El sustento teórico de esta propuesta, así como sus referentes empíricos se encuentran ampliamente detallados en el artículo previo “Andamios de retiro gradual. Parte 1: Visibilización del pensamiento en la construcción de explicaciones científicas escolares”.

2. ANTECEDENTES

Según Braaten y Windschitl (2011), actualmente los científicos emplean múltiples modelos de explicaciones, desde donde los investigadores del área de didáctica de las ciencias han derivado el concepto de explicación científica en educación en ciencias. La propuesta de concepto de explicación científica escolar de Braaten y Windschitl (2011) se construye sobre dos modelos científicos de explicaciones: el modelo causal y el de visión unificadora. El modelo causal destaca, según estos autores y tal como lo indica su nombre, la causalidad como el atributo clave de las explicaciones. El modelo de visión unificadora, en tanto, ha permitido organizar la educación en ciencias centrada en las grandes ideas científicas, ya que tiene una capacidad de unificar fenómenos en apariencia diferentes, relacionándolos coherentemente. Este modelo provee lo que Friedman (1974) llamaba una comprensión global de los fenómenos naturales, a partir de las grandes ideas sobre la ciencia que los sustentan. Ambos modelos coinciden en el foco sobre las causas de un fenómeno. La explicación científica escolar apunta, entonces, a que los y las estudiantes demuestren comprensión acerca de las causas de los fenómenos naturales y no se refiere a aclaraciones de conceptos o razonamientos aplicados a la resolución de problemas, empleados frecuentemente en clases de ciencias (Braaten y Windschitl, 2011). En este estudio se conceptualiza dicha sustentación teórica como fundamento o soporte científico.

Para sustentar la explicación con este fundamento científico cobra importancia el rol de las entidades no visibles, las que permiten relacionar un hecho observado en un nivel de organización perceptible con otro nivel de organización diferente, más complejo (Park *et al.*, 2020; Sanmartí, 2007). A partir de esta noción se entiende, por ejemplo, que la causa de enfermedades infecciosas que atacan los órganos de los seres vivos se atribuya a la acción de microorganismos (otro, invisibles), cuya proliferación se debió a ciertas condiciones que permitieron un aumento en su tasa de reproducción, así como la transferencia de

energía calórica de un material a otro se atribuye a la trasmisión de energía cinética entre sus partículas.

Entendida la explicación científica escolar en la educación primaria como una articulación lingüística que da sentido causal a un fenómeno en este estudio, el andamio que se utiliza se configura a partir de una descripción de la situación ocurrida u observada (Jorba, Gómez y Prat, 2000) que, unida por un conector causal, presenta una causa o condición específica como explicación inicial. Ambas, descripción y explicación, conforman la afirmación causal (McNeill, Lizotte, Krajcik y Marx, 2006; McNeill y Krajcik, 2009; Ruiz-Primo, Li, Tsai y Schneider, 2010; Zangori y Forbes, 2013), dando contexto al relato explicativo. Esta afirmación causal, que es la que debe ser sustentada por el estudiante, se completa con un fundamento científico (Braaten y Windschitl, 2011; Park *et al.*, 2020; Yao y Guo, 2018), enriqueciendo y transformando las explicaciones de la vida diaria (Zangori y Forbes, 2013), lo que le da su carácter científico (ver Tabla 1 en la siguiente página). Sobre la base de este concepto de explicación científica escolar también se diseñó una rúbrica para la evaluación de las explicaciones generadas durante una unidad pedagógica específica (Tabla 2).

En la literatura se pueden identificar varias formas de acceder a las explicaciones científicas escolares como son cuestionarios o fichas de explicaciones escritas (e.g. Lee y Songer, 2004; Sommer y Cabello, 2018; Tang, 2016) e interpretaciones desde cuadernos o dibujos (McNeill *et al.*, 2006; Espinoza y Camacho, 2016; Impedovo, Delserieys, Jégou y Ravanis, 2017). En menor medida se incorporan la explicación oral (Rappa y Tang, 2018), o el análisis de videos (Forbes *et al.*, 2014). En el presente estudio se priorizó trabajar con el formato diagramado para completar en forma escrita la explicación (ver Anexo 1).

Tabla 1. Ejemplo de andamio escrito genérico

Afirmación causal	
Descripción	Explicación inicial
Escribe aquí la descripción del hecho. Es decir <u>qué</u> ocurrió.	En esta sección deberás explicar brevemente el hecho, completando la descripción con el <u>por qué</u> ocurrió.
Fundamento científico	
Aquí se incluye el “por qué del por qué”, es decir, las <u>causas, elementos invisibles, conceptos y/o teorías científicas</u> que sustentan tu explicación inicial.	

Tal como se expuso en la primera parte de este estudio, un aspecto relevante del sistema de andamiaje se refiere a la estructura general de la unidad de aprendizaje aplicada, que hizo uso de un ciclo indagatorio. Éste permitió a los y las estudiantes, antes de someterse a las situaciones descritas que debían explicar, sumergirse en la focalización en el problema de las condiciones de proliferación de microorganismos, planteando preguntas, formulando hipótesis, incorporando conocimientos nuevos a través del trabajo con un texto sobre microorganismos, llevando a cabo una fase experimental con el fin de corroborar la hipótesis planteada. Esto se considera un paso fundamental para llevar a cabo con éxito

la aplicación del andamio escrito el que, finalmente, permitiría la consolidación de lo aprendido en dicho ciclo.

3. METODOLOGÍA

El presente estudio fue exploratorio y su alcance descriptivo. Se buscó, por una parte, identificar evidencia de estudios que encontraran un efecto positivo en el apoyo a la construcción de explicaciones de estudiantes de primaria, y sobre esa base se construyó una unidad de aprendizaje con un andamio de retiro gradual como apoyo en ciclos indagatorios de enseñanza-aprendizaje y una rúbrica de evaluación. Por otra parte, se exploró la construcción de explicaciones sobre fenómenos relacionados con la proliferación de microorganismos por parte de los y las participantes en la implementación de la unidad diseñada. En la primera instancia de este estudio se constató que tanto andamios como rúbricas desarrollados para el apoyo en la construcción de explicaciones científicas escolares se han creado, aplicado e investigado en idiomas distintos al español, lo que implica un contexto sociocultural muy distinto al hispanoparlante. Considerando las relaciones entre la explicación y el lenguaje, estos estudios no son necesariamente aplicables a contextos locales. Desde esta perspectiva se entiende la relevancia de desarrollar estudios contextualizados de la explicación científica escolar y de los apoyos pedagógicos para desarrollarla.

En la implementación -que formó parte de un estudio más amplio sobre explicaciones científicas en educación en Chile- formaron parte inicialmente cuarenta y siete estudiantes de 5^º grado de educación primaria de entre diez y once años de un colegio de la Región Metropolitana de Santiago de nivel socio económico medio-alto, divididos en dos grupos cursos ya constituidos naturalmente. Los y las estudiantes dieron su asentimiento para participar y los padres consintieron la participación en una charla informativa realizada con anterioridad al comienzo de la unidad de aprendizaje. Esta investigación no alteró la planificación anual del curso, pero acercó al estudiantado a las explicaciones científicas escolares desde una perspectiva novedosa, permitiendo arrojar luz sobre una forma nueva de implementarla con el fin de alcanzar mejoras en el aprendizaje. Cabe señalar que el primer autor de este artículo fue el profesor de ciencias de ambos cursos, a cargo de implementar la unidad de aprendizaje. Para resguardar el rigor científico, el 10% de las explicaciones generadas por los y las participantes fueron codificadas por dos investigadores independientes, de forma enmascarada. Aunque hubo un alto nivel de acuerdo, en los casos donde hubo diferencia en la codificación, se discutió hasta llegar a acuerdo. Cabe señalar que durante la implementación de la unidad de aprendizaje no todos los(as) estudiantes participaron en las actividades de la unidad en las que se trabajó con un andamio de retiro gradual, por lo que se decidió analizar las explicaciones de quienes participaron en al menos cuatro de las cinco experiencias llevadas a cabo, lo cual totalizó en treinta y dos estudiantes, constituidos naturalmente en dos grupos.

Respecto del andamio implementado, en el presente estudio se decidió insertar -tal como lo propone Hsu *et al.* (2015)-, en un sistema de andamiaje que incluye el apoyo directo del docente, trabajo entre pares o grupos pequeños, ejercicios de metacognición, entre otros. Estos apoyos fueron constantes para cada grupo. El andamio escrito de retiro gradual aplicado para ambos grupos en todas las situaciones a explicar (desde la n° 1 a la

n°4) presentadas a los y las estudiantes, se configura como variable independiente en el momento en que, al final de la experiencia, se quita por completo a un grupo.

La construcción de la rúbrica de evaluación respondió a la estructura del andamio (Tabla 2) y se llevó a cabo sobre la base del esquema de Jorba *et al.* (2000), para la evaluación de explicaciones que es aplicable a varias disciplinas. Se hizo uso del esquema general, integrándose los criterios de evaluación de la calidad de una explicación científica escolar tanto de los estudios clásicos de Lee y Songer (2004) y McNeill *et al.* (2006), como las revisiones de Braaten y Windschitl (2011) de Zangori y Forbes (2013) y Yao y Guo (2018), sumando a estos el elemento de precisión conceptual con relación a la unidad de aprendizaje específica. Tal como se ha recomendado en otros trabajos orientados a la evaluación de explicaciones científicas escolares (De Andrade, Freire y Baptista, 2019; Yao y Guo, 2018) los cinco criterios de ésta condensan tanto los avances en las habilidades para construir explicaciones con sus diferentes componentes, como los avances en la comprensión de los conceptos científicos, al evaluar la precisión y suficiencia del contenido de cada componente de la explicación.

Tabla 2. Rúbrica para evaluar explicaciones de los y las estudiantes

Criterio	No logrado (1)	En desarrollo (2)	Logrado (3)
Descripción del hecho	No incluye frase inicial de descripción o ésta no describe el hecho o problema.	La frase inicial de la explicación describe el hecho o problema refiriéndose al qué ocurre en forma imprecisa.	La frase inicial de la explicación describe el hecho o problema refiriéndose al qué ocurre de manera precisa.
Afirmación causal o explicación inicial	No hay explicación breve o es incorrecta o no corresponde al problema en cualquiera de los puntos: - causas generales del fenómeno - resultado del fenómeno - entidades no observables que causan el fenómeno.	Inicia la explicación con una explicación breve, refiriéndose de forma imprecisa a cualquiera de los siguientes componentes: - causas generales del fenómeno - resultado del fenómeno - entidades no observables que causan el fenómeno.	Inicia la explicación con una explicación breve, refiriéndose de manera precisa al menos a uno de los siguientes componentes: - causa general del fenómeno - resultado del fenómeno. - entidades no observables que causan el fenómeno.
Suficiencia de la fundamentación	No se mencionan componentes explicativos.	Se refiere solo a uno de los siguientes componentes (distinto del mencionado en la explicación breve): - conceptos científicos o teorías - causas del fenómeno - entidades no observables que causan el fenómeno - resultados del fenómeno - categorías más generales en las que se insertan las entidades no observables.	Se refiere al menos a dos de los siguientes componentes (dos de cada componente o uno de cada uno, distintos del mencionado en la explicación breve): - conceptos científicos o teorías - causas del fenómeno - entidades no observables que causan el fenómeno - resultados del fenómeno - categorías más generales en las que se insertan las entidades no observables.

Precisión de la fundamentación	Los componentes mencionados en la fundamentación explicativos son todos incorrectos.	Se refiere en forma imprecisa o incorrecta al menos a uno de los componentes mencionados en la fundamentación.	Se refiere en forma precisa a los componentes mencionados en la fundamentación.
Coherencia	La relación de los elementos carece de lógica y congruencia haciendo imposible la construcción de un sentido global de una explicación con sentido causal.	Relaciona en forma medianamente lógica los diferentes elementos de la explicación, de tal forma que el todo sea aceptable, aunque con dificultad para construir un sentido global de una explicación con sentido causal.	Relaciona en forma lógica y congruente con el problema del enunciado los diferentes elementos de la explicación haciendo fácil la construcción de un sentido global de una explicación con sentido causal.

Con el apoyo de esta rúbrica de evaluación se exploró el desarrollo de explicaciones científicas escolares de los y las participantes sobre condiciones de proliferación de microorganismos en situaciones de la vida diaria. Se estudiaron sus explicaciones iniciales y los posibles avances al final de dicha unidad, a partir del apoyo intencionado con un andamio genérico escrito con retiro total para un grupo y con retiro parcial para el otro (Tabla 3 y Anexo 2).

Sobre el supuesto que el desarrollo de prácticas científicas como la explicación se refuerza gracias a oportunidades de aprendizaje sistemática y cuidadosamente secuenciadas que permiten la visibilización del pensamiento del estudiantado (Hsu *et al.*, 2015; Zohar, 2006), se diseñó una serie de cinco situaciones de la vida diaria relacionadas con condiciones de proliferación de microorganismos, suscitando en ellos la necesidad de construir una explicación sobre cada fenómeno (Tabla 3 y Anexo 1). Éstas se aplicaron en forma posterior al ciclo indagatorio que formó parte la unidad de aprendizaje implementada.

Tabla 3. Secuencia de situaciones a explicar en las que se usó andamio de retiro gradual

Nº de situación	Nombre	Tipo de andamio
Situación 1	El pan asqueroso	Con andamio completo para ambos grupos
Situación 2	Las duchas	Andamio de retiro gradual igual para ambos grupos
Situación 3	El corte de luz	Andamio de retiro gradual igual para ambos grupos
Situación 4	La encomienda de la abuela	Grupo 1: andamio de retiro gradual Grupo 2: sin andamio
Situación 5	El barco fantasma	Sin andamio para ambos grupos

Cada una de estas situaciones fue acompañada del andamio escrito en sus diversas fases de retiro gradual (ver Anexo 2). Cada vez que se presentaba una situación a explicar, se les ofrecía el andamio escrito, con monitoreo docente de tipo individual. Con el fin de

individualizar los apoyos y adaptarse a la contingencia de aprendizaje de cada estudiante, antes de la siguiente situación a explicar, el docente entregaba el producto anterior revisado y comentado por escrito, junto a un ejercicio metacognitivo oral con el pleno de los y las estudiantes. Ejemplos de ejercicio metacognitivo, fueron preguntas como: Si otra persona, que no sabe acerca de microorganismos lee tu explicación ¿podrá comprender que la descomposición de los alimentos se debe a la proliferación de microorganismos? ¿qué nos falta por aprender para lograrlo?

4. RESULTADOS

Considerando que los y las participantes fueron estudiantes de 5^{to} grado de educación primaria y que por primera vez se confrontaron de manera sistemática al desarrollo de explicaciones científicas, se puede aseverar que se registraron avances pedagógicos tanto en la habilidad de explicar, como en la comprensión del contenido.

Respecto del porcentaje de nivel de logro (Tabla 4) se observó una disminución constante del nivel no logrado entre las explicaciones uno y cuatro. Avance hacia el nivel logrado se observó en el porcentaje de logro del nivel en desarrollo, eso sí, desde la explicación dos. El porcentaje de explicaciones evaluadas como no logradas disminuyó constantemente entre las explicaciones uno y cuatro. Esto último, asociado al aumento gradual en el porcentaje de explicaciones en el nivel en desarrollo, evidencia que este aumento provino de los avances de estudiantes que desde el nivel no logrado progresaron, alcanzando el nivel en desarrollo. En la última situación de la vida diaria a explicar, se observó una disminución en los niveles logrado y en desarrollo respecto de la explicación cuatro, junto a un aumento del nivel no logrado, el que, sin embargo, no alcanzó los altos niveles de explicaciones en el nivel no logrado que arrojaron todas las explicaciones anteriores a la explicación cuatro.

En la Tabla 4 se presentan los porcentajes de explicaciones en cada nivel de logro en las cinco situaciones como respuesta a la pregunta de investigación relacionada con la posibilidad de observar avances en las explicaciones de estudiantes acompañados por el sistema de andamios propuesto. El nivel en desarrollo presentó un constante aumento en frecuencia sobre todo en las últimas dos explicaciones y, tal como en el nivel logrado, se observó un retroceso en la explicación cinco, aunque no igualable a los niveles descendidos de las primeras explicaciones. En el nivel logrado el progreso fue evidente desde la explicación dos y se mantuvo relativamente constante desde la explicación tres en adelante. Las cifras demuestran que los y las estudiantes avanzaron, en su mayoría, desde el nivel no logrado al nivel en desarrollo durante la unidad de aprendizaje. Más adelante se describe una posible razón atribuida al descenso del porcentaje en nivel logrado de la explicación cinco.

Tabla 4. Porcentaje de explicaciones en cada nivel de logro

Nivel	Explicación 1	Explicación 2	Explicación 3	Explicación 4	Explicación 5
(1) Logrado	22	40	29	33	29
(2) En desarrollo	19	11	23	54	46
(3) No logrado	59	49	48	13	25

Estos resultados permiten observar que los indicadores de evaluación de la rúbrica se fueron logrando progresivamente. Las condiciones de proliferación fueron integradas en mayor variedad a medida que avanzaba el proceso de aprendizaje de los y las estudiantes. Los componentes explicativos, como procesos biológicos que están en la base de la proliferación, sobre todo la reproducción y la integración a categorías superiores -como en el caso de los microorganismos, al identificarlos como seres vivos- fueron incorporadas también, aunque con menor frecuencia y mayor dificultad. Esto queda exemplificado en los progresos que se aprecian en las explicaciones de ejemplo que se presentan en el Anexo 1. Finalmente, si bien la descripción fue considerada por los y las estudiantes desde la explicación uno, su frecuente ausencia en la explicación cinco -sin andamio específico para ello-, permite entender, al menos en parte, los resultados disminuidos respecto de la explicación cuatro, como fue indicado anteriormente.

Al observar los resultados generales de ambos grupos entre la explicación uno y la explicación cuatro, sin considerar la número cinco o última -ya que esta situación fue incluida para observar posibles diferencias como resultado del retiro diferente que se le dio a los grupos-, se pudo observar un avance a partir de los porcentajes de logro alcanzados. La diferencia fue importante en términos instrucionales si se compara la moda y el porcentaje de explicaciones en los diferentes niveles de logro entre la explicación inicial y la final. Cabe señalar que no se pudo calcular la significancia de estas diferencias, dado el tamaño pequeño de la muestra, lo que no permitió cumplir con los supuestos para desarrollar análisis estadísticos.

5. DISCUSIÓN

La enseñanza de las ciencias debe considerar el desarrollo de habilidades científicas a través del fomento en los y las estudiantes de la construcción de explicaciones en relación con fenómenos naturales, tal como fue indicado en la primera parte de este estudio. Se espera que los docentes puedan intervenir sistemáticamente en la transformación de las ideas iniciales de los y las estudiantes hacia explicaciones más cercanas a los modelos científicos actuales. Para poder brindar este apoyo, los profesores requieren de claridad sobre el concepto de explicación científica escolar, su base teórica y estudios empíricos que permitan sustentar sus propuestas educativas (Zangori y Forbes, 2013).

La presente investigación contribuye a ilustrar el diseño de andamios que apoyen al estudiantado de primaria en esta desafiante tarea, proponiendo la integración de la teoría de andamiajes en la enseñanza de las ciencias en el contexto del desarrollo de explicaciones sobre fenómenos naturales.

Al aplicar la unidad de aprendizaje sobre microorganismos y su proliferación en 5^º grado de educación primaria se pudo obtener que en las explicaciones iniciales muchos estudiantes mencionaron solo una condición de proliferación y no integraron otros conceptos científicos, lo que es coincidente con otros estudios (Lee y Songer, 2004; McNeill *et al.*, 2006; Yao y Guo, 2018). Esta coincidencia obtenida en estudiantes de habla hispana en relación a evidencia obtenida en otros contextos revela que, desde la observación del hecho durante las fases indagatorias de exploración en investigación, a la aplicación a otras situaciones y la consecuente construcción de una explicación científica escolar, hay una brecha que debe ser considerada. Para acortarla, el proceso debe ser apoyado explícitamente

por los docentes, tal como se argumenta en el presente estudio y es respaldada por otros autores (Meneses *et al.*, 2018).

Los resultados obtenidos de la implementación de esta experiencia revelaron que la propuesta de sistema de andamios permitió a los y las estudiantes ir superando el nivel inicial de desarrollo de sus explicaciones e ir visibilizando su pensamiento con relación a la proliferación de microorganismos y sus condiciones. En este progreso se interpreta que los y las participantes integraron de mejor forma la estructura de una explicación científica escolar, así como su avance al presentar teorías, ideas o principios científicos en su formulación (Braaten y Windschitl, 2011; Yao y Guo, 2018). Sin embargo, el número reducido de estudiantes que completó la mayoría de las situaciones de explicación limitó el alcance de los análisis posibles. Se espera que estudios futuros logren un muestreo más amplio. Del mismo modo, una sensibilidad mayor de los instrumentos aplicados en este estudio podría también haber arrojado resultados diferentes, lo que queda abierto como una proyección de esta investigación a futuro.

En este estudio se propuso una integración de elementos nuevos para la implementación de aula, cuyos resultados se han descrito en este trabajo. El andamio escrito propuesto, por ejemplo, conservó en parte las características de andamios destinados a grupos grandes provistos por la evidencia internacional, pero se modificó a partir de una definición de explicación científica escolar que nace, tal como las demás modificaciones y adaptaciones, de la reflexión acerca del conjunto de estudios analizados.

Observando los resultados de las explicaciones generadas en la última situación a explicar en esta experiencia (número 5), se interpreta que el retiro total de andamios, que fue aplicado a un solo grupo, no tuvo un rol particular en el desarrollo de explicaciones por parte de los y las estudiantes participantes. Se dilucida por tanto que el retiro gradual y adaptativo, con o sin retiro total de apoyos, favorecería el desarrollo de una fundamentación científica satisfactoria desde la perspectiva de la ciencia escolar.

Desde la perspectiva instruccional, sin embargo, dicho retiro total permitió develar las necesidades que todavía tenían los y las estudiantes en el desarrollo de la habilidad, tanto desde la descripción de la situación a explicar, como desde la construcción de una fundamentación científica. El rol, entonces, del retiro total, junto a desafiar la autonomía y el traspaso de responsabilidad del docente al estudiante, puede ser también evaluativo.

Considerando a la evaluación como un proceso de apoyo al aprendizaje, sería recomendable no aplicar el retiro total de andamios solo al final del proceso, sino como una herramienta detección de la contingencia, útil tanto para el docente como para el(la) mismo(a) estudiante al permitir identificar qué andamio específico o cuál tipo de andamio se requiere mantener o retirar.

Es aquí donde se debe abordar la discusión de si es posible programar de antemano el retiro de andamios escritos. Dicha programación -si no logra realizarse en forma individualizada- podría resultar en una herramienta cuya rigidez la volvería incapaz de considerar los progresos individuales del estudiantado. Los andamios orales no presentan este problema, ya que la oralidad permite realizar cambios en el mismo momento en que se detecta un déficit o necesidad de apoyo o, si se identifica una posibilidad de retiro de apoyo. Siguiendo este argumento, un retiro programado de forma igual para el estudiantado, aunque se aplicaría con facilidad a un grupo grande de ellos, sería contradictorio con al menos una de las características distintivas de los andamios: responder a la contingencia de avance en el desarrollo de capacidades de cada estudiante. Sin embargo, como ya se mencionó en la

Introducción, en un contexto de aula con un número grande de estudiantes, donde el trabajo personalizado se hace muy complejo, un andamio escrito con retiro programado, inmerso en un sistema de andamiajes que sí responden a la contingencia del avance de cada uno(a) (asistencia personalizada del docente, de los pares, o comentarios del docente anotados junto al producto escrito del estudiante) podrían superar, al menos en parte, esta debilidad. Una solución intermedia podría ser un retiro semi-programado. Al identificar algunos patrones de avance, se podrían realizar ciertos cambios en los andamios para grupos de estudiantes cuyas explicaciones revelan el mismo tipo de falencias o fortalezas. El trabajo en una plataforma digital con andamios posibles de modificar fácilmente por parte del docente serían herramientas para facilitar esta labor.

El diseño de variadas oportunidades para ir desarrollando explicaciones surgió, en este estudio, de la descripción de diferentes situaciones de la vida diaria, no directamente de un trabajo experimental para cada situación a explicar, como en los estudios internacionales revisados para esta investigación (e.g. Hsu *et al.*, 2015; Lee y Songer, 2004; McNeill *et al.*, 2006; McNeill y Krajcik, 2009). Estas oportunidades adquieren relevancia desde una noción de desarrollo del pensamiento científico en cuanto a la sistematicidad que requiere el estudiantado para visibilizar y potenciar su aprendizaje (Zohar, 2006). Esto sugiere, entonces, que se hace necesario resguardar en el trabajo en aula los espacios y los tiempos para brindar estas oportunidades de aprendizaje. La ventaja de la propuesta implementada en este estudio es que permite aplicar andamios de retiro gradual sin necesidad de realizar actividades experimentales para cada una de estas situaciones. Las adaptaciones mencionadas flexibilizan el espacio o momento para el desarrollo de explicaciones en un contexto en que se hace difícil realizar continuas investigaciones -experimentales o de otro tipo- en clases y abre la posibilidad de aplicar los andamios aún si el ciclo indagatorio se modifica, abrevia o es reemplazado por otro enfoque metodológico.

Finalmente, la rúbrica de evaluación elaborada en este estudio subrayó la importancia de tomar como punto de partida para su diseño la conceptualización diversa de explicación científica escolar, ya planteada por Braaten y Windshitl (2011), constituyéndose como base para la planificación y diseño tanto de la unidad didáctica como del seguimiento del progreso de los y las estudiantes. Se sugiere, para investigaciones futuras, su puesta a prueba como herramienta en donde el propio estudiantado sea quien vaya definiendo cuándo pasa a la siguiente fase de retiro del andamio, a través, por ejemplo, del uso de la rúbrica como herramienta de autoevaluación o de evaluación entre pares.

Las adaptaciones mencionadas demuestran que las características de una propuesta didáctica debieran surgir del trabajo reflexivo docente, sobre la base de experiencias de hacer visible el pensamiento de los y las estudiantes, para cada contexto en el que se requieran desarrollar explicaciones científicas escolares. Por esta razón, cabe señalar que la implementación presentada es un ejemplo que no busca normar o circunscribir la aplicación de este tipo de herramientas a una metodología específica de educación en ciencias. Sin embargo, el diseño y la aplicación de las herramientas de andamiaje descritas, junto a su aplicación y los resultados obtenidos, abren un campo promisorio de implementación e investigación en didáctica de las ciencias, especialmente con relación al desarrollo de explicaciones en grupos numerosos, que es uno de los desafíos de los contextos educacionales latinoamericanos. Esto expande el interés de este estudio más allá de su contexto original.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beyer, C. J., y Davis, E. A. (2008). Fostering second graders' scientific explanations: A beginning elementary teacher's knowledge, beliefs, and practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 17(3), 381-414. doi: 10.1080/10508400802222917
- Braaten, M. y Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95(4), 639-669. <https://doi.org/10.1002/scie.20449>
- Bybee, R., Fensham, P., & Laurie, R. (2009). Scientific literacy and contexts in PISA 2006 science. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 862-864. <https://doi.org/10.1002/tea.20332>
- Cofré, H., Camacho, J., Galaz, A., Jiménez, J., Santibáñez, D. y Vergara, C. (2010). La educación científica en Chile: Debilidades de la enseñanza y desafíos de la educación de profesores de ciencia. *Estudios Pedagógicos*, 36(2), 229-293. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052010000200016>
- De Andrade, V., Freire, S., & Baptista, M. (2019). Constructing scientific explanations: a system of analysis for students' explanations. *Research in Science Education*, 49(3), 787-807. doi: 10.1007/s11165-017-9648-9
- Espinoza, C. y Camacho, J. (2016). Modelos cosmológicos en la ciencia escolar. Aportes desde la historia de la ciencia para su enseñanza-aprendizaje. *Revista Científica*, 4(27), 351-364. doi: 10.14483/23448350.11078
- Forbes, C., Lange, K., Möller, K., Biggers, M., Laux, M., & Zangori, L. (2014). Explanation-Construction in Fourth-Grade Classrooms in Germany and the USA: A cross-national comparative video study. *International Journal of Science Education*, 36(14), 2367-2390. doi: 10.1080/09500693.2014.923950
- Friedman, M. (1974). Explanation and scientific understanding. *The Journal of Philosophy*, 71(1), 5-19. Recuperado desde: https://www.jstor.org/stable/2024924?seq=1#page_scan_tab_contents
- Hsu, Y.-S., Lai, T.-L. y Hsu, W.-H. (2015). A design model of distributed scaffolding for inquiry-based learning. *Research in Science Education*, 45(2), 241-273. doi: 10.1007/s11165-014-9421-2
- Impedovo, M. A., Delserieys-Pedregosa, A., Jégou, C. & Ravanis, K. (2017). Shadow formation at preschool from a socio-materiality perspective. *Research in Science Education*, 47(3), 579-601.
- Jorba, J., Gómez I., y Prat, A. (2000). *Hablar y escribir para aprender*. Madrid: Síntesis.
- Lee, H.-S. y Songer, N. B. (2004). Longitudinal knowledge development: Scaffold for Inquiry. Recuperado desde: <http://www.biokids.umich.edu/papers/56LeeSongerScaffolding.pdf>
- Márquez, C., Roca, M., Gómez, A., Sardá, A., & Pujol, R. M. (2004). La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras. *Investigación en la Escuela*, (53), 71-81. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11441/61002>
- Martín-Díaz, M. J. (2013). Hablar ciencia: si no lo puedo explicar, no lo entiendo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(3), 291-306. Recuperado desde: <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2843/2491>
- McNeill, K. L. y Krajcik, J. (2009). Synergy between teacher practices and curricular scaffolds to support students in using domain-specific and domain-general knowledge in writing arguments to explain phenomena. *The Journal of the Learning Sciences*, 18(3), 416-460. doi:10.1080/10508400903013488
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J. y Marx, R. W. (2006). Supporting Students construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191. doi: 10.1207/s15327809jls1502_1
- Meneses, A., Hugo, E., Montenegro, M., Valenzuela y Ruiz, M. (2018). Explicaciones científicas: propuestas para la enseñanza del lenguaje académico. *Boletín de Lingüística*, 30(49-50), 134-157.
- Ministerio de Educación de Chile. (2007). PISA 2006: Rendimiento de estudiantes de 15 años en Ciencia, Literatura y Matemáticas, Santiago de Chile: Ministerio de Educación. Recuperado

- desde: <http://www.agenciaeducacion.cl/estudios-e-investigaciones/estudios-internacionales/pisa-programme-for-international-student-assessment/>
- Ministerio de Educación de Chile. (2012). Resultados TIMSS 2011. Chile. Estudio internacional de tendencias en Matemáticas y en Ciencias, Santiago de Chile: Ministerio de Educación. Recuperado desde: <http://www.agenciaeducacion.cl/wp-content/uploads/2013/02/resultados-timss-18-dic-2012.pdf>
- Ministerio de Educación de Chile. (2015). Currículum en línea. Ministerio de Educación. Recuperado desde: <http://www.curriculumenlineameduc.cl/605/w3-article-20871.html>
- OCDE (2016) PISA: Resultados en foco. Recuperado desde: <https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus-ESP.pdf>
- Park, J., Chang, J., Tang, K. S., Treagust, D. F., & Won, M. (2020). Sequential patterns of students' drawing in constructing scientific explanations: focusing on the interplay among three levels of pictorial representation. *International Journal of Science Education*, 1-26.
- Rappa, N. A., & Tang, K. S. (2018). Integrating disciplinary-specific genre structure in discourse strategies to support disciplinary literacy. *Linguistics and Education*, 43, 1-12.
- Reznitskaya, A., y Gregory, M. (2013). Student thought and classroom language: Examining the mechanisms of change in dialogic teaching. *Educational Psychologist*, 48(2), 114-133. doi: 10.1080/00461520.2013.775898
- Roberts, D.A., (2007). Scientific literacy/science literacy. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.). *Handbook of Research on Science Education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Robinson, M., y Crowther, D. (2001). Environmental science literacy in science education, biology & chemistry majors. *The American Biology Teacher*, 63(1), 9-14. Recuperado desde: https://www.jstor.org/stable/4451023?seq=1#page_scan_tab_contents
- Ruiz-Primo, M. A., Li, M., Tsai, S.-P. & Schneider, J. (2010). Testing one premise of scientific inquiry in science classrooms: Examining Students' scientific explanations and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 583-608. doi: 10.1002/tea.20356
- Sanmartí, N. (2007). Hablar, leer y escribir para aprender ciencia. En: P. Fernández. La competencia en comunicación lingüística en las áreas del currículo. Madrid, Colección Aulas de Verano: MEC.
- Sommer, M. E. & Cabello, V. M. (2018). Supporting the Construction of Explanations of Natural Phenomena in Primary School Pupils. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 416-422). Springer, Cham. doi 10.1007/978-3-319-60018-5_41
- Tang, K. S. (2015). *The PRO instructional strategy in the construction of scientific explanations*. Teaching Science, 61(4), 14-21.
- _____. (2016). Constructing scientific explanations through premise-reasoning-outcome (PRO): an exploratory study to scaffold students in structuring written explanations. *International Journal of Science Education*, 38(9), 1415-1440. doi: 10.1080/09500693.2016.1192309
- van de Pol, J., Volman, M., & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher-student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271-296. Doi: 10.1007/s10648-010-9127-6
- Yao, J. X., & Guo, Y. Y. (2018). Validity evidence for a learning progression of scientific explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(2), 299-317. doi: 10.1002/tea.21420
- Zangori, L. y Forbes, C. T. (2013). Preservice elementary teachers and explanation construction: knowledge-for-practice and knowledge-in-practice. *Science Education*, 97(2), 310-330. doi: 10.1002/sce.21052
- Zohar, A. (2006). El pensamiento de orden superior en las clases de ciencias: Objetivos, medios y resultados de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 157-172. Recuperado desde: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/75823/96327>

ANEXOS

ANEXO 1

Ejemplo de retiro de andamios, en el que se observa progreso de un estudiante al explicar un fenómeno natural en una situación de la vida diaria (los comentarios realizados por el maestro fueron borrados para no interferir en la lectura del producto del estudiante).

Situación de la vida diaria para la situación 3: El corte de luz

“En el negocio de la esquina Ema tiene un freezer donde guarda helados. Un día cesó el suministro eléctrico. Durante tres días Ema se vio obligada a mantener cerrado el negocio.

Al restablecerse el suministro eléctrico, Ema reabrió su tienda. Sin embargo, el olor que salía del freezer era insoportable y tuvo que botar todos los helados”.

Figura 1. Ejemplo construcción de explicación con andamio, situación 3

¿Qué ocurrió con los alimentos en el freezer?	¿por que piensan qué pasó?
<p><i>Se descompusieron sin luz</i></p> <p><i>y electricidad eléctrica</i></p>	<p><i>porque sin luz o electricidad</i></p> <p><i>todos los alimentos se estaban a perder</i></p>
<p><i>Se descompusieron</i></p>	
¿Qué evidencias existen que permiten fundamentar lo que pasó?	
<p><i>Que se cortó la luz por 3 días y por eso</i></p> <p><i>se pusieron malos</i></p>	

Situación de la vida diaria para la situación 4: La encomienda de la abuela

“La abuela de Fabiola vive en el sur y hace ricas galletas y jarabe de frambuesas. Fabiola tiene cumpleaños en enero y la abuela siempre le envía una encomienda con cosas ricas por bus. Dos días completos se demora la llegada de la encomienda. Esta vez la botella de jarabe se rompió y se derramó sobre los demás alimentos. La encomienda llegó manchada y los alimentos con mal olor.”

Figura 2. Ejemplo construcción de explicación con andamio, situación 4

Redacta ahora una explicación de por qué Ema tuvo que botar los alimentos.
Recuerda escribir qué pasó, por qué crees que pasó y las evidencias que existen para fundamentar lo que pasó.

los alimentos se descompusieron en el horno por el tiempo
for que 2 días los alimentos se pudieron, yo creo que
las temperaturas eran altas y por el calor se multiplicaron microorganismos
Cuando el jarabe se descompuso permitió humedad, otro punto
en donde seieron microorganismos. Se reprodujeron y
crecieron permitiendo que aguas más.

ANEXO 2

Se presenta como ejemplo la estructura de retiro de apoyo en el cual disminuyen tanto apoyos de contenidos como genéricos. Respecto de los apoyos de contenidos se mencionan los microorganismos en la instrucción de la explicación tres, en las siguientes fases no se mencionan. Respecto de los apoyos genéricos, se quita la estructura diagramada y, finalmente, el apoyo escrito acerca de qué incluye cada una de las partes de la explicación.

Situación 3: El corte de luz

Instrucción: Redacta ahora una explicación de por qué Ema tuvo que botar los alimentos en la que debes aplicar todo lo aprendido sobre microorganismos durante las clases.

Figura 3. Ejemplo de andamio con retiro gradual, situación 3

¿Qué ocurrió con los alimentos en el freezer?	¿Por qué piensas que pasó?
¿Qué evidencias existen que permiten fundamentar lo que pasó?	

Situación 4: La encomienda de la abuela

Instrucción: Redacta ahora una explicación de por qué Ema tuvo que botar los alimentos. Recuerda escribir qué pasó, por qué crees que pasó y las evidencias que existen para fundamentar lo que pasó.

Situación 5: El barco fantasma

Redacta ahora una explicación de por qué los alimentos del barco encontrado se pudrieron.
