

Desarrollo de la competencia científica a través de la planificación de investigaciones en el laboratorio de química

Crujeiras Pérez, B., y Jiménez Aleixandre, M. P.

Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais. Universidade de Santiago de Compostela.

beatriz.crujeiras@usc.es

Simposio: Competencias y prácticas científicas en secundaria y bachillerato

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es examinar la planificación de una investigación en el laboratorio de química por parte de alumnado de secundaria para resolver un problema auténtico. La actividad se realiza en 3º de ESO (N=21) en un centro rural. Se analizan las operaciones llevadas a cabo por el alumnado durante la planificación de la investigación, relacionadas con el desarrollo de la competencia científica y las destrezas de indagación.

Palabras clave

Indagación, competencia científica, prácticas científicas, laboratorio

MARCO TEÓRICO Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo examina el desarrollo de la competencia científica a través de la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas (NRC, 2012), en particular en la práctica de planificación y puesta en práctica de investigaciones en el laboratorio de química.

El aprendizaje de las ciencias se considera un proceso de socialización dentro de la cultura científica (Driver, Newton & Osborne; 2000) e implica la participación de los estudiantes en las prácticas características de la comunidad científica (Kelly, 2008a).

Las prácticas utilizadas para establecer, extender y refinar el conocimiento son consideradas como prácticas científicas. La noción de *práctica* deriva de la concepción de la ciencia no solo como un conjunto de procesos sino también como producto de la interacción social y el discurso que acompaña la construcción del conocimiento científico (Reiser, Berland, & Renyon, 2012). Según el documento del NRC (2012), la participación del alumnado en las prácticas científicas ayuda a comprender como se construye el conocimiento y les proporciona una comprensión de la gran variedad de métodos utilizados para investigar, modelar y explicar el mundo.

Kelly (2008a) sugiere la necesidad de incluir el desarrollo de las prácticas científicas como uno de los objetivos en la enseñanza de las ciencias. Esta sugerencia se fundamenta en estudios que documentan que la comprensión de la ciencia en profundidad y la competencia de los estudiantes para llevar a cabo investigaciones científicas requiere que comprendan las prácticas específicas de las disciplinas científicas (e.g. Driver, Newton & Osborne, 2000; Sandoval & Morrison, 2003; Sandoval & Reiser, 2004). Como indica el documento NRC (2012), los estudiantes no

pueden comprender las prácticas científicas ni entender la naturaleza del conocimiento científico sin experimentarlas directamente.

La participación en la práctica de *planificación y puesta en práctica de investigaciones* requiere que el alumnado establezca el objetivo de la investigación, prediga resultados y planifique las acciones que proporcionarán los mejores datos para responder a la pregunta y que servirán para justificar las conclusiones. El objetivo del diseño de las investigaciones es generar datos para responder a las preguntas y que puedan constituir las conclusiones sobre un fenómeno determinado.

La participación del alumnado en las prácticas científicas no aparece de forma explícita como contenido en los documentos curriculares europeos, los cuales se centran en la adquisición de competencias, pero ambas nociones guardan cierta relación (Jiménez Aleixandre, 2014). Esta autora propone que existe una correspondencia entre el énfasis en las prácticas epistémicas de construcción, evaluación y comunicación del conocimiento y la atención curricular a las competencias científicas. Esta correspondencia no es una equivalencia: la competencia en explicar fenómenos científicos está estrechamente relacionada con la construcción del conocimiento, la competencia en usar pruebas está relacionada con la evaluación del conocimiento y la competencia en identificar cuestiones científicas se relaciona con las tres prácticas de construir, evaluar y comunicar conocimientos.

Esta comunicación se centra en la competencia en identificar cuestiones científicas, que implica según PISA (OECD, 2007), reconocer cuestiones susceptibles de ser investigadas científicamente, identificar términos clave para la búsqueda de información científica y reconocer los rasgos clave de la investigación científica. Esta competencia está relacionada con la indagación científica, definida como: “*Las diversas formas en las que los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en las pruebas derivadas de su trabajo*” (NRC, 1996).

La enseñanza de las ciencias a través de la indagación implica proporcionar a los estudiantes diversas oportunidades para comprender y desarrollar las destrezas de la indagación científica a la vez que aprenden los contenidos de ciencias (Bybee, 2000). Este enfoque está considerado, tanto por la comunidad científica internacional como por las autoridades de la unión europea, como un aspecto de gran importancia para alcanzar la alfabetización científica.

Los procesos de indagación implican operaciones características como la observación, establecimiento de preguntas, planificación de investigaciones, o uso de herramientas para recoger, analizar e interpretar datos, la propuesta de respuestas, explicaciones y predicciones y la comunicación de resultados (NRC, 1996).

Para que el alumnado participe en los procesos mencionados, necesita desarrollar una serie de destrezas (NRC, 1996), por ejemplo identificar las preguntas y conceptos que guían las investigaciones científicas, diseñar e implementar investigaciones científicas, formular y revisar explicaciones científicas y modelos utilizando la lógica y las pruebas, reconocer y analizar explicaciones y modelos alternativos, o comunicar y defender un argumento científico. Estas destrezas, que coinciden con algunas operaciones de la competencia científica, se denominan *destrezas de indagación*.

Consideramos que las actividades de laboratorio constituyen un recurso adecuado para que el alumnado lleve a cabo las operaciones características de la indagación científica. Este tipo de actividades constituyen una parte central de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias ya que, cuando están diseñadas como indagaciones, requieren que el alumnado utilice el conocimiento teórico para resolver problemas prácticos.

En resumen, las actividades de laboratorio en las que el alumnado tiene que planificar como resolverlas permiten el desarrollo de la competencia en identificar cuestiones científicas, la práctica científica de planificación y puesta en práctica de investigaciones a la vez que ponen en práctica las destrezas de indagación.

El objetivo de esta comunicación es examinar como el alumnado de secundaria planifica una investigación en el laboratorio de química para resolver un problema auténtico (Autora 2, 2010).

METODOLOGÍA

La metodología que se utiliza en este estudio es de tipo cualitativo, y se enmarca dentro de los estudios múltiples de caso, que se considera adecuada para explorar la complejidad del proceso de aprendizaje en una situación de aula o de laboratorio (Wolcott, 1992). Este estudio utiliza herramientas metodológicas de análisis del discurso. Coincidimos con Wickman y Östman (2002) en considerar el aprendizaje como procesos discursivos de construcción de significados, eligiendo como unidad de análisis las acciones (incluyendo las conversaciones). En este estudio se analiza el discurso del alumnado durante la realización de una actividad de indagación en el laboratorio, identificando los episodios en los que planifican la investigación a llevar a cabo para resolver la tarea.

Participantes y contexto

Los participantes son alumnado de 3º de ESO (N=21) de un centro educativo situado en una zona rural.

Para la toma de datos se grabaron las sesiones en audio y vídeo, posteriormente fueron transcritas, utilizando seudónimos para respetar la intimidad de estudiantes y profesores. Para el análisis de los datos se utilizaron las transcripciones, dividiendo los turnos en episodios en función de la cuestión discutida (Gee, 2005), y los productos escritos de los participantes, en particular el informe de la actividad de laboratorio.

Diseño de la tarea

La actividad objeto de estudio se denomina *El pedido roto*. Se diseñó para trabajar contenidos recogidos en los bloques de diversidad y estructura de la materia y naturaleza eléctrica de la materia de 3º de ESO.

La actividad requiere que el alumnado, trabajando en pequeños grupos de 3-4 estudiantes, separe e identifique las sustancias procedentes de un pedido que sufrió daños durante el transporte (Crujeiras, Gallástegui & Jiménez, 2013): las etiquetas identificativas aparecieron borradas y tres de los cinco recipientes rotos, por tanto las sustancias quedaron mezcladas entre sí.

La duración de la actividad es de dos sesiones de cincuenta minutos y para resolverla se requiere la planificación y puesta en práctica de un diseño experimental que recoja los procesos a llevar a cabo para identificar y separar las sustancias del pedido. Para poder planificar el diseño se proporciona una serie de información en el guión de la actividad: a) información sobre las sustancias; b) tipo de contenidos a utilizar para resolver la actividad ; c) un dato relacionado con la naturaleza de las sustancias del pedido; y d) datos de conductividad, solubilidad y propiedades magnéticas en función de la naturaleza de las sustancias.

La tarea consiste en la planificación de una investigación a lo largo de dos sesiones para separar e identificar las sustancias procedentes de un pedido a una empresa de productos químicos sufrió daños durante el transporte: las etiquetas identificativas de

cada frasco aparecieron borradas y tres de los cinco recipientes rotos, por tanto las sustancias quedaron mezcladas. Para poder planificar la investigación, el alumnado tiene que clasificar primero las sustancias del pedido en función de su naturaleza, es decir si están formadas por iones, por moléculas, por átomos en red o si son metales y después relacionar cada sustancia con sus propiedades (magnéticas, solubilidad y conductividad).

Esta actividad se divide en tres fases:

1. Clasificación de las sustancias del pedido en función de su naturaleza. En esta fase el alumnado en grupo tiene que utilizar el conocimiento sobre la naturaleza de las sustancias para clasificarlas en los grupos descritos, es decir, saber qué sustancias del pedido (NaCl , $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, S_8 , $\text{C}_{(\text{grafito})}$ y Fe) son metales y cuales están formadas por iones, por moléculas o por redes de átomos. Esta fase es imprescindible para poder realizar la planificación de forma adecuada ya que para poder utilizar los criterios de separación e identificación necesitan conocer primero la naturaleza de las sustancias.
2. Planificación de la investigación. El alumnado, después de clasificar las sustancias tiene que utilizar la información sobre sus propiedades proporcionada en el guión para planificar como separar (las que se mezclaron) e identificar las sustancias del pedido. Una posible planificación que tomamos como referencia es la siguiente:

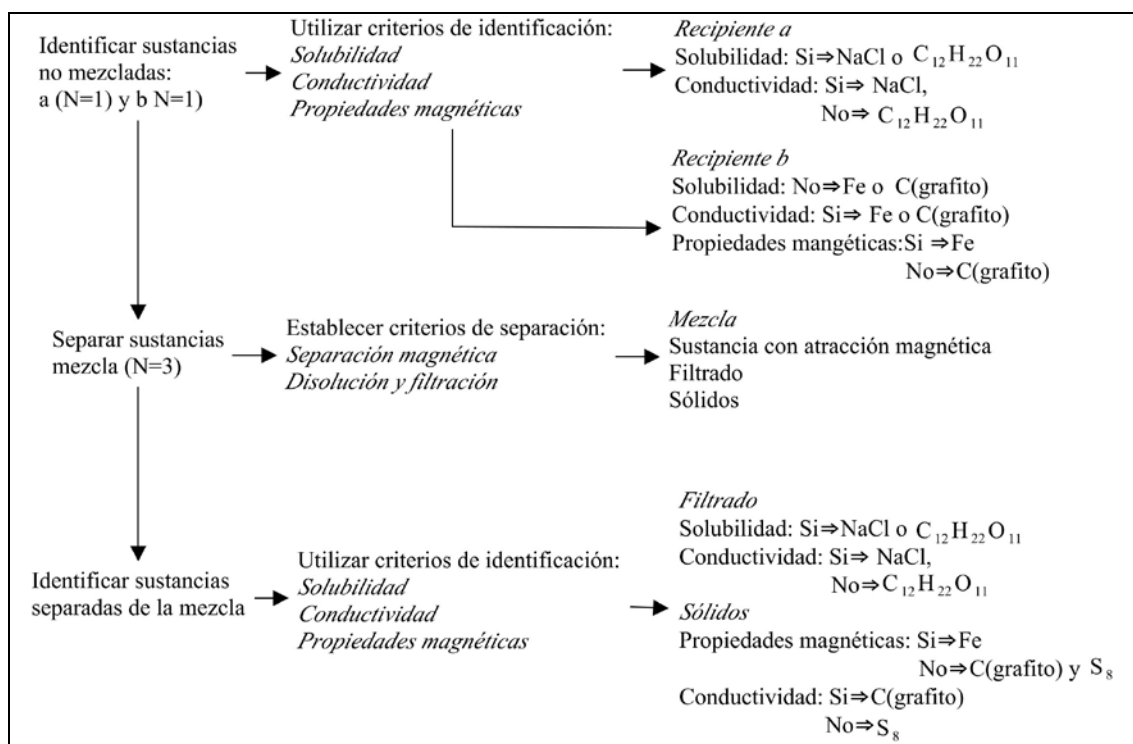


Figura 1: Planificación de la investigación

La planificación de la investigación implica que el alumnado elabore un procedimiento a seguir para la resolución de la actividad que implica las tres operaciones detalladas en la figura anterior: identificar las sustancias que contienen los recipientes que no se mezclaron durante el transporte, separar las sustancias mezcladas e identificar las sustancias separadas de la mezcla. Para esto el alumnado tiene que utilizar los criterios de identificación de sustancias proporcionados en el guión de la tarea y establecer los criterios de separación de las sustancias mezcladas.

3. Puesta en práctica de la investigación. Una vez realizado el diseño, el alumnado tiene que poner en práctica la planificación de la investigación para recuperar el pedido.

En este trabajo nos centramos en las parte de clasificación y planificación de la investigación. En esta parte los aspectos de la competencia científica que esta actividad contribuye a desarrollar son la identificación de la cuestión a investigar, la identificación de las magnitudes y/o variables a medir u observar (conductividad, solubilidad, propiedades magnéticas) y el diseño de la investigación de forma que permita resolver la cuestión.

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Para el análisis elaboramos una rúbrica en interacción con los datos (transcripciones de las grabaciones de audio y vídeo) en la que se recogen las operaciones llevadas a cabo por cada pequeño grupo de estudiantes durante la planificación de la investigación. Las categorías que constituyen la rúbrica se describen a continuación:

Operación	Descripción: turnos en los que el alumnado
Identificación/ reformulación del objetivo de la tarea	Reconoce lo que tiene que hacer en la tarea o considera el objetivo desde otro punto de vista
Clasificación	Ordena las sustancias del pedido en función de su naturaleza (iónica, molecular, metálica o red de átomos)
Propuesta de procedimiento	Indica como llevar a cabo a investigación
Propuesta de criterios de separación	Indica como separar las sustancias de la mezcla
Propuesta de criterios de identificación	Indica como identificar las sustancias en función de sus propiedades (solubilidad, conductividad, propiedades magnéticas)
Propuesta de criterio de reproducibilidad	Establece criterios que permitan comprobar los resultados del experimento para que este sea reproducible
Explicación científica	Expone las causas o razones de un concepto científico, mecanismo o procedimiento
Definición	Define conceptos que necesitan utilizar para clasificar e identificar las sustancias
Discusión de la propuesta de planificación	Comenta entre sí o con el profesor los distintos puntos que incluyeron en la planificación
Redacción de la propuesta de diseño	Escribe la planificación acordada en el grupo

Tabla 1. Operaciones realizadas durante la planificación de la investigación

Los resultados de este trabajo se presentan en función del número de episodios y del tiempo total que el alumnado dedica a cada operación. Un ejemplo, correspondiente al grupo O (N=5), se muestra en la tabla 2.

Operaciones	Nepisodios	tiempo (min)
Identificación/reformulación del objetivo de la tarea	5	1.00
Clasificación	10	4.93
Propuesta de procedimiento	9	6.13
Propuesta de criterios de separación	1	0.30
Propuesta de criterios de identificación	7	5.91
Propuesta de criterio de reproducibilidad	1	0.10
Explicación científica	1	0.28
Definición científica	3	1.36
Discusión de la propuesta de planificación	1	1.80
Redacción de la propuesta de planificación	1	4.21
Total		26.01

Tabla 2. Operaciones llevadas a cabo por el grupo O

Las operaciones más abundantes en esta fase son la clasificación de las sustancias del pedido en función de su naturaleza (10 episodios), la propuesta de procedimiento (9 episodios) y la propuesta de criterios de identificación (7 episodios). La operación a la que dedican más tiempo es la propuesta de procedimiento (6.13 minutos), seguida de la propuesta de criterios de identificación (5, 91 minutos).

Cabe destacar que el tiempo total dedicado a las operaciones de planificación es solamente 26.01 minutos de 65 que dura la fase de planificación, que representa el 40% del tiempo. En la figura 2 se representa el cronograma correspondiente a las operaciones más relevantes realizadas por el alumnado y el momento de la sesión (minutos) en el que aparecen.

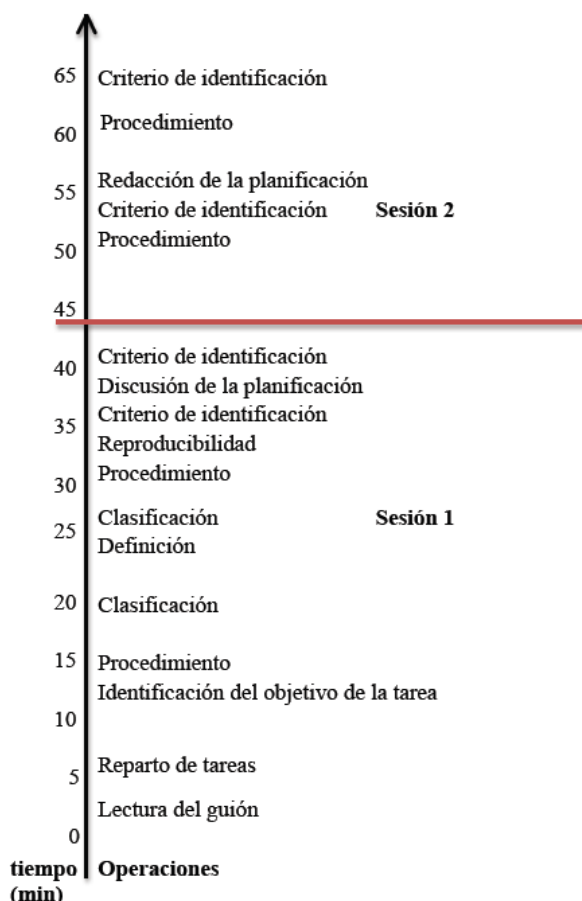


Figura 2: Cronograma de las operaciones realizadas por el grupo O durante la planificación de la actividad.

Como se observa en la figura, el alumnado no identifica el objetivo de la tarea hasta el minuto 12 de la sesión, hasta ese momento se dedica a leer el guión de la actividad y a repartirse las distintas tareas que se proponen en el guión. Identificado el objetivo, proponen un procedimiento de separación de las sustancias de la mezcla antes de clasificarlas en función de su naturaleza, operación indispensable para poder aplicar los criterios de identificación de las sustancias de forma adecuada. Durante la clasificación el alumnado lleva a cabo otras operaciones como la explicación científica, la definición o la ejemplificación. Consideramos que esto es debido a que esta parte de la actividad es la que más aplicación de conocimiento teórico implica. Un ejemplo es el siguiente:

Turno y alumna	Transcripción	Operación
70 Ofelia	<i>A ver, el otro día [el profesor] explicó lo de la regla esa tal, pero no dijo...</i>	Recurre a conocimiento previo
71 Olga	<i>Pero es que no dijo en que se diferenciaban, en esto</i>	
72 Ofelia	<i>A ver, yo que sé... una sustancia</i>	
73 Olga	<i>En redes son cuando dos moléculas se unen</i>	Explicación
74 Ofelia	<i>Están ordenados y no acaban</i>	Completa la explicación
75 Olga	<i>Claro, ¿y cuáles no acaban?</i>	
76 Ofelia	<i>Las redes de aluminio</i>	Ejemplificación
77 Olivia	<i>Pero aquí no hay aluminio</i>	
78 Olga	<i>Pero hay hierro. Aluminio, hierro, es un metal</i>	Clasificación
79 Olaia	<i>Bueno, algo es algo</i>	
80 Olga	<i>No, pero entonces sería metálica</i>	Clasificación
81 Ofelia	<i>Lo voy a llamar [al profesor] para que venga para aquí, ¿donde está?</i>	

Este fragmento se corresponde con el primer episodio en el que el alumnado clasifica las sustancias en función de su naturaleza. Ofelia (70) empieza recordando que el profesor les explicó como hacerlo en clase. Olga (73) explica como identificar las redes de átomos, Ofelia (74) completa la explicación de Olga e indica un ejemplo de redes en el turno 76. Olga (80) clasifica el hierro como sustancia metálica. Al final del fragmento deciden llamar al profesor para que les ayude.

En cuanto al procedimiento a seguir, el alumnado, en un principio, no diferencia entre fases como en la planificación que proponemos de referencia (figura 1): identificar por un lado las sustancias no mezcladas, luego separar la mezcla e identificar las sustancias separadas. Lo que hacen es proponer criterios de separación e identificación para cada sustancia del pedido sin tener en cuenta las informaciones del guión en el que se explican las características de las sustancias mezcladas y las no mezcladas. Luego en el turno 286, que se corresponde con el minuto 38 deciden identificar primero los recipientes sin mezclar y luego separar e identificar la mezcla aunque en la planificación que redactan aparece al revés.

En cuanto a los criterios de identificación, el alumnado utiliza la información del guión para identificar cada sustancia, además propone criterios alternativos como el color que no serían válidos para resolver la tarea porque hay sustancias con colores similares (sacarosa y azúcar; grafito en polvo y hierro en polvo). Esta operación necesita también ayuda por parte del profesor ya que el alumnado no relaciona los criterios propuestos en el guión (en función de la naturaleza de las sustancias) con la clasificación realizada previamente.

En resumen, el alumnado no muestra dificultades para planificar el procedimiento de investigación, pero sí otras operaciones que implican la aplicación de conocimiento teórico como la clasificación de las sustancias y la propuesta de criterios de identificación, que en este caso son imprescindibles para la resolución adecuada de la tarea.

CONCLUSIONES

Este trabajo examina la planificación de una investigación por parte de alumnado de secundaria, en la que tiene que llevar a cabo diferentes tareas. Consideramos que este tipo de actividades en las que el alumnado tiene que planificar una investigación permiten desarrollar la competencia en identificar cuestiones científicas, pero necesitan mucho apoyo por parte del profesor. Coincidimos con Puntambekar y Kolodner (2005) en considerar que el alumnado necesita ayuda para comprender el problema a investigar y para aplicar el conocimiento trabajado en el aula a la

investigación. Para esto es necesario proporcionarle una serie de pautas que faciliten la elaboración del diseño.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto EDU-2012-38022-C02-01 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Al alumnado y profesorado que participó en el estudio.

BIBLIOGRAFÍA (Selección)

- Crujeiras B., Gallástegui, J.R., & Jiménez Aleixandre, M. P. (2013). Indagación en el laboratorio de química: secuencia de actividades en que alumnado de 3º y 4º de ESO diseñan experimentos. *Alambique: didáctica de las Ciencias Experimentales*, 74, 49-56.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23 (7), 5-12.
- Högström, P., Ottander, C. & Benckert, S. (2010). Lab work and learning in secondary school chemistry: the importance of teacher and student interaction. *Research in Science Education*, 40, 505-523.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2014). Determinism and Undetermination in Genetics: Implications for Students' Engagement in Argumentation and Epistemic Practices. *Science & Education*, 23, 465-484.
- Kelly, G. J. (2008a). Inquiry, activity and epistemic practice. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.). *Teaching Scientific Inquiry*. Rotterdam: Sense Publishers, pp.99-117.
- National Research Council (NRC) (2012). A framework for K12 Science Education: practices, crosscutting concepts and core ideas. Washington DC: National Academy Press.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academies Press.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2007). PISA 2006. Science competencies for tomorrow's world. Volumen 1. Paris: Autor.
- Puntambekar, S., & Kolodner, J. K. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: helping students learn science from design. *Journal of research in science teaching*, 42(2), 185-271.
- Reiser, B. J., Berland, L. K., & Kenyon, L. (2012). Engaging Students in Scientific Practices of Explanation and Argumentation. *Science and Children*, 49(8), 8-13.
- Sandoval, W. A., & Morrison, K. (2003). High School Students' Ideas about Theories and Theory Change after a Biological Inquiry Unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 369-392.
- Sandoval, W. A., & Reiser, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 345-372.