

Actividades para desarrollar el conocimiento epistémico y el pensamiento crítico a través de la indagación científica en el laboratorio escolar

Leticia González Rodríguez 

Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela. España.

leticia.gonzalez.rodriguez@rai.usc.es

Beatriz Crujeiras-Pérez 

Dpto. Didácticas Aplicadas. Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España. beatriz.crujeiras@usc.es

[Recibido: 2 octubre 2023, Revisado: 2 mayo 2024, Aceptado: 16 julio 2024]

Resumen: En este artículo se presenta el diseño de una secuencia de actividades sobre la estructura de la materia y reactividad química en el laboratorio utilizando el enfoque de enseñanza de las prácticas científicas, en particular la práctica de indagación. Se pone especial énfasis en el uso del conocimiento epistémico en esta práctica científica para conseguir que el alumnado aprenda química de forma significativa y coherente con cómo se construye el conocimiento científico, así como en el desarrollo del pensamiento crítico. La secuencia se diseña para ser implementada en la asignatura de Física y Química de 2º de ESO y que el alumnado trabaje en pequeños grupos de 3-4 estudiantes. De la implementación de la propuesta se puede extraer que el uso del conocimiento epistémico es complejo y solo se aprecia cuando se promueve de forma explícita a través de las preguntas incorporadas en el guion de las actividades o a través de intervenciones de la docente.

Palabras clave: Indagación científica; Conocimiento epistémico; Pensamiento crítico; Educación secundaria.

Activities for developing Epistemic knowledge and Critical Thinking through Scientific Inquiry in the school laboratory

Abstract: This article presents the design of a teaching sequence on the structure of matter and chemical reactivity in the laboratory following the approach of teaching science through scientific practices, in particular through scientific inquiry. Special emphasis is placed on the use of epistemic knowledge involved in this scientific practice to ensure that students learn Chemistry in a meaningful way that is consistent with how scientific knowledge is developed, and on the development of critical thinking. The sequence is designed to be implemented in the subject Physics and Chemistry for 8th graders (13-14 years old) and for students working in small groups. The implementation of this sequence in two classes suggests that using epistemic knowledge is complex for students and it is appreciated only when it is explicitly promoted through questions inserted in the handouts of the activities or prompted by the teacher through her interventions.

Keywords: Scientific Inquiry; Epistemic Knowledge; Critical Thinking; Secondary Education.

Para citar este artículo: González, L. y Crujeiras-Pérez, B. (2024) Actividades para desarrollar el conocimiento epistémico y el pensamiento crítico a través de la indagación científica en el laboratorio escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(3), 3201. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i3.3201

Introducción

Esta secuencia de actividades se fundamenta en el enfoque de enseñanza de las ciencias a través del desarrollo de las prácticas científicas (NRC, 2012), en la cual el alumnado

modeliza los procesos de construcción del conocimiento científico desde la ciencia escolar. La propuesta aborda la práctica científica de la indagación, así como el conocimiento epistémico que el alumnado necesita poner en juego para que sus desempeños sean adecuados según lo que se espera del enfoque de las prácticas científicas. En realidad, las prácticas científicas pueden entenderse como procedimientos epistémicos interdependientes para construir el conocimiento (Kite et al., 2021).

El conocimiento epistémico puede entenderse como aquel necesario para comprender cómo se sustentan las conclusiones científicas en pruebas y razonamientos, el uso de los modelos y sus límites o cómo afectan los errores en las medidas a la fiabilidad de una investigación científica (OECD, 2016). Es decir, la comprensión del papel de los constructos específicos y de las características esenciales de los procesos de construcción de conocimiento científico (Duschl, 2008), aspectos que forman parte de la naturaleza de la ciencia (García-Carmona, 2022).

Este conocimiento se manifiesta a través de las acciones, decisiones y razonamientos (Sandoval, 2014). Puede abordarse desde numerosas perspectivas y en didáctica de las ciencias existen tres: la disciplinar, la social y la personal (Kelly et al., 2012). En la secuencia diseñada se promueve el uso del conocimiento epistémico disciplinar y engloba todos los aspectos relacionados con cómo se emplea el conocimiento en la comunidad científica y sus características principales (Duschl, 1990; Kelly, 2008).

Promover el uso de este conocimiento en el alumnado mientras aprende ciencias a través del enfoque de las prácticas científicas es relevante, ya que se considera necesario para poder conseguir un aprendizaje significativo (Berland et al., 2016) y más productivo del conocimiento científico (Sandoval, 2005; Elby et al., 2016), así como una mejor comprensión de las ideas científicas (García-Carmona, 2022).

Existen estudios que señalan desempeños poco adecuados en relación con el uso del conocimiento epistémico cuando el alumnado aprende a través del enfoque de las prácticas científicas y que sugieren una inmersión más continuada del alumnado en el uso del conocimiento epistémico asociado a estas prácticas (Crujeiras-Pérez y Brocos, 2021; Casas-Quiroga y Crujeiras-Pérez, 2022; 2024). En esta propuesta se introduce al alumnado en el uso del conocimiento epistémico de forma progresiva a la vez que se aprende química a través de la práctica científica de indagación a lo largo de un curso académico.

Cabe señalar que además de la práctica de indagación, en la secuencia se promueve el desarrollo de la competencia STEM (Real Decreto 217/2022), tanto de la parte específica de ciencias como la parte tecnológica, ya que se incorporan los procesos de diseño, entendidos como las formas en las que el ser humano modifica su entorno para satisfacer mejor sus necesidades (Kangas y Seitamaa-Hakkarainen, 2018). Esta idea se aplica en ingeniería y tecnología en forma de los proyectos de diseño, los cuales se centran en experiencias prácticas del mundo real que permiten múltiples enfoques y soluciones (English, 2020). Esta parte tecnológica de la competencia STEM sería el equivalente a las prácticas de ingeniería de los documentos curriculares estadounidenses (NRC, 2013), ya que requieren desempeños similares en el alumnado, por ejemplo, la realización de proyectos, diseñando, fabricando y evaluando diferentes prototipos o modelos (RD 157/2022) sería el equivalente a la práctica de construir modelos y prototipos (Cunningham y Kelly, 2017).

Otro aspecto que se promueve desde el diseño de esta propuesta es el desarrollo del pensamiento crítico, que, además de constituir una de las finalidades de la educación

científica en la actualidad (Blanco López et al., 2017; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2022) está relacionado con el desarrollo de las prácticas científicas. Desarrollar este conocimiento implica pensar racionalmente para decidir lo que es creíble y lo que puede hacerse para resolver un problema (Norris y Ennis, 1989).

Las actividades que conforman la secuencia presentada en este artículo demandan la toma de decisiones sobre diversos aspectos, lo cual requiere poner en práctica determinadas destrezas y disposiciones de pensamiento crítico (Facione, 1990) como el análisis, la explicación, evaluación o sistematicidad entre otras, tal y como se describe en el siguiente apartado.

Diseño de la secuencia

La secuencia comprende cuatro actividades a realizar a lo largo de un curso escolar en la asignatura de Física y Química de 2º de ESO para ver la evolución en los desempeños del alumnado en la práctica científica de la indagación y en el uso del conocimiento epistémico. Las actividades tienen un enfoque de indagación guiada (Banchi y Bell, 2008) en la que el alumnado, en pequeños grupos, debe realizar el diseño del procedimiento para responder a las preguntas formuladas, tomar los datos necesarios, así como elaborar y comunicar las conclusiones obtenidas. La guía, por parte de la docente, consiste en la formulación de preguntas abiertas para conseguir que el alumnado lleve a cabo las operaciones de indagación necesarias para resolver las cuestiones planteadas, así como para que aplique los conocimientos científicos necesarios en cada caso y también para que haga uso del conocimiento epistémico a lo largo de todo el proceso.

Para realizar cada una de las cuatro actividades, que se desarrollan durante el curso escolar 2022/2023, se necesitan tres sesiones lectivas de 50 minutos. Todas ellas tienen la misma secuencia, la cual se describe la figura 1.

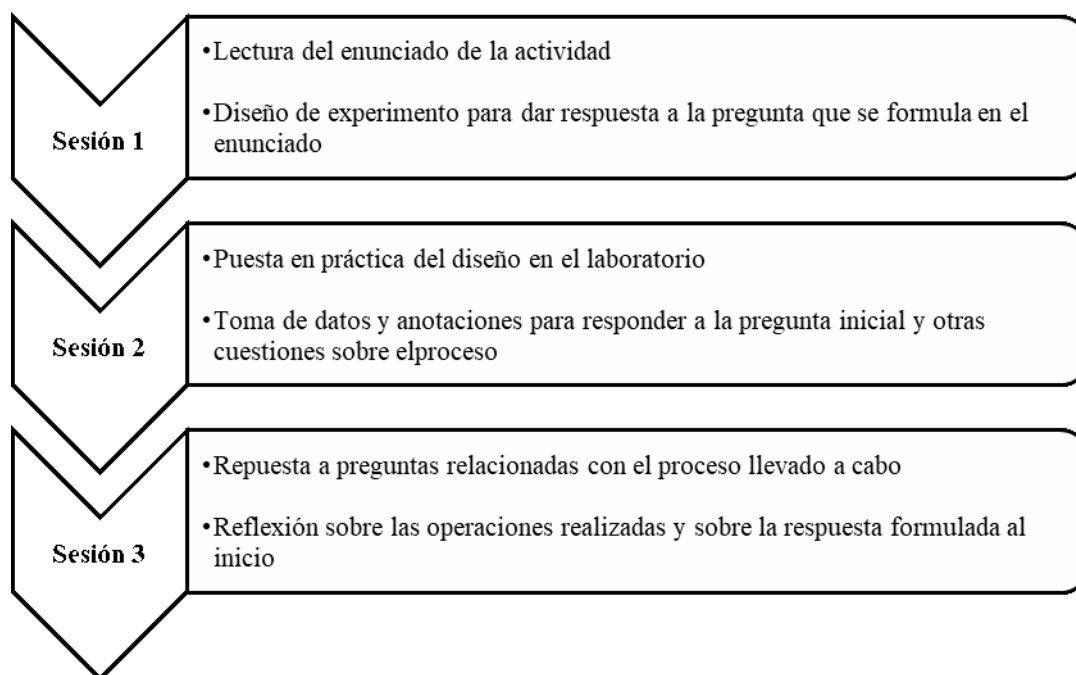


Figura 1. Descripción de la secuencia general de las actividades.

En todas las actividades se promueve el uso de determinados aspectos epistémicos característicos de las prácticas científicas e incluso algunos de las prácticas de ingeniería (NRC, 2012), especialmente en la actividad 3.

Todos estos aspectos se abordan a partir de las respuestas a determinadas preguntas que se proporcionan en el guion de cada actividad o a partir de determinadas reflexiones promovidas por la docente. Se diferencian dos tipos de conocimiento epistémico, las prácticas epistémicas (acciones) y el conocimiento epistémico disciplinar (determinados aspectos sobre la naturaleza de la indagación científica que el alumnado debería tener en cuenta a la hora de llevar a cabo las acciones).

Las prácticas epistémicas que se promueven en el conjunto de la secuencia son las siguientes:

- Planificar una investigación (NRC, 2013)
- Evaluar la precisión de varios métodos para tomar datos (NRC, 2013).
- Controlar variables (Sandoval y Reiser, 2004)
- Comunicar procedimientos científicos (NRC, 2000)
- Identificar pautas en conjuntos de datos (Sandoval et al., 2000)
- Identificar argumentos sustentados en pruebas (NRC, 2013)
- Construir argumentos basados en pruebas para sustentar una conclusión (NRC, 2013)
- Usar el pensamiento sistémico (Cunningham y Kelly, 2017)
- Identificar la mejor solución y planificar un prototipo detallado (NRC, 2013)
- Construir modelos y prototipos (Cunningham y Kelly, 2017)
- Tomar decisiones basadas en pruebas (Cunningham y Kelly, 2017)
- Persistir y aprender de los errores (Cunningham y Kelly, 2017)
- Comunicar de forma efectiva (Cunningham y Kelly, 2017)

En cuanto al conocimiento epistémico disciplinar, los aspectos que se abordan son:

- Un diseño de investigación debe ser detallado, preciso, factible, fiable y reproducible (Crujeiras-Pérez y Díaz-Moreno, 2022) y debe asegurarse que su implementación también lo sea (Barak et al., 2024).
- En ciencias es importante realizar una toma de datos de forma clara, honesta y precisa, así como la replicación de resultados para garantizar la credibilidad de una investigación (Georgia Department of Education, 2016).
- Es necesario identificar los errores en razonamientos basados en investigaciones poco diseñadas (hechos mezclados con opiniones, conclusiones basadas en pruebas insuficientes, etc.) para garantizar la fiabilidad de la investigación (Georgia Department of Education, 2016).
- Una conclusión debe responder a la pregunta formulada y estar sustentada en pruebas (Chen et al., 2016).

- Los modelos (diseño) se emplean para representar un sistema o partes de este que se está estudiando, para facilitar el desarrollo de preguntas y explicaciones, para obtener datos que puedan emplearse para elaborar predicciones y para comunicar ideas (NRC, 2013).
- Los científicos elaboran explicaciones empleando pruebas de sus investigaciones y lo que ya conocen sobre el mundo natural. Las buenas explicaciones están basadas en pruebas (NRC, 2000).
- Un buen argumento debe incluir los datos que pretenden explicar las conclusiones (Ryu y Sandoval, 2012).
- Los contraargumentos y las pruebas son fundamentales para examinar y evaluar una conclusión (con las pruebas para debilitarla, así como para sustentarla) (Sandoval, 2014).

A continuación, se detalla y describe de forma individual cada actividad señalando los contenidos curriculares que se abordan según el Real Decreto 217/2022, así como los aspectos epistémicos implicados y las destrezas de pensamiento crítico que estas demandan.

Cabe señalar que la secuencia implica el uso del laboratorio escolar y que se diseña para alumnado de 2º de ESO, primer curso en el que el alumnado se enfrenta a esta asignatura. Por tanto, antes de comenzar con su implementación, se familiariza al alumnado con aspectos básicos del trabajo en el laboratorio científico y las normas de uso de este para asegurarnos y proteger tanto la salud propia como comunitaria.

Actividad 1: Un ramo hermoso

En esta actividad se trabaja el contenido de la metodología propia de la investigación científica: elaboración de hipótesis y comprobación experimental de las mismas.

El alumnado tiene que comprobar la veracidad o falsedad de un mito como es la creencia de que si a las flores se les echa aspirina en el agua éstas se conservan durante más tiempo. Dado que se trata del primer contacto con la indagación científica se proporcionan tres opciones de procedimiento para que el alumnado las analice y seleccione la opción más adecuada acompañándola de su justificación correspondiente. Las opciones se diferencian en el nivel de precisión y detalle de los pasos a seguir, así como en el uso de la terminología científica y se describen en la figura 2.

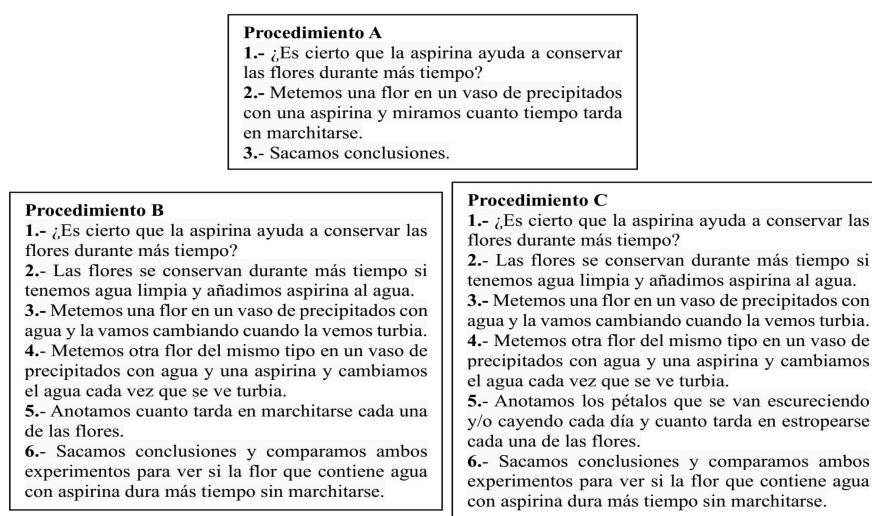


Figura 2. Opciones de procedimientos proporcionados al alumnado.

Además, se les proporciona un listado de materiales para que seleccionen los necesarios para poder realizar la actividad, con el fin de familiarizarse con sus nombres y utilidades. Una vez seleccionado y consensuado el diseño del procedimiento y el material a utilizar, se pone en práctica para obtener los datos que permitan responder a la pregunta inicial. Para concluir, se lleva a cabo una reflexión conjunta sobre la fiabilidad de los datos obtenidos y del proceso llevado a cabo.

Los aspectos epistémicos que se promueven en esta actividad se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Identificación de los aspectos epistémicos que se promueven desde el diseño de la actividad.

Pregunta para el alumnado	Práctica epistémica	Conocimiento disciplinar
Diseña un experimento siguiendo la metodología científica para comprobar si es cierto que la aspirina ayuda a conservar las flores. Para ayudarte proporcionamos varias opciones. Indica cual elegirías y por qué.	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar la precisión de varios métodos para tomar datos - Controlar variables 	<ul style="list-style-type: none"> - Un diseño de investigación debe ser detallado, preciso, factible, fiable y reproducible. - En ciencias es importante realizar una toma de datos de forma clara, honesta y precisa, así como la replicación de resultados para garantizar la credibilidad de una investigación.
Elabora un pequeño informe científico que recoja los datos y las observaciones realizadas para responder a la pregunta inicial	-Comunicar procedimientos científicos	---
¿Crees que los resultados que has obtenido son fiables? ¿Por qué?	- Identificar pautas en conjuntos de datos	Es necesario identificar los errores en razonamientos basados en investigaciones poco diseñadas para garantizar la fiabilidad de la investigación.
¿Por qué crees que debemos garantizar la fiabilidad de la investigación?	---	

Además del conocimiento epistémico se fomenta también el desarrollo de destrezas de pensamiento crítico (Facione, 1990), como el análisis, que está presente al examinar los resultados obtenidos en la experiencia para poder responder a la pregunta inicial. La evaluación, que se promueve al examinar la adecuación de la información proporcionada en cada diseño. También está presente la interpretación, al tener que comprender el significado de los resultados obtenidos para poder responder a la pregunta inicial y por último la explicación, al tener que elaborar el informe científico que dé cuenta de la investigación realizada.

Actividad 2: El misterio del agua

En esta actividad se trabaja el contenido de la teoría cinético-molecular: los estados de agregación y los cambios de estado. Para ello se le presenta al alumnado una situación cotidiana como es la evaporación del agua y se pide averiguar porque se evaporó en dos vasos con distinta forma que se encuentran a temperatura ambiente, tal y como se reproduce en el siguiente fragmento:



Figura 3. Fragmento del guion proporcionado al alumnado.

Para ello deben diseñar un experimento en el que se les indican las variables a medir (volumen y tiempo), tomar datos y calcular el volumen de agua evaporada. También deben analizar los datos obtenidos, razonar si son fiables o no y reflexionar sobre la necesidad de repetir medidas.

Finalmente se aborda cómo debe ser una conclusión adecuada en una investigación científica y para ello se presentan tres ejemplos de conclusiones de distinta calidad para que seleccionen la que consideran más adecuada justificando su respuesta. Con esto se pretende abordar la necesidad de que las conclusiones estén basadas en pruebas, para que, a partir de esto el alumnado elabore su conclusión para la investigación realizada.

En la tabla 2 se recogen las prácticas epistémicas y el conocimiento epistémico disciplinar que se promueven desde las preguntas que se formulan al alumnado en el guion de la actividad.

Tabla 2. Conocimiento epistémico que se promueve desde el diseño de la tarea 2.

Pregunta para el alumnado	Práctica epistémica	Conocimiento disciplinar
Para ayudar a estos dos hermanos debéis diseñar un experimento tal que midáis la cantidad de agua a los dos días, a los cuatro y a los seis días	-Planificar una investigación - Controlar variables	- Un diseño de investigación debe ser detallado, preciso, factible, fiable y reproducible
¿Son todos los datos válidos? ¿Por qué? ¿Debemos repetir alguna medida? ¿Por qué?	- Identificar pautas en conjuntos de datos	En ciencias es importante realizar una toma de datos de forma clara, honesta y precisa, así como la replicación de resultados para garantizar la credibilidad de una investigación.
¿Cómo crees que debe ser una conclusión para considerarla científicamente correcta? Indícalo de forma razonada	---	- Una conclusión debe responder a la pregunta formulada y estar sustentada en pruebas
A continuación, se presentan tres ejemplos de conclusiones de investigaciones científicas. Indica cual sería la más adecuada y utilízala como modelo para elaborar la conclusión de tu investigación	-Identificar argumentos sustentados en pruebas	
Elabora tu conclusión teniendo en cuenta el ejemplo del apartado anterior. ¿Crees que es correcta la conclusión que has elaborado? Justifica tu respuesta	-Construir argumentos basados en pruebas para sustentar una conclusión	
Analiza el resultado de la investigación: ¿es fiable?	-Construir argumentos basados en pruebas para sustentar una conclusión	-Es necesario identificar los errores en razonamientos basados en investigaciones poco diseñadas para garantizar la fiabilidad de la investigación.

En cuanto a las destrezas de pensamiento crítico, en esta actividad se fomenta la interpretación al comprender el significado de la información proporcionada e incorporar la necesaria en el diseño del experimento. También la explicación, al tener que elaborar el diseño del experimento que permita investigar la cuestión presentada; el análisis, al examinar los resultados obtenidos para elaborar la conclusión que responda a la pregunta, la inferencia al tener que interpretar los resultados para poder elaborar la conclusión o la evaluación al examinar la adecuación de la información proporcionada en cada ejemplo de conclusión.

Actividad 3: El viaje árido

En esta actividad se trabaja el contenido de mezclas, mezclas de especial interés y técnicas de separación de mezclas. Está contextualizada en un viaje a una isla como parte de las vacaciones de verano en la que se observa un ambiente más seco y una escasez de agua. Por tanto, se pide al alumnado que diseñe y construya un dispositivo para obtener agua dulce a partir de agua salada, tal y como se reproduce en la figura 4.

Como todos los veranos vais a la costa de vacaciones y este año os habéis fijado en que todo está más árido, más seco y que escasea el agua donde antes había para un consumo moderado.

Aprovechando vuestros conocimientos de técnicas de separación de mezclas, diseñad un dispositivo para obtener agua dulce a partir de agua salada, que sea apta para el consumo.



Figura 4. Fragmento del guion proporcionado al alumnado

Se comienza con la identificación del reto y de los posibles problemas a través del análisis del contexto presentado. A continuación, el alumnado tiene que elaborar un diseño del posible dispositivo. A partir del diseño debe construirse el prototipo, testarlo y revisarlo aportando las posibles mejoras que se pueden realizar, revisar el diseño, reconstruir el prototipo y finalmente explicar cómo el dispositivo creado se utilizaría para resolver el reto presentado en el contexto de la actividad. A lo largo de estas tareas, el alumnado lleva a cabo las operaciones características de los proyectos de diseño señaladas por English (2020) (identificar el alcance del problema, generar ideas y planificar, diseñar, construir, testar, reflexionar sobre los resultados, rediseñar, reconstruir, reflexionar y comunicar). A su vez, se combina esta estrategia con la indagación científica, ya que, para diseñar el dispositivo en cuestión, el alumnado debe investigar también la influencia de las distintas implicadas en el proceso, controlarlas, tomar datos, interpretarlos y elaborar las conclusiones correspondientes.

En cuanto al conocimiento epistémico que se promueve, se resume en la tabla 3.

Tabla 3. Conocimiento epistémico que se promueve desde el diseño de la tarea 3.

Pregunta para el alumnado	Práctica epistémica	Conocimiento epistémico disciplinar
Elabora un diseño de cómo sería el dispositivo (dibujo)	<ul style="list-style-type: none"> -Usar el pensamiento sistémico -Identificar la mejor solución y planificar un prototipo detallado - Controlar variables 	<ul style="list-style-type: none"> - Los modelos (diseño) se emplean para representar un sistema o partes de este que se está estudiando, para facilitar el desarrollo de preguntas y explicaciones, para obtener datos que puedan emplearse para elaborar predicciones y para comunicar ideas - Un diseño de investigación debe ser detallado, preciso, factible, fiable y reproducible.
A partir del diseño anterior construye un prototipo y prueba si funciona	<ul style="list-style-type: none"> -Construir modelos y prototipos - Controlar variables 	En ciencias es importante realizar una toma de datos de forma clara, honesta y precisa, así como la replicación de resultados para garantizar la credibilidad de una investigación.
Una vez construido y puesto a prueba el prototipo revisalo y modifícalo para mejorarlo. Indica las modificaciones realizadas	<ul style="list-style-type: none"> -Tomar decisiones basadas en pruebas - Persistir y aprender de los errores 	
Explica cómo se utilizaría el prototipo para el fin para el cual fue diseñado (obtener agua dulce para el consumo)	-Comunicar de forma efectiva	- Los científicos elaboran explicaciones empleando pruebas de sus investigaciones y lo que ya conocen sobre el mundo natural. Las buenas explicaciones están basadas en pruebas


En este caso, las destrezas de pensamiento crítico que se promueven desde el diseño de la actividad son la de interpretación, al tener que comprender la información proporcionada en el enunciado y aplicarla en el diseño del dispositivo; la explicación, tanto al elaborar y plasmar por escrito el diseño del dispositivo como en la fase de mejora del prototipo o al describir su funcionamiento y su utilidad. Otras destrezas también presentes son la de análisis al examinar el funcionamiento del prototipo para decidir si es necesario mejorarlo o no; la inferencia en la fase de testado del prototipo al interpretar las observaciones obtenidas; o la de evaluación al examinar el resultado del testado del prototipo y en la selección de mejoras a realizar.

Actividad 4: Bebe el zumo que se pierde la vitamina C

Con esta actividad se abordan los contenidos de los sistemas materiales: análisis de los diferentes tipos de cambios que experimentan relacionando las causas que los producen con las consecuencias que tienen. Además, también se trabaja la interpretación microscópica y macroscópica de las reacciones químicas: explicación de la relación de la química con el ambiente, con la tecnología y la sociedad.

La propuesta es una adaptación de otra diseñada por las autoras (González Rodríguez y Crujeiras-Pérez, 2016) y consiste en comprobar si es cierto que si no bebemos el zumo recién exprimido no se ingiere la vitamina C. Para ello el alumnado debe diseñar un experimento para comprobar la veracidad o falsedad de esta creencia. Para ayudar al alumnado en el diseño se le proporciona una serie de información relevante la reactividad implicada, la coloración indicativa del cambio químico en cuestión y la disolución indicadora ya preparada por la dificultad que supone para ellos averiguar las cantidades utilizadas para prepararla, debido a que en este curso no tienen conocimiento sobre estequiometría. Esta información se reproduce en el siguiente fragmento:

¡BEBE EL ZUMO QUE SE PIERDE LA VITAMINA C!



¿Cuántas veces te dijeron esto por las mañanas? Muchas, ¿verdad?

Es que existe la creencia de que si no tomamos el zumo recién exprimido no ingerimos la vitamina C que contiene.

Pues bien, para comprobarlo realizaremos una actividad sencilla de laboratorio

Información

El yodo reacciona con las sustancias que contienen almidón, a través de la siguiente reacción:

Yodo + **Almidón** → **Compuesto (yodo-almidón)**

(rojo) **(azul-violáceo)**

El yodo es de color rojo cuando se encuentra en disolución y si se une a un compuesto de almidón, forma otro compuesto diferente de color azul-violáceo.

En nuestro caso para comprobar si el zumo contiene o no vitamina C, podemos utilizar los mismos reactivos que en el caso anterior. Al añadir el zumo de naranja al compuesto (yodo-almidón) si este contiene vitamina C, se perderá la coloración de dicho compuesto.

Compuesto (yodo-almidón) + **Vitamina C** → **Disolución**

(azul-violáceo) **(transparente)**

Figura 5. Fragmento del guion proporcionado al alumnado.

Después del diseño, se lleva a cabo una puesta en común de las diferentes propuestas. Una vez evaluada la viabilidad de los diferentes procedimientos y llegar a un consenso grupal de cuál será el más adecuado, se pone en práctica, se toman datos, se interpretan y se elaboran las diferentes conclusiones. Además, para elaborar las conclusiones se debe analizar la fiabilidad de la investigación, la validez de los datos tomados y si es necesario repetir alguna medida, así como la necesidad de ser sistemático a la hora de realizar la investigación.

En esta actividad el conocimiento epistémico que se pone en juego se describe en la tabla 4.

Tabla 4. Conocimiento epistémico que se promueve desde el diseño de la tarea 4.

Pregunta para el alumnado	Práctica epistémica	Conocimiento disciplinar
Diseña un experimento que permita comprobar si es cierto que se pierde la vitamina C, si no se bebe el zumo recién exprimido. Para realizar el experimento hay que tener en cuenta que tendréis que usar naranjas, almidón de maíz y yodo en disolución.	-Planificar una investigación - Controlar variables	- Un diseño de investigación debe ser detallado, preciso, factible, fiable y reproducible
Puesta en común del diseño del experimento y comparativa con otros grupos. ¿Qué debéis mejorar para ajustarlo al adecuado?	- Evaluar la precisión de varios métodos para tomar datos - Comunicar de forma efectiva	En ciencias es importante realizar una toma de datos de forma clara, honesta y precisa, así como la replicación de resultados para garantizar la credibilidad de una investigación.
¿A qué conclusión llegáis?	- Construir argumentos basados en pruebas para sustentar una conclusión	- Una conclusión debe responder a la pregunta formulada y estar sustentada en pruebas
¿Por qué pensáis que existe esa creencia sobre el zumo de naranja?		- Los contraargumentos y las pruebas son fundamentales para examinar y evaluar una conclusión (con las pruebas para debilitarla, así como para sustentarla)
¿Qué le diríais a próxima vez a alguien que os diga eso? ¿Cómo la convenceríais de que eso no es cierto?		- Un buen argumento debe incluir los datos que pretenden explicar las conclusiones

En cuanto a las destrezas de pensamiento crítico, se promueven la interpretación, al tener que comprender la información proporcionada en el enunciado y aplicarla en el diseño de la investigación; la explicación, en la descripción del diseño de la investigación; la evaluación, al examinar la adecuación de los distintos diseños propuestos o al examinar los resultados de la investigación para establecer la conclusión que responda a la pregunta de investigación formulada. También la destreza de inferencia, que aparece cuando tienen que interpretar los resultados basándose en las observaciones realizadas; la de análisis en la puesta en común de los distintos diseños propuestos por cada pequeño grupo al examinar su descripción; o la autorregulación, presente en la fase de puesta en común al tener que seleccionar de forma consensuada un diseño para poner luego en práctica.

Evolución en los desempeños del alumnado a lo largo de la secuencia

Con esta propuesta se pretende examinar la evolución del alumnado en la práctica científica de indagación y en el uso del conocimiento epistémico implicado en el desarrollo de esta práctica. En la tabla 5 se resumen las demandas de cada actividad que nos permiten ver la posible evolución del alumnado.

Tabla 5. Evolución en términos de operaciones de indagación y de conocimiento epistémico

Actividad	Operaciones vinculadas con la indagación científica	Operaciones vinculadas con el uso del conocimiento epistémico
1	<ul style="list-style-type: none"> -Comprobar la veracidad de una hipótesis -Seleccionar la mejor propuesta de diseño y justificarla -Seleccionar el material a utilizar en la investigación de un listado predefinido -Poner en práctica el diseño -Tomar datos -Analizar los datos -Elaborar un informe científico 	<ul style="list-style-type: none"> -Reflexionar sobre la fiabilidad de la investigación realizada
2	<ul style="list-style-type: none"> -Encontrar la causa a un fenómeno observable (evaporación del agua) -Diseñar un experimento en el que se indican las variables a medir -Indicar el material necesario para realizar el experimento -Realizar cálculos sencillos (volumen de agua evaporada) -Tomar datos -Elaborar conclusiones de forma guiada 	<ul style="list-style-type: none"> - Analizar la validez de los datos tomados y la necesidad de repetir medidas - Analizar la idoneidad de una conclusión
3	<ul style="list-style-type: none"> -Encontrar solución a un problema cotidiano que requiere el control de x variables -Diseñar el experimento (dispositivo) a construir para investigar la cuestión -Tomar datos (observaciones) -Analizar datos (observaciones) -Elaborar conclusiones -Elaborar explicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> -Analizar la fiabilidad de la investigación -Analizar la viabilidad de las propuestas -Analizar la validez de los datos tomados y la necesidad de repetir medidas -Analizar la idoneidad de una conclusión/decisiones tomadas
4	<ul style="list-style-type: none"> Investigar la veracidad o no de una creencia popular que implica la modelización de un proceso químico -Diseñar el procedimiento a seguir para investigar la cuestión -Indicar el material necesario para realizar el experimento -Tomar datos (observaciones) -Analizar datos (observaciones) -Elaborar conclusiones 	<ul style="list-style-type: none"> -Evaluar la viabilidad de los diseños propuestos -Analizar la fiabilidad de la investigación -Examinar la validez de los datos tomados y si es necesario repetir alguna medida -Evaluar la idoneidad de la investigación -Reflexionar sobre la necesidad de ser sistemático a la hora de realizar la investigación

Como se describe en la tabla 5, la secuencia de actividades permite la evolución del alumnado en diversos aspectos. En primer lugar, existe una graduación de menor a mayor complejidad en las demandas de las actividades desde la pregunta de indagación que se formula, empezando por la comprobación de una hipótesis, continuando con la búsqueda de la causa a un fenómeno observable, pasando a la búsqueda de una solución a un problema que implica la construcción y testado de un dispositivo y finalizando con la investigación de la veracidad o no de una creencia popular para la cual se requiere la modelización de un proceso químico.

Otro aspecto en el que se puede medir la evolución del alumnado es en determinadas operaciones de indagación como el diseño de la investigación o la elaboración de conclusiones. En cuanto al diseño de la investigación, se empieza proporcionando al alumnado ejemplos de distintos diseños para que los analicen y seleccionen el que consideran el más adecuado, se continúa con el diseño de un procedimiento en el que se indican las variables a medir, después se requiere el diseño de un dispositivo que implica además de la selección de determinadas variables y su control, el conocimiento de determinadas técnicas de separación de mezclas. Para finalizar, se solicita al alumnado el diseño del procedimiento a seguir para investigar una creencia popular para la cual se necesita modelizar un proceso químico.

En relación con la operación de elaboración de conclusiones, en la primera actividad no se pide al alumnado que elabore una conclusión, sino que simplemente responda a la pregunta de investigación. En la actividad 2 el alumnado primero evalúa distintos ejemplos de conclusiones relativas a otras investigaciones en función de su adecuación y a continuación se le pide elaborar la conclusión de su actividad. En la siguiente actividad el alumnado debe elaborar una explicación en base a pruebas sobre el funcionamiento del dispositivo construido y en la última actividad debe elaborar una conclusión en base a las pruebas obtenidas en la modelización del proceso químico.

Además de esto, se puede medir la evolución en el uso del conocimiento epistémico relacionado con la práctica de indagación, ya que se introducen diversos aspectos de forma progresiva, de manera que el alumnado puede ir incorporando el conocimiento aprendido en una actividad a la siguiente. También se puede destacar a nivel de progreso el número creciente de aspectos epistémicos que se le demandan al alumnado en cada actividad, pasando de un único aspecto concreto en la actividad 1 a cinco diferentes en la actividad 4.

Algunos resultados derivados de la implementación

En la experiencia participan dos clases de 2º de ESO de un IES rural de la provincia de Lugo: una de veinte estudiantes y otra de quince. Todas las actividades se realizan en grupos de cuatro y tres alumnos y alumnas, respectivamente.

La secuencia de actividades fue implementada por la primera autora, la cual era la docente de la asignatura, introduciendo las actividades de menor a mayor dificultad y coincidiendo en todo momento con los contenidos que estaban previstos trabajar en la programación didáctica elaborada en el departamento de Física y Química del centro. Cabe señalar que los participantes no trabajaron previamente cuestiones explícitas sobre las prácticas científicas y conocimiento epistémico, sino que se abordaron en conjunto con la realización de las actividades de la propia secuencia a través de la respuesta a determinadas preguntas de las actividades que incitan a la reflexión sobre algunos aspectos o también a partir de las reflexiones promovidas por la docente. A continuación, se comentan los

aspectos más destacados del desempeño de los estudiantes durante la implementación de la secuencia.

En primer lugar, en lo relativo a la actividad 1, comprendieron bien la información que se proporcionaba en el contexto y el propósito de la investigación, es decir, lo que tenían que hacer, pero les costó justificar la elección del diseño del experimento, probablemente por la falta de conocimiento epistémico. Además, durante la toma de datos tuvieron dudas acerca de cómo debe llevarse a cabo o si sus acciones son adecuadas, debido a su falta de experiencia en la realización de actividades experimentales. En cuanto al análisis de datos, el alumnado no presentó problemas, pero no lo conectó con la justificación para saber si la investigación es fiable o no, lo que pone de manifiesto de nuevo sus carencias en el uso del conocimiento epistémico. Por otro lado, estos resultados eran esperados, ya que se trataba del primer contacto del alumnado con la indagación científica.

En cuanto a la actividad 2, les costaba comprender lo que se pedía en la actividad, sobre todo no identificaban la conexión de la forma de los vasos con el fenómeno de la evaporación del agua. Muchos grupos no usaron material de medida del volumen exacto (como puede ser la probeta), por lo que el cálculo del agua evaporada fue bastante inexacto. Pero, a pesar de esto, la mayoría tuvo en cuenta este error cuando se le preguntó acerca de los aspectos a mejorar para que la investigación fuese más fiable, así como y la necesidad de solventarlo en sucesivas investigaciones. Esto demuestra que el alumnado empieza a tener en cuenta algún aspecto epistémico en sus desempeños de indagación. Por último, el alumnado presentó problemas para evaluar la adecuación de las conclusiones presentadas, ya que no tenían conocimiento sobre argumentación y uso de pruebas, por lo que se aprovechó esta actividad para introducir estos aspectos.

En lo referente a la actividad 3, el alumnado presentó dificultades en el diseño del dispositivo ya que, todos los grupos fueron capaces de planificar el proceso a llevar a cabo con el dispositivo, la separación de la sal del agua, pero no de cómo recoger el agua dulce después de esta separación. Por lo que, se dejó más tiempo entre ambas sesiones y se les permitió que lo terminasen en sus casas. En este aspecto, en un grupo se presentó una discrepancia en el diseño del dispositivo entre sus integrantes y como ambos justificaron razonadamente su diseño se les permitió que llevasen a cabo los dos diseños diferentes, para testar y evaluar la adecuación de ambos.

Sin duda la actividad 4, fue la que más entusiasmo les causó para llevarla a la práctica porque en algún momento les habían dicho eso de: ¡Bebe el zumo que se van las vitaminas! Y querían comprobar si esta creencia cierta o simplemente era una excusa para no llegar tarde al colegio. En esta actividad se notaba la progresión en cuanto al desempeño científico, lo que supuso que apenas apareciesen dificultades a la hora de resolver la actividad tanto a nivel experimental como en el razonamiento llevado a cabo para responder a las cuestiones formuladas. Destacar que, aunque todos sabían cómo preparar la disolución reguladora, dudaban con las cantidades, ya que en este nivel no tienen adquiridos los conocimientos en estequiometría necesarios para preparar disoluciones. Por lo que, tal y como se había planificado desde un principio, una vez indicado el procedimiento de preparación de la disolución reguladora se les proporcionó esta para que pudiesen seguir con la investigación. En cuanto al uso del conocimiento epistémico se observa una evolución positiva, en relación con las prácticas epistémicas de planificar una investigación, ya que son capaces de llevarla a cabo sin problema, y también de establecer criterios epistémicos para evaluarla en base a su fiabilidad, exactitud y precisión.

Cabe señalar que, a nivel desempeño, la mejoría fue notable a medida que se hacían las actividades e incluso el alumnado decía que ahora eran capaces de diseñar un experimento y llevarlo a cabo, cuando antes les parecía prácticamente imposible que por sí mismos lo pudiesen conseguir. Aun así, cuando se les pedía justificar una decisión o conclusión, o incluso elaborar conclusiones seguían presentando algunas limitaciones como por ejemplo no basarse en los datos obtenidos (pruebas).

Conclusiones

En este artículo se describe una secuencia de actividades que permite desarrollar el conocimiento epistémico del alumnado y las destrezas de pensamiento crítico a la vez que participan en la práctica científica de indagación. Esta secuencia ofrece oportunidades para combinar el aprendizaje de contenidos de química con un enfoque que demanda el uso de destrezas vinculadas con los retos del siglo XXI y necesarias para resolver los problemas que se plantean en la sociedad actual. Los resultados generales muestran que el alumnado que aprende a través de este enfoque consigue un aprendizaje más significativo y reflexivo tanto sobre la práctica científica de indagación como del conocimiento epistémico, el cual es necesario para conseguir desempeños adecuados en el alumnado. Además, el diseño se realiza de forma que sea posible medir la evolución en los desempeños del alumnado, tanto a nivel de la práctica de indagación como del conocimiento epistémico, siendo este último un aspecto poco explorado en el contexto de la educación secundaria y necesario para conseguir desempeños adecuados en la indagación, tal y como se señala en la literatura. Los resultados derivados de la implementación de la propuesta sugieren que, a pesar de que es complicado, el alumnado es capaz de utilizar el conocimiento epistémico durante su participación en la práctica de indagación si se le proporcionan oportunidades continuadas para hacerlo, así como si se abordan los aspectos en cuestión de forma progresiva, a través de preguntas que impliquen reflexión sobre ellos.

Agradecimientos

Al alumnado participante en el estudio. Al proyecto PID2022-138166NBC21 promovido por MCIN/AEI. Al GI RODA (2021-PG023) de la Consellería de Cultura, Educación y Universidades de Galicia, reconocido como Grupo de Referencia Competitiva, Ref. ED431C 2021/05.

Referencias

- Barak, M., Ginzburg, T. y Erduran, S. (2024). Nature of Engineering A Cognitive and Epistemic Account with Implications for Engineering Education. *Science & Education*, 33, 679-697. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00402-7>
- Banchi, H. y Bell, R. (2008). The Many Levels of Inquiry. *Science & Children*, 46, 26-29.
- Berland, L. K., Schwarz, C., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S. y Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(7), 1082-1112. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.21257>
- Blanco López, A., España Ramos, E., y Franco Mariscal, A. J. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice: revista de Educación Científica*, 1(1), 107-115. <http://dx.doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2004>
- Casas-Quiroga, L. y Crujeiras-Pérez, B. (2024). Epistemic knowledge considered by secondary school students involved in the examination of a real alimentary

- emergency. *Journal of Biological Education*, 58(1),16-28. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.2012230>
- Casas-Quiroga, L. y Crujeiras-Pérez, B. (2022). Trabajando la respuesta ante enfermedades de origen alimentario a través del juego de rol. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 221-241. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3327>
- Chen,Y., Brand, H. y Park, S. (2016). Examining Elementary Students' Development of Oral and Written Argumentation Practices Through Argument-Based Inquiry. *Science and Education*, 25, 277-320. <http://dx.doi.org/10.1007/s11191-016-9811-0>
- Crujeiras-Pérez, B. y Brocos, P. (2021). Pre-service teachers' use of epistemic criteria in the assessment of scientific procedures for identifying microplastics in beach sand. *Chemistry Education Research and Practice*, 22, 237-246. <https://doi.org/10.1039/D0RP00176G>
- Crujeiras-Pérez, B. y Díaz-Moreno, N. (2022). Promoting Pre-Service Primary Teachers' Development of NOSI Through Specific Immersion and Reflection. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(3). <https://doi.org/10.29333/ejmste/11795>
- Cunningham, C. M. y Kelly, G. J. (2017). Epistemic practices of engineering for Education. *Science Education*, 101, 486-505. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.21271>
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring Science Education: The importance of theories and their development*. Teachers College Press.
- Duschl, R. A. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32, 268–291. <http://dx.doi.org/10.3102/0091732X07309371>
- Elby, A., Macrander, C. y Hammer, D. (2016). Epistemic cognition in science. En J. Green,W. A. Sandoval e I. Braaten. *Handbook of Epistemic Cognition* (pp.113-127). Routledge.
- English, L. D. (2020). Facilitating STEM integration through design. En J. Anderson y Y. Li (Eds.). *Integrated approaches to STEM education: an international perspective*. (pp. 45-66). Springer.
- Facione, P. A. (1990). *Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment & Instruction: The Delphi Report*. California Academic Press.
- García Carmona, A. (2022). La comprensión de aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia en el nuevo currículo de Educación Secundaria Obligatoria, tras la LOMLOE. *Revista Española de Pedagogía*, 283, 433-450.
- Georgia Department of Education (2016). K-12 Georgia Standards of Excellence (GSE) for Science.
- González Rodríguez, L. y Crujeiras-Pérez, B. (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de

- la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3),143-160.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2018>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2022). Educating critical citizens to face post- truth: the time is now. En B. Puig y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.). *Critical thinking in Biology and Environmental Education. Facing challenges in a post- truth world*. Springer.
- Kangas, K. y Seitamaa-Hakkarainen, P. (2018). Collaborative design work in technology education. En M. J. de Vries (Ed.), *Handbook of technology education* (pp. 597–609). Springer.
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En R. A. Duschl y R. E. Grandy (Eds.). *Teaching Scientific Inquiry*. Sense Publishers, pp.99-117.
http://dx.doi.org/10.1163/9789460911453_009
- Kelly, G. J., McDonald, S. y Wickman, P-O. (2012). Science Learning and Epistemology. En B. J. Fraser, K. G. Tobin, y C. J. McRobbie (Eds.). *Second International Handbook of Science Education* (Volume 1, pp. 281-291). Springer.
http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_20
- Kite, V., Park, S., McCance, K. y Seung, E. (2021). Secondary Science Teachers' Understandings of the Epistemic Nature of Science Practices. *Journal of Science Teacher Education*, 32, 243-264.
- National Research Council (NRC) (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press.
- National Research Council (NRC) (2012). *A framework for K12 Science Education: practices, crosscutting concepts and core ideas*. National Academy Press.
- National Research Council (NRC) (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academies Press.
- Norris, S. P. y Ennis, R. H. (1989). *Evaluating critical thinking*. Critical Thinking Press & Software.
- Organisation for Economic and Cooperative Development (OECD) (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. OECD Publishing.
- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, BOE, núm 76, de 30 de marzo de 2022.
- Ryu, S. y Sandoval, W. A. (2012). Improvements to Elementary Children's Epistemic Understanding From Sustained Argumentation. *Science Education*, 96, 488-526.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.21006>
- Sandoval, W., Bell, P., Coleman, E., Enyedy, N. y Suthers, D. (2000). Designing Knowledge Representations for Learning Epistemic Practices of Science, Comunicación presentada en el congreso Annual Meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, 25 de abril.

- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89, 634–656.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20065>
- Sandoval, W. A. (2014). Science education's need for a theory of epistemological development, *Science Education*, 98(3), 383–387.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.21107>
- Sandoval, W. A. y Reiser, B. J. (2004), Explanation-driven inquiry: integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 345-372.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.10130>