



Desempeños del alumnado de Educación Secundaria en la evaluación de una investigación científica en el contexto de la industria láctea

High school students' performances in assessing scientific research in the context of dairy industry

David Pérez Vidal, Beatriz Crujeiras Pérez

Departamento de didácticas aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, A Coruña, España
davidperezvidal21@gmail.com, beatriz.crujeiras@usc.es

RESUMEN • En este estudio se analizan los desempeños de estudiantes de 2.º, 3.º y 4.º de ESO (14, 15 y 16 años) que cursan la asignatura de física y química, cuando evalúan el diseño de una investigación sobre un problema de precipitación identificado en la industria láctea. Los desempeños se examinan por separado para cada dimensión del diseño: identificación de la cuestión a investigar, formulación de hipótesis, planificación de la investigación y selección del criterio de finalización.

Para el análisis de resultados, se recogen sus propuestas, en las que han de estar desarrolladas las siguientes tareas: seleccionar la mejor opción, justificar su elección y modificar la opción alternativa para convertirla en correcta.

Los resultados menos adecuados corresponden a las dos últimas dimensiones citadas.

PALABRAS CLAVE: Investigación; Competencia científica; Diseño, Indagación; Educación Secundaria

ABSTRACT • In this paper we analyse the performance of 8th, 9th and 10th grade students (14, 15 and 16 years old respectively), attending Physics and Chemistry lessons, when assessing the design of scientific research on a precipitation problem identified in the dairy industry. Students' performances are examined separately for each dimension involved in the design: identifying the issue to be investigated, posing the hypotheses, planning the research and selecting the ending criterion.

For the analysis, we collect participants' individual proposals, which have to include the following tasks: selecting the best option, justifying their choice and modifying the alternative option so that it will be correct.

The less adequate results correspond to the last two dimensions.

KEYWORDS: Research; Scientific competency; Planning; Inquiry; High School

Recepción: diciembre 2017 • Aceptación: mayo 2018 • Publicación: marzo 2019

Pérez Vidal, D. y Crujeiras Pérez, B. (2019). Desempeños del alumnado de Educación Secundaria en la evaluación de una investigación científica en el contexto de la industria láctea. *Enseñanza de las ciencias*, 37(1), 5-23.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2544>

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe consenso sobre la necesidad de promover una enseñanza de las ciencias coherente con la forma en que se construye el conocimiento científico (Duschl y Grandy, 2013; Kelly, 2008; Osborne, 2014). Este consenso se traduce en una enseñanza basada en el aprendizaje de las ciencias a través de la participación del alumnado en las prácticas científicas, entendidas como las prácticas utilizadas para establecer, extender y refinar el conocimiento (NRC, 2012). Por tanto, aprender ciencias implica integrar el conocimiento sobre las explicaciones científicas con las prácticas necesarias para llevar a cabo la indagación científica, lo cual permitirá que el alumnado adquiera la capacidad para desarrollar un conocimiento científico más flexible y coherente. De acuerdo con Berland *et al.* (2016) este enfoque de aprendizaje a través de las prácticas involucra al alumnado en la construcción significativa del conocimiento científico más que en la puesta en práctica de acciones o procesos científicos. Esta nueva perspectiva tiene importantes implicaciones para el diseño de actividades de enseñanza y aprendizaje, ya que es necesario tener en cuenta cómo conseguir que los objetivos epistémicos de la ciencia sean significativos para el alumnado (Manz, 2015).

Una de las prácticas científicas implicadas en la construcción del conocimiento científico es el diseño de investigaciones (NRC, 2012) que a su vez forma parte de las competencias científicas necesarias para alcanzar la alfabetización científica (OECD, 2013), evaluada en las pruebas PISA. En particular, el diseño de investigaciones forma parte de la competencia en evaluar y diseñar indagaciones científicas, una de las novedades incluidas en la última evaluación PISA centrada en el ámbito científico, realizada en 2015 (OCDE, 2016a). Esta competencia implica ser capaz de evaluar y diseñar investigaciones científicas y proponer formas de abordar cuestiones científicas, mostrando capacidades como identificar la cuestión explorada o proponer una forma de explorar dicha cuestión, entre otros aspectos. Los resultados derivados de la evaluación de dicha competencia señalan bajos desempeños para esta en relación con las otras dos evaluadas (explicar fenómenos científicamente e interpretar datos y pruebas científicamente), siendo aquella para la que se identifican los porcentajes más bajos en el 55 % de los países participantes (OCDE, 2016b). Teniendo en cuenta que el desarrollo de esta competencia requiere tener conocimiento de las principales características de una investigación científica, como por ejemplo los aspectos que haya que medir o las variables que controlar, aquellos resultados tan poco satisfactorios podrían estar relacionados con una falta de familiarización del alumnado con el diseño de investigaciones científicas, así como con las dificultades asociadas a esta práctica. Por ello es necesario abordar estas cuestiones de forma reflexiva en las aulas, por ejemplo, a través de la evaluación de la adecuación de uno o varios diseños experimentales para llevar a cabo una investigación determinada.

Para poder evaluar la adecuación y calidad de una investigación se necesita tener conocimiento sobre el diseño de investigaciones, ya que esta práctica requiere la comprensión del diseño experimental, la toma de datos, su análisis y evaluación (Gott y Dugan, 1995). Esta práctica, si está diseñada de forma adecuada –es decir, que involucre a los estudiantes en procesos de toma de decisiones sobre las cuestiones que se vayan a investigar, los datos que recopilar y las pruebas que utilizar para elaborar las explicaciones que resuelvan la cuestión que se deba investigar–, podría contribuir al aprendizaje de las ciencias de forma coherente con la construcción del conocimiento científico (Duschl y Bybee, 2014). Cabe señalar que esta práctica es una de las más complicadas para el alumnado (Jones, Gott y Jarman, 2000; Toplis 2007), siendo uno de los principales problemas el control de variables, ya que existen dificultades para diferenciar entre experimentos controlados y no controlados (Chen y Klahr, 1999) o para modificar las variables de forma adecuada entre diferentes experimentos (Siler y Klahr, 2012). Otros problemas señalados en la literatura se asocian a la falta de conocimiento sobre la recogida de datos relevantes (Manlove, Lazonder y de Jong, 2007) o sobre la elaboración de procedimientos incompletos

y poco definidos (Crujeiras-Pérez y Jiménez-Aleixandre, 2017; González Rodríguez y Crujeiras Pérez, 2016; García Carmona, Criado y Cruz Guzmán, 2017; Zimmerman, 2000).

A pesar de los problemas señalados, el diseño de investigaciones es una práctica idónea para que el alumnado desarrolle una comprensión significativa del desarrollo del conocimiento científico, pero para conseguir que sus desempeños sean adecuados es necesario fomentar la reflexión sobre estos. De acuerdo con Ford (2015), la capacidad para llevar a cabo una práctica científica implica ser capaz de evaluar la adecuación de dicho desempeño, por tanto, un desarrollo significativo del diseño de una investigación requiere ser capaz de evaluar la adecuación del diseño de una investigación científica, cuestión que examinamos en este trabajo.

En el contexto educativo español, el diseño de investigaciones forma parte de los contenidos que se deben trabajar en la Educación Secundaria. Dentro de la asignatura de Física y química se recoge en el bloque 1 del currículo, tanto desde el punto de vista de contenidos (El método científico: etapas y proyecto de investigación) como de criterios de evaluación (desarrollar pequeños trabajos de investigación en los que se ponga en práctica la aplicación del método científico y la utilización de las TIC) (Real Decreto 1105/2014). A pesar de su importancia, todavía sigue teniendo un lugar anecdótico en las clases si lo comparamos con la enseñanza del resto de contenidos (Ferrés-Gurt, 2017; Franco Mariscal, 2015). Del análisis de la literatura podemos extraer que en los últimos años se están introduciendo actividades de indagación en las clases de ciencias de Educación Secundaria que promueven el diseño de investigaciones y otras operaciones (Crujeiras Pérez, 2015; Crujeiras y Cambeiro, 2017; González Rodríguez y Crujeiras Pérez, 2016; González Bértoa y Crujeiras-Pérez, 2017; Doménech Casal, 2013; 2016; Ferrés Gurt, Marbá Tallada y Sanmartí Puig, 2015; Pavón y Martínez Aznar, 2014) pero todavía queda mucho camino por andar para que la práctica de indagación ocupe un lugar central en las aulas.

El estudio que se examina en este artículo forma parte de una investigación más amplia sobre el desarrollo de la competencia en diseñar y evaluar indagaciones científicas en la Educación Secundaria, cuyo punto de partida tiene su origen en otro estudio sobre el diseño de investigaciones científicas (Crujeiras-Pérez y Jiménez-Aleixandre, 2017) en el cual una de las implicaciones educativas que emergen de este es la necesidad de incidir en la reflexión de la adecuación de los distintos elementos del diseño de la investigación para mejorar los desempeños del alumnado en dicha práctica.

Los objetivos que se persiguen en esta investigación son:

- Examinar los desempeños del alumnado de Secundaria en la evaluación de la calidad del diseño de una investigación científica, a través de su capacidad para seleccionar la propuesta más adecuada entre dos opciones y justificar su selección.
- Analizar la adecuación de las modificaciones propuestas por el alumnado para mejorar la calidad de los diseños de investigación evaluados.

METODOLOGÍA

El estudio se enmarca en la investigación cualitativa en educación, encaminada a proporcionar una comprensión en profundidad del mundo social a través de las experiencias, perspectivas e historias de los participantes (Snape y Spencer, 2003). En particular se centra en el análisis cualitativo del contenido (Schreier, 2012), en el que se pretende describir el significado de los datos a través de la evaluación sucesiva de partes de la información hasta elaborar una serie de categorías dentro de un marco de codificación.

Contexto y participantes

La investigación se lleva a cabo en un instituto urbano, en particular en tres aulas de tres cursos diferentes en las cuales se impartía la asignatura de física y química: 2.º de ESO (N = 28), 3.º de ESO (N = 17) y 4.º de ESO (N = 16). Se trata de estudiantes de 14, 15 y 16 años respectivamente. El número de participantes de cada grupo se corresponde con el total del alumnado matriculado en la asignatura. Cabe señalar que los participantes no estaban familiarizados con el diseño y evaluación de investigaciones, pues era la primera vez que se enfrentaban a una tarea de este tipo, incluso en 4.º de ESO, aunque sí tenían experiencia en realizar actividades de laboratorio tradicionales siguiendo una serie de pasos preestablecidos.

Descripción de la tarea de investigación propuesta a los estudiantes

La tarea diseñada para examinar los desempeños del alumnado relativos a la evaluación de los diseños de investigación se enmarca en un problema auténtico (Jiménez Aleixandre, 2010) en el contexto de la industria láctea, en la que se identifica la aparición de un precipitado de aspecto grumoso en uno de los tanques de leche que podría deberse a un error humano. Para que no se vuelva a producir es necesario identificar la causa real de la aparición de dicho precipitado y, consecuentemente, se ha de planificar cómo investigar la cuestión, haciendo uso de la información proporcionada en el guion de la tarea.

Para el análisis de los desempeños se estructura el diseño de investigación en cuatro apartados encabezados por una pregunta de investigación acompañada en cada caso de sus posibles respuestas. Se ha decidido descomponer el diseño de esta forma porque es el formato que habíamos utilizado en sesiones anteriores para enseñar a los estudiantes a diseñar una investigación. El formulario con las preguntas y las opciones de respuesta se recoge en el anexo, al final del artículo. En él se proporcionan dos ejemplos de respuesta para cada pregunta, siendo una más adecuada que la otra. El proceso de evaluación por parte de los estudiantes se realiza de forma individual en una sesión de cincuenta minutos en la cual tienen que seleccionar la mejor opción de respuesta para cada pregunta y justificar la elección. Este proceso se complementa con la reformulación de la opción menos correcta para convertirla en más adecuada.

Cabe señalar que el contexto de la tarea era familiar para todos los estudiantes participantes en el estudio ya que, diez días antes de la evaluación de los diseños, ellos mismos tuvieron que diseñar cómo resolver el problema de los grumos de forma individual. De esta forma pretendemos facilitar la comprensión de la información que han de evaluar los estudiantes.

Herramientas para la toma de datos y análisis

La toma de datos incluye las respuestas escritas de los estudiantes a las preguntas utilizadas para la evaluación de los diseños, así como las notas de campo recogidas durante la implementación de la tarea.

Para el análisis se elabora una rúbrica que comprende cuatro dimensiones, relacionadas con los aspectos que se han de evaluar: 1) identificación de la cuestión a investigar; 2) formulación de hipótesis; 3) planificación de la investigación, y 4) selección del criterio de finalización. Para cada una de estas dimensiones se establecen tres categorías: selección, justificación y modificación, con sus correspondientes subcategorías. La rúbrica completa de análisis se reproduce, junto con los resultados, en la tabla 1.

RESULTADOS

Los resultados se discuten por separado para cada objetivo de investigación y se documentan con ejemplos de las producciones escritas de los participantes.

En la tabla 1, en la primera columna de la izquierda, se representan cada una de las cuatro dimensiones antes citadas. En la segunda columna, se indican las tres categorías objeto de evaluación: selección de la opción de respuesta más adecuada para cada fase del diseño de investigación (S), justificación de la selección realizada (J) y modificación de la opción de respuesta alternativa para que esta sea adecuada (M). En la tercera columna se recogen las subcategorías mediante las que se clasifican las producciones del alumnado en función de su mayor o menor adecuación al conocimiento escolarmente deseable. En las últimas tres columnas se indican los porcentajes de estudiantes correspondientes a cada una de las categorías citadas.

Tabla 1.
Desempeños en la evaluación de la calidad del diseño de la investigación

		<i>Subcategorías</i>	<i>%</i>		
			<i>2.º ESO</i>	<i>3.º ESO</i>	<i>4.º ESO</i>
Identificación de la cuestión a investigar	S	Selecciona la respuesta adecuada	100	100	100
		No selecciona la opción adecuada	0	0	0
	J	Justifica la opción seleccionada utilizando todos o parte de los datos proporcionados	71	82	94
		Justifica la opción seleccionada utilizando otra información	25	18	6
		No justifica la selección	4	0	0
	M	Modifica el ejemplo de respuesta utilizando la información adecuada	14	6	6
		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando parte de la información	61	71	69
		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando información incorrecta	25	24	25
	Formulación de hipótesis	S	Selecciona la opción adecuada	96	100
No selecciona la opción adecuada			4	0	0
J		Justifica la opción seleccionada utilizando todos o parte de los datos proporcionados	78	82	88
		Justifica la opción seleccionada utilizando otra información	15	18	6
		No justifica la selección	7	0	6
M		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando la información adecuada	18	0	19
		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando parte de la información	64	82	56
		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando información incorrecta	18	18	25

		Subcategorías	%		
			2.º ESO	3.º ESO	4.º ESO
Planificación de la investigación	S	Selecciona la opción adecuada	71	82	100
		No selecciona la opción adecuada	29	18	0
	J	Justifica la opción seleccionada utilizando todos o parte de los datos proporcionados	55	93	94
		Justifica la opción seleccionada utilizando otra información	40	7	6
		No justifica la selección	5	0	0
	M	Modifica el ejemplo de respuesta utilizando la información adecuada	0	0	6
		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando parte de la información	50	71	88
		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando información incorrecta	50	29	6
	Selección del criterio de finalización	S	Selecciona la opción adecuada	50	76
No selecciona la opción adecuada			50	24	13
J		Justifica la opción seleccionada utilizando todos o parte de los datos proporcionados	43	92	86
		Justifica la opción seleccionada utilizando otra información	50	8	7
		No justifica la selección	7	0	7
M		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando la información adecuada	7	6	0
		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando parte de la información	18	59	75
		Modifica el ejemplo de respuesta utilizando información incorrecta	75	35	25

a. Desempeños relativos a selección de la opción de respuesta más adecuada para cada fase del diseño de investigación (S) y justificación de la selección realizada (J)

En esta sección se examinan los desempeños del alumnado correspondientes a la selección y justificación de la opción de respuesta correcta para cada operación de diseño: identificación de la cuestión que se va a investigar, formulación de hipótesis, planificación y selección del criterio de finalización. A continuación, se discuten los resultados por separado para cada operación y se documentan con ejemplos literales de las respuestas del alumnado.

1. Identificación de la cuestión a investigar (anexo: pregunta 1)

En este apartado del diseño, de los dos ejemplos de respuesta proporcionados en el formulario, la respuesta que mejor representa una adecuada identificación del problema que se investiga es la opción *a*. Esta respuesta explica por qué sucedió el problema utilizando la información proporcionada en el guion de la tarea y propone una cuestión adecuada para ser investigada (qué sustancia química provocó la formación del precipitado grumoso al ser añadido a la leche en vez de conservarla fresca).

Para esta cuestión, todos los estudiantes, en todos los cursos, seleccionan la opción de respuesta correcta. Sin embargo, sus justificaciones no son tan adecuadas ya que ninguno utiliza todos los datos proporcionados para justificar su selección. En cuanto a las justificaciones, la mayoría de los estu-

diantes utilizan algunos de los datos proporcionados en estas, siendo en 4.º de ESO donde se refleja el porcentaje más elevado (94 %). Las mejores justificaciones no incluyen todos los datos necesarios.

Un ejemplo de respuesta es la proporcionada por la alumna A33 (3.º de ESO): «La respuesta *a* es mucho mejor porque dice qué producto se debía añadir a la leche. Y cuenta que no usó agua oxigenada sino otro producto y por culpa de eso la leche se solidificó». En esta justificación la alumna incorpora parte de la información aportada en el guion de la tarea, pero no evalúa la calidad de la opción.

Otro ejemplo de justificación realizada basándose en otras consideraciones alternativas es la propuesta por el alumno A13 (2.º de ESO): «La respuesta *a*, porque no tiene que ver la cantidad, sino el producto que se le puso a la leche». En este caso justifica su selección descartando la otra opción, en vez de utilizar la información proporcionada en la respuesta *a* en su justificación, como el tipo de reactivo utilizado y el efecto producido en la leche.

Cabe señalar que a pesar de que las justificaciones no son del todo adecuadas, en general, el número de estudiantes que no justifica su selección es bajo, siendo un alumno en 2.º de ESO el único que no hace en todo el estudio. Este hecho podría estar relacionado con la aceptable implicación del alumnado en la realización de la tarea.

2. Formulación de la hipótesis de trabajo (anexo: pregunta 2)

De las dos opciones de respuesta que se evalúan, la más adecuada sería la opción *b*, en la que se presenta una hipótesis explicando lo que pudo haber sucedido al añadir un reactivo equivocado a la leche y relaciona esta hipótesis con la cuestión que se investiga. Además, descarta uno de los reactivos (peróxido de hidrógeno) como causa del problema.

En este apartado todos los participantes, excepto uno en 2.º de ESO, seleccionan la opción de respuesta correcta, pero las justificaciones, al igual que en el apartado anterior, son menos adecuadas. En 2.º de ESO el 78 % justifican su selección utilizando parte de la información proporcionada, mientras que el 15 % lo hacen utilizando otra información y el 7 % no la justifican. En 3.º de ESO todos seleccionan la opción adecuada, el 82 % utilizan parte de la información proporcionada en la tarea en su justificación y el 18 % restante lo hacen mediante otras consideraciones. En 4.º de ESO, sí existen estudiantes que no justifican su selección (el 6 %), aunque el porcentaje de los que sí lo hacen utilizando otras consideraciones es bajo (6 %) y la mayoría (el 88 %) toman adecuadamente como base la información proporcionada en la tarea.

Un ejemplo de justificación utilizando parte de la información proporcionada es la elaborada por A60 (4.º de ESO): «La respuesta *b* porque explica de forma más comprensible el problema y porque hace una separación clara entre las dos hipótesis». En este ejemplo la alumna utiliza el resultado de su comparación entre ambas respuestas como justificación.

Otro ejemplo de justificación, realizada mediante otras consideraciones alternativas, es la propuesta por el alumno A40 (3.º de ESO): «La *b* porque al estar mal envasados los productos fue lo que causó el problema». En este caso se apoya su selección en una acción errónea, el error en el envasado, que no fue la causa del problema, sino el uso de un producto inadecuado.

3. Planificación de la investigación (anexo: pregunta 3)

En este apartado, la opción correcta de las dos proporcionadas es la respuesta *a*, porque considera seguir un procedimiento ordenado y propone utilizar los materiales y controlar las variables (volumen, temperatura y tiempo), tal como se propone en el guion de la tarea de diseño. Además, esta opción de respuesta considera el uso de leche fresca y distintas pipetas para evitar la contaminación.

Los resultados correspondientes a esta operación son menos satisfactorios que en las anteriores ya que solo en 4.º de ESO se selecciona la opción correcta por la totalidad del alumnado, mientras que en 2.º y 3.º de ESO lo hacen el 71 y el 82 %, respectivamente.

Con respecto a las justificaciones, en 2.º de ESO, el 55 % del alumnado justifica la opción seleccionada utilizando todos o parte de los datos proporcionados, mientras que el 40 % lo hace utilizando otra información alternativa. Además, el 5 % restante no justifica su selección. En 3.º de ESO, el 93 % de ellos justifican la opción seleccionada utilizando todos o parte de los datos proporcionados y el 7 % restante lo hace mediante otras consideraciones. Respecto a 4.º de ESO, todos los estudiantes seleccionan la opción adecuada y para el resto de las operaciones los resultados se mantienen similares a los de 3.º de ESO.

Un ejemplo correspondiente a las justificaciones elaboradas mediante la información proporcionada es el propuesto por A53 (4.º de ESO): «La respuesta *a*, porque está más completa, pone datos como los grados de temperatura y el tiempo de espera para la reacción». En este ejemplo de justificación, el alumno utiliza como criterio de evaluación el nivel de detalle en las respuestas, cuestión poco habitual en el diseño de una investigación en Educación Secundaria, ya que como muestran otros estudios (González Rodríguez y Crujeiras Pérez, 2016; Crujeiras y Cambeiro, 2017) los diseños elaborados por los estudiantes son poco precisos.

Un ejemplo de justificación fundamentado en otras consideraciones es el propuesto por A5 (2.º de ESO): «*b*, porque me parece mejor práctica y más sencillo». En esta justificación el alumno califica la opción como «mejor» y «sencilla» pero sin indicar ningún tipo de criterio que permita comprender a qué se refiere.

4. Selección del criterio para finalizar la investigación (anexo: pregunta 3)

De los dos ejemplos de respuesta, la que mejor representa una selección adecuada del criterio de finalización de la investigación es la opción *a*, ya que explica cómo identificar el reactivo que causó el problema y considera diferentes posibilidades, así como la necesidad de repetir las pruebas para obtener resultados fiables antes de dar por finalizada la investigación.

Para esta operación los resultados son menos adecuados que para las anteriores, ya que existe un porcentaje más elevado de alumnado que no selecciona la opción de respuesta correcta. En 2.º de ESO solamente el 50 % del alumnado identifica la opción deseable, y de ese alumnado el 43 % justifica la opción seleccionada utilizando la información proporcionada en la tarea, mientras que el 50 % restante la justifica utilizando otra información y el 7 % adicional no justifica la selección.

En 3.º de ESO los resultados son más adecuados, ya que el 76 % selecciona la opción de respuesta correcta y el 92 % justifica su selección mediante la información proporcionada en la tarea, siendo el 8 % restante el que justifica utilizando otras consideraciones. En 4.º de ESO el porcentaje de estudiantes que selecciona la opción correcta es superior (87 %), aunque el que justifica la opción correcta utilizando los datos proporcionados es inferior al de 3.º de ESO (86 %). Además, a diferencia del curso anterior, el 7 % del alumnado de 4.º no justifica su selección.

Un ejemplo de justificación con la información proporcionada es la propuesta por A31 (3.º ESO): «La respuesta *a* porque indica que el problema puede estar en los dos vasos o en ninguno y que hay que repetir las pruebas». En este ejemplo el alumno justifica su selección usando el criterio de repetición de las pruebas, aspecto no incluido en la opción *b*.

Un ejemplo de justificación mediante otras consideraciones es la de A48 (4.º ESO): «La respuesta *a* porque es más completa». En este ejemplo, al igual que en la dimensión anterior, la justificación se realiza con criterios subjetivos y poco definidos ya que el alumno califica la opción seleccionada como más completa, pero no proporciona el significado de dicha atribución.

En resumen, los mejores desempeños en todos los cursos se identifican en la categoría selección, ya que más del 70 % del alumnado selecciona la opción de respuesta correcta en todas las dimensiones analizadas, excepto en 2.º de ESO, en la selección del criterio de finalización, pues solamente el 50 % de los estudiantes identifican la opción adecuada. Además, con respecto a las dimensiones analizadas, los estudiantes muestran más problemas para identificar la opción de respuesta correcta en la planificación de la investigación y el criterio de finalización que en la identificación de preguntas y en la formulación de las hipótesis de trabajo.

b. Desempeños relativos a la modificación del diseño para mejorar su adecuación a la investigación

En este apartado se examinan los desempeños del alumnado en la modificación de las opciones de respuesta que no seleccionaron como correctas para transformarlas en adecuadas (M). A continuación, se discute cada una por separado, al igual que en la sección anterior.

1. Identificación de la cuestión a investigar (anexo: pregunta 1)

En esta dimensión, el alumnado debe identificar como aspectos modificables que el problema no se debe a la utilización de demasiado producto químico, sino al uso de un reactivo equivocado y además que la leche sí se puede volver a utilizar. Los resultados indican que en esta categoría los estudiantes –el 61, 71 y 69 % para 2.º, 3.º y 4.º de ESO, respectivamente– modifican de forma parcial la opción de respuesta. Además, el 25 % en todos los cursos modifica la opción utilizando información incorrecta. Por ejemplo, haciendo referencia a la información que les gustaría tener para resolver el problema, como los productos químicos que había en el almacén, o proporcionando modificaciones genéricas.

Un ejemplo de respuesta en la que se modifica la opción utilizando toda la información necesaria es la proporcionada por A42 (3.º ESO): «No es que echara demasiada cantidad, eso es incorrecto, echó la cantidad recomendada, y también es incorrecto que no se pueda volver a utilizar ya que no sabemos qué producto fue añadido. El trabajador se confunde de producto químico debido a un mal almacenamiento de este y echa otro producto en vez de agua oxigenada que provoca la solidificación de la leche». En esta respuesta el alumno hace uso de toda la información que se necesita modificar e indica cómo hacerlo.

A diferencia de este, la gran mayoría del alumnado de todos los cursos se centra más en la primera parte de la respuesta, la utilización de demasiada cantidad de producto en vez de un reactivo equivocado, como muestra la respuesta de A58 (4.º ESO): «Que no añadió demasiada cantidad, sino que añadió otro producto».

2. Formulación de la hipótesis de trabajo (anexo: pregunta 2)

En esta dimensión los aspectos que se deben modificar son: el trabajador no añade a la leche un reactivo sin tener por qué –no es una hipótesis de trabajo– y el agua oxigenada no causa problemas, ya que la leche se supone que estaba en perfecto estado.

Los resultados son similares a la dimensión anterior, pues los porcentajes de alumnado que modifica la respuesta utilizando toda la información necesaria son muy bajos en todos los cursos, especialmente en 3.º de ESO, curso en el que ningún estudiante se sitúa en esta categoría. En los otros cursos, entre el 18 y 19 % se sitúan en esta categoría. Un ejemplo de respuesta adecuada es la propuesta por A2 (2.º de ESO): «Tenían que añadir agua oxigenada para que la leche durara más tiempo por lo que [la frase] cuando no tenía por qué hacerlo sobra. Cuando cita los productos químicos el agua oxigenada no sería

necesaria, ya que si fuera eso lo que se añadió no estaría en mal estado. Se añadía agua oxigenada para mejorar el estado de duración no porque estuviera mal la leche». En este ejemplo se identifica toda la información que se debe modificar.

Al igual que en la dimensión anterior los porcentajes más elevados se identifican en la categoría intermedia, en la que más del 50 % de los estudiantes de todos los grupos modifican la respuesta utilizando parte de la información necesaria. En 3.º de ESO el porcentaje de alumnado que se sitúa en esta categoría es especialmente elevado, representando el 82 %. Un ejemplo de modificación es el de A32: «La leche y los productos no estaban en mal estado». En este ejemplo se identifica parte de la información relativa al estado de la leche y los reactivos, pero no reconoce la adición innecesaria de reactivos como cuestión que hay que modificar.

En cuanto a las modificaciones inadecuadas, el porcentaje de estudiantes es menor que para la identificación de la cuestión que se investiga, representando el 18 % de los estudiantes en 2.º y 3.º de ESO, mientras que se mantiene igual en 4.º (25 %).

3. Planificación de la investigación (anexo: pregunta 3)

En esta dimensión, el alumnado debe identificar que en la opción de respuesta *b* es necesario utilizar leche fresca en vez de usar la del tanque solidificado, menos cantidad de reactivo que de leche en cada vaso y añadirlo utilizando pipetas diferentes o en su defecto lavando la pipeta entre muestra y muestra. Además, deben reconocer la necesidad de introducir las muestras en la nevera para conseguir la temperatura de 4 °C y fijar el tiempo de espera (2 h) para observar la aparición del precipitado.

Esta dimensión resultó una de las más complicadas para el alumnado, ya que solamente un estudiante del total de los cursos (A55) fue capaz de modificar la opción de respuesta con toda la información necesaria. Su respuesta fue la siguiente: «Para que la respuesta *b* sea válida habría que hacer las pruebas con leche sana, usar dos pipetas, identificar bien los vasos, añadir las cantidades correctas, tener la temperatura adecuada y esperar el tiempo correcto».

Al igual que en las dimensiones anteriores la gran mayoría de los estudiantes modifican la opción con parte de la información necesaria, excepto en 2.º de ESO, donde el 50 % de los estudiantes modifican el ejemplo utilizando información incorrecta. Un ejemplo de respuesta es la proporcionada por A42 (3.º ESO): «Leche del tanque no, leche en buen estado. Deberíamos usar varias pipetas (evitar contaminación). Deberíamos poner la leche en la nevera a 4 °C y esperar 2 horas, como se hizo inicialmente». En este ejemplo se hace referencia a todos los aspectos modificables, excepto a la necesidad de utilizar menos cantidad de reactivo que de leche, por eso se considera como modificación parcial.

En cuanto a la categoría correspondiente a las modificaciones inadecuadas, los porcentajes son muy diferentes en los distintos cursos, siendo el más elevado para 2.º de ESO (50 %) y el más bajo para 4.º (6 %). Esto puede explicarse en función del conocimiento científico de los estudiantes, pues ninguno tenía experiencia en realizar actividades de investigación y análisis de estas. Posiblemente un mayor conocimiento sobre el trabajo de laboratorio podría influir en una mayor corrección en la evaluación de una investigación.

4. Selección del criterio para finalizar la investigación (anexo: pregunta 3)

En esta dimensión la opción de respuesta *b* debería modificarse añadiendo la necesidad de repetir las pruebas para garantizar que los resultados obtenidos son fiables. También debería considerarse la posibilidad de que no se observe la formación del precipitado en ninguna de las dos pruebas, con lo cual habría que pensar en otras posibilidades.

Los resultados son muy diferentes entre los cursos. Si bien las modificaciones fundamentadas en el uso de la información necesaria siguen siendo pocas, al igual que en las otras dimensiones, aquellas son nulas para 4.º de ESO, cuestión que llama la atención, puesto que al tener más años de formación en ciencias se esperaba que sus desempeños fuesen mejores que en 2.º y 3.º de ESO. Para el resto de los cursos los porcentajes son muy bajos (7 y 6 % para 2.º y 3.º de ESO respectivamente). Un ejemplo es la respuesta de A55 (3.º ESO): «Habría que repetir las pruebas y si no da ninguno de los dos habría que seguir investigando». Esta respuesta, a su manera, considera todos los aspectos señalados anteriormente.

En cuanto a las modificaciones en las que se utiliza parte de la información necesaria, se identifican porcentajes elevados en 3.º y 4.º de ESO (59 y 75 % respectivamente), mientras que en 2.º siguen siendo bajos (18 %). Un ejemplo de respuesta para esta categoría es la propuesta por A10: «Prever las posibilidades de que el experimento salga mal, que no aparezcan grumos o que aparezcan en los dos». En este ejemplo de respuesta, aunque no se especifica de forma explícita, el estudiante reconoce la posibilidad de que el experimento no salga como se espera, por tanto podemos suponer que tiene en cuenta la posibilidad de tener que seguir investigando la causa, pero no la necesidad de asegurar la fiabilidad de la investigación.

NIVELES DE DESEMPEÑO RELATIVOS A LA EVALUACIÓN DE UNA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

En este apartado se establecen los niveles de desempeño relativos a la evaluación del diseño de una investigación científica. Estos niveles se elaboran a partir de los resultados empíricos correspondientes a los desempeños del alumnado analizados en las secciones anteriores. En función de los resultados se han establecido tres niveles de desempeño, siendo el 3 el de mayor complejidad y el 1 el de menor, además de un nivel adicional cero, en el que se sitúan aquellos estudiantes que no identifican la propuesta adecuada. En la tabla 2 se resume la descripción de los niveles.

Tabla 2.

Niveles de desempeño relativos a la evaluación del diseño de una investigación científica

<i>Nivel</i>	<i>Descripción</i>
3	Identifica la opción adecuada, justifica la selección mediante los datos facilitados y modifica la opción alternativa para que sea adecuada.
2	Identifica la opción correcta, justifica la selección utilizando otra información adicional y modifica la opción alternativa para que sea adecuada.
1	Identifica la opción correcta, justifica la selección utilizando otra información adicional y modifica la opción alternativa, pero de forma inadecuada.
0	No identifica la opción correcta, o la identifica pero no la justifica.

En la figura 1 se representan los niveles de desempeño del alumnado en la evaluación de diseños de investigación por cursos.

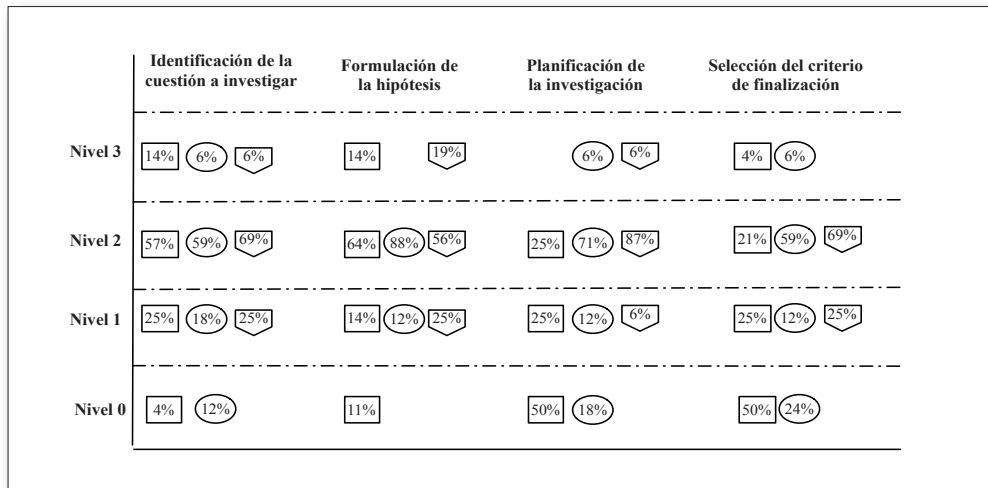


Fig. 1. Niveles de desempeño del alumnado en la evaluación de investigaciones. Leyenda: □: alumnado de 2.º de ESO; ○: alumnado de 3.º de ESO; ▭: alumnado de 4.º de ESO.

Como se representa en la figura 1, el porcentaje de estudiantes que se sitúan en el nivel más elevado (el 3) –que se corresponde con aquellos que identifican la opción de respuesta adecuada, la justifican basándose en los datos facilitados y modifican la opción alternativa con la información necesaria para que sea adecuada– es muy bajo en las cuatro dimensiones analizadas, no llegando al 20 % en el mejor de los casos. En la dimensión relativa a la identificación de la cuestión a investigar, los porcentajes más elevados se identifican en 2.º de ESO, 14 % de los estudiantes, frente al 6 % en 3.º y 4.º. Estos resultados, mejores en 2.º, pueden deberse a que los estudiantes habían trabajado estos aspectos en el aula en ese curso, mientras que los demás lo habían realizado en cursos anteriores, con lo cual podrían haber olvidado esta cuestión.

Si analizamos los resultados por cursos, en 2.º de ESO más de la mitad de los estudiantes se sitúan en el nivel 2 para las dimensiones identificación de la cuestión a investigar y formulación de la hipótesis, mientras que en las dimensiones planificación de la investigación y selección del criterio de finalización, el 50 % se sitúa en el nivel 0, es decir, no son capaces de identificar la opción de respuesta correcta o, aunque la identifican, no la justifican. Este resultado podría ser indicativo de las dificultades que supone la planificación de investigaciones para el alumnado, así como la selección del criterio de finalización, que con frecuencia se considera dentro de la fase de planificación.

Con respecto a 3.º de ESO, más del 50 % de los estudiantes se sitúan en el nivel 2 en todas las dimensiones analizadas, y en algunas como la formulación de hipótesis o la planificación, mucho más elevados (88 y 71 % respectivamente). Además, a diferencia de 2.º de ESO, los porcentajes de alumnado que se sitúan en el nivel 0 son inferiores al 20 % para todas las dimensiones, excepto en la selección del criterio de finalización.

En relación a 4.º de ESO, se identifican estudiantes en el nivel 3 en todas las dimensiones, aunque los porcentajes son inferiores al 10 % en todas excepto en la formulación de hipótesis. Al igual que en 3.º, la mayoría de los estudiantes se sitúan en el nivel 2, pero a diferencia de 2.º y 3.º de ESO, no se identifica ningún alumno o alumna en el nivel 0, lo cual es buena señal.

En estos resultados no solo influyen en la competencia en evaluar investigaciones científicas, sino también en la competencia lingüística de los estudiantes (OECD, 2016a), ya que la interpretación y evaluación de la información juega un papel muy importante en esta tarea.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

En este trabajo se examinan los desempeños del alumnado de Secundaria en la evaluación de una investigación científica.

Los resultados relativos a las categorías «selección de la opción de respuesta adecuada» y su «justificación basada en la información proporcionada en el enunciado de la tarea» muestran que los desempeños de los estudiantes son mejores en la selección que en la justificación. En términos numéricos, más del 70 % del alumnado selecciona la opción de respuesta correcta en todas las dimensiones analizadas excepto en 2.º de ESO en la selección del criterio de finalización, en la que solamente el 50 % de los estudiantes identifican la opción adecuada. Este resultado es similar al encontrado en otros trabajos en los cuales el alumnado selecciona la opción de respuesta correcta, pero tiene dificultades para elaborar justificaciones adecuadas (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2015; Boudreaux *et al.*, 2008). Esto es especialmente relevante en la dimensión relativa a la planificación de investigaciones y la selección del criterio de fin, como se pone de manifiesto en otros estudios como el de Tairab (2016).

Respecto a la categoría «modificación de la opción de respuesta alternativa en adecuada», el porcentaje de alumnado que es capaz de transformar la respuesta en adecuada haciendo uso de la información que se proporciona en el enunciado de la tarea es muy bajo (inferior al 20 %) en todos los cursos para todas las dimensiones. Este resultado pone de manifiesto el poco conocimiento que los estudiantes tienen sobre el diseño de investigaciones, siendo especialmente relevante en las dimensiones relativas a la planificación de la investigación y selección del criterio de finalización, ya que determinados elementos implicados en dichas dimensiones, como el control de variables o la reproducibilidad de la investigación, no se identifican con frecuencia en los diseños que elabora el alumnado de Educación Secundaria (Crujeiras-Pérez y Jiménez-Aleixandre, 2017).

En resumen, el alumnado presenta dificultades para transformar en adecuadas las opciones alternativas, ya que los porcentajes correspondientes a la categoría *a* –que representa la modificación utilizando la información necesaria– son muy bajos, inferiores al 20 % en los tres cursos para todas las dimensiones.

La explicación de estos resultados puede estar relacionada con la capacidad del alumnado para diseñar una investigación científica, ya que para modificar correctamente las opciones de respuesta de cada pregunta se necesita tener conocimientos sobre esta práctica. Es comprensible que los aspectos más complicados para ellos, como la planificación de la investigación y la selección del criterio de finalización, sean más adecuados en cursos superiores, mientras que otros más sencillos como la identificación de la pregunta de investigación deben realizarse de forma adecuada en cursos inferiores, lo cual implica que se debería identificar también en los superiores.

Finalmente, en relación con los niveles de desempeño en la evaluación y modificación de una investigación científica, se observa que más del 50 % de los estudiantes de 3.º y 4.º de ESO se sitúan en un nivel intermedio (el 2) en las cuatro dimensiones analizadas, lo que significa que son capaces de identificar la opción de respuesta adecuada para cada dimensión, justificarla utilizando parte de la información proporcionada y modificar la opción alternativa para transformarla en adecuada.

En 2.º de ESO estos resultados solo se detectan en las dimensiones identificación de la cuestión a investigar y formulación de la hipótesis. En cuanto a la planificación de la investigación y la selección del criterio de finalización, el 50 % del alumnado de este curso se sitúa en el nivel cero, es decir, que no son capaces de identificar la opción de respuesta correcta o si la identifican no la justifican de forma adecuada. Este resultado muestra la complejidad que suponen estas dos dimensiones para la muestra de alumnado de este curso, quien cursa por primera vez la asignatura de Física y química y no está familiarizado con la realización de actividades que impliquen el diseño y evaluación de una investigación

científica. Estos resultados sugieren la necesidad de trabajar cada dimensión implicada en el diseño de una investigación por separado y con complejidad progresiva en las aulas.

En definitiva, la evaluación de una investigación científica permite la participación significativa del alumnado en la práctica del diseño de investigaciones, pero para que los desempeños sean adecuados es necesario complementar esta tarea con la inmersión en el diseño y puesta en práctica de investigaciones. Esto coincide con otras propuestas como la de Tairab (2016), quien señala la necesidad de mayor formación sobre el diseño para aumentar el porcentaje de alumnado que justifica adecuadamente la selección de un diseño adecuado. En esta dirección apunta también Kolodner (2002), quien señala que, a través de la planificación, el alumnado aprende a reflexionar y a refinar su razonamiento.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto EDU2017-82915-R del Plan Nacional de la Agencia Estatal de Investigación y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (AEI/FEDER, UE). A los alumnos y alumnas que participaron en el estudio.

REFERENCIAS

- 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.
<https://doi.org/10.1002/tea.21257>
- BOUDREAUX, A., SHAFFER, P., HERON, P. y McDERMOTT, L. (2008). Student understanding of control of variables: Deciding whether or not a variable influences the behavior of a system. *American Journal of Physics*, 76, 163-170.
<https://doi.org/10.1119/1.2805235>
- CHEN, Z. y KLAHR, D. (1999). All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Children Development*, 70, 1098-1120.
<https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- CRUJEIRAS PÉREZ, B. (2015). Competencias y prácticas científicas en el laboratorio de química: participación del alumnado de secundaria en la indagación. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(3), 201-202.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1830>
- CRUJEIRAS PÉREZ, B. y CAMBEIRO, F. (2017). ¿Cómo podemos averiguar si Limpics es un fraude? Aprendiendo a diseñar investigaciones en educación secundaria. *Educación Química*, 28, 174-180.
<https://doi.org/10.1016/j.eq.2017.01.002>
- CRUJEIRAS PÉREZ, B. y JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (2015). Análisis de la competencia científica de alumnado de secundaria: respuestas y justificaciones a los ítems de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 385-401.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.01
- CRUJEIRAS-PÉREZ, B. y JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (2017). High school students' engagement in planning investigations: findings from a longitudinal study in Spain. *Chemistry Education Research and Practice*, 18, 99-112.
<https://doi.org/10.1039/c6rp00185h>
- DOMÉNECH CASAL, J. (2013). Secuencias de apertura experimental y escritura de artículos en el laboratorio: un itinerario de mejora de los trabajos prácticos en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 249-262.

- DOMÉNECH CASAL, J. (2016). Gene Hunting: una secuencia contextualizada de indagación alrededor de la expresión génica, la investigación in silico y la ética en la comunicación biomédica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 342-358.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i2.08
- DUSCHL, R. A. y BYBEE, R. W. (2014). Planning and carrying out investigations: an entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practice. *International Journal of STEM Education*, 1(12), 1-9.
<https://doi.org/10.1186/s40594-014-0012-6>
- DUSCHL, R. A. y GRANDY, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science and Education*, 22, 2109-2139.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- FERRÉS-GURT, C. (2017). El reto de plantear preguntas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 410-426.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.09
- FERRÉS-GURT, C., MARBÁ TALLADA, A. y SANMARTÍ PUIG, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 22-37.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.03
- FORD, J. (2015). Educational implications of choosing «practice» to describe science in the next generation science standards. *Science Education*, 99(6), 1041-1048.
<https://doi.org/10.1002/sc.21188>
- FRANCO-MARISCAL, A. J. (2015). Competencias científicas en la enseñanza y aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 231-252.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1645>
- GARCÍA CARMONA, A., CRIADO, A. M. y CRUZ-GUZMÁN M. (2017). Primary pre-service teachers' skills in planning a guided scientific inquiry. *Research in Science Education*, 47, 989-1010.
<https://doi.org/10.1007/s11165-016-9536-8>
- GONZÁLEZ BÉRTOA, A. y CRUJEIRAS-PÉREZ, B. (2017). Aplicación del modelo 5E para aprender mecánica a través de la indagación en educación secundaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 33, 123-142.
<https://doi.org/10.7203/dces.33.11037>
- 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>
- GOTT, R. y DUGAN S. (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham: Open University Press.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (2010). *10 ideas clave: competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- JONES, M. E., GOTT, R. y JARMAN, R. (2000). Investigations as part of the key stage 4 science curriculum in Northern Ireland. *Educational Research Evaluation*, 14, 23-37.
<https://doi.org/10.1080/09500790008666959>
- KELLY, G. J., (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En Duschl R. A. y Grandy R. E. (ed.) *Teaching scientific inquiry* (pp. 99-117). Rotterdam: Sense Publishers.
- KOLODNER, J. L. (2002). Facilitating the learning by design practices: Lessons learned from an inquiry into science education. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3), 9-40.

- MANLOVE, S., LAZONDER, A. W. y de JONG T. (2007). Software scaffolds to promote regulation during scientific inquiry learning. *Metacognition Learning*, 2, 141-155.
<https://doi.org/10.1007/s11409-007-9012-y>
- MANZ, E. (2015). Resistance and the development of scientific practice: designing the mangle into science instruction. *Cognition and Instruction*, 33(2), 89-124.
<https://doi.org/10.1080/07370008.2014.1000490>
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2012). *A framework for K12 science education: practices, crosscutting concepts and core ideas*. Washington, DC: National Academy Press.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) (2013). *PISA 2015 draft science framework*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) (2016a). *PISA 2015 assessment and analytical framework: science, reading, mathematics and financial literacy*. Paris: PISA, OECD Publishing.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) (2016b). *PISA 2015 results (volume I): excellence and equity in education*. Paris: PISA, OECD Publishing.
- OSBORNE, J. (2014). Scientific practices and inquiry in the science classroom. In N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education*, vol. II (pp. 579-599). New York: Routledge.
- PAVÓN MARTÍNEZ, F. y MARTÍNEZ AZNAR, M. M. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469-492.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1290>
- REAL DECRETO 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*. Madrid, 3 de enero de 2015, núm. 3, pp. 169-546.
- SCHREIBER, M. (2012). *Qualitative content analysis in practice*. London: Sage.
- SILER, S. y KLAHR, D. (2012). Detecting, classifying and remediating children's explicit and implicit misconceptions about experimental design. En R. W. Proctor y E. J. Capaldi (eds.). *Psychology of Science: Implicit and Explicit Processes* (pp. 137-180). New York: Oxford University Press.
- SNAPE, D. y SPENCER, L. (2003). The foundations of qualitative research. En J. Ritchie y J. Lewis (Eds.). *Qualitative research practice. A guide for social science students and researchers*. London: Sage publications.
- TAIRAB, H. H. (2016). Assessing students' understanding of control of variables across three grade levels and gender. *International Education Studies*, 9(1), 44-54.
<https://doi.org/10.5539/ies.v9n1p44>
- TOPLIS, R. (2007). Evaluating science investigations at ages 14-16: dealing with anomalous results. *International Journal of Science Education*, 29 (2), 127- 150.
<https://doi.org/10.1080/09500690500498278>
- ZIMMERMAN, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20, 99-149.
<https://doi.org/10.1006/drev.1999.0497>

ANEXO

Guion de la actividad de evaluación del diseño de investigación

Pregunta 1. Identificación de la cuestión a investigar: ¿Qué problema tuvo lugar?

Respuesta *a*: Debido a un mal almacenamiento de los productos químicos, un trabajador añadió un producto a la leche pensando que era agua oxigenada. En la botella que utilizó no había peróxido de hidrógeno sino uno distinto, el cual produjo la formación de un precipitado grumoso. Por ello es necesario investigar qué reactivo fue el causante del problema.

Respuesta *b*: Un trabajador añadió demasiada cantidad de producto químico a la leche y esto provocó que la leche no se pueda volver a usar. Tenemos que investigar qué producto químico fue el causante del problema.

¿Qué respuesta piensas que es más adecuada? ¿Por qué?

En la otra respuesta, ¿qué se debería modificar para que fuese adecuada?

Pregunta 2. Formulación de hipótesis: ¿por qué sucede el problema?

Respuesta *a*: El problema tiene lugar porque añadió, cuando no tenía por qué, alguno de estos productos: hidróxido de sodio, peróxido de hidrógeno o ácido acético. El problema también pudo suceder porque la leche o los productos químicos estaban en mal estado.

Respuesta *b*: El problema sucede porque se añadió un producto a la leche que no era agua oxigenada, la cual no causa problema porque ayuda a conservar la leche.

¿Qué respuesta piensas que es más adecuada? ¿Por qué?

En la otra respuesta, ¿qué se debería modificar para que fuese adecuada?

Pregunta 3. Planificación de la investigación: ¿qué pasos deberíamos seguir para descubrir la causa del problema?

Respuesta *a*: Para investigar la cuestión iré al laboratorio y añadiré 100 ml de leche fresca en un vaso de precipitados con la ayuda de una pipeta. A continuación, repetiré el mismo procedimiento en otro vaso. Después añadiré 10 ml de hidróxido de sodio a uno de los vasos utilizando otra pipeta y 10 ml de ácido acético al otro vaso con otra pipeta diferente. Identificaré cada vaso con una etiqueta para saber qué se añadió en cada uno y finalmente introduciré los vasos en la nevera a 4 °C y tras 2 horas observaré si en algún vaso aparece el precipitado grumoso.

Respuesta *b*: Para investigar la cuestión iré al laboratorio y utilizaré dos vasos de precipitados, leche del tanque, una pipeta, hidróxido de sodio, ácido acético y etiquetas. Lo primero que haré será etiquetar cada vaso (vaso 1 y vaso 2). Después añadiré 200 ml de leche en cada vaso con la ayuda de una pipeta. A continuación, con la misma pipeta, añadiré 200 ml de hidróxido de sodio en el vaso 1 y 200 ml de ácido acético en el vaso 2. Finalmente esperaré a que aparezca el precipitado en uno de los vasos.

¿Qué respuesta piensas que es más adecuada? ¿Por qué?

En la otra respuesta, ¿qué se debería modificar para que fuese adecuada?

Pregunta 4. Selección del criterio de finalización de la investigación: ¿cuándo termina la investigación?

Respuesta *a*: Después de dos horas observaré en qué vaso aparece el precipitado grumoso. Si aparece en el vaso que contiene hidróxido de sodio y el que tiene ácido acético tiene una apariencia normal, el problema estará causado por el hidróxido de sodio. Si aparece en el otro vaso, el problema estará causado por el ácido acético. Si aparece en ambos vasos o en ninguno tendremos que investigar otras causas. Además, todas las pruebas se deben repetir por lo menos una vez para confirmar los resultados y una vez confirmados la investigación se da por finalizada.

Respuesta *b*: Después de esperar dos horas se comprueba en qué vaso aparece el precipitado, si aparecen en el vaso de leche con ácido acético este será el causante del problema. En cambio, si los grumos aparecen en el vaso con hidróxido de sodio este será el responsable. Tras comprobar esto, la investigación finaliza.

¿Qué respuesta piensas que es más adecuada? ¿Por qué?

En la otra respuesta, ¿qué se debería modificar para que fuese adecuada?

High school students' performances in assessing scientific research in the context of dairy industry

David Pérez Vidal, Beatriz Crujeiras Pérez
Departamento de didácticas aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela
Santiago de Compostela, A Coruña, España
davidperezvidal21@gmail.com, beatriz.crujeiras@usc.es

In this paper we analyse high school students' performances in assessing the design of a scientific research project. The goals of this study are: 1) To examine students' performances in assessing the quality of the design in scientific research focusing on their ability to select the most adequate proposal between two options and to justify their choice; 2) To analyse the adequacy of students' proposals to improve the quality of the assessed designs.

The methods are drawn from qualitative research and focus on content analysis.

The participants are 8th, 9th and 10th grade students (14, 15 and 16 years old respectively), who attend Physics and Chemistry lessons and who were not familiar with inquiry practices although they have performed some cookbook laboratory tasks.

The task engages students in a problem emerged from the context of the dairy industry, in which they have to assess the best design to find out what could have caused a precipitation in a tank of milk. In a previous session, students have been required to design a plan to identify the cause of the problem. Ten days after the planning session, students are provided with a template for assessing two examples of designs. The template contains four questions related to the aspects to be included in the plan, such as identifying the issue to research, posing the hypotheses to be studied, planning the research and selecting the criterion for ending the study. Each question contained two answers, one more adequate than the other, which students have to evaluate. To do so they have to select the best option (*a* or *b*), justify their choice and modify the other option so that it can also be adequate.

Students' performances are examined separately for each dimension involved in the design. For the analysis, we collected participants' individual proposals and examined them in interaction with literature, developing a four-dimension rubric corresponding to each aspect of the design to be examined: 1) identifying the issue to study; 2) posing hypotheses to be examined; 3) planning the research; and 4) selecting the criterion for ending the study. For each dimension we established three categories: selection, justification and modification, with their corresponding subcategories.

The findings corresponding to the first objective point out that students show, in general, more difficulties in identifying the correct option when it comes to planning the research and the selection of the criterion for ending the study than in identifying the issue to study and in posing hypotheses.

With regard to the second objective of our research, most students are able to modify the alternative option of the design in the four dimensions, but only partially, since they do not include all the required information in their modified plans and in some cases they do it using incorrect information.

As a result, four empirical levels of performance in assessing scientific research are developed (from 0 to 3). It needs to be highlighted that the percentage of students that attained the highest level is lower than 20 % in the four dimensions.

These findings suggest the need of dealing with each dimension involved in planning research separately and with progressing complexity in Physics and Chemistry lessons so that students can be familiar with these aspects.

