



Establecimiento de líneas argumentativas en la resolución de un problema con enzimas

Establishment of argumentative lines in the resolution of a problem with enzymes

M.^a Peregrina Varela Caamiña, Paloma Blanco Anaya, Joaquín Díaz de Bustamante
Departamento de Didácticas Aplicadas. Universidade de Santiago de Compostela, Lugo, España
titavarela@edu.xunta.es, paloma.blanco@usc.es, joaquin.diaz.1952@gmail.com

RESUMEN • Este estudio analiza las líneas argumentativas seguidas por estudiantes de 4.º de ESO durante la resolución de un problema abierto en el que debían explicar las causas de la detención de las reacciones enzimáticas. Se parte de las líneas de razonamiento propuestas por Kelly, Regev y Prothero (2008) para elaborar, como herramienta de análisis, las líneas argumentativas, entendidas como una sucesión de fases desde los datos a la conclusión. Los resultados muestran que cada grupo elabora dos líneas argumentativas, las cuales integran más pruebas teóricas que empíricas. El uso de pruebas no apropiadas conduce a que alguna de las líneas argumentativas se considere no adecuada, pues no responde a la causa de la detención de dichas reacciones. El carácter interpretativo de las líneas argumentativas es una de sus limitaciones, pero permiten examinar el proceso argumentativo de los estudiantes.

PALABRAS CLAVE: Líneas argumentativas; Líneas de razonamiento; Datos; Uso de pruebas; Interacción enzima-sustrato.

ABSTRACT • This study analyses the argumentative lines followed by students from 10th grade during the resolution of an open problem, in which they must explain the reasons why the enzymatic reactions stop. The lines of reasoning, proposed by Kelly, Regev and Prothero (2008), are taken as reference to develop the argumentative lines, which are understood as a succession of phases from the data to the conclusion. The results show that each group develops two argumentative lines, which integrate theoretical rather than empirical evidence. The use of inappropriate evidence implies that some of the argumentative lines are considered inadequate, since students don't answer why enzyme reactions stop. The interpretative feature is one of the limitations of argumentative lines; however, they allow the examination of argumentative process followed by students.

KEYWORDS: Argumentative lines; Lines of reasoning; Data; Use of evidence; Enzyme-substrate interaction.

Recepción: noviembre 2018 • Aceptación: mayo 2019 • Publicación: junio 2020

INTRODUCCIÓN

Hace ya unas décadas que la didáctica de las ciencias experimentales presenta un enfoque metodológico de carácter práctico, lo cual ha venido promovido, entre otros motivos, por la introducción de las competencias en la educación obligatoria con la Ley Orgánica 2/2006, del 3 de mayo, de Educación (LOE, 2006). La competencia científica promueve que el alumnado use los conocimientos científicos para identificar problemas, explicar fenómenos científicamente y usar pruebas para evaluar el conocimiento (OCDE, 2019). De ello se infiere la necesidad de que los estudiantes aprendan ciencia haciéndola, lo cual ha sido ya resaltado por autores como Hodson (1993) o Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre (1999). La necesidad de una enseñanza basada en la adquisición de competencias gana fuerza en un mundo en el que existe un exceso de información, de forma que el alumnado ha de ser capaz de identificar la información relevante, que tenga sentido y que pueda emplear en su contexto diario.

Para que el alumnado haga ciencia, las propuestas didácticas deben estar diseñadas teniendo en cuenta las prácticas científicas, entendidas como procesos mediante los cuales la comunidad científica construye el conocimiento científico (Kelly, 2008). Estos procesos son la indagación, la modelización y la argumentación (NRC, 2012; Osborne, 2011). En el ámbito de la enseñanza, como señalan Jiménez-Aleixandre y Brocos (2015), podríamos entender que la argumentación corresponde a la evaluación que hace el alumnado del conocimiento con el que justifica sus respuestas. Esta práctica es fundamental en todo el proceso de construcción de conocimiento, y juega un papel esencial en las prácticas de modelización para evaluar modelos, y en la de indagación para evaluar enunciados. Como señalan Erduran y Jiménez-Aleixandre (2008), la argumentación capacita a los estudiantes para que se expresen en el lenguaje de la ciencia y razonen ante la elección de teorías y la evaluación del conocimiento, apoyándose en criterios racionales.

En este contexto, nuestro estudio pretende contribuir a la investigación en didáctica de las ciencias experimentales sobre la capacidad de los estudiantes para desarrollar un razonamiento argumentativo. Entendemos la argumentación como una estrategia de razonamiento (Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000) que permite manifestarlo externamente (Sadler y Zeidler, 2005). De modo que, para entender y analizar la coordinación de pruebas y teorías en los argumentos que siguen los estudiantes en la resolución del problema sobre la interacción enzima-sustrato, se utilizan las líneas argumentativas que se explican más adelante.

Los objetivos de investigación de este estudio son: 1) analizar las líneas argumentativas desarrolladas por los estudiantes para dar una respuesta al problema de la detención de reacciones enzimáticas y 2) determinar la adecuación de dichas líneas argumentativas para la resolución del problema.

EL DISCURSO ARGUMENTATIVO BASADO EN PRUEBAS

La investigación sobre la argumentación en el aprendizaje de las ciencias tuvo sus inicios a finales de los noventa, como señalan Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante (2003). Desde entonces se han analizado diferentes aspectos: cómo el alumnado elabora argumentos (Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000; Kelly y Takao, 2002), el papel de las pruebas en las justificaciones y conclusiones (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2011; Zohar y Nemet, 2002), la calidad de los argumentos elaborados por los estudiantes (Erduran, Simon y Osborne, 2004; Sandoval y Millwood, 2008) o cómo integrar la argumentación en otras prácticas científicas como son la modelización (Ageitos, Puig y Calvo-Peña, 2017; Mendonça y Justi, 2013) y la indagación (Crujeiras Pérez y Blanco Anaya, 2017; Walker, Sampson y Zimmerman, 2011). La línea de investigación en la que se enmarca este estudio corresponde a cómo los estudiantes son capaces de identificar y evaluar la idoneidad de los datos para emplearlos como pruebas durante el razonamiento argumentativo.

Considerando la definición de argumentación como la evaluación de los enunciados basándose en pruebas (Jiménez Aleixandre, 2010), entendemos que resulta fundamental hacer mención explícita a los datos y a las pruebas empleados por los estudiantes. Se denomina *datos* al conjunto de elementos de información de los que se dispone y que se caracterizan por que deben ser interpretados para que lleguen a tener la validez de prueba. Los datos que maneja el alumnado pueden ser de dos tipos (Hug y McNeill, 2008): los *datos de primera mano*, obtenidos de forma empírica por los estudiantes, y los *datos de segunda mano*, procedentes de otras fuentes o recogidos por otros individuos. En el caso de la *prueba* se trata de cualquier información empleada para mostrar que un enunciado es cierto o falso (Jiménez Aleixandre, 2010). Coincidimos con Koslowski, Marasia, Chelenza y Dublin (2008) en considerar que un *dato* se convierte en una *prueba* cuando se incorpora en una justificación. Así, la principal diferencia entre el dato y la prueba se debe a su papel durante el discurso, de modo que cuando el dato está integrado en una justificación adquiere la consideración de prueba (Jiménez Aleixandre y Puig, 2011), la cual puede ser teórica o empírica considerando lo mencionado por Hug y McNeill (2008).

La relevancia de promover la argumentación, en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, se debe a que favorece la construcción de aprendizajes relevantes y más cercanos a la realidad próxima de los estudiantes, como se concluye del estudio de Archila (2012). Como dicen Buitrago, Mejía y Hernández (2013), cuando el estudiante argumenta le damos la posibilidad de encontrar analogías o semejanzas entre el modelo teórico, que es abstracto, y la recreación teórica del fenómeno estudiado. Por eso es importante proporcionar, en el aula de ciencias, contextos argumentativos que permitan involucrar a los estudiantes en estrategias heurísticas para aprender a razonar (Kelly y Takao, 2002), al favorecer que los estudiantes comprueben sus propias visiones del entorno.

Una de las tendencias para promover estos aspectos es la argumentación colaborativa, entendida como un «diálogo argumentativo que ocurre en los grupos de estudiantes cuando se les solicita que trabajen juntos en la construcción y presentación de un argumento» (Evagorou y Osborne, 2013, p. 212), pues es entre compañeros cuando el uso de pruebas adquiere mayor relevancia (Bennett, Hogarth, Lubben, Campbell y Robinson, 2010). En el seno de un diálogo, la argumentación puede presentar tres roles: *a) racional*, que implica la búsqueda de una conclusión lógica considerando las pruebas disponibles, *b) dialógica*, que se establece en los debates cuando se valoran las diferentes alternativas y *c) retórica*, que hace referencia al intento de persuasión mediante el uso de argumentos (Driver, Newton y Osborne, 2000). Entre estos tres papeles, varios autores ponen el énfasis en el carácter persuasivo (Berland y Reiser, 2009; Jiménez Aleixandre, 2010), pues se considera necesario que los estudiantes tengan en cuenta los argumentos opuestos, de forma que se concilian las ideas de varios individuos para construir la explicación más sólida del fenómeno que se vaya a estudiar.

La argumentación en grupo es una parte importante del aprendizaje de las ciencias porque, cuando los estudiantes exteriorizan sus ideas al hacer públicos sus conocimientos, estos pueden ser evaluados, cambiados y mejorados (Henaó y Stipcich, 2008; Kuhn, 1993). De este modo, cuando se analizan los argumentos expuestos por los estudiantes, se puede obtener información sobre el razonamiento científico que utilizan, los conocimientos alcanzados, los aspectos epistemológicos y las habilidades que tienen para justificar y comunicar sus ideas (Ceberio, Almudí y Zubimendi, 2014).

LÍNEAS DE RAZONAMIENTO Y LÍNEAS ARGUMENTATIVAS

Las líneas de razonamiento son un modelo de análisis para la argumentación escrita propuesto por Kelly, Regev y Prothero (2008), cuyo objetivo es examinar la cadena de razonamientos de los estudiantes desde el uso de los datos hasta establecer un argumento complejo basado en pruebas. Las líneas de razonamiento diseñadas por estos autores están basadas en el patrón de argumentación de Toulmin (1958), que consiste en un esquema con los siguientes elementos: datos (*data*), justificaciones

(*warrant*), conclusiones (*claim*), conocimientos básicos (*backing*), calificadores modales (*qualifier*) y las condiciones de excepción o de refutación (*exception or rebuttal*) (figura 1). El esquema propuesto por Toulmin permite visualizar y comprender mejor qué es un argumento y qué elementos debe contener, siendo adecuado para argumentos con pocos elementos. No obstante, para argumentos con diferentes niveles de complejidad, el modelo de Toulmin presenta limitaciones, pues dificulta analizar la cadena de razonamientos derivados de discursos argumentativos complejos, en los que se entremezclan diferentes pruebas y/o justificaciones (Kelly y Takao, 2002).

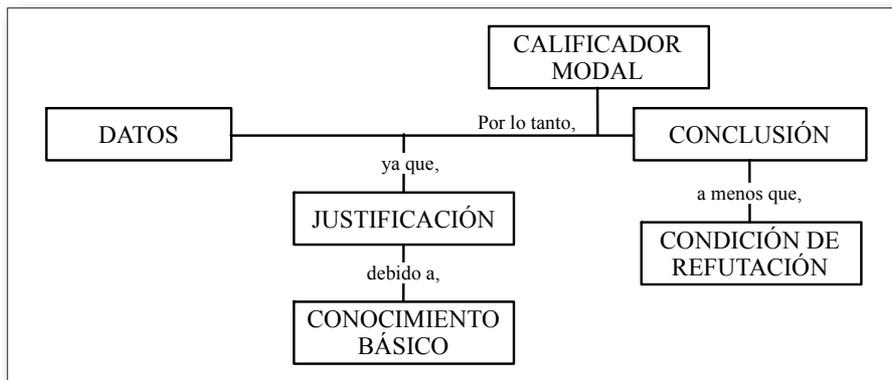


Fig. 1. Esquema del modelo de argumentación (Toulmin, 1958).

Debido a estas limitaciones, Kelly et al. (2008) elaboran el esquema de la estructura de los argumentos en líneas de razonamiento. Este esquema organiza los enunciados de los estudiantes en niveles epistémicos que parten de los datos. Los datos se integran en enunciados que progresan de menor a mayor nivel de forma convergente, actuando los enunciados de niveles más bajos como justificaciones de los niveles epistémicos superiores, hasta obtener la conclusión final (tesis). Esta secuencia de niveles epistémicos se muestra en la figura 2.

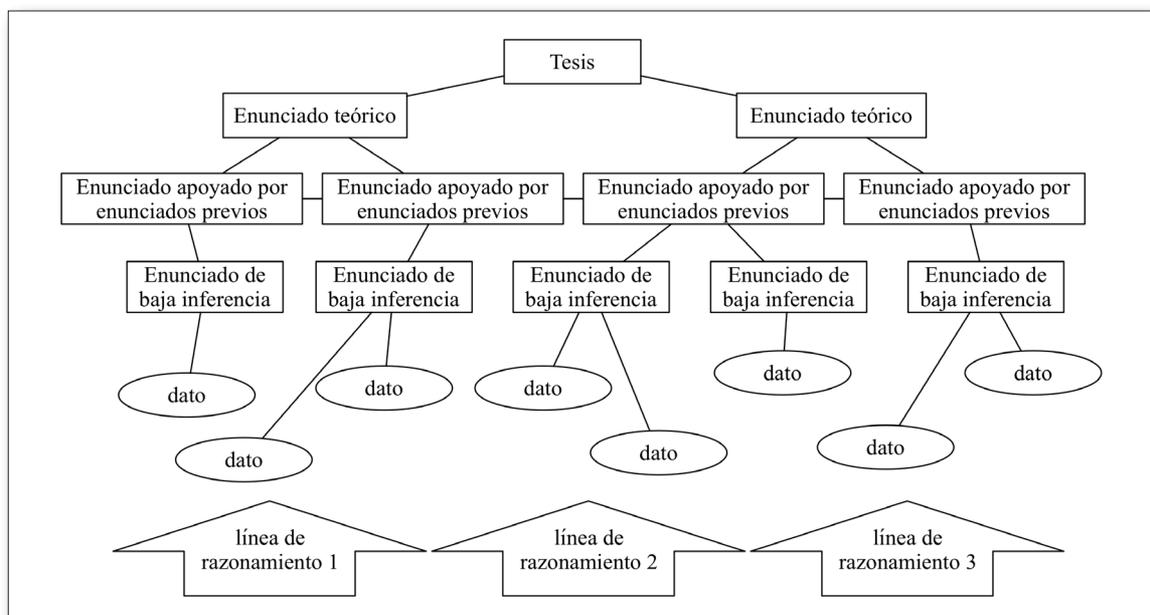


Fig. 2. Esquema de la estructura de los argumentos en líneas de razonamiento (Kelly et al., 2008, p. 140).

En cuanto al uso de pruebas, Kelly et al. (2008) consideran que, para construir un razonamiento basado en pruebas, los estudiantes deben plantearse preguntas de investigación, desarrollando varias líneas de razonamiento que los lleven a conclusiones a partir de la interpretación de los datos. Estos datos deberán ser suficientes para apoyar la conclusión frente a interpretaciones alternativas.

Este modelo de líneas de razonamiento resulta muy útil para evaluar las explicaciones causales que los estudiantes presentan sobre un modelo en concreto (Jiménez Aleixandre, 2010). Por ello, partiendo de estas líneas de razonamiento, para nuestro estudio proponemos el análisis mediante las *líneas argumentativas*, es decir, series encadenadas de argumentos que siguen los estudiantes hasta llegar a una conclusión. La denominación de líneas argumentativas tiene dos motivos principales. El primero es que las líneas de razonamiento propuestas por Kelly et al. (2008) están desarrolladas para el análisis de la argumentación escrita, de modo que es un proceso individual que permite, en cierta medida, conocer el razonamiento de un individuo en su versión definitiva, pero no el proceso que le llevó a su establecimiento. En nuestro caso, la argumentación es oral y colaborativa, de modo que analizamos el discurso argumentativo, en el cual el razonamiento individual del estudiante se adapta al diálogo entre compañeros, es decir, no es lineal sino iterativo; además, el papel del grupo permite evaluar los argumentos de los otros miembros del grupo y utilizar pruebas para persuadir a los compañeros (Jiménez Aleixandre, 2010), lo que enriquece el proceso argumentativo. El otro motivo es que nuestro análisis previo parte de los argumentos de los estudiantes mediante el esquema de Toulmin (1958), por lo cual se percibió que había un gran número de argumentos subsecuentes y contraargumentos, de forma análoga a lo que encontraron en su estudio Blanco Anaya y Díaz de Bustamante (2014). Ello nos permitió establecer las diferentes líneas argumentativas que sigue cada grupo para ver qué explicaciones causales proporcionan ante la detención de las reacciones enzimáticas.

Así, entendemos que las *líneas argumentativas* son una sucesión de fases que siguen los estudiantes en el uso de la información, desde los datos hasta las conclusiones finales, a las que llegan usando pruebas. Ello nos permite examinar cómo los estudiantes interpretan los datos para integrarlos en sus justificaciones como pruebas (figura 3). Si estas pruebas proceden directamente de los datos, las denominamos de primer nivel, mientras que cuando estas últimas converjan de forma que constituyan pruebas elaboradas serán consideradas pruebas de segundo nivel. Las pruebas deben apoyar las conclusiones que denominamos conclusiones de primer nivel, y que corresponden a hipótesis por su papel para la resolución del problema. La siguiente fase consiste en planificar experimentos para contrastar dichas hipótesis; llevarlos a cabo para obtener datos y pruebas con los que, en consecuencia, establecer las conclusiones de segundo nivel, que suponen la aceptación o rechazo de la hipótesis.

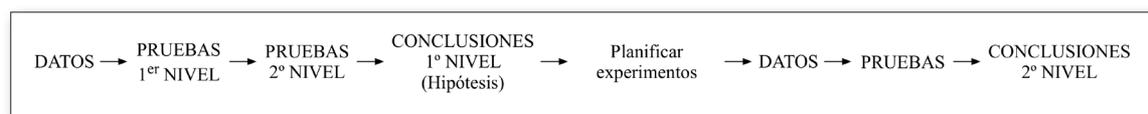


Fig. 3. Sucesión ideal de fases de las líneas argumentativas.

METODOLOGÍA

Este trabajo es un estudio de caso (Yin, 2003) que sigue una metodología cualitativa en la cual se realiza un análisis del discurso, un estudio del uso del lenguaje en contextos específicos (Gee y Handford, 2012) que, en nuestro caso, corresponde al discurso argumentativo del cual inferimos el uso de pruebas y las líneas argumentativas que desarrollan los grupos de estudiantes.

Participantes y contexto

Los participantes son 41 estudiantes de 4.º de ESO (15-16 años) de Biología y Geología distribuidos en pequeños grupos, cuyos nombres, para mantener el anonimato, fueron sustituidos por pseudónimos que comienzan por la misma letra del grupo asignado. Por cuestiones de extensión, en este artículo presentamos el análisis de dos grupos: grupo A, compuesto por cinco chicos, y grupo E, compuesto por cuatro chicas. La elección de estos grupos se realizó atendiendo a dos criterios relevantes para los objetivos de investigación: 1) mostrar ejemplos de líneas argumentativas convergentes y no convergentes, así como 2) mostrar ejemplos de líneas argumentativas adecuadas y no adecuadas.

Descripción de la propuesta didáctica y respuesta de referencia

La actividad pretende que los estudiantes sean capaces de dar respuesta a un problema científico centrado en un proceso enzimático, concretamente la descomposición del peróxido de hidrógeno *in vitro* catalizada por el enzima catalasa contenido en muestras animal (hígado) y vegetal (patata), ambas frescas. La actividad se presenta en el anexo I y su desarrollo tuvo lugar durante dos sesiones de 50 minutos cada una.

En la primera sesión, diseñada para obtener los materiales necesarios para la realización de la segunda parte y que el alumnado se familiarizase con el material, los enzimas y su cinética, se realizó una breve explicación sobre el funcionamiento y las propiedades de los enzimas y del modelo escolar del proceso enzimático, y a continuación se llevó a cabo la primera parte de la actividad (Actividad 1: «Acción catalítica de los enzimas»). Esta actividad consistía en añadir arena, patata e hígado en sendos tubos de ensayo, y simplemente tenían que observar si se producían o no burbujas, es decir, observar la presencia o ausencia de reacción y medir las velocidades de reacción.

En la segunda sesión se realizó la segunda parte de la tarea, en la cual se plantea un problema doble (Actividad 2: «¿Por qué paró la reacción con el hígado?», y actividad 3: «¿Por qué paró la reacción con la patata?»). Esta consiste en un problema de laboratorio abierto en el cual los estudiantes deben determinar las posibles causas por las que se detienen las reacciones enzimáticas. Para responder a ambas, deben elaborar una explicación de lo observado partiendo del modelo escolar enzima-sustrato y, posteriormente, contrastar su explicación mediante un diseño experimental. Se aporta un apoyo teórico para la segunda parte de la actividad que consta de una breve explicación del funcionamiento de los enzimas, sus propiedades y los factores que les afectan, así como la representación del modelo escolar de la interacción que se produce entre el enzima y el sustrato (figura 4). Además, se entrega a cada grupo una ficha que deben rellenar con sus hipótesis, diseños experimentales y los resultados de su investigación.



Fig. 4. Representación del modelo escolar de la interacción enzima-sustrato. E = enzima, S = sustrato, ES = complejo enzima-sustrato, P = producto de la reacción.

Las respuestas de referencia a las preguntas planteadas a los estudiantes se obtienen de la realización de los experimentos por parte de los autores en repetidas ocasiones para comprobar nuestras propias hipótesis. Así, el referente de resolución a la actividad 1 consiste en ordenar las reacciones de menor a mayor velocidad: arena sin reacción, patata velocidad media e hígado velocidad máxima. En cuanto al referente de resolución para las actividades 2 y 3, se establecen dos hipótesis rivales:

- Hipótesis A: *se acabó el sustrato*, es decir, se acaba el agua oxigenada (H_2O_2). El líquido que queda en el tubo es fundamentalmente agua (H_2O).
- Hipótesis B: *el enzima catalasa se inactiva*, es decir, se desnaturalizó o se estropeó. En el tubo queda sustrato (H_2O_2) sin descomponer.

Para contrastar la hipótesis A, *se acabó el sustrato*, hay que añadir peróxido de hidrógeno al tubo de ensayo con los productos (muestra sólida y líquido) de la actividad anterior. Si al añadirlo se produce la reacción (burbujeo), se acepta la hipótesis. En caso contrario, si no hay burbujeo, se habrá refutado la hipótesis A. Para contrastar la hipótesis B, *el enzima catalasa se inactiva*, lo que hay que hacer es añadir enzima al tubo de ensayo con los productos de la actividad 1. Si al añadirlo se produce reacción, hay que aceptar la hipótesis B. En caso de que no haya burbujeo, se rechaza la hipótesis B.

Los resultados de los experimentos para cada una de las actividades son diferentes. Así, para la actividad 2, «¿Por qué paró la reacción con el hígado?», el experimento nos muestra que la reacción se reactiva cuando se añade sustrato (agua oxigenada), lo que nos permite aceptar la hipótesis A: *se acabó el sustrato*, mientras que al añadir enzima (hígado) no se produce reacción, lo que nos permite rechazar la hipótesis B. En el caso de la actividad 3, «¿Por qué paró la reacción con la patata?», el experimento nos permite concluir que el enzima catalasa resultó afectado puesto que al añadir más enzima la reacción se reactiva, de modo que para el caso de la patata podemos aceptar la hipótesis B: *el enzima catalasa se inactiva*, mientras que al añadir nuevo sustrato (agua oxigenada) no se produce reacción, lo que nos llevaría a rechazar la hipótesis A.

Toma y análisis de los datos

Para la toma de datos y con el fin de validar nuestra investigación, utilizamos la estrategia de la triangulación de las fuentes de datos mediante tres fuentes: grabaciones (vídeo y audio) que posteriormente se transcribieron, textos escritos (informes de los estudiantes) y notas de campo de la investigadora. De la transcripción del discurso oral de cada grupo se obtuvieron los datos principales de análisis, mientras que los informes escritos sirvieron de apoyo para analizar las hipótesis finales que plantea cada grupo y las predicciones de lo que pasará cuando ejecuten los experimentos. Además, para confirmar esta validez, el análisis elaborado por la primera autora fue contrastado por los dos coautores, de forma individual, hasta lograr un acuerdo entre las tres partes (Stake, 2005).

Para dar respuesta al primer objetivo de investigación, analizar las líneas argumentativas desarrolladas por los grupos durante la resolución del problema, se partió del esquema de argumentación Toulmin (1958), del cual inferimos los datos, pruebas (o justificaciones) y conclusiones. Ello nos permitió establecer las fases de las líneas argumentativas que se muestran en la figura 3. Se considera que los argumentos encaminados a establecer una misma conclusión forman parte de la misma línea argumentativa. En cambio, si los argumentos apoyan una conclusión diferente (contraargumento), corresponderán a una línea argumentativa distinta. No obstante, diferentes líneas argumentativas pueden converger entre ellas.

En cuanto al segundo objetivo de investigación, analizar la adecuación de las líneas argumentativas, empleamos como criterio si las pruebas que integran son o no apropiadas. Esto es, entendemos que una prueba es apropiada si apela a algún hecho o principio científico (McNeill y Krajcik, 2008) coherente con el enunciado del problema planteado, bien sea teórico o empírico. Con relación a nuestra propuesta didáctica, los estudiantes usarán ambos tipos de pruebas: las de primera mano las obtienen empíricamente, mediante la observación de las reacciones enzimáticas, y las de segunda mano corresponden a la información teórica sobre la interacción enzima-sustrato proporcionada en una hoja de ayuda. Si las pruebas que emplean en los argumentos justifican la causa de la detención de las reaccio-

nes, esto es, son apropiadas, derivarán en una línea argumentativa *adecuada*. En cambio, si las pruebas no son apropiadas, la línea argumentativa será *no adecuada* para la solución del problema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para dar respuesta a los objetivos de investigación se describen las líneas argumentativas inferidas de los grupos A y E, así como la adecuación de estas al problema en cuestión.

Líneas argumentativas del grupo A

Del discurso argumentativo de este grupo inferimos dos líneas argumentativas que dan una explicación a la detención de las reacciones enzimáticas y que se muestran en la figura 5.

La primera línea argumentativa parte de la observación de los tubos con los restos de las reacciones producidas en la actividad 1. Estos tubos no tienen burbujas, es decir, no hay reacción [dato], lo que los lleva a formular su primera conclusión de 1.^{er} nivel: «se acabó el enzima catalasa» (hipótesis, por el papel que juega en el problema). La prueba que aportan para apoyar esta conclusión es de tipo teórico y es expuesta por André, t. 77: «Y si se acabó la enzima catalasa, luego no [...] reaccionará con el agua oxigenada», al indicar que, si se acabó el enzima, no reaccionará con el agua oxigenada, que es el sustrato. Consideramos que esta conclusión de 1.^{er} nivel es coherente con el enunciado del problema planteado, ya que si se termina el enzima, se detendrá la reacción y, aunque se añada agua oxigenada (fresca), no reaccionará, generando así una posible causa de la detención de las reacciones.

La segunda línea argumentativa se infiere cuando formulan una segunda conclusión de 1.^{er} nivel: «se acabó el oxígeno del agua oxigenada». Esta conclusión surge de los mismos datos, «la reacción se detiene, no hay burbujas»; sin embargo, apelan a diferentes pruebas para apoyarla. Las pruebas que usan para justificar la conclusión son de dos tipos: empíricas y teóricas. Apelan a pruebas empíricas, pues justifican que el oxígeno «de más» del agua oxigenada se desprende, lo que se manifiesta en forma de burbujas (Antón, t. 102: «Y para, para, porque [...] el oxígeno sube pa' riba. El oxígeno de más [...]»; t. 104: «Exactamente. El oxígeno que tenía el agua [...] oxigenada de más pasa pa' riba»). Consideramos que esta conclusión de primer nivel también es coherente con el enunciado del problema planteado, porque con ella explican una posible causa debido a la cual se detienen las reacciones. En cuanto a las pruebas teóricas, justifican lo siguiente:

- a) la función del enzima es acelerar la reacción (Anxo, t. 89: «Entonces no tiene nada que ver con la reacción, lo único que hace es acelerarla [refiriéndose a la enzima]. La reacción sigue habiendo»);
- b) el enzima no reacciona (Anxo, t. 99: «Lo único que hacen es acelerarlo, no reaccionan»);
- c) el oxígeno se desprende porque se utiliza agua oxigenada para el experimento y no agua normal (Antón, t. 109: «Si tú lo echas [enzima] en un agua normal, no pasa nada, pero si lo echas [enzima] en una oxigenada, sí. Entonces en, en la oxigenada sube [burbujeo]»), y
- d) el oxígeno (del agua oxigenada) reacciona con el hígado (como portador de enzimas) dando agua y oxígeno (Abel, t. 119: «[...]El oxígeno que se encontraba en el agua oxigenada [...] reaccionó con el hígado dando agua y oxígeno»).

Estas cuatro pruebas teóricas, junto con la empírica, convergen en una prueba de segundo nivel con la que justifican que lo que reacciona es otra sustancia, esto es, el agua oxigenada, y no el enzima (Anxo, t. 127: «Lo que reacciona no es la catalasa, sino otra sustancia y la catalasa hace que aumente la velocidad de reacción»), como comprueban después.

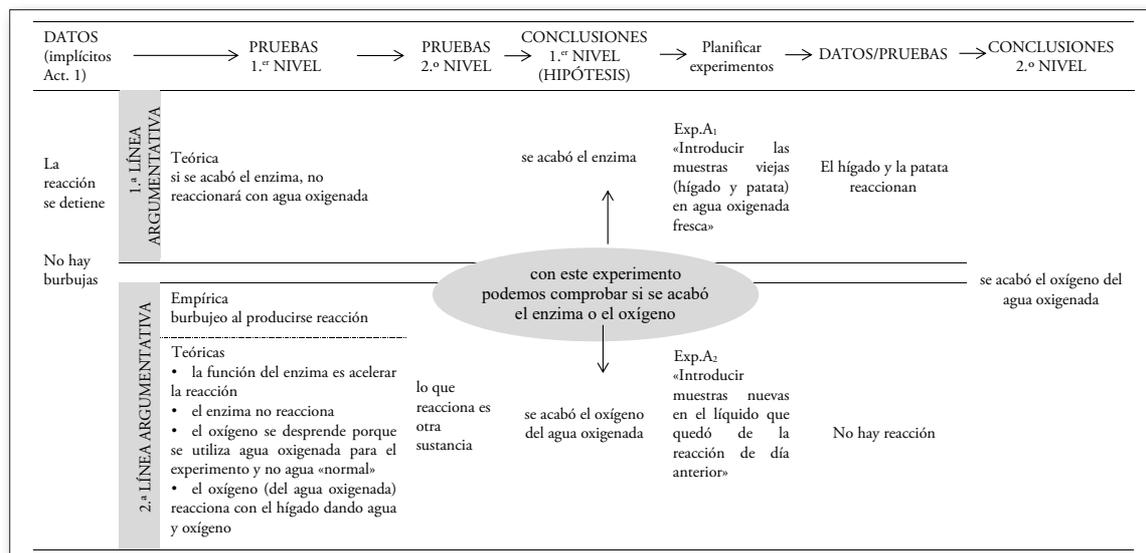


Fig. 5. Líneas argumentativas que llevan al grupo A a la conclusión de que las reacciones se detienen porque se acabó el oxígeno del agua oxigenada.

Para comprobar qué conclusión de primer nivel (o hipótesis) es correcta, Abel esboza un diseño experimental (óvalo en la figura 5):

- t. 149 Abel: «Lo que podemos hacer es comprobar si es agua oxigenada [...] o la catalasa es la que se acaba. Podemos hacerlo, pues introduciendo hígado en [...] en el agua oxigenada y cuando pare de reaccionar introducimos [...]».
- t. 151 Abel: «[...] En otra, agua oxigenada [...]».
- t. 154 Abel: «[...] para ver si sigue reaccionando, si sigue reaccionando es que se acabó el oxígeno del agua oxigenada [...] Entiendes?».

Partiendo de eso, en el informe escrito redactan lo que creen que va a pasar cuando realicen su experimento: «Si paró de reaccionar la patata con agua oxigenada (H₂O₂) debido a que se acabó el enzima catalasa, si introducimos un trozo de patata, que anteriormente reaccionase con el agua oxigenada, y paró de reaccionar, en agua oxigenada que aún no reaccionó con nada, la patata no reaccionará» (informe actividad 3, 1.º párrafo), es decir, intentan contrastar la conclusión de 1.º nivel para la 1.ª línea argumentativa: *se acabó el enzima*.

Sin embargo, sus previsiones para la conclusión de 1.º nivel de la 2.ª línea argumentativa, *se acabó el oxígeno del agua oxigenada*, hacen referencia a lo que ocurrirá con el hígado: «Si introducimos un trozo de hígado, que reaccionase anteriormente con agua oxigenada y paró de reaccionar, en agua oxigenada; entonces, si se acabó el oxígeno del agua oxigenada, del agua oxigenada con la que el hígado reaccionara anteriormente; luego, el hígado que paró de reaccionar volverá a reaccionar de nuevo con el agua oxigenada del nuevo tubo de ensayo» (informe actividad 2).

El diseño de Abel implica realizar los pasos desde el principio de la actividad 1, pero, con ayuda de sus compañeros, rediseñan el experimento para llevarlo a cabo a partir de los productos obtenidos en la actividad 1. De esta forma, el grupo diseña dos experimentos, que se resumen en la figura 6, para contrastar ambas hipótesis: «se acaba el oxígeno del agua oxigenada» (como indican ellos) y «se acaba el enzima». Para ello, separan los restos de las muestras (hígado y patata) de los correspondientes restos líquidos obtenidos al realizar la actividad 1.

A su primer diseño experimental lo denominamos Exp. A₁, «Introducir las muestras viejas (hígado y patata) en el agua oxigenada fresca», que consiste en introducir los restos de hígado, por un lado, y patata, por otro, en sendos tubos de ensayo que contienen agua oxigenada (fresca) y observar qué sucede en cada uno. A su segundo diseño lo denominamos Exp. A₂: «Introducir muestras nuevas en el líquido que quedó de la reacción del día anterior», y consiste en disponer los restos del líquido en sendos tubos de ensayo y añadir una nueva porción de hígado al tubo de ensayo con líquido que ya había reaccionado con el hígado, y una porción de nueva de patata al líquido que previamente había reaccionado con patata, y ver qué sucede en cada uno.

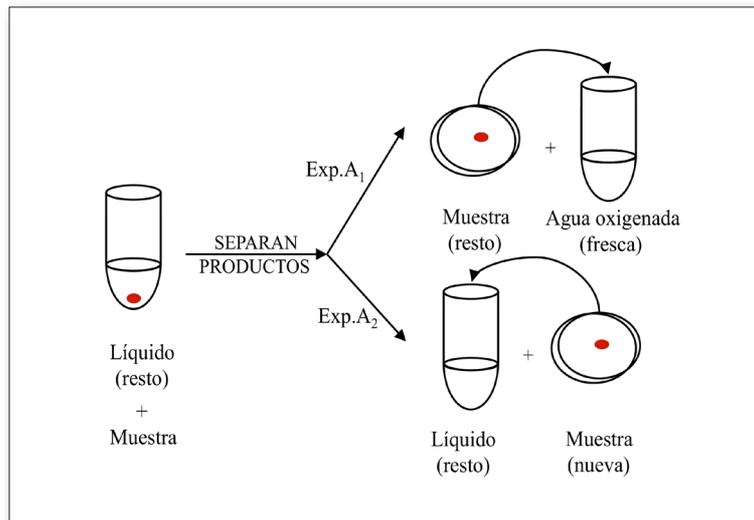


Fig. 6. Procedimiento de los experimentos Exp. A₁ y A₂ realizados por el grupo A.

Cuando llevan a cabo los experimentos, los estudiantes observan que, en el caso del hígado, se produce reacción en el Exp. A₁, prueba que confirma su hipótesis de que «se acabó el oxígeno del agua oxigenada», que corresponde con la conclusión de 1.^{er} nivel de la 1.^a línea argumentativa. En el caso de la patata, también se produce reacción, aunque tendría que haber sido el resultado inverso, es decir, no debería haber reacción, pues el hígado y la patata actúan a la inversa frente al sustrato. Esto es, en el Exp. A₂ debería haber reacción al añadir patata fresca en el tubo con los restos de líquido procedentes de la actividad 1, por lo que inferimos que hubo contaminación en el tubo de ensayo. Esta casuística los lleva a rechazar la conclusión de 1.^{er} nivel de la 2.^a línea argumentativa.

Cuando analizamos la calidad de ambas líneas argumentativas observamos que, dado que las pruebas que emplean en la argumentación son apropiadas, ambas líneas son también adecuadas para resolver el problema.

Líneas argumentativas del grupo E

En este grupo inferimos dos líneas argumentativas que se muestran en la figura 7. La primera línea argumentativa los lleva a formular lo que consideramos su conclusión de 1.^{er} nivel: «el tejido está descompuesto». Los datos de los que parten en esta línea son la observación de los tubos con los productos de las reacciones producidas, es decir, observan líquidos turbios y que no tienen burbujas, es decir, que no hay reacción. Las pruebas que usan para justificar esta conclusión de 1.^{er} nivel (hipótesis, por el papel que juega en el problema) son de dos tipos: empíricas, al referirse al estado de los tejidos tras la experiencia (Estela, t. 131: «Destruyeron tejido, la patata está tal cual»), y teóricas, como la justifi-

cación que aporta Elisa para relacionar los datos con sus conclusiones, t. 136: «A ver, los enzimas son unos tejidos que ayudan a descomponer la chicha». Entendemos que esta prueba teórica no es adecuada, puesto que denomina «tejidos» a los enzimas, creemos que en sentido impreciso de «objeto», e identifica el hígado con la «carne» al denominarlo «chicha», probablemente para subrayar su aspecto material. Además, consideran que el papel del enzima es deteriorar la muestra de hígado. Con estas pruebas tratan de justificar que las reacciones se detienen cuando la muestra está deteriorada. Este grupo no propone ningún experimento para contrastar la conclusión de 1.º nivel, sino que se sirven de una situación cotidiana para explicar cómo sería el proceso. Esta situación cotidiana es expuesta por Elsa, t. 219: «imagínate que el sustrato es un vaso de agua, y [...] tenemos una pastilla [...] una pastilla, y la echamos en agua, cuando la pastilla se acaba [...] ya no hay reacción [...]», de modo que, con esta analogía, coherente con la conclusión de 1.º nivel anterior («el tejido está descompuesto»), da por explicada la detención de la reacción. Esta línea argumentativa la consideramos no adecuada para la resolución del problema, ya que, a pesar de estar enfocada a la explicación de la detención de las reacciones, usan pruebas que no son apropiadas para relacionar los datos con la conclusión.

La segunda línea argumentativa se infiere cuando formulan una segunda conclusión de 1.º nivel: «si hay menos líquido hay más reacción», la cual surge de los mismos datos; sin embargo, apelan a diferentes pruebas para apoyarla. Las pruebas que usan para justificar esta hipótesis son de tipo teórico. Así, Elisa indica, t. 121: «A ver, la velocidad de reacción aumenta repentinamente. O sea que [...] aumenta, ¿no? [...] con el aumento de la concentración del sustrato porque abunda el enzima li [...] y disponible [...] para unir al sustrato [...] añadido». Elisa emplea esta prueba indicando que la velocidad de reacción aumenta con el aumento de la concentración de sustrato porque hay enzima libre para unirse con el sustrato. Apelando también a pruebas teóricas, Estela indica, t. 184: «O sea, que cuanto menos líquido hay más [...] cantidad de reacción por [...] hay más cantidad de enzima porque el líquido que es menos». Así Estela justifica que cuanto menos líquido (sustrato), hay más reacción, refiriéndose a que la intensidad del burbujeo es mayor, porque proporcionalmente hay más cantidad de enzima. Por lo tanto, consideramos que esta línea argumentativa no es adecuada, puesto que no se enfoca a dar respuesta a las causas por las que se detienen estas reacciones.

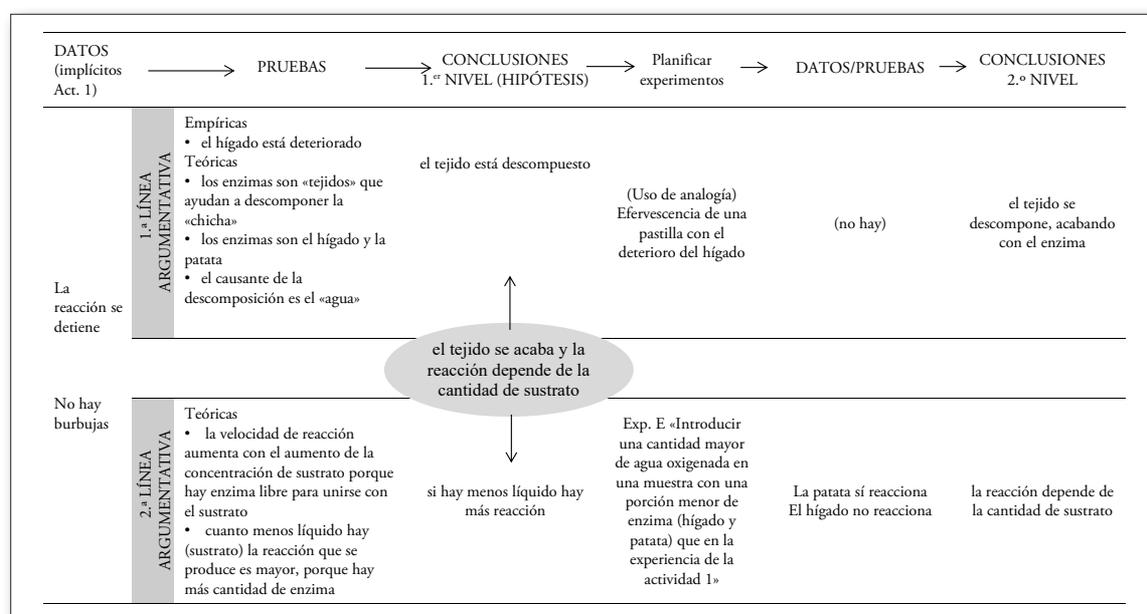


Fig. 7. Líneas argumentativas del grupo E que los llevan a la conclusión que el tejido se descompone y la reacción depende de la cantidad de sustrato.

Para contrastar la conclusión de 1.^{er} nivel de la segunda línea argumentativa, sobre la intensidad de la reacción, planifican un experimento que consiste en repetir el experimento de la actividad 1 con una pequeña modificación, que consiste en añadir más cantidad de sustrato (agua oxigenada) a las muestras que contienen enzima, con el fin de comparar la intensidad del burbujeo de las reacciones que se produzcan con las que se produjeron en la sesión anterior (Emilia, t. 324: «Hay que hacer lo del otro día, creo»; Estela, t. 325: «Pero con más agua»). A este diseño experimental lo denominamos Exp. E: «Introducir una cantidad mayor de agua oxigenada en una muestra con una porción menor de enzima (hígado y patata) que en la experiencia de la actividad 1». En la figura 8 se exponen, a modo de resumen, los experimentos realizados por las chicas del grupo E, consistentes en utilizar una porción más pequeña de ambas muestras frescas (hígado y patata) que la utilizada en la actividad 1, y una cantidad mayor de agua oxigenada fresca que la utilizada en la actividad 1 y observar qué sucede.

Comienzan a realizar su experimento repartiendo el agua oxigenada en dos tubos; en uno de ellos introducen la muestra de hígado y en el otro la de patata. Los datos los obtienen a partir de observaciones en las que estiman las diferencias entre las velocidades de reacción de las muestras (figura 7), aunque esto no lo hacen explícito en ningún momento, pues en el diseño experimental no indican qué datos utilizan ni cómo los van a recoger. Emilia, t. 374: «Yo creo que más rápida la patata, ¡eh!»; Elsa, t. 375: «Y hígado no reacciona, ¡vaya mierda!»; Elisa, t. 376: «Porque hay mucho agua»; Emilia, t. 379: «Piensa que aquí hay espumita. ¡Eh!»; Elsa, t. 380: «No, pero es que es menos hígado»; Emilia, t. 381: «Es que no es [...]»; Estela, t. 382: «Y más agua»; Emilia, t. 383: «[...] es mucho menos hígado»; Estela, t. 384: «Mucho menos hígado y más agua».

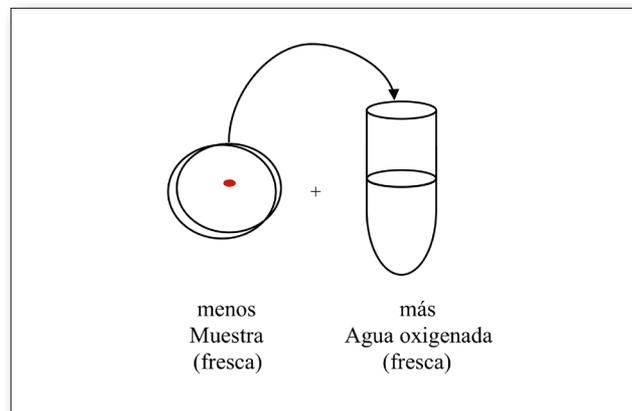


Fig. 8. Procedimiento del experimento realizado por el grupo E.

Una vez realizado el experimento, interpretan los resultados observados. Así, en el experimento con la patata, no dudan de que sí se produce reacción, puesto que observan la producción de burbujas inmediatamente al introducir la patata (nueva) en agua oxigenada. Sin embargo, en el experimento con el hígado interpretan que no se produce reacción (Elsa, t. 375: «Y hígado no reacciona»), porque tarda un poco más en reaccionar al contacto del enzima con el sustrato, ante lo cual interpretan que no se produce reacción porque echaron mucha «agua», pero Emilia hace referencia a la aparición de espuma para indicar que hay reacción (Emilia, t. 379: «Piensa que aquí hay espumita»).

Ello les conduce a una conclusión de 2.^o nivel de su 2.^a línea argumentativa, que redactan como *la reacción depende de la cantidad de sustrato*. Estas alumnas no llegan a establecer una única conclusión de 2.^o nivel y sus líneas argumentativas no convergen. De modo que este grupo presenta dos conclusiones de 2.^o nivel que no tienen nada que ver con el problema. Atienden solo a las velocidades de reacción y generalizan que la destrucción (deterioro) de la muestra provoca que finalice la reacción. Por todo

ello consideramos que ambas líneas argumentativas no son adecuadas y no les permiten llegar a la resolución del problema.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

En relación con el primer objetivo de investigación, analizar las líneas argumentativas desarrolladas por los estudiantes para dar una respuesta al problema de detención de reacciones enzimáticas, concluimos que el propio análisis en sí supone un reto o una limitación centrada en el propio análisis del discurso argumentativo. Al ser un proceso interpretativo, nos hemos encontrado dificultades relacionadas con la intencionalidad con la que se expresan los estudiantes, por ejemplo, una prueba podría confundirse con una conclusión; por ese motivo la objetividad del investigador es importante. Para reducir estas limitaciones, hemos utilizado, junto con la triangulación de los datos, las directrices establecidas por Kelly, Druker y Chen (1998), con la confianza de hacer este análisis de la forma más objetiva posible.

Atendiendo a las líneas argumentativas inferidas, ambos grupos elaboran dos líneas argumentativas, aunque cada grupo con particularidades. El grupo A ha interpretado los datos correctamente, ya que la mayoría de las pruebas que plantean para relacionar estos datos con la conclusión son apropiadas, lo que implica que fueron capaces de utilizar el conocimiento necesario para interpretar los datos de forma correcta y, así, llegar a una conclusión que les permitió dar respuesta al problema que les planteamos. En cambio, el grupo E comienza la actividad interpretando los datos de forma correcta, hasta que se centran en justificar la diferencia en la velocidad de reacciones entre el hígado y la patata con el agua oxigenada. Ello hace que sus razonamientos se centren en la comparación de las velocidades de reacción, en lugar de explicar la detención de esta.

En cuanto al segundo objetivo de investigación, determinar la adecuación de dichas líneas argumentativas al problema planteado, del análisis de las líneas argumentativas concluimos que mientras que el grupo A emplea pruebas apropiadas desarrollando líneas argumentativas adecuadas al problema planteado, el grupo E, como se ha comentado, no enlaza los datos con la conclusión de forma coherente, usando pruebas que no son apropiadas para relacionarlos con la conclusión, por lo que las líneas argumentativas no son adecuadas. La razón de que esto ocurriese puede ser que, en el documento de apoyo teórico, se les daba más información sobre los enzimas y la interacción enzima-sustrato de lo que necesitaban para resolver el problema. Ello pudo causar que los integrantes del grupo E no apelasen a pruebas empíricas para explicar la detención de las reacciones, pero sí empleasen pruebas teóricas científicamente válidas, pero inadecuadas para la resolución del problema.

Observamos un predominio del uso de pruebas de tipo teórico frente al uso de pruebas de tipo empírico antes de la planificación de los experimentos. Consideramos que el motivo de este predominio es que, al tener poca experiencia con relación a la interacción enzima-sustrato, es más fácil apelar a pruebas de tipo teórico, porque la información que se aportó fue de tipo teórico, datos de segunda mano siguiendo la denominación de Hug y McNeill (2008), que apelar a pruebas de tipo empírico, ya que su experiencia consistía en la realización de la actividad 1, «Acción catalítica de los enzimas», datos de primera mano. En el estudio llevado a cabo por Hug y McNeill se comprobó que el alumnado atribuye un estatus de validez superior a los datos de segunda mano que a los de primera, con los que son más críticos. Posiblemente por una razón similar, el uso de pruebas teóricas haya tenido más peso para justificar los argumentos en nuestro estudio. No obstante, tras ejecutar los experimentos, los datos y pruebas empíricas, aunque hayan sido escasas, han tenido relevancia para establecer las conclusiones de segundo nivel y dar una respuesta al problema, sobre todo en el caso del grupo A, cuyos integrantes llegan a una única conclusión de 2.º nivel.

Aunque de forma diferente, ambos grupos se involucraron en la resolución del problema, que no solo requería que argumentasen, sino también que indagasen y modelizasen para llegar a una explicación sobre la detección de las reacciones. Ello nos permite valorar positivamente las actividades que involucran a los estudiantes en las prácticas científicas favoreciendo que estos apliquen el conocimiento científico en la resolución de problemas, alejándose de ser un conocimiento inerte. En particular, atendiendo a las líneas argumentativas, coincidimos con Kelly et al. (2008) en que involucrar a los estudiantes en estrategias heurísticas contribuye a que aprendan a razonar, al tiempo que, al construir sus argumentos, exteriorizan su razonamiento dando acceso a este, de manera que los docentes puedan conocerlo y favorezcan su mejora.

AGRADECIMIENTOS

A los participantes del estudio.

Agradecimientos a la financiación de FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación- Proyecto ESPIGA, referencia PGC2018-096581-B-C22.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ageitos, N., Puig, B. y Calvo-Peña, X. (2017). Trabajar genética y enfermedades en secundaria integrando la modelización y la argumentación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 86-97. DOI: 10498/18848 <http://hdl.handle.net/10498/18848>
- Archila, P. A. (2012). La investigación en argumentación y sus implicaciones en la formación inicial de profesores de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(3), 361-375. DOI: 10498/14864 <http://hdl.handle.net/10498/14864>
- Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F., Campbell, B. y Robinson, A. (2010). Talking science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education*, 32(1), 69-95. <https://doi.org/10.1080/09500690802713507>
- Berland, L. K. y Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanations. *Science Education*, 93(1), 26-55. <https://doi.org/10.1002/sce.20286>
- Blanco Anaya, P. y Díaz Bustamante, J. (2014). Argumentación y uso de pruebas: realización de inferencias sobre una secuencia de icnitas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 35-52. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1009>
- Buitrago, Á. R., Mejía, N. M. y Hernández, R. (2013). La argumentación: de la retórica a la enseñanza de las ciencias. *Revista Innovación Educativa*, 13(63), 17-40.
- Ceberio, M., Almudí, J. M. y Zubimendi, J. L. (2014). Análisis de los argumentos elaborados por estudiantes de cursos introductorios de Física universitaria ante situaciones problemáticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 71-88. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1112>
- Crujeiras Pérez, B. y Blanco Anaya, P. (2017). Trabajar la argumentación a través de la indagación en el laboratorio. ¿Será Limpics una estafa? *Aula de Innovación Educativa*, (260), 27-30.
- Díaz de Bustamante, J. y Jiménez Aleixandre, M. P. (1999). Aprender ciencias, hacer ciencias: resolver problemas en clase. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 20, 9-16.
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Erduran, S., Simon, S. y Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: developments in the use of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933. <https://doi.org/10.1002/sce.20012>

- Evagorou, M. y Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 209-237. <https://doi.org/10.1002/tea.21076>
- Gee, J. P. y Handford, M. (eds.) (2012). *The Routledge Handbook of Discourse Analysis*. Nueva York: Routledge.
- Henao, B. L. y Stipich, M. S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 47-62.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142. <https://doi.org/10.1080/03057269308560022>
- Hug, B. y McNeill, K. L. (2008). Use of First-hand and Second-hand Data in Science: Does data type influence classroom conversations? *International Journal of Science Education*, 30(13), 1725-1751. <https://doi.org/10.1080/09500690701506945>
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Brocos, P. (2015). Desafios metodológicos na pesquisa da argumentação em ensino de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 17(especial), 139-159.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodriguez, A. y Duschl, R. A. (2000). «Doing the lesson» or «Doing science»: Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792. [https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200011\)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F)
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 359-378.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2011). *The role of justifications in integrating evidence in arguments: Making sense of gene expression*. Comunicación presentada en el congreso de ESERA. Lyon (Francia).
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En R. A. Duschl y R. E. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation* (pp. 99-100). Róterdam: Sense Publishers.
- Kelly, G. J., Druker S. y Chen, C. (1998). Students' reasoning about electricity: combining performance assessment with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 20(7), 849-871. <https://doi.org/10.1080/0950069980200707>
- Kelly, G. J., Regev, J. y Prothero, W. (2008). Analysis of lines of reasoning in written argumentation. En S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 137-159). Dordrecht: Springer.
- Kelly, G. J. y Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: an analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 83(3), 115-130. <https://doi.org/10.1002/sce.10024>
- Koslowski, B., Marasia, J., Chelenza, M. y Dublin, R. (2008). Information becomes evidence when an explanation can incorporate it into a causal framework. *Cognitive Development*, 23(4), 472-487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogdev.2008.09.007>
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337. <https://doi.org/10.1002/sce.3730770306>
- Ley Orgánica 2/2006, del 3 de mayo, de Educación (LOE). BOE del 4 de mayo de 2006, 106, 17158-17207.

- McNeill, K. L. y Krajcik, J. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. En J. Luft, R. Bell, y J. Gess-Newsome (Eds.), *Science as inquiry in the secondary setting* (pp. 121-134). Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.
- Mendonça, P. C. C. y Justi, R. (2013). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.811615>
- National Research Council (NRC) (2012). *A framework for K-12 Science Education: practices, crosscutting concepts and core ideas*. Washington DC: National Academy Press.
- OCDE (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. París: PISA, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>
- Osborne, J. (2011). Science teaching methods: a rationale for practices. *School Science Review*, 93(343), 93-103.
- Sadler, T. D. y Zeidler, D. L. (2005). The significance of content knowledge for informal reasoning regarding socioscientific issues: Applying genetics knowledge to genetic engineering issues. *Science Education*, 89(1), 71-93. <https://doi.org/10.1002/sce.20023>
- Sandoval, W. A. y Millwood, K. A. (2008). What Can Argumentation Tell Us About Epistemology? En S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 81-98). Dordrecht: Springer.
- Stake, R. E. (2005). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge: University Press.
- Walker, J. P., Sampson, V. y Zimmerman, C. O. (2011). Argument-driven inquiry: An introduction to a new instructional model for use in undergraduate chemistry labs. *Journal of Chemical Education*, 88(8), 1048-1056. <https://doi.org/10.1021/ed100622h>
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods* (3.^a ed.). Londres: SAGE Publications.
- Zohar, A. y Nemet, F. (2002). Fostering students' argumentation skills through bioethical dilemmas in genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35-62. <https://doi.org/10.1002/tea.10008>

ANEXO I

Actividad 1: acción catalítica de los enzimas

Materiales: tubos de ensayo grandes, gradillas de tubos de ensayo, probetas de 25 ml y varillas de vidrio.

Productos: solución de peróxido de hidrógeno al 3 %; arena fina de cuarzo.

Muestras: patata fresca e hígado fresco.

Procedimiento:

1. Toma tres tubos pequeños de ensayo y vierte en cada uno 2 ml de la solución de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada).
2. En uno de ellos añade una cierta cantidad de arena, en otro un trozo de hígado del tamaño de un grano de arroz y, en otro, un trozo equivalente de patata.

Observación:

3. Observa y toma nota de la velocidad de reacción en cada tubo de ensayo, para lo cual puedes utilizar la siguiente escala, que es subjetiva:

0 = no hay reacción 1 = lenta 2 = moderada 3 = rápida 4 = muy rápida

Comprueba que, transcurrido un tiempo, se detiene la reacción.

4. Cuando termines, conserva el contenido de los tubos de ensayo por si necesitas usarlos después.

Actividad 2: ¿Por qué paró la reacción con el hígado?

Discute con tus compañeros las posibles causas por las que paró la reacción.

Diseño y realización de un experimento de comprobación:

Realizad un diseño experimental para comprobar si es correcta vuestra hipótesis utilizando el material disponible.

Resultados y observaciones propios:

Actividad 3: ¿Por qué paró la reacción con la patata?

Discute con tus compañeros las posibles causas por las que paró la reacción.

Diseño y realización de un experimento de comprobación:

Realizad un diseño experimental para comprobar si es correcta vuestra hipótesis utilizando el material disponible.

Resultados y observaciones propios:

Establishment of argumentative lines in the resolution of a problem with enzymes

M.^a Peregrina Varela Caamiña, Paloma Blanco Anaya, Joaquín Díaz de Bustamante
Departamento de Didácticas Aplicadas. Universidade de Santiago de Compostela, Lugo, España
titavarela@edu.xunta.es, paloma.blanco@usc.es, joaquin.diaz.1952@gmail.com

This study aims to analyse the argumentative lines followed by students from 10th grade during the resolution of an open problem. The research objectives are: 1) to analyse the argumentative lines that are developed by students in order to give an explanation for the stoppage of enzymatic reactions and 2) to determine the appropriation of such argumentative lines so as to solve the problem.

Lines of reasoning were proposed by Kelly, Regev & Prothero (2008) to analyse written argumentation. Their purpose is to examine the series of reasoning from the use of data and to establish a complex argument based on evidence. That is why, considering the lines of reasoning, we suggest an analysis through argumentative lines for our study, that is, a series of arguments to be followed by students in order to reach a conclusion. This adaptation was necessary for two reasons. First, lines of reasoning (Kelly *et al.*, 2008) were developed for written argumentation (individual), not for an oral discourse argumentation (collective). Secondly, our analysis starts at Toulmin's (1985) pattern of argument, which allows us to identify subsequent arguments and counterarguments to infer the different argumentative lines followed by each group.

The task that students faced was a scientific problem related to an enzymatic process, more specifically, the decomposition of hydrogen peroxide «in vitro» as catalysed by the catalase enzyme contained in animal (liver) and vegetable (potato) fresh samples. The development of the task took place during two sessions of 50 minutes each.

Participants were 41 10th grade students (15-16 years old) taking Biology and Geology, but in this paper we show the results of 2 groups (A & E). To gather the information, all sessions were recorded in audio and video and were later transcribed.

For the first research objective, the analysis consists in inferring data, evidence and conclusions from the students' oral discourse so as to establish the argumentative lines.

For the second research objective, the analysis is focused on the adequacy of argumentative lines, taking into consideration whether evidences are appropriate or not in each argumentative line.

Regarding the first research objective, both groups create two argumentative lines, although with particularities. Group A has interpreted the data properly, since most of the evidences students used were appropriate, giving explanations for the stoppage of enzyme reaction. Instead, group E begins the task by interpreting the data properly, but later focuses on justifying the different reactions rates in both the liver and the potato samples with oxygenated water. This is the reason why their reasoning focused on the comparison of the reaction rates, instead of explaining the stoppage of the reaction.

Considering the second objective of research, group A uses appropriate evidences, which contributes to appropriate argumentative lines for the problem. Group E does not link the data with the conclusion in a coherent way, using evidences that are not appropriate; therefore, the argumentative lines are not adequate.

From the results, we conclude that involving students in heuristic strategies makes them both reason and externalize their reasoning when developing their oral arguments, giving the teacher the opportunity to know students' knowledge and to improve it.