



¿Por qué paran las reacciones? Diseñar experimentos para indagar la interacción enzima-sustrato

Why do the reactions stop? Design experiments to investigate enzyme-substrate interaction

María Peregrina Varela Caamiña,¹ Paloma Blanco Anaya¹ y Joaquín Díaz de Bustamante¹

Recepción: 24-05-2020
Aceptación: 15-12-2020

Resumen

Este trabajo analiza el proceso de indagación que sigue un grupo de estudiantes de secundaria. La actividad de laboratorio requiere indagar por qué se detuvieron las reacciones enzimáticas que se proponen. En concreto, las reacciones se producen al reaccionar el sustrato (peróxido de hidrógeno) con dos muestras que contienen la enzima catalasa (hígado bovino fresco y patata fresca). Dicha actividad se implementa en 4º curso de la educación secundaria obligatoria (15-16 años) y se analiza la adecuación del proceso de indagación que sigue un grupo de estudiantes (N=4) para resolver el problema planteado. Los resultados muestran que la actividad exige a las participantes que actúen de forma autónoma en el diseño de experimentos, siendo éstas capaces de proponer hipótesis coherentes con el problema a investigar y diseñar varios experimentos hasta que dan respuesta a la detención de las reacciones.

Palabras clave

Indagación, actividad abierta de laboratorio, interacción enzima-sustrato, catalasa, peróxido de hidrógeno, educación secundaria.

Abstract

This study analyzes the inquiry process followed by one group of secondary students. The laboratory task requires investigating why did these enzymatic reactions stop. Specifically, the reaction occurs when the substrate (hydrogen peroxide) reacts with two samples that contain the catalase enzyme (fresh bovine liver and fresh potato). This activity is implemented in the 11th grade (15-16 years old) and the adequacy of the inquiry process that a group of students (N=4) follows to solve the scientific problem is analyzed. The results show that the activity requires the participants to act autonomously in the design of experiments, being capable of proposing hypotheses coherent with the problem and design various experiments until they respond to the stopping of the reactions.

Keywords

Inquiry, open-laboratory task, enzyme-substrate interaction, catalase, hydrogen peroxide, secondary school.

¹ Universidade de Santiago de Compostela, Departamento de Didácticas Aplicadas, España. Contacto: paloma.blanco@usc.es

Introducción

Las tendencias en la investigación educativa han indicado la relevancia del aprendizaje de la ciencia a través de actividades de laboratorio abiertas que impliquen un mayor grado de autonomía de los estudiantes favoreciendo el desarrollo de la competencia científica (Reyes-Cárdenas y Padilla, 2012). Para ello, se le presenta al alumnado una tarea de laboratorio en la que debe indagar sobre las reacciones enzimáticas.

Las enzimas son proteínas cuya función principal es catalizar reacciones, es decir, reducir la cantidad de energía necesaria para que ocurra una reacción (Berg, Tymoczko y Stryer, 2010). El papel catalítico de las enzimas ganó relevancia en la enseñanza de ciencias en los proyectos educativos como el presentado por Welch *et al.* (1973) el cual sirvió de inspiración en el diseño de la tarea de laboratorio que aquí se presenta.

En esta actividad las enzimas en estudio son catalasas, que actúan sobre el peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , sustrato), un metabolito tóxico en las células (Welch *et al.*, 1973) por lo que debe eliminarse de inmediato, aunque también tenga funciones útiles, por ejemplo, protección contra patógenos. La función de la catalasa es descomponer el peróxido de hidrógeno rápidamente para producir agua (H_2O) y oxígeno (O_2), que se desprende como un gas.

Existen otras propuestas educativas basadas en el efecto catalasa. Por ejemplo, Choinski y Patterson (1993) proponen un experimento simple para estudiar la cinética de la enzima catalasa obtenida del hígado bovino, que también fue utilizada por Johnson y Deese (2000). Mientras que Kimbrough, Magoun y Langfur (1997) diseñan un experimento de laboratorio en el que los estudiantes buscan actividad de catalasa en extractos de diferentes fuentes vegetales y animales. Sin embargo, proponemos una actividad que no consiste en aprender la cinética o la termodinámica de la enzima catalasa, sino en desarrollar un modelo relativamente simple (modelo escolar) para reacciones enzimáticas (Figura 1).



El objetivo de este trabajo consiste en analizar el desarrollo del proceso de indagación que siguen los estudiantes, de 4º curso de la educación secundaria obligatoria (15-16 años), para resolver el problema planteado sobre la actividad enzimática.

Indagación a través de actividades abiertas de laboratorio

Los trabajos prácticos en el laboratorio han jugado y juegan un papel importante en el aprendizaje de las ciencias en todos los niveles educativos. En los años sesenta y setenta surgieron proyectos como *Biological Sciences Curriculum Study* (BSCS) (Moore *et al.*, 1968) en Estados Unidos o *Nuffield* de biología, física y química (Nuffield Foundation, 1974) en Inglaterra, en dichos proyectos se proponía un estilo de enseñanza en el cual el trabajo práctico realizado por los estudiantes les condujese a los fundamentos conceptuales, y el papel del profesor sería de guía. Otros autores (Qualter, Strang, Swatton y Taylor, 1990; Tamir y García Rovira, 1992) pusieron el foco de atención en el diseño de las prácticas de laboratorio las cuales tienen que responder a investigaciones, en lugar de realizar experiencias tipo ‘receta’ con las que comprobar hechos y teorías mediante la obtención de los resultados correctos. La literatura recoge varias clasificaciones de los tipos de trabajo en el laboratorio las cuales fueron consideradas por Caamaño (2005), quien propone cuatro modalidades de actividades:

Figura 1. Representación del modelo escolar para la interacción enzima-sustrato.
E = enzima, S = sustrato, ES = complejo enzima-sustrato, P = producto.

Experiencias que pueden ser perceptivas o interpretativas, cuya finalidad es explorar las ideas de los estudiantes;

Experimentos ilustrativos, aportan evidencias experimentales;

Ejercicios prácticos, para aprender habilidades prácticas y procesos y para corroborar la teoría;

Investigaciones, para aprender a investigar y resolver problemas teóricos y para aprender a investigar y resolver problemas prácticos.

Estas modalidades van incrementando el grado de independencia de los estudiantes a la hora de realizar una actividad práctica, siendo el mayor grado de independencia cuando describen las actividades del tipo investigación.

Las actividades de investigación o indagación involucran a los estudiantes en la resolución de problemas poniendo en marcha habilidades como observar, plantear preguntas, planificar investigaciones, utilizar instrumentos para obtener, analizar e interpretar datos, proponer explicaciones y comunicar los resultados (National Research Council, 1996).

Según como sea su diseño, estas actividades de indagación tendrán un grado de apertura mayor o menor. Herron (1971, citado por Tamir y García Rovira, 1992) distingue cuatro niveles de indagación para las actividades de laboratorio, dependiendo de su nivel de apertura, que van desde el nivel 0 hasta el nivel 3. En el nivel 0 el problema, el procedimiento y la conclusión se indican con antelación, y los niveles de apertura irían incrementándose hasta el nivel 3, en el cual los tres serían abiertos, es decir, son los estudiantes los que proponen los problemas, los procedimientos a seguir y llegan a las conclusiones a partir de los resultados obtenidos (tabla 1).

Nivel	Problema	Procedimiento	Conclusión
0	se dan	se dan	se dan
1	se dan	se dan	abierta
2	se dan	abierta	abierta
3	abierta	abierta	abierta

Tabla 1. ILI - Inventario del Nivel de Indagación en el Trabajo Practico de Herron (1971) (citado por Tamir y García Rovira, 1992).

Por su diseño, la propuesta didáctica de este estudio presenta un nivel 2 de apertura ya que los estudiantes deben diseñar el procedimiento para dar respuesta al problema sin conocer los resultados que obtendrán. Pretendemos dar la oportunidad a los estudiantes de razonar para resolver una actividad sin protocolo, como sugieren Tenreiro-Vieira y Marques Vieira (2006), en la que deben elaborar hipótesis, diseñar experimentos, definir e identificar variables, evaluar resultados y comunicar conclusiones.

Metodología

Éste es un estudio de caso (Yin, 2003) que se realiza mediante un análisis del discurso, esto es, el estudio del uso del lenguaje en contextos específicos (Gee y Handford, 2012), para examinar el razonamiento de los estudiantes en el desarrollo de la práctica científica de indagación.

Participantes y contexto

La actividad de laboratorio se llevó a cabo en el aula con 41 estudiantes de biología y geología de 4º curso de educación básica obligatoria (15-16 años), organizados en pequeños grupos

(3-4 miembros). En este trabajo se presentan los resultados del análisis del grupo B pues cubren todos los aspectos de la tarea objeto de estudio. Este grupo está conformado por cuatro chicas cuyos nombres fueron sustituidos por pseudónimos que conservan el género y comienzan por la letra del grupo al que pertenecen.

Debido al curso en que se encuentran, esta actividad es su primer acercamiento a la actividad enzimática, pues no han recibido instrucción previa al respecto. Por ello, para ayudarles en la resolución del problema se les aporta información de apoyo, que se comenta a continuación.

Toma y análisis de los datos

La toma de datos se realizó, por un lado, con grabaciones en audio y video de las dos sesiones (50' cada una) que duró el desarrollo de la actividad de laboratorio. Estas grabaciones fueron transcritas por la primera autora. Estos datos se completaron con los informes escritos elaborados por cada grupo de estudiantes.

El análisis de las transcripciones se realiza identificando cada una de las fases de indagación propuestas en el proyecto Evaluación del Desempeño del proyecto (Assesment of Performance Unit, APU, 1984) y la adaptación realizada por Caamaño (2003) (Figura 2). Una vez identificadas las fases del proceso de indagación de cada grupo, se examina la calidad de dicho proceso. Los criterios para determinar la calidad del proceso de indagación se basan en: 1) si formulan una hipótesis pertinente o no, es decir, acorde con el problema propuesto, y 2) si diseñan un experimento coherente o no con la hipótesis formulada.

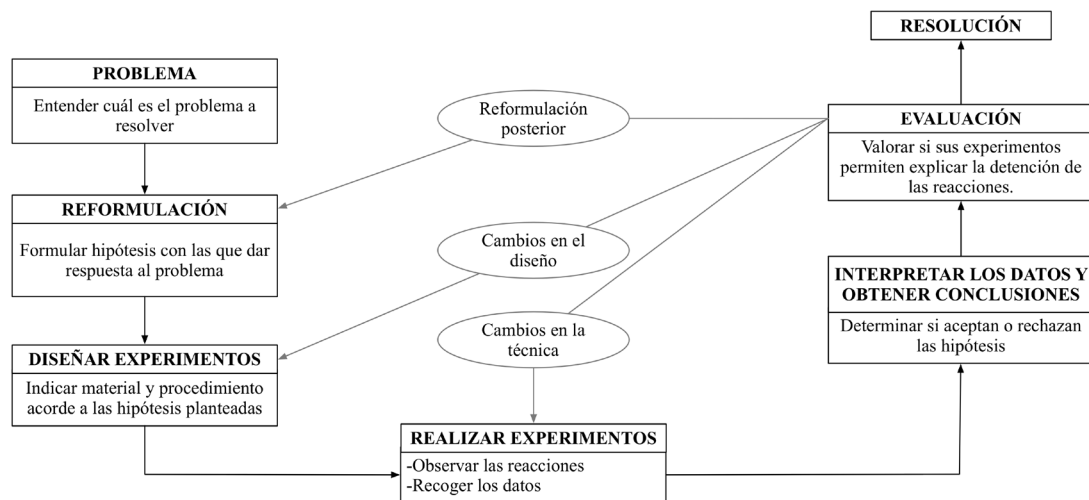


Figura 2. Diagrama de las etapas de investigación según el proyecto APU (1984).

Diseño y procedimiento de resolución de la tarea

Debido a la complejidad del contenido abordado en la tarea, puede implementarse en niveles educativos más altos reduciendo la cantidad de apoyo teórico brindado a los estudiantes. En el nivel que se implementó los conocimientos que el alumnado debe manejar se centran en un acercamiento al concepto de enzima, sustrato y producto, reacción enzimática y observación de la descomposición a través del burbujeo por la producción de oxígeno.

Consideramos que es una actividad que favorece el desarrollo de las prácticas científicas, pues permite que el alumnado ponga a prueba su capacidad de desarrollar investigaciones (indagación), elabore una explicación a la detención de las reacciones o a la presencia/ausencia de burbujeo manejando el modelo de interacción enzima-sustrato (modelización) y use las pruebas obtenidas en el proceso de indagación para justificar las conclusiones a las que llega (argumentación).

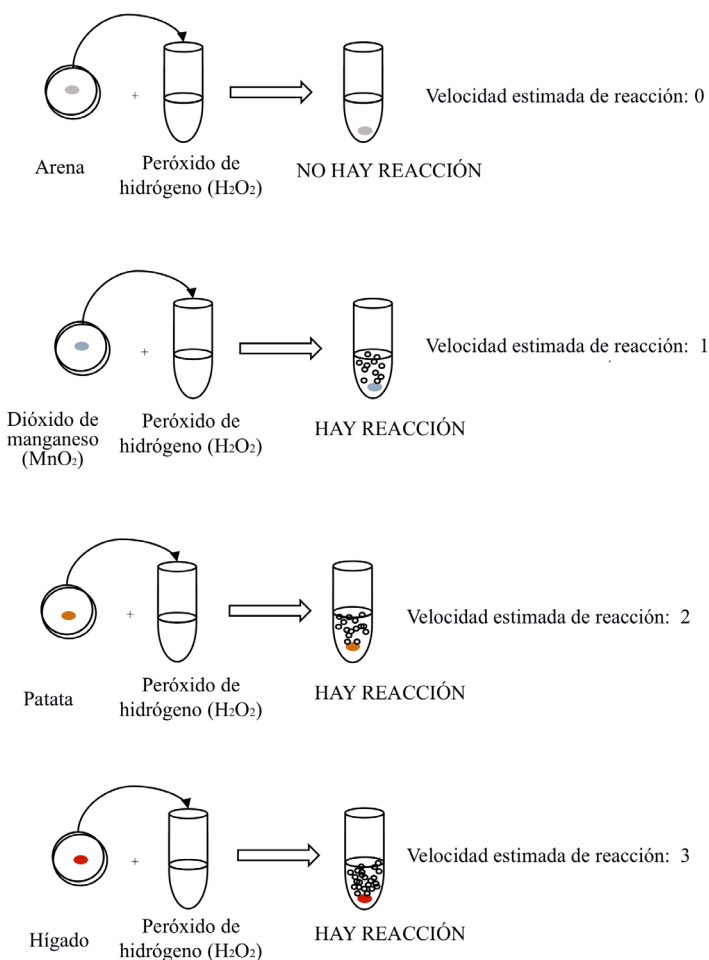
Objetivo y descripción de la actividad de laboratorio

El objetivo consiste en diseñar experimentos para explicar por qué se detienen las reacciones enzimáticas; en particular, cuando el sustrato (peróxido de hidrógeno) reacciona con muestras de enzimas contenidas en muestras de hígado bovino y patata, ambas frescas.

El contenido científico relacionado con la bioquímica es: 1) la reacción de descomposición, que ocurre cuando la enzima (catalasa) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) interactúan entre sí y 2) la velocidad de reacción.

El material de laboratorio necesario para examinar la interacción enzima-sustrato es: a) muestra sin enzima (arena), b) muestra de catalizador químico (dióxido de manganeso, MnO_2 , granulado), c) muestra de catalizadores biológicos o enzimas (patata fresca e hígado bovino fresco), d) sustrato (Peróxido de hidrógeno, H_2O_2 , al 3% m/v, que se vende en farmacias), y e) utensilios de laboratorio para cada grupo: tubos de ensayo, gradilla, cilindro graduado, balanzas y pinzas.

Figura 3. Procedimiento para el analizar el papel catalítico de las enzimas



La tarea, que se puede consultar en los anexos, se divide en dos partes, que se detallan a continuación junto con el referencial de resolución.

Primera parte: “Papel catalítico de las enzimas”

Paso 1: Introducir, a temperatura ambiente, en tres tubos de ensayo porciones equivalentes de arena, MnO_2 , hígado y patata (por ejemplo: cuadrados de $0.1g$ o 20 mm^3), en los que se introdujo previamente la misma cantidad de peróxido de hidrógeno (por ejemplo: 2 ml).

Paso 2: Inferir el efecto de la enzima observando el burbujeo que se produce al descomponer el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno que se desprende en forma de gas. Para ello, se insta al alumnado a emplear una escala subjetiva basada en la emisión de burbujas: 0 = sin reacción; 1 = reacción lenta; 2 = reacción moderada; 3 = reacción rápida; 4 = reacción muy rápida (Figura 3). Hay dos posibilidades: a) si no se produce burbujeo (0, caso del tubo de ensayo con arena) es que no hay reacción y b) si se produce burbujeo hay reacción, por lo tanto, los estudiantes deben estimar la velocidad de reacción respectivas según el catalizador (MnO_2 1, patata 2 y hígado 3). Estas muestras se dejan reposar hasta que cese el burbujeo, lo que se interpreta que la reacción se detuvo. La reacción con el hígado se detiene antes que la patata.

Esta primera parte se realiza para familiarizar a los estudiantes con el material y la reacción enzimática. Además, al realizar esta primera actividad, se obtiene el material para la realización de la segunda parte de la tarea.

Segunda parte: “¿Por qué se detuvo la reacción con el hígado?” (a) y “¿Por qué se detuvo la reacción con la patata?” (b).

El problema es doble, los estudiantes deben determinar las posibles causas por las cuales ambas reacciones se detienen. El procedimiento, abierto y cíclico, para investigar ambas preguntas sigue lo presentado en la figura 2.

En esta segunda parte se les proporciona apoyo teórico con una breve explicación del funcionamiento de las enzimas, sus propiedades y los factores que las afectan, así como la representación del modelo escolar de la interacción enzima-sustrato (Figura 1). Además, cada grupo recibe un informe para que anoten: hipótesis, diseños experimentales y resultados de su investigación.

El diseño experimental de referencia consiste en establecer dos hipótesis rivales, que están condicionadas por las variables que afectan al principio (tabla 2):

Variables independientes: la presencia de enzima funcional (E) y la presencia de sustrato (S), ambas necesarias para que ocurra la reacción. Cada variable puede tomar dos valores (0,1), que está ausente será 0 y el presente será 1.

Variable dependiente: el burbujeo (B), también puede tomar dos valores (0, 1), la ausencia de burbujeo será 0 y la producción de burbujas será 1.

Tabla 2. Relación entre variables involucradas en la descomposición del peróxido de hidrógeno catalizado por la enzima.

Variable independiente (sustrato, S)	Variable independiente (enzima, E)	
	E (0)	E (1)
S (0)	B (0)	B (0)
S (1)	B (0)	B (1)

En consecuencia, las hipótesis rivales podrían ser:

Hipótesis A: el sustrato ha reaccionado por completo (E 1, S 0). Es decir, el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) se consumió. El líquido que queda en el tubo es fundamentalmente agua (H_2O). La enzima catalasa está presente y es funcional.

Hipótesis B: la enzima catalasa está inactivada (E 0, S 1), desnaturalizada o dañada. En el tubo queda sustrato (H_2O_2) sin descomponerse.

Además, podrían considerarse otras alternativas, como “los dos componentes de la reacción están terminados o inactivos” (E 0, S 0), que no se tendrían en cuenta al considerar las hipótesis A y B; o “los dos componentes de la reacción todavía están presentes” (E 1, S 1), lo cual implicaría una reacción reversible, pero que no es el caso de la reacción catalizada por la catalasa para descomponer el peróxido de hidrógeno.

Para verificar la hipótesis A (el sustrato ha reaccionado por completo), se debe agregar peróxido de hidrógeno al tubo de ensayo con los productos de la actividad previa. Si la reacción ocurre cuando se agrega sustrato (hay burbujeo), la hipótesis A será aceptada.

De lo contrario, si al agregar más sustrato no hay burbujas, la hipótesis A será refutada. Para probar la hipótesis B (la enzima catalasa está inactivada, desnaturalizada o dañada), la enzima debe agregarse al tubo de ensayo. Si la reacción se reproduce cuando se agrega la enzima, se aceptará la hipótesis B. Si no hay burbujeo, la hipótesis B será rechazada.

Los resultados de estos experimentos se representan en la figura 4. Se basan en los tubos con los productos de la primera parte de la actividad. Los productos resultantes de la reacción con cada tipo de muestra se dividen en dos tuyo de ensayo, incluyendo en cada uno la mitad del líquido y la mitad de la muestra de enzima. Así en un tubo se agrega sustrato (H_2O_2) y en el otro tubo se incorpora un nuevo fragmento de enzima, es decir, un nuevo trozo de hígado o un nuevo trozo de patata.

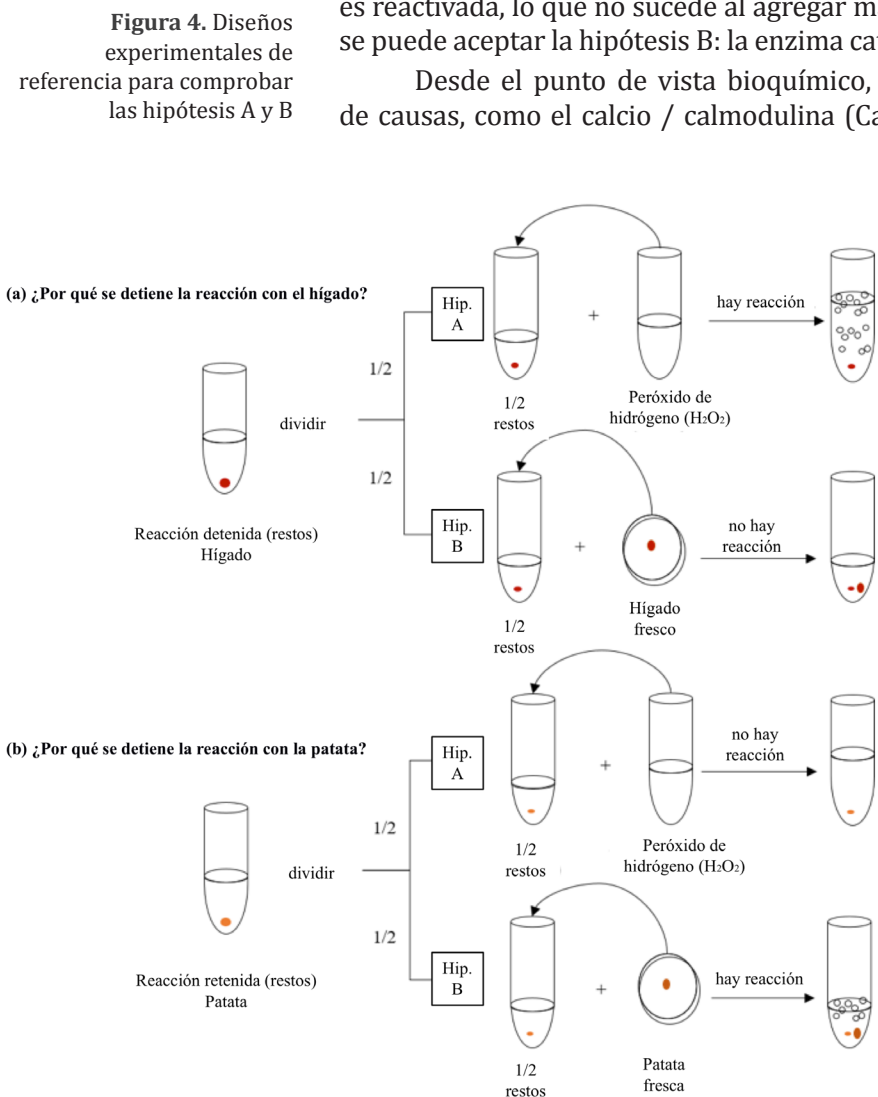
Se muestra que los resultados para cada experimento son diferentes según la muestra de enzima (hígado o patata). Por lo tanto, para la pregunta (a) ¿Por qué se detuvo la reacción con el hígado?, el experimento muestra que la reacción se reactiva cuando se agrega sustrato (peróxido de hidrógeno), mas no cuando se agrega enzima, lo que nos permite aceptar la hipótesis A: el sustrato ha reaccionado por completo. En el caso de la pregunta (b) ¿Por qué se detuvo la reacción con la patata ?, el experimento nos permite concluir que la enzima catalasa está inactivada (E 0, S 1), desnaturalizada o dañada, ya que al agregar más enzima la reacción es reactivada, lo que no sucede al agregar más sustrato, de modo que en el caso de la patata se puede aceptar la hipótesis B: la enzima catalasa está inactivada, desnaturalizada o dañada

Desde el punto de vista bioquímico, esta diferencia puede deberse a una multitud de causas, como el calcio / calmodulina (CaM) que juega un papel crítico en el control de

la homeostasis de H_2O_2 en las plantas y que no afecta a las muestras de animales (Yang y Poovaiah, 2003). Así, como estos autores indican, la calmodulina activa algunas catalasas vegetales en presencia de calcio citosólico. La actividad que se acaba de describir no tiene como propósito que el alumnado llegue a este tipo de conclusiones, pues lo que pretende es un acercamiento a la actividad enzimática. No obstante, este tipo de situaciones, desde el punto de vista de la enseñanza, generan nuevos caminos que los estudiantes pueden explorar.

Desarrollo del proceso de indagación

El desarrollo del proceso de indagación para dar respuesta a la segunda parte de la actividad que sigue el grupo B se resume en la figura 5 y se detalla a continuación fase a fase. Cabe resaltar el alumnado se empleó el término agua oxigenada para referirse al peróxido de hidrógeno, por estar familiarizados tanto con el producto como con su denominación. Además, las figuras que se presentan a continuación representan a los diseños experimentales creados por el grupo.



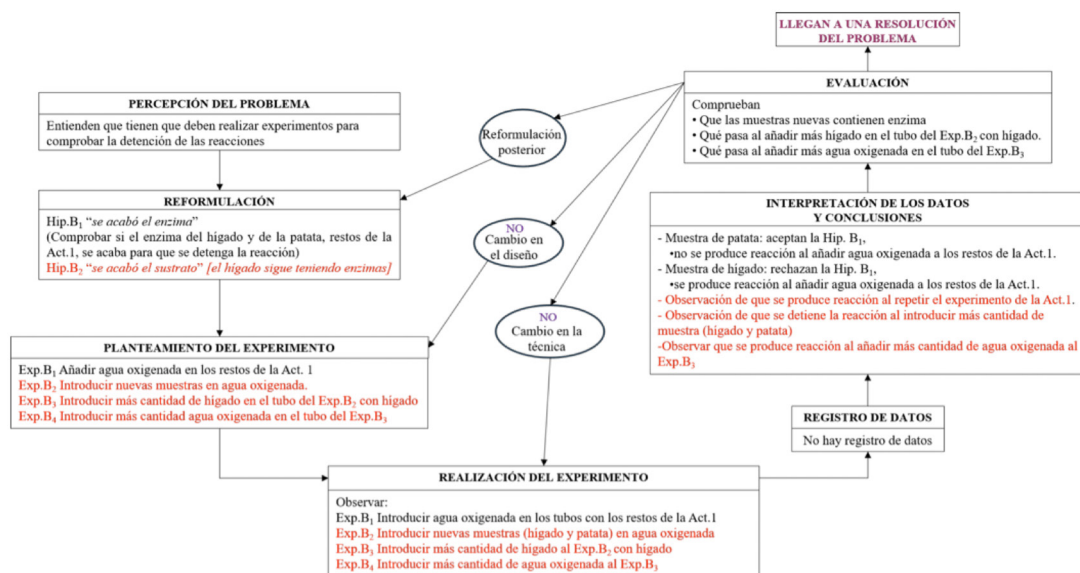


Figura 5. Proceso de indagación del grupo B. Color rojo: pasos que realizan tras evaluar los experimentos

Percepción del problema

Al comienzo de la actividad las alumnas perciben cuál es el problema a resolver entendiendo que deben investigar por qué se detienen las reacciones.

t.41 Beatriz “[...] porque se agotó la enzima, entonces podemos echar otra vez eso (agua oxigenada) y si vuelve a reaccionar, tengo razón”

Reformulación

A partir de ahí proponen dos posibles causas para la detención que configuran sus hipótesis de partida, a las que denominamos:

Hip.B1 “se agotó el enzima”, esta primera hipótesis formulada por Beatriz (t.41.1) para la reacción ocurrida con las muestras.

Hip.B2 “se acabó el sustrato” formulada, también, por Beatriz (t.91.1) Porque se acabó el oxígeno, planteada de diferentes formas por otras componentes del grupo (t.94, t.99 y t.109).

Dado que las hipótesis están enfocadas a determinar el por qué se detienen las reacciones, consideramos que estas hipótesis son pertinentes al problema planteado, dado que ellas interpretan que al finalizar el burbujeo se acaba el oxígeno.

Planteamiento y realización del experimento 1 con la patata

A la hora de diseñar sus experimentos, son capaces de identificar dos variables implicadas “el enzima se agota” y “el sustrato se acaba”, en manejo de estas variables no ocurre desde un inicio, sino que las manejan en el transcurso de la actividad.

En este grupo, para comprobar las hipótesis formuladas proponen cuatro diseños experimentales (Figura 5), que les permiten dar respuesta a los interrogantes que les surgen.

El primer experimento consiste en introducir una cantidad de agua oxigenada en los tubos de ensayo que contienen los restos de la actividad 1.

t.137 Begoña: *Para comprobarlo echamos más agua oxigenada.*

De este modo, controlan la variable “el enzima se agota”. A este diseño experimental lo denominamos Exp.B1 “Añadir agua oxigenada en los restos de la actividad 1” (Figura 6). Para ejecutarlo introducen una cantidad de agua oxigenada en el tubo de ensayo que contiene los restos de la patata de la actividad 1 y observan qué ocurre. En un primer momento, interpretan que se produce reacción, pero cuando observan detenidamente concluyen que no se produce burbujeo, por lo tanto, no hay reacción. Las alumnas se alegran de que el resultado que obtienen les permita aceptar su Hip.B1 “se agotó el enzima” (Begoña, t.166). Belén (t.167 y t.168) propone agitar los reactivos, para favorecer la “activación” y comprobar que realmente no se produce reacción.

t.164 Beatriz: *Eso no reacciona.*

t.167 Belén: *Bueno, mezcla un poco con la varilla, por si acaso.*

t.171 Beatriz: *No reacciona.*

t.173 Beatriz: *Es agua normal [...]*

Interpretación de los datos y conclusiones

En cuanto concluyen que no se produce reacción aceptan la Hip. B1 para la reacción del peróxido de hidrógeno con la enzima contenida en la patata.

Figura 6 Procedimiento del experimento Exp.B1 para la patata.

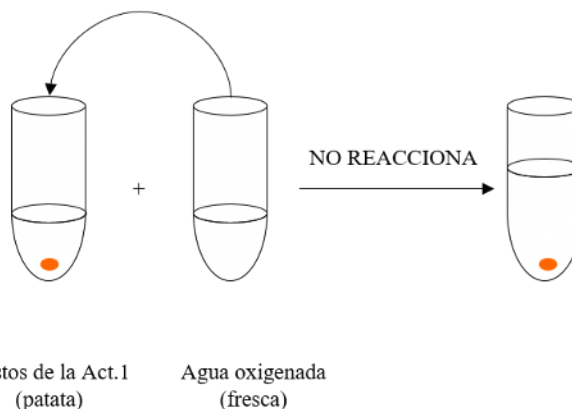
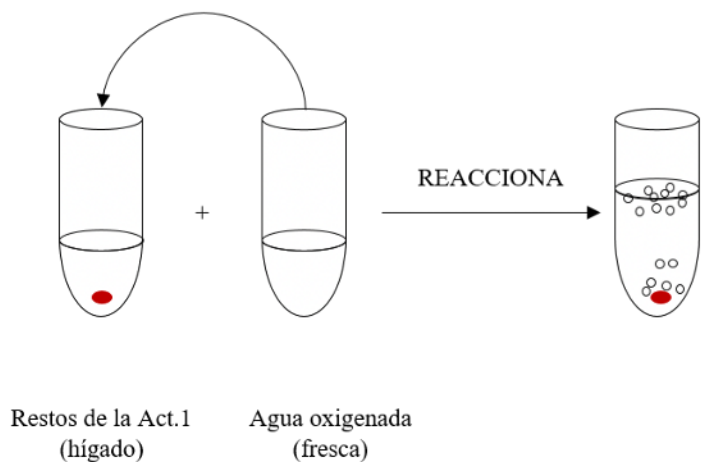


Figura 7. Procedimiento del experimento Exp.B1 para el hígado



Planteamiento y realización del experimento 1 con el hígado

A continuación, se disponen a ejecutar el mismo experimento con la muestra de enzima contenida en el hígado, introduciendo una cantidad de agua oxigenada en el tubo con los restos de la reacción anterior con el hígado (Figura 7).

Las alumnas observan que se produce reacción al introducir agua oxigenada en el tubo que contiene los restos de hígado, es decir, que ocurre lo contrario que con los restos de la Act.1 (patata).

t.192 Estudiante: ¿Eso reacciona?

t.193 Begoña: Sí.

t.194 Beatriz: *Pues, será cosa del hígado y de la patata.*

t.195 Begoña: ¡Ah!, diferente cantidad [...] *Primero escribe esto, luego decimos quee [...] erramos[...]*

t.198 Beatriz: *En el hígado, en la patata no.*

Interpretación de los datos y conclusiones

Al observar estos resultados aceptan la Hip. B1 para la muestra de patata, pero la rechazan para la muestra de hígado. Es decir, no llegan a explicar por qué se detiene la reacción en el caso del hígado.

Evaluación (experimento 2)

En un intento de evaluar sus experimentos (Figura. 5), deciden comprobar si las muestras nuevas contienen enzima. Para lo cual, proponen realizar la misma experiencia que en la primera actividad (Beatriz, t.200), a este nuevo experimento lo denominamos Exp. B2 “Introducir nuevas muestras en agua oxigenada” (Figura 8). Realizan el Exp.B2, introduciendo nuevas muestras de hígado y patata en sendos tubos con agua oxigenada (fresca). Observan que se produce reacción, en los dos casos.

t.251 Beatriz: *Pero, ¿la patata nueva reaccionó? ¿no?*

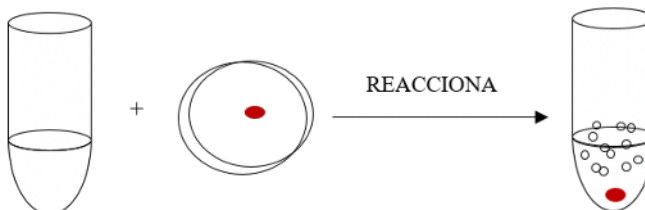
t.253 Beatriz: *La patata nueva sí.*

t.254 Belén: *Y el hígado también.*

Esta evaluación la indican también en sus informes:

“Para asegurarnos de que nuestra hipótesis es efectivamente correcta, repetimos la experiencia del día anterior con una nueva patata. La patata nueva reaccionó, corroborando así nuestra hipótesis” (informe actividad 2, 3^{er} párrafo).

“Probamos el experimento del día anterior de nuevo y, efectivamente, el hígado, vuelve a reaccionar” (informe actividad 2, 6^o párrafo).



Agua oxigenada + Hígado (nuevo)
(fresca)

Agua oxigenada + Patata (nueva)
(fresca)

Figura 8. Exp.B2.
Procedimiento para comprobar que las muestras nuevas de hígado y patata reaccionan con agua oxigenada.

Planteamiento y realización del experimento 3

Begoña está preocupada por la diferencia de los resultados hallada entre las muestras, y pregunta al resto del grupo (Begoña, t.258) ¿Vamos a decir algo más de [...] por qué no reaccionó el hígado?, a lo cual Beatriz pregunta (Beatriz, t.276) ¿Cuál puede ser la *diferencia entre el hígado y la patata*? Es en este momento cuando perciben un nuevo problema, las muestras con enzima no se comportan de la misma manera. Este problema lo intentan resolver re-formulándolo. Para ello, Belén propone la Hip.B2 “*se acabó el sustrato*” (t.280) al indicar que se acaba el sustrato antes de que se acaben los enzimas en el caso del hígado.

t.277 Begoña: *Igual uno tiene más enzimas [...]*

t.279 Begoña: *[...] y no llegaron a agotarse.*

t.280 Belén: *Igual se agotó primero [...] el[...] el sustrato [...] en el hígado antes de que se agotaran [...] (enzimas)*

t.281 Begoña: *Pero, yo sigo viendo sustrato (...) [risa]*

Para comprobar si esta hipótesis es correcta realizan un nuevo experimento propuesto por Begoña (t.284) *Echamos todo el hígado y toda la patata ¿a ver qué pasa?*, al que denominamos Exp.B3 “*Introducir más cantidad de hígado en el tubo del Exp.B2 con hígado*” (Figura 9). Al realizarlo, observan que no se produce más reacción (se detiene).

t.320 Begoña: *No reacciona, porque ya hay mucho [risa]*

Interpretación de datos y conclusión tras experimento 3

Por tanto, con los resultados obtenidos del Exp.B3, Belén llega a la conclusión (t.330) de que, si el hígado sigue teniendo enzimas y se acaba el sustrato, al añadirle más ‘agua’ (refiriéndose al agua oxigenada) vuelve a reaccionar, lo que les lleva a aceptar la Hip.B2 “*se acabó el sustrato [el hígado sigue teniendo enzimas]*”. Con estos resultados explican las posibles causas por las que se detiene la reacción del agua oxigenada con la muestra de enzima contenida en el hígado, al mismo tiempo que explica lo ocurrido en el Exp.B1.

t.330 Belén: *[...] si se acaba antes el sustrato, este de [...] del agua, que puede reaccionar con el hígado, y el hígado sigue teniendo enzimas, si echas más agua [...] por eso sigue reaccionando.*

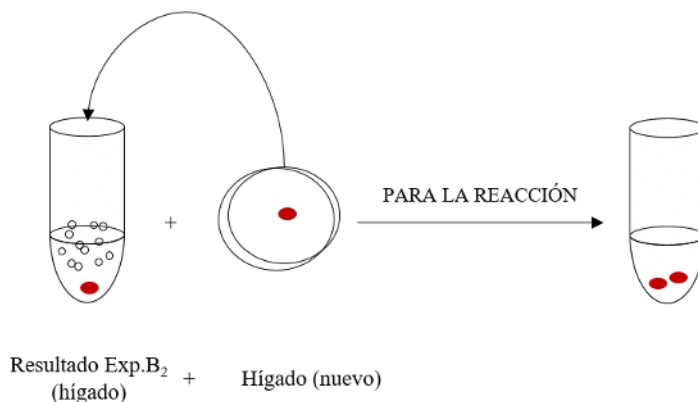


Figura 9. Exp.B3. Procedimiento para comprobar qué ocurre al añadir toda la muestra de hígado en el tubo con los productos del Exp.B2.

Planteamiento y realización del experimento 4

Después de observar lo ocurrido en el Exp.B3, Begoña razona sobre un posible experimento para comprobar si se producirá reacción en el tubo con los restos del Exp.B3 al añadir más agua oxigenada, que ella llama simplemente ‘agua’.

t.389 Begoña: *Al echar toda [...] toda la cantidad de hígado, lo que pasa es que [...] hay demasiado hígado y poca agua[...]*

t.391 Begoña: *[...] al echarle más agua volvería a reaccionar.*

Al nuevo experimento lo denominamos Exp.B4 “Introducir más cantidad agua oxigenada en el tubo del Exp.B3” (Figura 10), que consiste en añadir una cantidad de agua oxigenada al tubo que contiene los productos del Exp.B3. Observan que vuelve a reaccionar y concluyen que se había detenido la reacción en el Exp.B3 porque había demasiado hígado y poco sustrato.

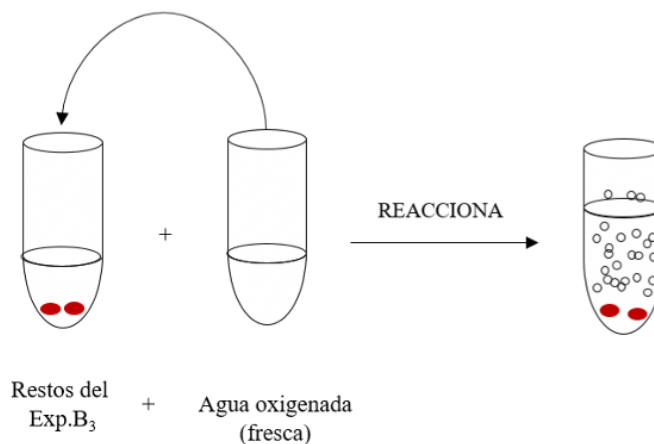


Figura 10. Exp.B4. Procedimiento para comprobar si se reactiva la reacción al añadir agua oxigenada en el tubo con los productos del Exp.B3.

Interpretación de los datos y Resolución final del problema

Por tanto, aceptan la Hip.B2 “*se acabó el sustrato*” en el caso del hígado [el hígado sigue teniendo enzimas]. En este momento dan por validadas sus hipótesis llegando a la resolución del problema.

Conclusiones e implicaciones educativas

A partir de la implementación de la tarea presentada se puede decir que exige mucha autonomía por parte del alumnado, lo que les lleva a consensuar diferentes procesos de resolución, generando pequeñas comunidades de aprendizaje.

A la vista de los resultados obtenidos del proceso de indagación (APU, 1984), observamos que las alumnas perciben el problema que les planteamos. Las hipótesis que proponen las estimamos pertinentes, pues están encaminadas a la búsqueda de las posibles causas de la detención de las reacciones. Desarrollan varios experimentos para contrastar dichas hipótesis y son capaces de cuestionarse el dato anómalo generado tras el Exp. B1, con el hígado, proponiendo nuevos experimentos para buscar una solución, dando respuesta a por qué se detienen ambas reacciones enzimáticas. Por ello, consideramos que la calidad del proceso de indagación es alta.

Coincidimos con González Rodríguez y Crujeiras Pérez (2016) en que estas tareas de experimentación facilitan la comprensión de procesos complejos, pues promueven tanto en la aplicación del conocimiento teórico como en el cuestionamiento de este, contribuyendo a un mejor conocimiento de las reacciones enzimáticas y, específicamente, en la interacción enzima-sustrato.

Agradecimientos

A los participantes del estudio.

Al proyecto EDU2017-82915R financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación-Agencia Estatal de Investigación.

Referencias bibliográficas

- Assessment Performance Unit (APU). 1984. *Science reports for teachers*. London: ASE
- Berg J.M., Tymoczko J. L. y Stryer L. (2010). *Biochemistry*. 7th edition. New York: W H Freeman.
- Caamaño, A. (2003). Los trabajos prácticos en ciencias. En: M. P. Jiménez Aleixandre (Coord.) *Enseñar ciencias* (pp. 95-118). Barcelona: Graó.
- Caamaño, A. (2005) Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el modelo atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre profesor y estudiantes. *Educación química*, 16(1), 10-19. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2005.1.66132>
- Choinski, J. S. y Patterson, J. W. (1993). “A simple and inexpensive method for studying the kinetics of the enzyme catalase”. *Journal of Biological Education*, 27(1), 7-9. <https://doi.org/10.1080/00219266.1993.9655294>
- Gee, J. P. y Handford, M. (eds.) (2012). *The Routledge Handbook of Discourse Analysis*. New York: Routledge
- 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. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2018>
- Johnson, K. A. y Deese, W. C. (2000). “A simple method for demonstrating enzyme kinetics using catalase from beef liver extract”. *Journal of Chemical Education* 77(11), 1451-1452. <https://doi.org/10.1021/ed077p1451>
- Kimbrough, D. R., Magoun, M. A. y Langfur, M. (1997). A laboratory experiment investigating different aspects of catalase activity in an inquiry-based approach. *Journal of Chemical Education*, 74(2), 210-2012. <https://doi.org/10.1021/ed074p210>
- Moore, J. A.; Degenhardt, E. F.; Glass, B.; Hallenbeck, L.; Kennedy, M.; Mayer, W. V.; Meyer, T. G.; Olsen, I. D.; Stewart, W. N.; Davis, J. M.; Bucklin, D. H. y Schwartz, G. (1968). *Biología: Unidad, Diversidad y Continuidad de los seres vivos*. BSCS. Hartcourt, Brace and World.
- National Research Council (NRC). (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Nuffield Foundation (1967). *Nuffield Chemistry: Collected Experiments*. London: Pearson
- Qualter, A., Strang, J., Swatton, P. y Taylor, R. (1990). *Exploration: A way of learning science*. Blackwell. Oxford.

- Reyes-Cárdenas, F., y Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación química*, 23(4), 415-421. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30129-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30129-5)
- Stake, R. E. (2005). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Tamir, P., y García Rovira, M. P. (1992). Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de Ciencias utilizados en Cataluña. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 003-12.
- Tenreiro-Vieira, C., y Marques Vieira, R. (2006). Diseño y validación de actividades de laboratorio para promover el pensamiento crítico de los alumnos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 452-466. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=920/92030307>
- Welch, C. A., Arnon, D. I., Cochran, H. M., Erk, F. C., Fishleder, J., Mayer, W. V., Pius, M., Shaver, J. R. y Smith, F. W. (1973). *Biological Science. Molecules to Man. BSCS*. EEUU:Houghton Mifflin
- Yang, T., y Poovaiah, B. W. (2003). “Calcium/calmodulin-mediated signal network in plants”. *Trends in plant science*, 8(10), 505-512. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2003.09.004>
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods* (3.ª ed.). Londres: SAGE Publications.

Anexo

Actividad 1: Acción catalítica de las enzimas

Material: Tubos de ensayo grandes, gradillas de tubos de ensayo, probetas de 25 ml, varillas de vidrio.

Productos: Solución de peróxido de hidrógeno al 3%,

Muestras: Arena fina de cuarzo, patata cruda y hígado fresco

Procedimiento:

Toma tres tubos pequeños de ensayo y vierte en cada uno 2 ml de la solución de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada).

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.

Observaciones:

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.

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

Actividad 2: Por qué se detiene la reacción con la patata?

Discusión:

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

Diseño y realización de un experimento de comprobación:

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

Resultados y observaciones propias: