

## AVANCES EN EL ESTUDIO DE LAS DIFICULTADES EN LA ENSEÑANZA DE ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN EL NIVEL SUPERIOR

TRIPODI, KARINA<sup>1,2,3</sup>; GARCÍA, GABRIELA<sup>1,4</sup>; MACHADO, CELIA EDILMA<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas- Universidad Nacional de Rosario- (FCByF-UNR)- Suipacha 531 (2000) Rosario.

<sup>2</sup> Cefobi-CONICET- Suipacha 531 (2000) Rosario.

<sup>3</sup> [tripodi@cefobi-conicet.gov.ar](mailto:tripodi@cefobi-conicet.gov.ar); <sup>4</sup> [gagarcia@fbioyf.unr.edu.ar](mailto:gagarcia@fbioyf.unr.edu.ar); <sup>5</sup> [cmachado@fbioyf.unr.edu.ar](mailto:cmachado@fbioyf.unr.edu.ar)

### RESUMEN

Este trabajo describe un estudio de la enseñanza del tema actividad enzimática en la asignatura Química Biológica, de las carreras de Bioquímica y Licenciatura en Biotecnología de la FCByF-UNR. La investigación se propone identificar las principales dificultades en la enseñanza del tema y elaborar propuestas didácticas superadoras. La investigación se llevó a cabo con la metodología de estudio de caso, para lo cual se utilizaron diversos instrumentos. Se analizaron documentos y organizadores conceptuales, se realizaron entrevistas a docentes y se registraron observaciones de clases, a fin de analizar los principales obstáculos de enseñanza; los conceptos e ideas enseñados; los ejemplos, analogías, preguntas, modelos, demostraciones y fenómenos utilizados. A partir de los datos relevados se deriva que las dificultades en la enseñanza giran en torno a un énfasis marcado en los modelos matemáticos en detrimento de los aspectos fenomenológicos; un escaso acento en la explicitación de las ideas centrales, así como cierta falta de precisión en el lenguaje utilizado y el predominio de preguntas retóricas y de corroboración de aprendizajes. Se proponen las siguientes sugerencias didácticas: realización de un experimento que introduzca el fenómeno que se desea explicar a través de los modelos matemáticos, reformulación de los organizadores conceptuales, identificando las ideas centrales, y elaboración de una ReCo (Representaciones de Contenido).

**Palabras clave:** conocimiento didáctico del contenido, enseñanza, química biológica, actividad enzimática.

## DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el campo de la investigación en Didáctica de las Ciencias se ha planteado frecuentemente que la dicotomía y falta de articulación entre el conocimiento de la disciplina y el conocimiento didáctico son factores que influyen en las dificultades de la enseñanza. En esta investigación se realiza un estudio de la enseñanza del tema actividad enzimática en el marco de la asignatura Química Biológica, de las carreras de Bioquímica y Licenciatura en Biotecnología de la FCByF-UNR. Los objetivos planteados en torno a la enseñanza del tema actividad enzimática son:

1. Indagar los obstáculos que se presentan en su enseñanza.
2. Relevar las ideas y conceptos enseñados.
3. Identificar y analizar las representaciones (ejemplos, analogías, preguntas, modelos, demostraciones, fenómenos) utilizadas por los docentes durante las clases.
4. Elaborar propuestas didácticas con el fin de optimizar la profesionalización de las prácticas docentes.

## ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS

Una dificultad a la que se enfrenta la enseñanza universitaria es el alto nivel académico de sus docentes, investigadores científicos todos, quienes en su desempeño cotidiano omiten los obstáculos epistemológicos documentados por la investigación educativa. Esto se manifiesta tanto en el lenguaje utilizado como en los procedimientos desarrollados, en lo que enuncian y o dejan de enunciar, cuando no en su postura filosófica, sean conscientes o no de ella (Machado et al, 2005). Se propone como marco teórico el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) (Shulman, 1986; Bolívar, 1993; Garritz et al, 2006), el cual permite conocer más allá de los hechos o conceptos de un dominio, entendiendo tanto las estructuras sintácticas como las sustantivas del tema (Schwab, 1978).

Interesa comprender el proceso de construcción del conocimiento científico en el contexto de formación de profesionales en el ámbito de la universidad pública. Esta comprensión permitirá optimizar los procesos de enseñanza mediante la elaboración de nuevas propuestas didácticas. En este sentido, la presente es una investigación inédita en este ámbito, que cubre tres fines: exploratorio, explicativo e intervencionista.

## METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo con la metodología del estudio de caso. Para llevar a cabo los objetivos planteados anteriormente se adaptaron, se validaron y se aplicaron los siguientes instrumentos:

**A-** Entrevistas semiestructuradas a los docentes participantes. En estos encuentros se otorgó una guía de preguntas para los docentes con la intención de consensuar la elección del contenido cuya enseñanza será el objeto de investigación. Se ofrecieron opciones para que los docentes pudieran pensar acerca de algunos aspectos de su práctica, como por ejemplo: tratamiento matemático complejo, dificultad en comunicar su naturaleza dinámica, necesidad de ciertos conocimientos previos, entre otros.

**B-** Análisis de documentos. Se analizaron el programa de la materia, la bibliografía recomendada y la guía de ejercicios.

**C-** Observaciones sistematizadas de clases teóricas y de resolución de ejercicios utilizando indicadores específicos. Los indicadores para observación de clase teórica fueron:

1. Ideas y conceptos del tema actividad enzimática que el docente enseña.

2. Preguntas, problemas o experiencias que elige para introducir el tema y para explicar conceptos.
3. Analogías, ejemplos, metáforas, demostraciones y reformulaciones que utiliza.
4. Niveles de representación química: macro, submicro y simbólico.
5. Indagación acerca de ideas previas en los estudiantes.
6. Recursos didácticos (Power Point, tiza y pizarrón, experimentos, artículos científicos o de divulgación, o textos para lectura en la clase, etc.)
7. Activación de conocimientos previos.

Para la observación de la clase de resolución de ejercicios, se utilizaron los indicadores anteriores, incluyendo además indicadores que evidencian la comunicación de consignas de trabajo, el manejo del grupo y el tratamiento del error. Esta diferencia se relaciona principalmente con la dinámica de cada clase: mientras en general la clase teórica suele ser de tipo expositiva, con una participación de los estudiantes casi ausente y limitada a la escucha y toma de apuntes, en la clase de resolución de ejercicios, el docente y los estudiantes se comunican más fluidamente, planteando dudas, preguntas y comentarios, que permiten al docente tener un panorama más definido del grado de comprensión de los temas.

**D-** Análisis de organizadores conceptuales elaborados por los docentes participantes. Los organizadores conceptuales se utilizaron como herramienta de explicitación del recorte, enfoque y organización conceptual que el docente posee y considera relevante para la enseñanza.

### HALLAZGOS DE AVANCE

A partir de los análisis realizados en esta primera etapa de la investigación, se puede concluir inicialmente que las dificultades en la enseñanza del tema actividad enzimática giran en torno a:

**1/** Énfasis marcado en los modelos matemáticos que describen y explican el comportamiento enzimático, en detrimento del abordaje de los fenómenos y experimentos necesarios para la construcción de dichos modelos matemáticos.

La bibliografía recomendada (Segel, 1975) se caracteriza por un tratamiento matemático bastante exhaustivo y por resaltar el aspecto cuantitativo de la actividad enzimática. Si bien no se trata de un conocimiento matemático complejo, se realizan una serie de suposiciones y simplificaciones para adaptar el comportamiento enzimático a determinados modelos que faciliten su estudio. No se enuncian en este texto los fenómenos ni los experimentos que dan origen a la derivación de los modelos y por lo tanto la relación entre los mismos quedaría supeditada al tratamiento que los docentes hacen de esta información.

En la guía de ejercicios, las actividades programadas están destinadas a la ejercitación y asimilación de los conceptos. Se trata de recopilaciones de ejercicios y situaciones problema seleccionados de actividades presentes en la bibliografía sugerida, pero diseñados y reformulados por el grupo de docentes. En general, los ejercicios tienen como objetivo el cálculo de parámetros cinéticos de enzimas, utilizando ecuaciones y elaborando gráficos a partir de los datos ofrecidos. Predominan habilidades cognitivas básicas: conocer/memorizar, comprender y aplicar. A continuación se transcribe uno de los ejercicios tipo:

*“Se estudió para una proteína X la dependencia de la actividad enzimática con la concentración de sustrato y se obtuvieron los siguientes valores de velocidad ( $\mu\text{moles}/\text{min}\cdot\text{mg}$ ):*

[S] (mM)	0,25	0,50	0,67	1,00
V	33	50	57	67

Teniendo en cuenta que el peso molecular de la proteína es 300.000: a) Calcule los valores de  $K_m$ ,  $V_{max}$ . b) Expresé el valor de velocidad máxima en Katal/mg. c) Calcule el número de recambio y explique el significado del mismo.”

Es interesante destacar que en varias ocasiones la docente utiliza recursos que transforman los ejercicios en problemas superando el enfoque matemático: por ejemplo introduce preguntas (que no figuran en el texto de la guía de ejercicios) que llevan al estudiante a ubicarse en otro contexto, aplicar el conocimiento a otra situación, y esto posibilita operaciones cognitivas más complejas: analizar, evaluar, integrar. Sería conveniente incluir modificaciones en el tipo de preguntas y ejercicios, orientadas al desarrollo de estas habilidades, para que no sea una actividad supeditada al criterio del docente a cargo de cada clase.

En la clase teórica se pone en evidencia, en varios momentos, este énfasis en las deducciones matemáticas.

Al inicio de la clase:

*“Si bien la clase de hoy no es tan matemática, las clases siguientes...son deducciones matemáticas...entonces traten de venir...son clases donde no hay transparencias...deducir ecuaciones y ver cómo dan las gráficas en el pizarrón...”*

Previamente a la explicación de los aspectos fenomenológicos de las mediciones que se realizan para el seguimiento de una actividad enzimática, el docente enfatiza la descripción de la “gráfica”, es decir el tratamiento de los datos experimentales:

*“Lo que uno observa en general cuando uno grafica la producción de producto con el tiempo es: en las primeras partes obtenemos un comportamiento lineal, es decir a medida que aumenta el tiempo, aumenta el producto formado, pero a lo largo del tiempo uno observa que la recta empieza a frenarse.”*

Se conecta directamente el modelo matemático (ecuación) con la gráfica matemática, sin explicar el aspecto experimental, ¿cómo se hacen las mediciones? ¿Qué datos debo obtener para luego graficar?

*“Entonces lo que vamos a ver ahora es cómo...que tipo de curva da...cuando uno grafica la ecuación de Michaelis tenemos una hipérbola rectangular.”*

Asimismo, se enseñan dos modelos que explican el comportamiento enzimático: “equilibrio rápido” y “estado estacionario”, sin aportar los datos experimentales que les dieron origen o aportaron a la evolución de los mismos. Al mismo tiempo se enfatiza que para el cálculo y la interpretación de los parámetros cinéticos estos dos modelos no tienen utilidad.

Es en las clases de resolución de ejercicios donde se desarrollan con mayor profundidad y detalle ciertos aspectos fenomenológicos.

Respecto a la elaboración de organizadores conceptuales, si bien el tema de investigación consensado es actividad enzimática, éstos se puntualizaron en la determinación de parámetros cinéticos, ya que este era el aspecto que los docentes encargados de las clases de resolución de ejercicios más destacaban como dificultoso para enseñar y aprender, evidenciando el énfasis puesto en los modelos matemáticos. Se muestra un ejemplo en la figura 1.

Se promueve así una visión alejada de la construcción del conocimiento en ciencias experimentales (Martínez et al, 2012), predominando el nivel de representación simbólico matemático necesario para la resolución de ejercicios algorítmicos.

2/ Escaso acento en la explicitación de las ideas centrales del tema desarrollado.

En la clase teórica, la presentación de ideas y conceptos suele darse sin el establecimiento de un orden jerárquico preciso y consistente, y sin la explicitación de ideas centrales que faciliten la organización conceptual.

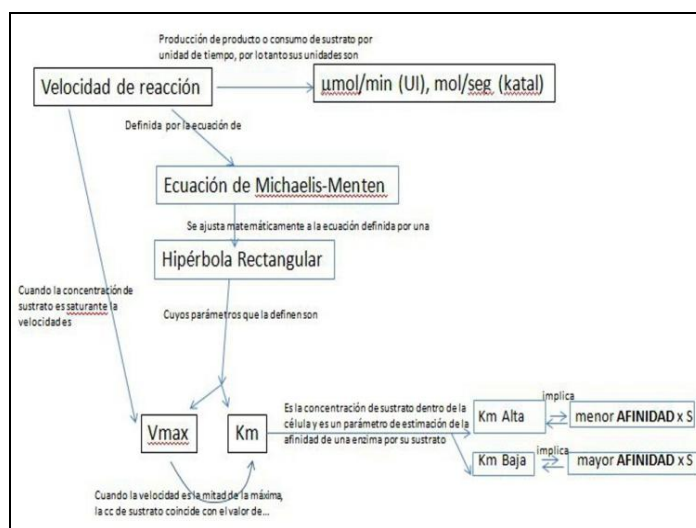


Figura 1- Organizador conceptual elaborado por un docente de clases prácticas:  
Determinación de los parámetros cinéticos de una reacción catalizada enzimáticamente.

### 3/ Falta de precisión en el uso del lenguaje.

Se presentan dos ejemplos de este hallazgo:

a/ El término “actividad enzimática” se usa indistintamente como sinónimo de velocidad enzimática (carácter cuantitativo) y como manifestación observable de una reacción catalizada enzimáticamente (carácter cualitativo). En el primer caso no se aclara que el concepto “actividad enzimática” corresponde a una velocidad de reacción catalizada enzimáticamente, hasta el momento en que en la clase de resolución de ejercicios un estudiante lo pregunta.

b/ Se puso en evidencia el uso impreciso de etiquetas por parte de un docente, y la omisión de este factor como obstáculo epistemológico. Durante una clase se generó el siguiente diálogo respecto a los nombres de las constantes cinéticas de la reacción entre enzima y sustrato para formar el complejo enzima-sustrato.

*Alumna:* Profe, ¿es  $k$  a la menos uno o  $k$  menos uno?

*Profesora:* Ésta es  $k$  uno y ésta,  $k$  a la menos uno.

*Alumna:* ¿ $k$  a la menos uno?

*Profesora:*  $k$  menos uno... es para decir que es inversa... como quieran...  $k$  menos uno. No es “a la menos uno”, es una... esta es una constante distinta a esta, es la inversa, no es la inversa, es la constante cinética de este lado, le ponemos  $k$  menos uno porque... para mostrar que es la distinta... sí, no es “a la menos uno”... es “ $k$  menos uno.”

Luego de esta aclaración, y aún cuando esta imprecisión confunde a una estudiante, la profesora continúa utilizando la etiqueta “ $k$  a la menos uno” durante el resto de la clase.

### 4/ Predominio de preguntas retóricas y de corroboración de asimilación de conceptos.

Las preguntas que realiza la docente de clase teórica son de carácter retórico. Es decir, frente a su formulación, los docentes no esperan la respuesta del estudiante sino que las utilizan para darle conectividad a su discurso, son vínculos semánticos. Ejemplos:

“¿Cómo actúan las enzimas? ¿Cómo se sigue la actividad de una enzima?”

En el caso de la docente de clases de resolución de ejercicios, las preguntas apuntan a confirmar si hubo asimilación de los modelos y conceptos vistos para el estudio de la actividad enzimática y del significado de las variables cinéticas en estudio. Ejemplos:

“¿Qué variables graficarían para determinar  $K_m$  y  $V_{max}$ ? ¿Qué isoenzima tiene mayor afinidad por su sustrato y por qué?”

En general, en las clases no ocurren diálogos verdaderos (Lemke, 1997), aquellos en los que el profesor no sabe la “respuesta correcta”, que promuevan el aprendizaje de la ciencia a través del uso del lenguaje científico en discusiones grupales.

## PERSPECTIVAS Y PRIMERAS PROPUESTAS

Con el objetivo de mejorar las prácticas de enseñanza y en función de los hallazgos realizados, se realizan las siguientes propuestas a realizar en conjunto con los docentes participantes:

La reformulación de los organizadores conceptuales inicialmente elaborados, de manera individual y grupal y, al mismo tiempo, la elaboración de una ReCo (Representaciones de Contenido (Loughran et al, 2004). Este instrumento permite documentar las ideas centrales, conceptos y procedimientos seleccionados para la enseñanza; plantear preguntas clave a las que responde el tema; identificar los objetivos que persigue el profesor; conocer las concepciones alternativas de los alumnos, el contexto y las dificultades de enseñanza; explicitar la importancia que reviste el tema en la formación profesional; seleccionar ejemplos, analogías y representaciones adecuadas a la enseñanza del tema.

El diseño e implementación de un experimento sencillo que introduzca el fenómeno químico de la actividad enzimática y que sea el punto de partida para el desarrollo de los modelos teóricos (Martínez et al, 2012). Este experimento cumpliría las funciones de motivar a los estudiantes, ayudar a la construcción conceptual y a la comprensión de los modos de construcción del conocimiento científico.

### Agradecimientos

Las autoras agradecen a los docentes participantes, pertenecientes a la Cátedra de Química Biológica de la FCByF (UNR), por habernos permitido realizar los trabajos de investigación, por su excelente predisposición y ayuda.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bolívar, A. (1993). "Conocimiento didáctico del contenido" y formación del profesorado: el programa de L. Shulman. *Revista Interuniversitaria de formación del Profesorado*, (16), 113-124.

Garriz, A. & Trinidad-Velasco, R. (2006). El conocimiento pedagógico de la estructura corpuscular de la materia. *Educación química*, 17(10), 117-141.

Lemke, J.L. (1997). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Buenos Aires: Paidós.

Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of research in science teaching*, 41(4), 370-391.

Machado, C. E.; Garófalo, J.; Galagovsky, L. (2005). Las dificultades en la apropiación del lenguaje específico de la Química Biológica por interferencia con el lenguaje cotidiano. *IV Jornadas de Enseñanza Preuniversitaria y Universitaria de la Química. Mérida, México.*

Martínez, A., Valdés, J., Talanquer, V., & Chamizo, J. A. (2012). Estructura de la materia: de saberes y pensares. *Educación Química*, 23(3), 361-369.

Schwab, J. J. (1978). *Science, curriculum and liberal education*, Chicago: University of Chicago Press.

Segel, I.H. (1975). Enzymes. En Segel, I.H., *Biochemical Calculations* (208- 319). New York: Wiley.

Shulman, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4–14.