

Modo de pensar que subyace a los obstáculos epistemológicos de aprendizaje del tópico Síntesis de Proteínas en estudiantes universitarios de primer año

Way of thinking that underlies epistemological learning obstacles on the topic of Protein Synthesis among first-year university students

 Mariela Haydée Miño¹

 Natalia Ospina²

 Sofia Judith Garofalo³

¹Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, DEGE, Buenos Aires, Argentina.

²Universidad Simón Bolívar, Facultad de Ciencias de la Salud, Barranquilla, Atlántico, Colombia.

³Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, CEFIEC, Buenos Aires, Argentina.
Autora correspondiente: sgarofalo@cbc.uba.ar

Resumen: En esta investigación se identificaron modos de pensar que subyacen a los obstáculos epistemológicos de aprendizaje del Proceso de Síntesis Proteica (PSP) en estudiantes de primer año de carreras biomédicas de la Universidad de Buenos Aires. Tres modelos científicos ad hoc sobre el PSP ofrecieron el marco conceptual y metodológico para la interpretación de las respuestas de los estudiantes, las que provinieron de entrevistas y preguntas incluidas en el examen de la materia. Se diferenciaron obstáculos de tipo puente (OTP) y de tipo brecha (OTB). Un análisis en profundidad permitió conocer modos de pensar que sustentan a los OTP, identificando estrategias de tipo heurísticas que alertan acerca del riesgo epistemológico que dichos obstáculos implican. Estos resultados sugieren la necesidad de reorganizar los contenidos a enseñar en modelos científicos ad hoc contextualizados, para facilitar a los estudiantes la construcción de una mirada sistémica y holística del PSP.

Palabras clave: Obstáculos epistemológicos; Síntesis de proteínas; Heurística; Modo de pensar.

Abstract: In this paper we have identified ways of thinking that underlie epistemological learning obstacles related to Protein Synthesis Process (PSP) among first-year students of biomedical careers in the University of Buenos Aires. Three ad hoc scientific models about PSP offered a conceptual and methodological framework for interpreting the students' answers to interviews and exam questions. We have differentiated bridge type obstacles (BTO) and gap type obstacles (GTO). Through an in-depth analysis, we were able to recognize the ways of thinking that sustain BTO, identifying heuristic strategies that alert about the epistemological risk of this kind of obstacle. These results suggest the need for reorganizing the contents to be taught and the use of contextualized scientific models ad hoc in order to make it easier for students to develop a systemic and holistic view of PSP.

Keywords: Epistemological obstacles; Protein synthesis; Heuristics; Ways of thinking.

Recibido: 13/10/2022
Aprobado: 08/03/2023



Introducción

El proceso de síntesis de proteínas (PSP) forma parte de uno de los tópicos enseñados reiteradamente en el nivel secundario, así como también y especialmente en los niveles terciario y universitario, en carreras relacionadas con química, medicina, biología y nutrición. Su importancia radica en que es un eje central de integración para la comprensión de la estructura y funcionamiento de todos los seres vivos, ya que todas las formas de vida comparten las características bioquímicas de ese proceso. Los conocimientos referidos al proceso molecular de este tópico resultan fundamentales, por ejemplo, para entender la teoría evolutiva, uno de los paradigmas clave sobre los que se sustenta la Biología (RODRÍGUEZ PALMERO, 2003 apud CABALLERO SAHELICES, 2008). Por tal motivo, la comprensión del PSP resulta estructurante (GAGLIARDI, 1986) en la formación de nuestros estudiantes.

La construcción de un modelo cognitivo de ciencia escolar (IZQUIERDO; ALIBERAS, 2004) genuino y sistémico de este proceso involucra que los estudiantes se apropien de las características de las estructuras moleculares, de sus reacciones químicas, del papel de las enzimas específicas involucradas, de las estructuras subcelulares donde transcurre el proceso, de los mecanismos de transporte a través de membrana, así como también de los aspectos nutricionales involucrados. Esto hace que el aprendizaje sistémico de este tópico sea sumamente complejo y abstracto, lo que dificulta tanto su enseñanza como su aprendizaje (GARÓFALO; GALAGOVSKY, 2005; OCCELLI; POMAR, 2019).

Entre las dificultades que se presentan en la enseñanza y aprendizaje de este tema pueden destacarse las siguientes: que las representaciones gráficas de los procesos moleculares seleccionadas por los docentes generan, en vastas ocasiones, interpretaciones erróneas en los estudiantes (ROSENBERG, 2014); que la complejidad y nivel de abstracción que requiere el estudio de la célula (OCCELLI; POMAR, 2019) dificulta en los estudiantes la construcción de un modelo apropiado donde relacionar los procesos moleculares involucrados; y que el uso de terminología específica, la complejidad de los cromosomas y el concepto de gen forman parte de un nuevo lenguaje del cual los estudiantes deben apropiarse para comprender (OCCELLI; POMAR, 2019).

Giraldo Osorio (2014) observó que los estudiantes de nivel secundario tienden a concebir el PSP como un fenómeno aislado, desvinculado de otros procesos que ocurren en el organismo, como el digestivo o el circulatorio. Asimismo, detectó confusión entre el PSP y otros modelos científicos, como el de duplicación del ADN, y advirtió que los estudiantes sostienen una fuerte correlación entre la fuente de proteínas atribuida al consumo de carnes y la generación de proteínas a nivel celular.

Para superar estas nociones simplistas y reduccionistas, Ocelli y Pomar (2019) enfatizan la necesidad de construir en los estudiantes una mirada holística del PSP que integre la transcripción, traducción y regulación de la expresión génica con otras funciones del organismo. Por su parte, Talanquer (2014) sostiene que es necesario estudiar cómo evolucionan las ideas de los estudiantes sobre conceptos científicos importantes a medida que avanzan en sus estudios, para desarrollar progresiones de aprendizaje sobre los conceptos e ideas fundamentales para la disciplina. En este marco, es necesario tener presente que el razonamiento que determina que el sujeto responda una pregunta determinada de cierta manera está guiado por sus modos de pensar, creencias y conocimientos, que constriñen el tipo de modelo mental que puede construir. Así, para elaborar e implementar estrategias de enseñanza que ayuden a superar las dificultades que hemos descripto para

el aprendizaje del PSP, acordamos con Talanquer (2014) en que es necesario continuar investigando no solo los obstáculos específicos que subyacen a los errores conceptuales disciplinares, sino también qué modos de pensar los sustentan.

De las concepciones alternativas erróneas a los obstáculos en el aprendizaje

Son muchos los autores en didáctica que sostienen que las concepciones alternativas erróneas de los estudiantes deben ser analizadas en busca del modelo que las sustenta (RAVIOLO; MARTÍNEZ, 2003; TRINIDAD-VELASCO; GARRITZ, 2003). Mediante distintas investigaciones se las ha logrado identificar y analizar, detectando que gran cantidad de ellas surgen luego de la enseñanza formal del tópico en cuestión. Las concepciones que son erróneas en relación al modelo científicamente consensuado son difíciles de erradicar, persistentes y de carácter transversal, lo que implica que un mismo modo de pensar podría incidir en el aprendizaje de otras disciplinas. Como consecuencia, a las concepciones alternativas disciplinares erróneas les subyacen escollos de comprensión que actúan como obstáculos de aprendizaje. Estos obstáculos han sido bien estudiados y caracterizados por autores como Astolfi (2001), quien los define con una doble significación: desviaciones del saber erudito y explicaciones funcionales que operan para el alumno desde mucho tiempo antes.

Desde las Ciencias Químicas, Talanquer (2014) se refiere a las restricciones cognitivas que, como los obstáculos en el aprendizaje que constriñen el razonamiento, guían y dan sustento a las respuestas que dan los estudiantes. Este autor categoriza tales restricciones en dos grupos: (1) suposiciones implícitas, consistentes en generalizar a partir las propiedades y comportamiento de entidades y fenómenos químicos; y (2) suposiciones heurísticas, que son razonamientos que facilitan la toma de decisiones bajo condiciones inciertas, como la limitación de tiempo o conocimientos.

Por otra parte, a partir de una investigación en obstáculos en el aprendizaje del metabolismo de los hidratos de carbono, Garófalo, Alonso y Galagovsky (2014) proponen la existencia de dos tipos de obstáculos epistemológicos que subyacen el aprendizaje: obstáculos de tipo brecha (OTB) y obstáculos de tipo puente (OTP). Los OTB se presentan cuando el sujeto hace consciente su desconocimiento respecto a un tema determinado ante una pregunta/problema. Se diría que el sujeto carece de un modelo mental (JOHNSON-LAIRD, 2005) que le permita dar una explicación en relación al tópico que se le pregunta. Ante esta situación, el estudiante no puede vincular efectiva y correctamente nueva información en su estructura cognitiva previa. En cambio, un sujeto que presenta OTP tiene un relato intrínsecamente coherente sobre el asunto acerca del que está siendo interpelado y expresa argumentaciones que, si bien tienen lógica, no coinciden con las que se plantearían desde una mirada experta.

Modelos científicos ad hoc integradores del Proceso de Síntesis de Proteínas

Desde las ciencias cognitivas y la psicología del aprendizaje, apropiarse del modelo de ciencia escolar (IZQUIERDO; ALIBERAS, 2004) implica lograr una representación mental de tipo analógica (GILBERT; BOULTER; RUTHERFORD, 2000). Desde esta perspectiva, el proceso de transposición didáctica (CHEVALLARD, 1991) llevado a cabo por la acción profesional docente se concibe como el proceso complejo de transformación de los modelos científicos eruditos en modelos para la enseñanza. En el ámbito de la Biología Molecular y Celular, los

modelos para la enseñanza permitirían entender los procesos bioquímicos y fisiológicos que conducen al PSP.

En el presente trabajo, la compleja temática del PSP se organiza en torno a tres modelos científicos ad hoc que permiten, en conjunto, interpretar de manera sistémica la Síntesis de Proteínas. Estos modelos sirven de marcos conceptuales para interpretar posibles concepciones erróneas y analizar posibles obstáculos en el aprendizaje del tópico. Cada uno de los modelos involucra varios submodelos (ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO-AYMERICH, 2009) que se imbrican entre sí, lo que hace que la discriminación entre ellos no sea absoluta. Sin embargo, como los tres modelos provienen de preguntas científicas diferentes, podemos concebirlos por separado para el análisis de las posibles fallas encontradas.

Los modelos ad hoc propuestos y los principales conceptos científicos involucrados son los siguientes.

Modelo Fisiológico de Nutrición y Captación de Metabolitos (MFNyCMet): Supone la comprensión de que las proteínas son biomoléculas que se constituyen a partir de una serie de precursores: los aminoácidos. Algunos de ellos son sintetizados por las células de nuestro cuerpo, mientras que otros deben ser incorporarlos con la alimentación (aminoácidos esenciales). Todos los aminoácidos, tanto los esenciales como los que no lo son, deben estar disponibles para que ocurra en las células la síntesis proteica. Para poder incorporar los aminoácidos provenientes del alimento, previamente interviene el sistema digestivo que, por acción combinada de enzimas proteolíticas, hidroliza por completo las proteínas ingeridas, liberando sus aminoácidos. Estos pasan al torrente sanguíneo por absorción, transporte a través de las membranas de las células que tapizan el intestino delgado. De allí entran a las células de los distintos tejidos para incorporarse, como metabolitos, a distintas vías metabólicas, siendo una de ellas el PSP. Cada especie animal y vegetal tiene su propio tipo de proteínas.

Modelo Fisiológico de Disponibilidad y Función de las Proteínas (MFDyFProt): Supone la comprensión de que las proteínas de un organismo están en continua renovación. Se degradan en sus aminoácidos constituyentes, y éstos se utilizan, junto con los ingeridos y los sintetizados de novo, en distintas vías metabólicas para formar nuevas proteínas. Las proteínas cumplen gran diversidad de funciones estructurales y dinámicas esenciales en el organismo. La cantidad que se requiere en cada etapa de desarrollo es un tema controvertido, pues depende de varios factores, como edad, estado de salud, exigencia física, alimentación, etc. La regulación de la expresión génica (inducción y represión de genes) para la síntesis proteica asegura que estén presentes en cada momento las proteínas necesarias y no se sinteticen las que no se requieren.

Modelo Molecular de Síntesis de Proteínas (MMSP): Supone la comprensión de los procesos moleculares involucrados en la circulación de información del gen a la proteína (transcripción y traducción), las modificaciones pos-transcripcionales y pos-traduccionales, y conceptos como proteína nativa y estructuras proteicas. Involucra también tener conocimiento de las enzimas y estructuras subcelulares involucradas en el proceso de expresión génica, así como los efectos de posibles mutaciones sobre la función proteica y la expresión génica.

Propósito de la investigación

El propósito de esta investigación fue detectar posibles concepciones alternativas y obstáculos de aprendizaje en el tópico Síntesis de Proteínas en estudiantes universitarios de primer año, haciendo especial hincapié en los modos de pensar que subyacen a los mismos.

Metodología

Características de la población

El trabajo se llevó a cabo con estudiantes de la materia Biología del Ciclo Básico Común (CBC) de la Universidad de Buenos Aires (UBA). El CBC constituye el primer año de todas las carreras de la UBA, y la materia Biología es común y obligatoria para todas las carreras biomédicas, por lo que tiene carácter masivo. Biología es una materia cuatrimestral, con forma de enseñanza tradicional y un cronograma estricto, ya que hay varios cursos simultáneos a cargo de distintos docentes que trabajan sincronizados con los temas.

En los cursos en los que intervinimos, las clases tienen una modalidad teórico-práctica, en las que el docente comienza ofreciendo una explicación del tópico a enseñar basada en los libros de Curtis *et al.* (2008) y Alberts *et al.* (2002), y luego muestra cómo resolver ejercicios o contestar preguntas de los cuadernillos editados por el Departamento de Biología del CBC para Biología Celular y Molecular. En el tópico Síntesis de Proteínas, los ejercicios que se resuelven en clase y que los estudiantes practican cuando estudian para el examen consisten principalmente en hallar el péptido (secuencia de aminoácidos) resultante de determinada secuencia de nucleótidos de ADN. La evaluación de lo aprendido en la materia se realiza mediante dos exámenes parciales escritos con formato de cuestionario, siendo el segundo de ellos el que contiene las preguntas y ejercicios sobre Síntesis de Proteínas.

Desarrollo de la investigación

Considerando los tres modelos científicos ad hoc mencionados antes, diseñamos dos instrumentos de indagación para identificar y caracterizar las concepciones que los estudiantes ponen en juego a la hora de pensar sistémicamente el PSP a partir de la enseñanza tradicional impartida, para luego analizar posibles obstáculos de aprendizaje disciplinares y modos de pensar que podrían sustentarlos. Ambos instrumentos (un cuestionario que formaría parte del segundo examen parcial de la materia y una entrevista) fueron aplicados a estudiantes de cuatro cursos de Biología del CBC (dos del segundo cuatrimestre de 2018 y dos del primero de 2019). Previo a nuestra intervención, hicimos observaciones no participantes de las tres clases que demandó la enseñanza del tópico Síntesis de Proteínas.

Una de las condiciones acordadas con el docente de clase para llevar adelante la investigación en sus cursos fue no modificar el cronograma ni la forma de enseñanza del contenido, para no alterar la sincronización entre los cursos de la misma cátedra y banda horaria.

Preguntas integradas al examen

A fin de hallar indicadores de comprensión y modos de pensar sobre el tema por parte de los estudiantes, incorporamos las siguientes tres preguntas al segundo examen parcial de la materia:

- A. Las proteínas que ingerimos en el alimento, ¿consideras que son las mismas que integran nuestro organismo? SI/NO Justifica.
- B. ¿Cuándo consideras que nuestras células sintetizan proteínas?
- C. Indica cual es la estructura primaria del péptido resultante de la siguiente cadena: 5' TTAATGCCCGGGCAT 3'. Explica el procedimiento que utilizaste para obtenerlo.

Con la pregunta A se pretendía averiguar si los estudiantes habían llegado a construir el MFNyCMet. Esto es, si comprendían que las proteínas contenidas en los alimentos no son utilizadas *per se* por el cuerpo que las ingiere para sus propias funciones, sino que este utiliza sus aminoácidos para sintetizar con ellos sus propias proteínas. Como complemento de esta pregunta, la pregunta B pretendía indagar el conocimiento de los estudiantes acerca del momento en que las células sintetizan proteínas. Debían tener presente que las proteínas están en continua renovación y, además, que cumplen múltiples funciones en el organismo. Sus respuestas serían indicadoras de si habían llegado a construir correctamente el MFDyFProt. Ambas preguntas permitirían conocer si los estudiantes comprendían el sentido fisiológico del proceso molecular de la síntesis proteica. Es decir, si podían pensar no solo en términos moleculares y bioquímicos, sino también fisiológico. Así, las respuestas correctas y justificaciones apropiadas a las preguntas A y B indicarían estudiantes que habrían logrado una interpretación global del proceso, puesto que dichas respuestas no pueden surgir de mecanismos memorísticos de resolución.

La pregunta C es un problema que apunta al MMSP, y consta de dos partes. La primera pide indicar el péptido resultante de una cadena nucleotídica, y podría contestarse correctamente sin comprender completamente el proceso, apelando a la memorización del mecanismo de resolución. Este tipo de problemas es utilizado habitualmente por los docentes para evaluar el aprendizaje del tópico Síntesis de Proteínas, y en los cursos que seleccionamos se había practicado en clase. Para dilucidar si los estudiantes habían logrado construir el MMSP o si habían aplicado una resolución automática, se pidió, en la segunda parte del problema, que explicaran el procedimiento que aplicaron para resolverlo.

Entrevistas

Después de que el docente corrigió las preguntas del examen y antes de que los estudiantes tuvieran la devolución del mismo, se realizaron entrevistas individuales a diez estudiantes seleccionados al azar entre voluntarios que habían respondido correctamente las preguntas A y B (sin considerar su justificación) y a otros diez seleccionados de la misma manera entre voluntarios que habían respondido mal dichas preguntas.

En la entrevista, que tuvo una duración aproximada de 10 minutos, se entregaba al estudiante una hoja con una pregunta similar a la pregunta A, pero contextualizada en el siguiente caso hipotético: *“Una persona que ingiere una porción de carne vacuna está incorporando proteínas. ¿Consideras que sus células igual necesitarán sintetizar proteínas?”*

SI/NO. Justifica". Se le daba un tiempo para que el estudiante pensara la respuesta, y luego se le proponía que respondiera y argumentara su respuesta.

Análisis de la información

El análisis de la información recogida se realizó mediante un abordaje cualitativo con carácter descriptivo, tendiente a caracterizar, comprender e interpretar las respuestas de los estudiantes. Desde esta perspectiva, las respuestas obtenidas a partir de las preguntas integradas al examen y de las entrevistas fueron categorizadas de acuerdo con Goetz y LeCompte (2010), y posteriormente analizadas a la luz de la clasificación de obstáculos epistemológicos propuesta por Garófaro, Alonso y Galagovsky (2014).

Las respuestas dadas por los estudiantes en las entrevistas se analizaron independientemente de las que habían dado en el examen, ya que la finalidad de las entrevistas era validar las respuestas a las tres preguntas incorporadas al examen.

Todas las actividades contaron con el consentimiento informado de los estudiantes que participaron, y se guardó el anonimato en los ejemplos, para preservar su identidad.

Resultados

A partir de las preguntas integradas al examen

El examen parcial que incluyó las tres preguntas de síntesis de proteínas formuladas para esta investigación fue respondido por un total de 243 estudiantes de los cuatro cursos de la materia Biología del CBC descriptos en la sección Metodología. A continuación, se describen las categorías que surgieron de las respuestas a cada una de ellas.

Pregunta A. *Las proteínas que ingerimos en el alimento, ¿consideras que son las mismas que integran nuestro organismo?*

De los 243 estudiantes que contestaron las preguntas integradas al examen, aproximadamente un tercio (34%) respondió correctamente que las proteínas ingeridas con el alimento no son las mismas que luego integrarán el cuerpo, el 62% respondió que son las mismas y un 4% no respondió. Esto permitió agrupar las respuestas en función de aquellos estudiantes que contestaron correctamente (con un *no*) a la situación planteada en la Pregunta A y de aquellos que contestaron incorrectamente (con un *si*), diferenciándolos de los que no contestaron y de los que manifestaron no saber (**tabla 1**).

Entre los estudiantes que contestaron negativamente (respuesta correcta), solo la mitad pudo justificar adecuadamente su respuesta (40 de 82). Estos representan el 16% del total que respondió el cuestionario (**tabla 1**). Entre las respuestas de la otra mitad (42 estudiantes) se distinguieron dos categorías: la del grupo que argumentó erróneamente que, si bien la cadena de aminoácido es la misma, las proteínas son otras porque tienen distinta configuración (33 estudiantes), y la de los que no justificaron su respuesta (9 estudiantes) (**tabla 1**).

Entre los estudiantes que contestaron afirmativamente (respuesta incorrecta) se hallaron tres categorías de respuestas. Una de ellas corresponde a estudiantes que afirmaron que las proteínas que ingerimos en los alimentos son las mismas que conforman nuestras células (103 estudiantes), respondiendo por ejemplo "*tanto las vacas como nosotros tenemos las mismas proteínas; si comemos carne pasarán a formar parte de nuestras células y cumplirán distintas funciones*". Entre los estudiantes agrupados en esta categoría hubo

varios que le otorgaron relevancia a una buena alimentación, con respuestas como *“las proteínas que comemos son las mismas que necesita nuestro cuerpo y cumplen muchas funciones; por eso es importante alimentarse correctamente”*. Otra categoría agrupa estudiantes que sostuvieron que todos los seres vivos poseen las mismas proteínas a pesar de tener secuencias de ADN diferentes (36 estudiantes), con respuestas como *“si bien los seres vivos de distintas especies tienen distinto ADN, todos tenemos las mismas proteínas”*. Una tercera categoría representó a los estudiantes que no justificaron su respuesta (12 estudiantes) (**tabla 1**).

El análisis de respuestas y argumentaciones recogidas en las entrevistas permitió extraer las mismas categorías emergentes y con porcentajes similares a los obtenidos de las respuestas a la pregunta A del examen (**tabla 1**).

Tabla 1 – Porcentajes y números de respuestas y de categorías emergentes extraídas de las justificaciones a la pregunta A formulada con dos instrumentos de indagación

Respuestas y categorías emergentes a partir de las justificaciones	Pregunta A en el examen¹ (n = 243)	Pregunta A en la entrevista² (n = 20)³
Respondieron SI (respuesta incorrecta)	62% (n = 151)	50% (n = 10)
– Las proteínas ingeridas en los alimentos son las mismas que integran nuestras células (algunos complementan su respuesta sosteniendo que por eso es importante tener una buena alimentación).	42% (n = 103)	35% (n = 7)
– El ADN del ser humano es distinto al de otros seres vivos, pero las proteínas ingeridas en los alimentos son las mismas que integran nuestras células.	15% (n = 36)	10% (n = 2)
– No justifica	5% (n = 12)	5% (n = 1)
Respondieron NO (respuesta correcta)	34% (n = 82)	50% (n = 10)
– Utilizamos los aminoácidos de las proteínas de los alimentos para la síntesis de nuestras propias proteínas. Respuesta Apropia	16% (n = 40)	20% (n = 4)
– La conformación de las proteínas del alimento es distinta pero las proteínas son las mismas	14% (n = 33)	20% (n = 4)
– No justifica	4% (n = 9)	10% (n = 2)
Manifestaron desconocer	2% (n = 5)	
No respondieron	2% (n = 5)	

¹Las proteínas que ingerimos en el alimento, ¿consideras que son las mismas que integran nuestro organismo? SI/NO Justifica.

²Una persona que ingiere una porción de carne vacuna está incorporando proteínas. ¿Consideras que sus células igual necesitan sintetizar proteínas? SI/NO Justifica.

³Solo se seleccionaron estudiantes voluntarios que respondieron SI o NO, sin considerar su justificación.

Fuente: elaboración de las autoras.

Pregunta B. *¿Cuándo sintetizan proteínas nuestras células?*

El 15% de los 243 estudiantes que respondieron las preguntas del examen contestaron correctamente que el cuerpo sintetiza proteínas continuamente. Entre las respuestas erróneas hallamos seis categorías emergentes, que se muestran en la **tabla 2**.

Tabla 2 – Porcentajes de respuestas a la pregunta B del cuestionario* agrupadas en categorías emergentes

Categorías de respuestas	Se sintetizan continuamente Respuesta Correcta	Se sintetizan solo cuando no alcanza con las ingeridas en la dieta	Se sintetizan solo cuando las células se dividen	Se sintetizan cuando se necesitan anticuerpos o enzimas	Manifestaron desconocer	No responden
Porcentajes (n = 243)	15%	35%	35%	10%	2%	3%

*¿Cuándo consideras que nuestras células sintetizan proteínas?

Fuente: elaboración de las autoras.

Pregunta C. *Indica cuál es la estructura primaria del péptido resultante de la siguiente cadena 5' TTAATGCCCGGGCAT 3'. Explica el procedimiento que utilizaste para resolverlo.*

De los 243 estudiantes que respondieron las preguntas integradas al examen, 228 resolvieron el problema C, 10 no lo resolvieron y 5 manifestaron no saber resolverlo. De los 228 que lo resolvieron, el 50% halló la secuencia peptídica correcta, es decir, mostró primero la representación del producto de la transcripción (codificación de ADN a ARNm: 5' AUGCCCGGGCAUUA 3' o 3' AAUACGGGCCCAU 5') y finalmente la representación del péptido resultante de la traducción (ARNm a péptido: NH₂-Met-Pro-Gly-His-COOH) utilizando el código genético, pero solo 23% de esta mitad de estudiantes (n = 26) explicó apropiadamente el mecanismo molecular que permite construir dicho péptido (**tabla 3**).

Tabla 3 – Porcentajes de las respuestas y justificaciones del problema C1 de los 228 estudiantes que lo resolvieron, agrupadas en categorías emergentes

Tipo de justificación	Tipo de respuesta al problema					Total
	Categorías emergentes de las justificaciones	Correcta ²	Omite la transcripción	Dificultad en la complementariedad de bases	Uso incorrecto del código genético	
Apropiada	Representa cada paso de la circulación de la información genética: transcripción y traducción	22,81% (n = 26)	0,00% (n = 0)	51,43% (n = 18)	32,14% (n = 9)	23,2% (n = 53)
Incompleta	Es el procedimiento para llegar al péptido.	21,93% (n = 25)	0,00% (n = 0)	8,57% (n = 3)	0,00% (n = 0)	12,3% (n = 28)
Incorrecta	Es el proceso de formación de biomoléculas en la célula	5,26% (n = 6)	35,29% (n = 18)	11,43% (n = 4)	25,00% (n = 7)	15,4% (n = 35)
	Representa el proceso de síntesis de proteínas que sucede cuando no las incorporamos por la dieta	38,60% (n = 44)	29,42% (n = 15)	17,14% (n = 6)	39,29% (n = 11)	33,3% (n = 76)
No justificada		11,40% (n = 13)	35,29% (n = 18)	11,43% (n = 4)	3,57% (n = 1)	15,8% (n = 36)
Total (n = 228)		100% (n = 114)	100% (n = 51)	100% (n = 35)	100% (n = 28)	
Total de cada tipo de respuesta		50,0% (n = 114)	22,4% (n = 51)	15,3% (n = 35)	12,3% (n = 28)	100% (n = 228)

¹Indica cuál es el péptido resultante de la siguiente cadena 5' TTAATGCCCGGGCAT 3'²NH₂-Met-Pro-Gly-His-COOH

Fuente: elaboración de las autoras.

Entre los estudiantes que no hallaron la secuencia peptídica correcta identificamos tres tipos de errores: por omisión de la transcripción (46% de las 114 respuestas erróneas), con respuestas en las que aparecía un péptido debajo de la cadena de ADN planteada, sin mostrar la secuencia de ARNm (por ejemplo, *NH₂-Leu-Met-Pro-Gly-Hist-COOH*); por dificultad con la complementariedad de bases (30% de 114), por ejemplo representando al ARNm como *5' UAGCCCGGCCUAAUU 3'*, lo que conduce a la obtención de un péptido incorrecto (en este caso, *NH₂-Stop-Pro-Gly-Leu-Ile-COOH*); y por el uso incorrecto del código genético (24% de 114), habiendo hallado previamente la secuencia correcta de ARNm (por ejemplo, uno de los estudiantes escribió como péptido resultante: *NH₂-Ser-Pro-Gly-Leu-COOH*).

El 84% de los 228 estudiantes que resolvieron el problema justificó su resolución. Entre esas justificaciones distinguimos tres tipos: apropiada, incompleta e incorrecta (**tabla 3**). La justificación apropiada es la que hizo referencia a la circulación de la información genética a través de la transcripción y la traducción, con respuestas como *"en la resolución, lo que hago es representar cómo circula la información del gen hasta la proteína correspondiente"*. El 23% de los 228 estudiantes que resolvieron el problema dio este tipo de explicación, pero el 24% de esas justificaciones correspondió a estudiantes que no habían hallado el péptido correcto (27 de 114, **tabla 3**). Por otra parte, el 12% de los 228 estudiantes que resolvieron el problema justificó de manera incompleta, escribiendo por ejemplo *"es el dogma de la biología molecular y celular"* o *"represento los pasos a seguir"*, mientras que el 49% argumentó incorrectamente. Entre las respuestas incorrectas distinguimos dos categorías: los que decían que ese es el proceso de formación de biomoléculas, por ejemplo *"es el proceso de formación de las macromoléculas presentes en las células"*, y los que afirmaban que ese es el PSP que sucede cuando no las incorporamos por la dieta, por ejemplo *"son los pasos que conducen a la fabricación de proteínas cuando no se incorporan por dieta"* (**tabla 3**).

Discusión

En la presente investigación se recogieron datos empíricos a partir de tres preguntas específicamente pensadas para detectar fallas en el aprendizaje del tópico Síntesis de Proteínas, en estudiantes voluntarios de primer año de la universidad que habían recibido enseñanza tradicional en dicho tema. Tres modelos científicos ad hoc que forman parte del tópico Síntesis de Proteínas nos sirvieron como marcos conceptuales alrededor de los cuales interpretar las concepciones erróneas de los estudiantes, como evidencias empíricas de obstáculos en la construcción-aprendizaje de dichos modelos. Las entrevistas individuales a estudiantes seleccionados al azar entre los voluntarios indicaron que el instrumento diseñado es confiable, ya que tanto las categorías emergentes detectadas como los porcentajes de respuestas en las entrevistas coincidieron con las obtenidas de las preguntas formuladas en el examen.

La triangulación de las respuestas a las tres preguntas incluidas en el examen y las entrevistas permitió distinguir aspectos comunes subyacentes a las fallas de los estudiantes en la construcción de los modelos ad hoc, evidenciando obstáculos epistémicos de aprendizaje de tipo puente y de tipo brecha (GARÓFARO; ALONSO; GALAGOVSKY, 2014) asociados al contenido. A posteriori, mediante un análisis que demandó un mayor grado de abstracción, se lograron identificar seis OTP que estarían sustentados en dos modos de pensar diferentes. Uno de dichos modos de pensar tiende a generalizar lo que es

parecido, en este caso las proteínas, descuidando el contexto o entorno. El otro modo de pensar estaría asociado a otorgar intencionalidad a alguna parte del organismo, en este caso a la célula, para llevar adelante algún tipo de proceso biológico. Las evidencias empíricas sobre la existencia de este tipo de obstáculo y sus modos de pensar se resumen en la **tabla 4**.

Uno de los OTP detectados asociado al modo de pensar tendiente a generalizar lo que es parecido se evidenció en un grupo de estudiantes que consideró erróneamente que las proteínas ingeridas en el alimento son las mismas que integran nuestras células (ejemplos en **tabla 4**). Estos estudiantes no habrían construido adecuadamente el MFNyCMet, ya que estarían pensando que las proteínas ingeridas en el alimento no sufren ninguna transformación en el cuerpo. Otro obstáculo asociado al mismo modo de pensar se observó en estudiantes que afirmaron que si bien el ADN de los seres vivos que ingerimos en el alimento es distinto al nuestro, sus proteínas son las mismas y pasan a integrar nuestras células (ejemplos en **tabla 4**). Esta respuesta indica que estos estudiantes, además de no haber construido adecuadamente el MFNyCMet por el mismo motivo que el grupo anterior, tampoco habrían podido construir el MMSP porque no pudieron asociar la información codificada en el ADN con las proteínas. Un tercer OTP, sustentado en el mismo modo de pensar, se observó en estudiantes que sostuvieron que las proteínas ingeridas en el alimento son las mismas que integran nuestro organismo, pero con una conformación diferente (ejemplos en **tabla 4**). Estos no habrían logrado construir el MFNyCMet, que supone comprender que mediante la acción de enzimas digestivas las proteínas del alimento se hidrolizan por completo liberando aminoácidos, los cuales, junto con otros sintetizados por el organismo, se utilizan para construir las proteínas del cuerpo. Tampoco habrían logrado construir el MMSP, que requiere la comprensión de los procesos moleculares involucrados en la circulación de información del gen a la proteína. El cuarto OTP que da cuenta de una tendencia a generalizar lo que es parecido, se evidenció en las justificaciones del problema C, y consistió en pensar que el PSP es igual al proceso de síntesis de cualquier otra biomolécula (ejemplos en **tabla 4**). Los estudiantes que afirmaron esto no habrían construido correctamente el MMSP, ya que las biomoléculas tienen distintos mecanismos de síntesis.

Tabla 4 – Modos de pensar asociados a los obstáculos de aprendizaje de tipo puente (OTP) que subyacen a las concepciones erróneas para el tópico Síntesis de Proteínas en estudiantes universitarios de primer año

Modo de pensar	Obstáculo de aprendizaje de tipo puente (fuente empírica)	Ejemplos de concepciones erróneas asociadas a alguno de los modelos ad hoc	Modelo científico ad hoc
Tendencia a asociar/generalizar lo parecido (proteína-procesos moleculares) descuidando el entorno	Las proteínas ingeridas en los alimentos son las mismas que integran nuestras células (pregunta A y entrevista)	<i>Las proteínas del alimento, al provenir de otros seres vivos, son las mismas que tienen nuestras células.</i>	MFNyCMet ¹
		<i>Cuando comemos un churrasco, tiene proteínas que cumplirán funciones en nuestro organismo, por ejemplo, anticuerpos.</i>	
	El ADN del ser humano es distinto al de otros seres vivos, pero las proteínas ingeridas en los alimentos son las mismas que integran nuestras células (pregunta A y entrevista)	<i>El ADN de las distintas especies es distinto, pero si comemos un churrasco, esas proteínas cumplen funciones importantes en nuestro organismo.</i>	MFNyCMet y MMSP ²
		<i>Las proteínas que contienen los alimentos son las mismas que tenemos en nuestras células. Lo que es diferente es el ADN nuestro al del churrasco que comemos porque viene de la vaca.</i>	
La conformación de las proteínas del alimento es distinta, pero las proteínas son las mismas (pregunta A y entrevista)	<i>Cuando cocinamos, las proteínas cambian de conformación, se desnaturalizan, pero la proteína en sí es la misma que forma nuestras células.</i>	MFNyCMet y MMSP	
	<i>Sí, la que comemos es la misma que está en nuestras células; solo que cambia la conformación con el calor.</i>		
El PSP es igual al procedimiento de síntesis de cualquier biomolécula (pregunta C - ítem justificación)	<i>El procedimiento que seguí es el de formación de biomoléculas que conforman las células.</i>	MM.SP	
Otorgar intencionalidad a alguna parte del organismo para llevar adelante algún tipo de proceso biológico	El cuerpo sintetiza proteínas solo cuando hay alguna necesidad específica (pregunta B)	<i>Las proteínas solo se sintetizan cuando las células se dividen.</i>	MFDyFProt ³
		<i>Las proteínas se sintetizan cuando la célula necesita enzimas o anticuerpos.</i>	
	Se sintetizan solo cuando no alcanza con las ingeridas en la dieta (preguntas B y C - ítem justificación)	<i>Si no comemos suficientes proteínas en la dieta, ahí la célula comienza a sintetizar</i>	MFDyFProt
<i>Solo sintetiza proteínas la célula ante una alimentación deficiente de proteínas</i>		MFNyCMet	

¹Modelo Fisiológico de Nutrición y Captación de Metabolitos.

²Modelo Molecular de Síntesis de Proteínas.

³Modelo Fisiológico de Disponibilidad y Función de las Proteínas.

Fuente: elaboración de las autoras.

A partir de las respuestas a la pregunta B y de las justificaciones del problema C, encontramos dos tipos de OTP que estarían sustentados en conferirle cierta intencionalidad a alguna parte del cuerpo para llevar adelante algún tipo de proceso biológico. Uno de estos OTP consiste en considerar que el cuerpo sintetiza proteínas sólo cuando tiene alguna necesidad específica de ellas, como cuando se requieren anticuerpos o enzimas para cumplir con determinada función frente a una dada situación, como una enfermedad,

la digestión o la división celular (ejemplos en **tabla 4**). Esta explicación indica que estos estudiantes no habrían logrado construir un MFDyFProt correcto, ya que parecen desconocer que las proteínas están en continua renovación en el organismo (constantemente hay proteínas degradándose en sus aminoácidos constituyentes, y estos siendo utilizados, junto con los aminoácidos provenientes de la alimentación y de los sintetizados en otras vías metabólicas, para formar nuevas proteínas). El otro tipo de OTP sustentado en el mismo modo de pensar finalista, que implica asumir que ciertos procesos biológicos obedecen al propósito específico de cierta parte del cuerpo, consistente en creer que las proteínas solo se sintetizan cuando las ingeridas con la dieta no son suficientes (ejemplos en **tabla 4**). Los estudiantes que dieron este tipo de respuestas, además de no haber construido un MFDyFProt correcto por el mismo motivo que se mencionó arriba, no habrían podido construir correctamente el MFNyCMet, al no tener presente que cada especie animal o vegetal tiene su propio tipo de proteínas, incompatibles con los de otras especies.

El análisis en profundidad llevado a cabo permitió detectar que estos OTP disciplinares estarían sustentados en modos de pensar que resultan útiles a los sujetos porque facilitan la organización de sus explicaciones y relatos. Los modos de pensar asociados a los OTP detectados en este caso dieron cuenta de lo que Talanquer (2014) llama estrategias heurísticas, que permiten a los estudiantes reducir el costo cognitivo a la hora de responder. Estos modos heurísticos de pensar guían y organizan la toma de decisiones, conduciendo a errores que interfieren en la construcción de nuevos conocimientos científicos (GOLDWATER; HILTON; DAVIS, 2002; TALANQUER, 2014). Al ser operativos, rápidos y funcionales, estos modos de pensar generan obstáculos que seguirán presentes en los estudiantes hasta que se genere un conflicto cognitivo que los cuestione (GOLDWATER; HILTON; DAVIS, 2002).

Por otra parte, algunos estudiantes explicitaron desconocer las respuestas a las preguntas que incluimos en el examen. Frente a la pregunta A manifestaron no saber si las proteínas que ingerimos son las mismas que integran nuestro cuerpo; ante la B dijeron que desconocían cuándo las células sintetizan proteínas; y al tener que justificar en el problema C, manifestaron desconocer por qué habían resuelto el problema como lo hicieron. Estas respuestas son evidencias empíricas de OTB, que se caracterizan por la falta de un modelo que structure los conocimientos previamente formados (GALÓFARO; ALONSO; GALAGOVSKY, 2014); es decir, que resulte organizador de los nuevos contenidos a aprender. El sujeto que toma conciencia de su brecha cognitiva suele responder con un no sé, porque en su búsqueda cognitivo-reflexiva se da cuenta de la falta de herramientas (de modelos) que le permitan operar para encontrar una respuesta.

Finalmente, algunos estudiantes habrían logrado justificar adecuadamente el procedimiento que siguieron para resolver el problema C a pesar de no haber obtenido el péptido correcto. Estos estudiantes tuvieron dificultades para hallar la complementariedad de bases (A-T y C-G) o usaron incorrectamente el código genético (qué secuencia de 3 nucleótidos codifican cada aminoácido), pero la explicación que dieron acerca de cómo se sintetizaría el péptido fue acorde al MMSP. El procedimiento para obtener el péptido involucra una secuencia de pasos con dos niveles de decodificación: la transcripción del ADN al ARN y la traducción del ARN al péptido. Ambos pasos requieren especial concentración del estudiante para no equivocarse. Así, haber justificado bien a pesar de no haber obtenido el péptido correcto puede reflejar cuestiones ajenas a la construcción

correcta del modelo, como distracción, rapidez por falta de tiempo para resolver el examen completo o dislexia.

De acuerdo al tipo de ejercitación que se observó hacer hincapié durante la explicación del tema en las clases y al estilo de actividades presentadas en la guía de trabajos prácticos de la materia, esperábamos que gran parte de los estudiantes pudiera resolver correctamente la primera parte del problema C. Sin embargo, la mayoría de los estudiantes que obtuvo el péptido correcto (primera parte del problema), no pudo explicar adecuadamente los pasos de circulación de la información genética al péptido. De esto se infiere que menos de la mitad de los estudiantes habría logrado construir apropiadamente el MMSP. Entre estos estudiantes incluimos tanto a los que justificaron adecuadamente como a los que lo hicieron en forma incompleta, puesto que las respuestas de estos últimos podrían haber sido producto de un *atajo cognitivo* como estrategia para no dejar la pregunta del examen sin responder. Este resultado indica también que los problemas como este, sobre los que más se trabaja en las clases de Síntesis de Proteínas y tradicionales de los exámenes de este tópico, pueden llevar al docente a concluir erróneamente que los estudiantes lograron comprender el tema, si no son acompañados por una consigna que permita que el estudiante justifique su resolución.

Conclusiones

Durante años, gran parte del trabajo de investigación educativa se focalizó en identificar y describir las concepciones alternativas de los estudiantes (e.g. DUIT; WIDODO; WODZINSKI, 2007; KIND, 2004), permitiendo conocer las múltiples dificultades de aprendizaje con la que se enfrentan. Diferenciar OTP de OTB permite repensar la enseñanza planificando estrategias didácticas adecuadas para cada situación. En este marco, analizar con mayor profundidad los OTP disciplinares que sustentan las concepciones alternativas erróneas relacionadas al PSP permite conocer los modos de pensar que subyacen los argumentos de tales estudiantes. Su identificación permitió reconocer la presencia de estrategias heurísticas que, tal como sostiene Talanquer (2014), son suposiciones implícitas alejadas de un razonamiento analítico pero tentadoras para los estudiantes por resultarles útiles y funcionales para dar explicaciones rápidas. Sin embargo, estas estrategias pueden ocasionar serias restricciones cognitivas en el aprendizaje, y son responsables de sesgos y serios errores sistémicos. La aplicación de razonamientos heurísticos y su riesgo epistemológico han sido también reportados por otros autores en diversas investigaciones educativas en ciencias (e.g. McCLARY; TALANQUER, 2011; TABER; BRICHENO, 2009). Trabajos previos de nuestro grupo de investigación (GARÓFALO; MIÑO, 2021, 2022) pusieron en evidencia mejores logros académicos en el aprendizaje cuando se implementan actividades metacognitivas colaborativas que hacen foco sobre la auto-observación crítica de las formas de aprender y modos de pensar el tema. Finalmente, a partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo, sugerimos el uso de estrategias de reorganización del contenido a enseñar a partir de modelos científicos ad hoc contextualizados con emergentes propios del contexto de la vida diaria (GARÓFARO; GALAGOVSKY; ALONSO, 2021), a fin de facilitar a los estudiantes la construcción de una mirada sistémica y holística del PSP.

Agradecimientos

Esta investigación pudo llevarse a cabo gracias a la colaboración de Santiago M. Lenzi y los docentes Laura Horan, Daniela Correa y Luciana Avigliano (Cátedra Rodríguez, CBC, UBA, Argentina), y fue financiado por la Universidad de Buenos Aires, Argentina, a través del proyecto UBACyT 20020170100413BA.

Referências

- ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO-AYMERICH, M. Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Tandil, Argentina, v. 4, n. 1, p. 40-49, 2009. Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://tinyurl.com/2aasmhrb>.
- ALBERTS, B. *et al. Biología molecular de la célula*. 4. ed. Barcelona: Omega, 2002.
- ASTOLFI, J. *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Sevilla: Díada, 2001.
- CABALLERO SAHELICES, M. C. La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos. In: RODRÍGUEZ PALMERO, M. L. (org.). *La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva*. Barcelona: Octaedro, 2008. p. 162-197.
- CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Editorial Aique, 1991.
- CURTIS, H. *et al. Biología*. 7. ed. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2008.
- DUIT, R.; WIDODO, A.; WODZINSKI, C. T. Conceptual change ideas: teachers' views and their instructional practice. In: VOSNIADOU, S.; BALTAS, A.; VAMVAKOUSSI, X. (ed.). *Reframing the conceptual change approach in learning and instruction*. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 197-217.
- GAGLIARDI, R. Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 4, n. 1, p. 30-35, 1986. Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://tinyurl.com/2jdnj6yk>.
- GARÓFALO, S. J.; GALAGOVSKY, L. R. Modelizar en biología: una aplicación del modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, p. 1-6, 2005. (Número extra). Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://ddd.uab.cat/record/69221?ln=ca>.
- GARÓFALO, S. J.; MIÑO, M. H. Estrategias evaluativas para promover la autorregulación del aprendizaje de biología en estudiantes de primer año universitario. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 27, e21053, p. 1-19. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1516-731320210053>.
- GARÓFALO, S. J.; MIÑO, M. H. Propuesta didáctica desde la metacognición y análisis de metahabilidades para pensar las fallas en el aprendizaje de síntesis de proteínas. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 28, e22021, p. 1-16, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1590/1516-731320220021>.
- GARÓFALO, S. J.; ALONSO, M.; GALAGOVSKY, L. Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje: el caso del metabolismo de los carbohidratos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 32, n. 3, p. 155-171, 2014. Doi: <https://doi.org/kddc>.
- GARÓFALO, S. J.; GALAGOVSKY, L. R.; ALONSO, M. Una estrategia de reorganización de contenidos: modelos científicos contextualizados. *Revista de Educación en Biología*, Argentina, v. 3, n. especial, p. 183-185. 2021. Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://tinyurl.com/mhbxuj48>.
- GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; RUTHERFORD, M. Explanations with models in science education. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (ed.) *Developing models in science education*. Dordrecht: Springer, 2000. p. 193-208. Doi: https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_10.

- GIRALDO OSORIO, G. F. *Enseñanza-aprendizaje del concepto de síntesis de proteínas en educación secundaria rural*. 2014. Tesis (Maestría en Enseñanza de Ciencias Exactas y Naturales) – Facultad en Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2014. Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://tinyurl.com/3ufc39v2>.
- GOETZ, J. P.; LECOMPTE, M. D. *Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa*. Madrid: Morata, 2010.
- GOLDWATER, B.; HILTON, C.; DAVIS, T. H. Developing an educational neuroscience of category learning. *Mind, Brain, and Education*, Hoboken, v. 16, n. 2, p. 167-182, 2022.
- IZQUIERDO, M.; ALIBERAS, J. *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències: per un ensenyament de les ciències racional y razonable*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, 2004.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models in thought. In: HOLYOAK, K.; STERNBERG, R. J. (ed.). *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. p. 185-208.
- KIND, V. *Más allá de las apariencias: ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. México: Santillana, 2004.
- MCCLARY, L.; TALANQUER, V. College chemistry students' mental models of acids and acid strength. *Journal of Research in Science Teaching*, Hoboken, v. 48, n. 4, p. 396-413, 2011.
- OCCELLI, M.; POMAR, S. Modelizando síntesis de proteínas en la escuela secundaria con las TIC: una propuesta a partir de 'la resistencia al VIH'. In: JORNADAS DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EDUCATIVA EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, 5., 2019, La Plata, Argentina. *Actas [...]*. Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://tinyurl.com/452mz9jc>.
- RAVILOLO, A.; MARTÍNEZ, M. Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico: clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. *Educación Química*, México, v. 14, n. 3, p. 159-165, 2003.
- ROSENBERG, C. E. *Estrategias para mejorar la comprensión del proceso de replicación del ADN en alumnos de la escuela secundaria*. Disertación (Especialidad en Educación en Ciencias Exactas y Naturales) – Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 2014. Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://tinyurl.com/yc8f32uf>.
- TABER, K. S.; BRICHENO, P. Coordinating procedural and conceptual knowledge to make sense of word equations: understanding the complexity of a 'simple' completion task at the learner's resolution. *International Journal of Science Education*, Abingdon, v. 31, n. 15, p. 2021-2055, 2009.
- TALANQUER V. El rol de las suposiciones implícitas y estrategias heurísticas en el razonamiento de los estudiantes de química. In: MERINO, C.; ARELLANO, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (ed.). *Avances en didáctica de la química: modelos y lenguajes*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso, 2014. p. 93-105.
- TRINIDAD-VELASCO, R.; GARRITZ, A. Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación Química*, México, v. 14, n. 2, p. 72-85, 2003. Recuperado el 16 sep. 2022 de: <https://tinyurl.com/2dnb29jd>.