

EJE TEMÁTICO: Investigaciones educativas sobre enseñanza y aprendizaje de la Química.

COMPUESTOS REDUCIDOS Y OXIDADOS EN UN MODELO FISIOLÓGICO *AD HOC* DEL CICLO DEL CARBONO EN LOS SERES VIVOS: OBSTÁCULOS EN EL APRENDIZAJE

Sofía Judith Garófalo*¹, Lydia Galagovsky², Diana Bekerman³, Manuel Alonso¹

¹*Departamento de Ciencias Biológicas, Ciclo Básico Común;* ²*Instituto Centro de Formación en Investigación y Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales;* ³*Departamento de Ciencias Exactas, Ciclo Básico Común, Universidad de Buenos Aires. Ramos Mejía 841, C1405CAE, Ciudad de Buenos Aires, Argentina*
E-mail: sigarofalo@gmail.com

RESUMEN

El estudio sistémico del ciclo del carbono comprende enfoques ecológico, fisiológico y bioquímico, y resulta ser estructurante para la interpretación de numerosos procesos biológicos de los seres vivos. El objetivo propuesto consistió en indagar si los estudiantes universitarios construyen adecuadamente un *Modelo Fisiológico ad hoc del Ciclo del Carbono en heterótrofos* (MFCCHet). Las concepciones erróneas detectadas fueron categorizadas teniendo en cuenta dos tipos diferentes de obstáculos de aprendizaje: los de tipo *brecha* y los de tipo *punteo*.

Palabras clave: ciclo del carbono, obstáculos de aprendizaje, modelos fisiológicos

INTRODUCCIÓN

El ciclo del carbono constituye un tema enseñado reiteradamente desde el nivel primario, con un enfoque principalmente ecológico y, posteriormente, en el nivel secundario y universitario, con un enfoque más amplio, fisiológico y bioquímico, y que involucra las distintas transformaciones químicas de los compuestos carbonados que ocurren en los seres vivos. El estudio sistémico del ciclo del carbono comprende la integración de cada uno de los enfoques mencionados, y resulta ser estructurante [1] para lograr la interpretación de numerosos procesos biológicos de los seres vivos.

La comprensión *del Ciclo del Carbono* supone la interpretación correcta de los procesos de óxido-reducción de compuestos de carbono pertenecientes a especies químicas que se encuentran tanto en la atmósfera como en los organismos vivos. El ciclo incluye los procesos fotosintéticos de los autótrofos que transforman el CO₂ atmosférico en compuestos reducidos de carbono como, por ejemplo, los carbohidratos. A su vez, las células de autótrofos y heterótrofos, mediante la respiración celular, re-oxidan, controladamente, compuestos reducidos de carbono a dióxido de carbono.

El objetivo del presente trabajo consistió en indagar si los estudiantes universitarios construyen adecuadamente un *Modelo Fisiológico ad hoc del Ciclo del Carbono en Heterótrofos* (MFCCHet).

METODOLOGÍA

Esta investigación se encuadra en la perspectiva de investigación cualitativa, de carácter descriptivo-interpretativo. A partir de la consideración del modelo científico *ad hoc*, se les propusieron a estudiantes voluntarios un problema abierto (Cuadro 1) y posteriormente, tres preguntas (Cuadro 2), denominadas entrevista recurrente— acerca del MFCCHet. Estos instrumentos de indagación fueron aplicados a estudiantes voluntarios de asignaturas pertenecientes a carreras de la Universidad de Buenos Aires en las que el tema seleccionado formara parte del programa analítico: *Biología y Biología e Introducción a la Biología Celular*, del Ciclo Básico Común (CBC); *Introducción a la Biología Molecular y Celular* (IBMC) de la Licenciatura en Ciencias Biológicas, *Química Biológica* (QB) de las Licenciaturas en Ciencias Biológicas y en Ciencias Químicas, ambas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales; y, *Bioquímica de la Nutrición* (BN) de la carrera de Nutrición, de la Facultad de Medicina. Para el

análisis de las respuestas al problema se utilizó una Red Semántica Poblacional [2] y todo entrevistado debió responder también las tres preguntas de la entrevista recurrente (Cuadro 2). Estas se referían a los contextos de significación subyacentes a las respuestas al problema abierto [3], y fueron categorizadas mediante el Método Comparativo Constante [4]. De esta forma, se pudieron indagar los modelos mentales idiosincrásicos que habrían construido los estudiantes. De los instrumentos de indagación utilizados, se seleccionaron aquellas preguntas que permitían detectar rotundas evidencias empíricas sobre posibles obstáculos en el aprendizaje de este modelo; por tal motivo, se eligieron las respuestas¹ de los estudiantes al problema de la EC (Cuadro 1) y la pregunta 2 de las ER (Cuadro 2).

Cuadro 1: Problema para la Entrevista Concurrente

Una persona ingiere una porción de pizza (consideraremos el almidón como componente principal). ¿Existe la posibilidad de encontrar en la atmósfera, en algún momento, alguno de los átomos de carbono que forman parte de la glucosa del almidón de esa pizza? Menciona cómo y qué vías metabólicas estarían involucradas.

Cuadro 2: Preguntas correspondientes a la Entrevista Recurrente

- 1- ¿Sabés de dónde proviene la glucosa involucrada en la respiración celular?
- 2- ¿Cómo y por dónde pensás que se incorpora la glucosa a la sangre?
- 3-¿Qué sucede con la glucosa una vez en sangre?

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las clases universitarias observadas, se presentó gran cantidad de información, que se corresponde con el contenido de temas de textos, como [5, 6, 7]. Por su parte, los estudiantes fueron evaluados en un examen que solicitaba respuestas semejantes a las que habían sido presentadas durante la enseñanza.

Con los instrumentos de indagación utilizados se dilucidaron concepciones erróneas en el aprendizaje del MFCCHet (Tabla 1). En todas las asignaturas investigadas, siempre hubo algún grupo de estudiantes que no consideró que el carbono presente en el almidón se encontrara en algún momento a la atmósfera. Este tipo de respuesta puede considerarse como una evidencia empírica de falta de comprensión del MFCCHet. Esta afirmación fue sostenida por el 66% de la población de estudiantes de Biología del CBC, el 78% de estudiantes de IBMC, el 10% de estudiantes de QB y un 34% de estudiantes de BN. Es importante destacar también que, por ejemplo, en Biología del CBC se había enseñado fotosíntesis en la clase anterior a explicar la respiración celular. Por tanto, el origen de la materia orgánica requerida por los heterótrofos fue explicado en relación con la síntesis de dichos compuestos. Por otra parte, hubo un 31% de estudiantes de BN que sostuvo que los carbonos del alimento sólo pueden ser eliminados por las heces o mediante la actividad bacteriana sobre los desechos de la materia orgánica producto del proceso digestivo generando metano. Con este argumento hubo un menor porcentaje de respuestas en CBC (6%) y en QB (3%), mientras que en IBMC ningún estudiante propuso tal respuesta. En otro orden de cosas, es importante destacar el alto porcentaje (71%) de estudiantes de IBMC que manifestaron explícitamente no saber de dónde proviene la glucosa utilizada en la respiración celular cuando se les indagó con la Pregunta 2 de la ER (Cuadro 2). Una situación similar ocurrió con estudiantes de Biología del CBC (59%) y de BN (31%). En cambio, en QB hubo una menor proporción de este tipo de respuestas (2%).

¹ Cabe aclarar que las preguntas en sí mismas podrían ser incluidas en otros modelos *ad hoc*; por ello es importante tener presente que esta clasificación se realizó en función de las respuestas de los estudiantes y el recorte establecido para el análisis de este tema en particular.

Tabla 1. Evidencias empíricas de concepciones erróneas en estudiantes de Biología y Biología e Introducción a la Biología Celular del CBC (182 est.), IBMC (97 est), QB (123 est) y BN (126 est) frente al MFCCHet. Las evidencias empíricas surgen de las respuestas a EC y ER.					
Evidencia empírica	Fuente de evidencia empírica	% (n° de estudiantes/n° de estudiantes totales x 100)			
		CBC	IBMC	QB	BN
1.- Los carbonos que se ingieren en el alimento no pueden aparecer en ningún momento en la atmósfera.	Problema de la EC (Cuadro 1)	66% (121 de 182 est.)	78% (76 de 97est.)	10% (12 de 123 est.)	34% (43 de 126 est.)
2.- Los carbonos del alimento sólo pueden ser eliminados por las heces o mediante la actividad bacteriana sobre los desechos de la materia orgánica producto del proceso digestivo, metano.	Problema de la EC (Cuadro 1)	6% (11 de 182est.)	-	3% (4 de 123 est.)	31% (38 de 126 est.)
Desconocimiento manifiesto	Fuente de evidencia empírica	CBC	IBMC	QB	BN
3.- Manifiestan no saber de dónde proviene la glucosa utilizada en la respiración celular.	Preg. 2 de ER (Cuadro 2)	59% (108 de 182 est.)	71% (69 de 97 est.)	2% (2 de 123 est.)	31% (38 de 126 est.)

CONCLUSIONES

Las concepciones erróneas detectadas en los aprendizajes de los estudiantes en relación al MFCCHet *ad hoc*, fueron categorizadas teniendo en cuenta dos tipos diferentes de obstáculos de aprendizaje [8]: los de tipo *brecha* y los de tipo *punte*. Los **obstáculos epistemológicos de tipo "brecha"** consisten en la falta de construcción de modelos mentales que funcionen como estructuras de conocimiento previamente formadas, tales que resulten organizadoras de los nuevos contenidos que deben ser aprendidos. El sujeto que toma conciencia de su brecha cognitiva podría responder con un «no sé» frente a una pregunta temática. Tal es el caso de los estudiantes que manifestaron no saber de dónde proviene la glucosa utilizada en la respiración celular. Por otra parte las otras concepciones detectadas se agruparon dentro del otro grupo de **obstáculos epistemológicos, denominados de tipo "punte"**. Éstos se originan a partir de ideas cerradas y erróneas que funcionan como un modelo mental idiosincrásico —diferente del modelo mental del experto—, que da certezas y le es funcional a los sujetos sobre sus conocimientos acerca de un tema. Por este motivo, el sujeto no se da cuenta de sus errores en la construcción de un modelo mental experto adecuado. En esta investigación se encuentran también evidencias empíricas que dan cuenta de tales obstáculos. Una de ellas cuando los estudiantes sostienen como respuesta que *"los carbonos que se ingieren en el alimento no pueden aparecer en ningún momento en la atmósfera"*. La otra corresponde a la afirmación *"los carbonos del alimento sólo pueden ser eliminados por las heces o mediante la actividad bacteriana sobre los desechos de la materia orgánica producto del proceso digestivo, metano."* La investigación desarrollada conduce a reflexionar acerca de los criterios de selección de contenidos y sobre las metodologías de enseñanza aplicadas en los diferentes niveles educativos del tema MFCCHet. Resultaría de importancia tener presente que los estudiantes quizás carezcan de aquellos modelos mentales abarcadores que funcionan como conocimientos previos, sobre los cuales conectar comprensiva y sustentablemente los nuevos contenidos [9] a enseñar y su aprendizaje pueda verse dificultado por los obstáculos referidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] R. Gagliardi. Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*. 1986, 4 (1), pp. 30-35.

- [2] S. J. Garófalo L. Galagovsky, M. Alonso. Redes semánticas poblacionales: un instrumento metodológico para la investigación educativa, *Ciênc. Educ.*, Bauru. 2014, 21, (2): 17-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150020007>.
- [3] K. A Ericsson., H. A Simon. *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*, 1999. Cambridge, MA: MIT Press.
- [4] M. T. Sirvent. "Cuadro Comparativo entre Lógicas según dimensiones del Diseño de Investigación" En *El Proceso de Investigación. Investigación y Estadística I* (2ª. ed.) Buenos Aires: Cuadernos de la Oficina de Publicaciones de la Facultad de Filosofía y Letras (Opfyl), 2004.
- [5] B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, P. Walter. *Biología Molecular de la Célula* (4.ª ed.). Barcelona: Omega, 2002.
- [6] N. Campbell, J. B. Reece. *Biología* (7ª. ed.) Madrid: Médica Panamericana, 2005.
- [7] J. M. Berg, J. L. Tymoczko, L. Stryer. *Bioquímica* (6ª. ed.) Barcelona: Reverté, 2007.
- [8] S. J. Garófalo, M. Alonso, L. Galagovsky. Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje. El caso del metabolismo de los carbohidratos. *Enseñanza de las Ciencias*. 2014, 32 (3):155-171. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- [9] L. Galagovsky a) Del Aprendizaje Significativo al Aprendizaje Sustentable. Parte 1: el modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*. 2014, 22(2): 230-240. b) Del Aprendizaje Significativo al Aprendizaje Sustentable. Parte 2: derivaciones comunicacionales y didácticas. *Ibíd.* 2004, 22(3): 349-364.