Dificultades en el aprendizaje del metabolismo de los carbohidratos. Un estudio transversal

Sofía J. Garófalo[1], Lydia R. Galagovsky[2], Manuel Alonso[1]

1 Departamento de Ciencias Biológicas, Ciclo Básico Común, Universidad de Buenos Aires, Ramos Mejía 841, C1405CAE, Buenos Aires, Argentina.
2 Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC), Universidad de Buenos Aires, Pab. II, PB, C1428EGA, Buenos Aires, Argentina.

Recibido:

Recibido en: 18/02/2014

| Aceptado:
Aceptado en: 10/03/2014

Contacto: Sofía J. Garófalo, Lydia R. Galagovsky, Manuel Alonso - sjgarofalo@gmail.com; lydiagalagovsky@ccpems.fcen.uba.ar; m_alonso@live.com.ar

Resumen

El Metabolismo de los hidratos de carbono constituye uno de los temas más importantes enseñados reiteradamente en el nivel universitario en carreras relacionadas con la Biología, la Química, la Medicina y la Nutrición. En el presente trabajo se reseña parte de la labor realizada en una Tesis Doctoral del Departamento de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. El trabajo se centró en la detección de obstáculos en el aprendizaje del tema, en poblaciones de estudiantes provenientes de cinco asignaturas de la Universidad de Buenos Aires, en las cuales se dicta el tema metabolismo de hidratos de carbono: Biología y Biología e Introducción a la Biología Celular, ambas del Ciclo Básico Común, Introducción a la Biología Molecular y Celular y Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, y Bioquímica de Nutrición de la Facultad de Medicina.

Se detectaron numerosos errores conceptuales en el aprendizaje del tema desde una perspectiva sistémica en tres modelos científicos, delineados *ad hoc*. Tales errores permitieron categorizar dos tipos de obstáculos epistemológicos subyacentes, los de tipo “brecha” y los de tipo “puente”.

Mejorar la enseñanza de forma tal de superar los resultados obtenidos conduce, necesariamente, a reflexionar sobre la posibilidad de modificación de los criterios de selección de contenidos y de las metodologías de enseñanza aplicadas, en cada materia universitaria.

Palabras clave: metabolismo de los hidratos de carbono, enseñanza, aprendizaje, educación universitaria

DIFFICULTIES TO LEARN CARBOHYDRATES METABOLISM: A TRANSVERSAL STUDY

Abstract

Metabolism of Carbohydrates is one of the most important subjects repeatedly taught at the university level in careers related to Biology, Chemistry, Medicine and Nutrition. In this paper we review some of the work done during a PhD Thesis in the Department of Biological Chemistry, Faculty of Exact and Natural Sciences at the University of Buenos Aires. The study focused on learning obstacles about this topic in student populations belonging to five subjects of the Buenos Aires University: Biology and Biology and Introduction to Cellular Biology of the common first year of the University, Introduction to Molecular and Cellular Biology and Biological Chemistry of the Faculty of Exact and Natural Sciences, and Biochemistry of Nutrition, of Nutrition career of School of Mecidine.

With minor percentage in the subject Biological Chemistry, numerous learning misconceptions were detected. Main problems were related to understand a systemic approach that was outlined around three *ad hoc* scientific models. The detected misconceptions were categorized into two different types of learning obstacles: the "gap" and "bridge" types.

An improvement in science teaching in order to overcome the situation should lead to think of the need to change the criteria for selecting contents and teaching methodologies for each university subject.

Keywords: carbohydrates metabolism, learning, teaching, university education

INTRODUCCIÓN

El Metabolismo de los hidratos de carbono (MHC) constituye uno de los temas más importantes enseñados reiteradamente en el nivel universitario en carreras relacionadas con la Biología, la Química, la Medicina y la Nutrición. Su enseñanza involucra el estudio de variadas estructuras moleculares y de sus reacciones químicas, del papel de las enzimas específicas involucradas, de los mecanismos de transporte a través de la membrana, la captación específica de tejido y de las regulaciones de vías metabólicas como la glucólisis, glucogenogénesis, glucogenólisis, gluconeogénesis y vía de las pentosas (1, 2).

Numerosas investigaciones han demostrado serias dificultades para la comprensión del MHC, tanto para estudiantes secundarios como universitarios (3-8). Algunos autores han propuesto estrategias de enseñanza (9-11) sin analizar posteriormente los respectivos resultados de aprendizaje.

En el presente trabajo se reseña parte de la labor realizada en una Tesis Doctoral del Departamento de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la Universidad de Buenos Aires (UBA) (12) en la que se ha investigado acerca de obstáculos en el aprendizaje del tema MHC durante la fase de absorción en humanos, desde una perspectiva sistémica. En la investigación participaron estudiantes de cinco asignaturas universitarias de la UBA, en las cuales se dicta el tema de MHC: Biología y Biología e Introducción a la Biología Celular, ambas del Ciclo Básico Común (CBC)[i], Introducción a la Biología Molecular y Celular (IBMC) y Química Biológica (QB), ambas de la FCEN, y Bioquímica de Nutrición (BN) de la Facultad de Medicina[ii].

La comparación de los programas analíticos y referencias bibliográficas de cada asignatura evidenciaba similitudes. Durante el desarrollo del trabajo se analizaron las formas de enseñar el tema y, más allá del tiempo dedicado en cada materia y sus modalidades particulares, pudo apreciarse superposición de contenidos con énfasis en la enseñanza de conceptos de tipo bioquímico (12).

Los resultados provenientes de entrevistas orales y cuestionarios escritos realizados a muestras de estudiantes voluntarios revelaron errores conceptuales de aprendizaje. Tales errores pudieron ser reagrupados en torno a tres modelos fisiológicos que tienen un enfoque sistémico. A su vez, el análisis de fallas en el aprendizaje de dichos modelos permitió proponer la existencia de dos tipos de obstáculos epistemológicos subyacentes, los de tipo “brecha” y los de tipo “puente” (12,13).

Los resultados obtenidos dan lugar a reflexiones sobre la necesidad de revisar las formas de enseñar en función de las evidencias de los errores conceptuales observados en los estudiantes.

MARCO TEÓRICO SOBRE MODELOS CIENTÍFICOS Y MODELOS MENTALES

El término “modelo” presenta carácter polisémico. En el presente trabajo, se considerarán dos acepciones: por un lado, se define el *modelo científico explícito* (MCE) como un recorte y secuenciación de contenidos

complejos e imbricados que se plasman en textos y discursos de clase (14). Por ejemplo, para la enseñanza de MHC se reconocen en la literatura numerosos MCE entre los que se destacan los procesos de glucólisis, ciclo de Krebs y respiración celular, etc. Al diseñar sus clases, los docentes suelen recrear estos MCE tal como se encuentran en la bibliografía de referencia; e, incluso, sus contenidos se incluyen como ítems en las evaluaciones formales que se les toma a los estudiantes.

Por otro lado, se considerará el concepto de *modelo mental* como un mecanismo del pensamiento mediante el cual un ser humano intenta explicar cómo funciona el mundo real (15,16). Los sujetos expertos —como los docentes y los investigadores— habrían construido sus modelos mentales expertos a lo largo de su formación profesional específica, tras años de estudio. Los estudiantes novatos, en cambio, no reconstruyen fácilmente los modelos mentales expertos y, ello los conduciría a aprendizajes erróneos o fragmentados, que constituirían sus *modelos mentales idiosincrásicos* (14).

Tres modelos científicos explícitos *ad hoc*

En las clases universitarias observadas, se presentó gran cantidad de información sobre el MHC, que se correspondía con los MCE presentes en libros de textos (1, 2, 17, 18).

Los errores de los estudiantes puestos en evidencia durante la investigación (12) condujeron a la necesidad de reorganizar esos numerosos MCE en torno a tres modelos científicos explícitos construidos *ad hoc*, que resultaran integradores del tema metabolismo de hidratos de carbono, de forma que permitieran interpretar los fenómenos fisiológicos y sistémicos asociados al mismo*:*

Modelo Fisiológico del Ciclo del Carbono en los Heterótrofos (MFCCHet).

Modelo Fisiológico de la disponibilidad de Metabolitos (MFDMet).

Modelo Fisiológico de la Captación y Homeostasis de la Glucosa en Sangre (MFCHGSang).

Los conceptos principales de cada modelo pueden presentarse de la siguiente forma:

Modelo Fisiológico del Ciclo del Carbono en los Heterótrofos (MFCCHet). Supone la comprensión de procesos de óxido-reducción de compuestos de carbono pertenecientes a especies químicas que se encuentran tanto en la atmósfera como en los organismos vivos. Estos procesos químicos son la forma en que la mayoría de los seres vivos extraen del entorno la energía que les permite la supervivencia.

El ciclo incluye los procesos fotosintéticos de los autótrofos que transforman el CO_2 atmosférico (especie totalmente oxidada del carbono) en compuestos reducidos de carbono como, por ejemplo, los carbohidratos. A su vez, las células de autótrofos y heterótrofos, mediante la respiración celular, oxidan controladamente compuestos reducidos de carbono a dióxido de carbono. De esta forma, se libera la energía que utilizan en sus procesos vitales, cerrándose el ciclo con la consiguiente eliminación de CO_2 a la atmósfera.

Modelo Fisiológico de la disponibilidad de Metabolitos (MFDMet). Supone la comprensión de que las biomoléculas se construyen a partir de una serie pequeña de precursores (compuestos químicos de pocos carbonos) que permiten conectar entre sí las vías catabólicas y anabólicas.

Es frecuente que la enseñanza del MHC haga hincapié en la obtención de energía proveniente de vías catabólicas como la glucolisis y la respiración celular (7). Sin embargo, el estudio de procesos de degradación y de biosíntesis (como los incluidos en el MHC) debería comprenderse tanto desde el punto de vista energético como de las estructuras moleculares involucradas, y abordar la enseñanza del metabolismo como un conjunto de procesos bioquímicos inmersos en contextos fisiológicos. Entender la interconexión de las vías anabólicas y catabólicas significa también apreciar el rol fundamental que juega la disponibilidad de metabolitos compartidos.

Modelo Fisiológico de la Captación y Homeostasis de la Glucosa en Sangre (MFCHGSang). Supone comprender cómo el organismo capta e incorpora la glucosa de los alimentos, y cómo la glucosa se distribuye homogéneamente en la sangre pero es captada en forma diferencial por las células de los distintos tejidos por mecanismos de transporte específicos. A su vez, requiere la comprensión del carácter homogéneo pero fluctuante de la glucemia mediada por la acción de las hormonas reguladoras de esta concentración.

La propuesta de estos tres modelos *ad hoc* ha requerido una revisión histórica de los conceptos involucrados, verificándose que sus construcciones demandaron siglos de investigación. Así, el MFCCHet fue construido a partir de preguntas iniciales tales como de dónde obtienen las plantas la materia que genera su aumento de tamaño —planteadas por van Helmont, en el siglo XVII—; y qué relación existe entre la combustión y la respiración —planteadas por Priestley, Lavoisier y Laplace, en el siglo XVIII— (12, 19, 20). Más cercanas a nuestros días, en la década de 1940, las investigaciones de Calvin sobre la fotosíntesis permitieron detectar la secuencia de reacciones químicas generadas por las plantas al transformar dióxido de carbono gaseoso y agua en hidratos de carbono y oxígeno, proceso que en la actualidad se conoce como ciclo de Calvin (21).

Por su parte, el MFDMet implicó conocer que los destinos metabólicos de la glucosa involucran el momento nutricional por el que atraviesa un organismo. Así, Bernard, en el siglo XIX, esclareció que las sustancias resultantes de las acciones químicas sobre los alimentos son absorbidas en el intestino, y que el medio interno de un organismo se mantiene constante a pesar de los cambios que ocurran en su entorno. Kasahara y Hinkle (22) se preguntaron cómo entran los nutrientes —como la glucosa— a las células, y descubrieron el primer transportador de glucosa aislado de membranas de eritrocitos (23). Buchner, a finales del siglo XIX, se planteó si las reacciones de fermentación se pueden llevar a cabo sin células, y denominó enzima a la sustancia que causa tal proceso. Embden y Meyerhorf, en las primeras décadas del siglo XX dilucidaron la ruta metabólica que involucra la oxidación de la glucosa; mientras que Krebs, para esa misma época, logró responder magistralmente cómo concluye la oxidación de la glucosa generando el CO_2 como producto de la respiración celular, al proponer el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, conocido también por el nombre de este investigador (24).

Finalmente, el MFCHGSang se basa en la comprensión de los mecanismos de transporte a través de membrana y la distribución homogénea de glucosa en sangre, aunque fluctuante según las condiciones nutricionales del individuo. Bernard también aisló glucógeno del hígado, mostrando que se convertía en la glucosa sanguínea, y también descubrió el proceso de gluconeogénesis (24); de esta forma, respondió al interrogante que plantea la existencia de un suministro interno de glucosa cuando ésta no se ingiere. Por su parte, al descubrir la insulina Banting (25) y su grupo empezó a esclarecer cómo se regula tal suministro de glucosa.

La comprensión más profunda de estos procesos ha sido posible gracias a la utilización de conceptos tales como la afinidad de las enzimas por sus correspondientes sustratos, asociada a los valores fisicoquímicos de KM (contante de Michaelis-Menten) y de Vmax (velocidad enzimática máxima), y a las relaciones de estos parámetros generales con los transportadores y enzimas específicos en el contexto de MHC. Así, por ejemplo, las investigaciones de Sols García y Crane, en 1947, acerca de la hexoquinasa, sentaron las bases que posteriormente permitirían comprender cómo se explica la captación diferencial de la glucosa, en las células de los distintos tejidos. Además, Sols con sus trabajos sobre la fosfotructoquinasa, contribuyó a comprender cómo se regula la oxidación de la glucosa de acuerdo a las condiciones energéticas de la célula (26).

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

Se hicieron observaciones de clases en las cinco asignaturas cuando se referían al tema MHC y se elaboraron instrumentos de recolección de información empírica para analizar los modelos mentales descriptos construidos por los estudiantes. Los instrumentos de indagación sobre aprendizaje fueron una entrevista y un cuestionario semiestructurado. Si bien estos instrumentos no tenían una correspondencia unívoca con cada uno de los tres modelos científicos *ad hoc*; las respuestas obtenidas permitieron dar cuenta de la comprensión de dichos modelos.

Los instrumentos de indagación fueron aplicados a estudiantes voluntarios una vez que fuera impartida la enseñanza completa del tema MHC en cada materia, y que ellos hubieran sido evaluados en las instancias tradicionales (exámenes parciales). El estudio buscaba un análisis poblacional de los resultados provenientes de la aplicación de cada instrumento aplicado; no se pretendía indagar el razonamiento de cada sujeto individual.

La entrevista

La entrevista, elaborada bajo el marco teórico del sistema de procesamiento de información (27), consistió en proponer un problema abierto y, posteriormente, realizar tres preguntas al mismo sujeto (25). Ambos

instrumentos de muestreo se encuentran en los Cuadros 1 y 2.

Independientemente de la respuesta afirmativa o negativa al problema abierto, todo entrevistado debió responder las tres preguntas del Cuadro 2. Éstas indagaban sobre los contextos de significación idiosincrásicos subyacentes a las respuestas al problema abierto.

CUADRO 1. Problema abierto de la entrevista.

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

CUADRO 2. Tres preguntas de la entrevista.

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?

Para el análisis de las respuestas al problema abierto debió generarse un nuevo instrumento que se denominó Red Semántica Poblacional (12). Las respuestas con forma de relato fueron analizadas mediante el Método Comparativo Constante (28).

La respuesta afirmativa al problema abierto y una justificación correcta darían cuenta de la comprensión del MFCCHet. Las preguntas 1 y 3 correctamente respondidas darían cuenta de que se habría comprendido el MFDMet, y respuestas correctas a la pregunta 2 y 3 mostrarían comprensión de elementos de MFCHGSang.

El cuestionario semiestructurado

Dado que las respuestas a las entrevistas pusieron en evidencia errores conceptuales en muchos estudiantes, resultó apropiado utilizar otro instrumento para triangular los resultados. Para ello, aproximadamente tres semanas posteriores a las entrevistas, se implementó un cuestionario semiestructurado (Cuadro 3) con algunas preguntas abiertas y otras del tipo de opción múltiple. El análisis de los resultados del cuestionario permitió generar nuevas categorías de respuestas poblacionales en cada asignatura.

La pregunta 1, de tipo abierto, apuntaba fundamentalmente del MFDMet. La pregunta 2, por su parte, suponía la comprensión del MFCCHet y del MFDMet; y finalmente, la pregunta 3 apelaba al conocimiento de elementos de los tres modelos *ad hoc*.

CUADRO 3. Cuestionario semiestructurado

1) Imaginate a dos personas en situaciones distintas: una que se acaba de levantar de dormir toda la noche, y la otra que te
horas. ¿Considerás que estar pasando por distintos momentos influye en el origen de la glucosa que se utiliza para la respi

2) ¿Pensás que hay alguna relación entre los carbonos de la materia orgánica que forman parte, por ejemplo, de los fideos
en un almuerzo y las moléculas de CO_2 que se podrían eliminar al exhalar aire? Elegí UNA de las siguientes opciones ma

a- No, porque el CO_2 que se elimina al exhalar el aire es el mismo que ingresó al inhalar.

b- No, porque el CO_2 que se elimina al exhalar el aire es el producto de la respiración aeróbica de la glucosa y no tiene na
comió.

c- No, porque el CO_2 que se elimina al exhalar el aire proviene de la glucosa del glucógeno que tenemos de reserva y nun

d- Sí, porque el CO_2 que se elimina al exhalar el aire proviene de la oxidación química de moléculas orgánicas que incorp

e- Ninguna de las opciones anteriores.

f - Sí, porque el CO_2 que se elimina al aire es el producto de la digestión de los alimentos, pero se elimina por el intestino
heces.

g- No sé.

3) Una persona ingiere pan. ¿Dónde se podrían encontrar, luego de algunas horas, los carbonos de la glucosa que forman p
pan? Elegí UNA de las siguientes opciones marcándola con una X:

a- Se detectará en el aire ya que parte de la glucosa se oxidó y se eliminó como CO_2.

b- Se detectará en moléculas de glucógeno en hepatocitos (células del hígado).

c- Se detectará en adipocitos formando parte de moléculas de triglicéridos.

d- Se detectará en distintas biomoléculas de las células de distintos tejidos.

e- Todas las opciones anteriores son correctas.

f- No se detectará en ninguna célula de ningún tejido de este individuo porque la glucosa se oxidó totalmente y se eliminó

g- Se detectará en las heces del individuo y/o como metano.

h- Ninguna de las opciones anteriores es correcta.

i- No sé.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el trabajo doctoral se efectuó un extenso y riguroso análisis de la enseñanza y el aprendizaje del tema en las cinco asignaturas. A modo de ejemplo, a continuación se mostrará con detalle solamente el abordaje de la investigación aplicada a la población de los estudiantes del CBC (12,13).

Los contenidos de MHC impartidos en cada materia (Biología y Biología e Introducción a la Biología Celular) fueron los mismos[iii], y se desarrollaron durante dos clases de tres horas cada una[iv].

Resultados provenientes de la población de estudiantes del CBC

Las entrevistas del CBC fueron resueltas por 182 estudiantes voluntarios; pero, como el cuestionario semiestructurado fue diferido, la muestra voluntaria resultó nueva y estuvo constituida por 212 estudiantes[v].

Entrevista

Las respuestas orales de los estudiantes provenientes de las entrevistas fueron grabadas. Su análisis arrojó numerosas evidencias empíricas de errores conceptuales adquiridos durante el aprendizaje[vi].

El 66% de los estudiantes indagados sostuvo, al responder al problema abierto, que no 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 la pizza. Esto significa que los conceptos inherentes al MFCCHet no han sido comprendidos por estos estudiantes, a pesar de que son generalmente enseñados desde la escuela secundaria, y que fueron particularmente presentados en los cursos universitarios del CBC.

El 34% restante respondió afirmativamente al problema abierto. Sin embargo, el 50% de estos estudiantes introdujo en sus respuestas expresiones tales como "*la glucosa se dirige hacia las células que más la necesitan*[vii]" y que el 18% se refirió a "*la formación y eliminación de gas metano*", expresiones que se reiteraron en las indagaciones subsiguientes.

A continuación se analizan las respuestas obtenidas a las tres preguntas de la entrevista. Los resultados se resumen en la Tabla 1, discriminándose en forma separada las respuestas del grupo que contestó en forma negativa al problema abierto (Rneg) de las del grupo que lo hizo en forma afirmativa (Rafir).

Pregunta 1- ¿Sabés de dónde proviene la glucosa involucrada en la respiración celular?

El 85% de los estudiantes que contestaron negativamente al problema abierto declaró explícitamente desconocer el origen de la glucosa involucrada en la respiración celular; el 10% expresó que "*la glucosa ya forma parte de las moléculas que hay en nuestras células*"; y el 5% restante señaló a la glucólisis como origen de la glucosa. Es decir, no hubo respuestas correctas en el grupo Rneg.

De los estudiantes que respondieron afirmativamente al problema abierto, el 36% afirmó correctamente que "*la glucosa proviene de la dieta*", o "*de lo que comemos*". Cabe mencionar que en esta asignatura, no se describen las vías de obtención de glucosa como gluconeogénesis y glucogenólisis, pero se señala el papel del glucógeno y que principalmente los hepatocitos pueden sintetizar glucosa a partir de precursores tales como aminoácidos, lactato o glicerol.

Un 10% señaló explícitamente desconocer el origen de la glucosa involucrada en el proceso de respiración celular. Un 38% respondió erróneamente que "*la glucosa ya forma parte de las moléculas de nuestras células*" y un 16% que "l*a glucosa proviene de la glucólisis*".

Pregunta 2: ¿Cómo y por dónde se incorpora la glucosa a la sangre?

No hubo respuestas correctas para el grupo Rneg. El 70 % de ellos expresó desconocer cómo se incorpora la glucosa a la sangre; el 25% respondió "*ya forma parte de nuestras células*"; y el 5 % afirmó que "*nuestras células la sintetizan*".

El 45% de los estudiantes Rafir contestó correctamente "*por el intestino*". El 21% declaró "*pero no sé cómo*"; el 26% sostuvo erróneamente que "*la glucosa ya forma parte de nuestras células*". El 8% señaló que "*nuestras células sintetizan glucosa*".

Pregunta 3: ¿Qué sucede con la glucosa una vez en sangre?

El 80% de los estudiantes Rneg señaló desconocer qué sucede con la glucosa una vez en sangre y el 20% expresó que la "*glucosa se dirige hacia las células que más la necesitan*". Es decir, no hubo respuestas correctas en este grupo Rneg.

En el grupo de los estudiantes Rafir tampoco se registraron respuestas correctas; el 56% manifestó explícitamente que desconocía la respuesta y el 44% expresó que la "*glucosa se dirige hacia las células que más la necesitan*".

Tabla 1. Porcentajes de respuestas de 182 estudiantes a las preguntas de la entrevista.	
Pregunta 1. *¿Sabés de dónde proviene la glucosa involucrada en la respiración celular?*	
	Rneg (66%)
Respuestas correctas	0%
Manifiesta “desconocer”	85%
Argumenta que “forma parte de las células”	10%
Argumenta que “proviene de glucólisis	5%
Pregunta 2. *¿Cómo y por dónde se incorpora la glucosa a la sangre?*	
Respuestas correctas	0%
Manifiesta “desconocer”	70%
Argumenta que “forma parte de las células”	25%
Argumenta que “nuestras células la sintetizan”	5%
Pregunta 3. *¿Qué sucede con la glucosa una vez en sangre?*	
Respuestas correctas	0%
Manifiesta “desconocer”	80%
Argumenta que “se dirige a donde más se necesita”	20%

En resumen, de la Tabla 1 surge claramente que del 66% de los estudiantes constituyentes del grupo Rneg no construyó el modelo mental del MFCCHet, y que ningún estudiante construyó el MFCHGSang, ya que nadie respondió correctamente la pregunta 3.

Por otro lado, del 34% de los estudiantes que respondieron afirmativamente al problema abierto (grupo Rafir), sólo un 36% habría comprendido apropiadamente este modelo. Es decir, estos resultados indicarían, en principio, que aún los estudiantes que parecieron haber construido el MFCCHet a partir de responder afirmativamente al problema abierto, manifestaron deficiencias cuando mostraron sus marcos de significación y argumentación frente a las otras preguntas de la entrevista.

Finalmente, con los resultados de la entrevista aún quedaba indefinida la comprensión del MFDMet, ya que si bien el 45% de los estudiantes Rafir respondió correctamente la pregunta 2, ninguno contestó correctamente la pregunta 3.

Cuestionario semiestructurado

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de aplicar un cuestionario semiestructurado tres semanas después de las entrevistas fue investigar si se confirmaban las concepciones erróneas de aprendizaje detectados en la entrevista.

La Pregunta 1 (Cuadro 3) tiene estructura abierta; por tanto, permitió identificar categorías semánticas emergentes en las respuestas (28), resumidas en la Tabla 2.

Un 13% respondió “no sé”. El 69% contestó que el origen de la glucosa que se utiliza en la respiración celular no depende del estado nutricional por el que atraviesa un organismo. Las justificaciones fueron: el 31% consideró que *“durante la noche las células consumen el ATP de la glucosa que se ingirió durante el día*”; el 17% que *“la glucosa es parte de moléculas que ya hay en nuestras células”*; el 13% afirmó que *la glucosa “se sintetiza siempre y que no tiene nada que ver con el momento de alimentación por el que atraviesa la persona*”, el 8% sostuvo que “*la glucosa proviene de la glucólisis*”. Estos resultados hacen inferir que estos estudiantes no han comprendido los elementos del MFDMet.

Sólo un 18 % afirmó que el origen de la glucosa que se utiliza en la respiración celular depende del momento nutricional por el que atraviesa un organismo. Estos estudiantes han comprendido elementos básicos del MFDMet; sin embargo, en sus justificaciones no hicieron referencia a elementos del MFCHGSang, como por ejemplo, los distintos modos en que el organismo mantiene la homeostasis de la glucosa en sangre (aplicados a la situación planteada en el problema). Muchos estudiantes señalaron desconocer qué procesos ocurrían en los períodos en los que no hay ingesta.

Tabla 2. Respuestas de los estudiantes a la pregunta 1 del cuestionario semiestructurado (porcentajes calculados sobre 2
estudiantes no respondieron esta pregunta).

	Manifiesta desconocer la respuesta. (13%)	El origen de la glucosa no depende del estado nutricional del organismo (69%)

Argumentos	*“No sé”*	*"Durante la noche las células consumen el ATP de la glucosa que se ingirió durante el día"* (31%)	*"La glucosa es parte de las moléculas que ya hay en nuestras células."* (17%)	*"Se sintetiza siempre y que no tiene nada que ver con el momento de alimentación por el que atraviesa la persona"* (13%)	*"La gluco proviene d glucólisis* (8%)

La Pregunta 2 (Cuadro 3), de opción múltiple, indagaba si los estudiantes pensaban que existe alguna relación entre los carbonos de la materia orgánica del alimento y las moléculas de CO_2 que se podrían exhalar al aire. Las opciones de respuestas a), b), c), e) ó f) son incorrectas. La d) es la opción correcta. La opción g) permitía mostrar autoconciencia sobre la propia falta de conocimientos. Las respuestas (Tabla 3), mostraron que la opción correcta (d) fue elegida sólo por un 13% de estudiantes, quienes habrían comprendido los conceptos básicos del MFCCHet y del MFDMet.

El 71% del total eligió opciones incorrectas. La opción (a), mayoritariamente elegida (32%); evidencia que los estudiantes no lograron construir ninguno de los modelos *ad hoc*. Un 24% eligió la opción (b); un 6% eligió la opción (c) y un 16% eligió las opciones (e) y (g); estos estudiantes no comprendieron el MFCCHet ni el MFDMet. El 9% eligió la opción (f). Estos estudiantes habrían construido una idea alternativa a los conceptos del MFCCHet. Esta idea es un modelo metal idiosincrásico y, por lo tanto, resistente al aprendizaje de los modelos científicos expertos.

Tabla 3. Respuestas de 212 estudiantes a la pregunta 2 del cuestionario semiestructurado. La opción d) es la correcta.

Opciones de la Pregunta 2	**a)**	**b)**	**c)**	**d)**	**e)**	
Porcentaje de elección	32%	24%	6%	**13%**	5%	

La Pregunta 3 (Cuadro 3) de opción múltiple indagaba específicamente sobre conocimientos acerca de los múltiples destinos de los átomos de carbono de la glucosa proveniente de la alimentación.

La elección de las opciones a), b), c), d) ó f) confirmarían que el estudiante establecía relaciones parciales (fragmentadas) entre alimentación y las vías metabólicas activadas; la opción e) es la correcta; y las g) y h) son incorrectas.

Las respuestas (Tabla 4) mostraron que la opción correcta e) fue elegida sólo por el 4% de estudiantes. El 33% del total eligió opciones parcialmente correctas: la (a) el 20%; la (b) el 5%; la (c) el 2% y la (d) fue elegida por el 6%. La opción (f) incorrecta, fue elegida por el 24% de estudiantes que, por consiguiente, no habrían comprendido el MFDMet ni el MFCHGSang[viii]. La opción incorrecta (g) fue elegida por el 26%. Estos estudiantes confirmaron, así, la construcción de un modelo mental idiosincrásico alternativo, resistente al aprendizaje de los conceptos del MFCCHet, consistente con las respuestas obtenidas en el problema abierto de las entrevistas. La opción (i) fue elegida por el 14% del total, lo cual confirma que no se construyó el MFCCHet ni el MFDMet.

Tabla 4. Respuestas de 212 estudiantes a la pregunta 3 del cuestionario semiestructurado. La opción correcta es la (e).					
Opciones de la pregunta 3	**a)**	**b)**	**c)**	**d)**	**e)**
Porcentaje de elección	20%	5%	2%	6%	**4%**

Los errores conceptuales detectados nos llevaron a nuevas reflexiones teóricas que nos condujeron a dar mayores pasos de abstracción en lo que se refiere a investigación cualitativa. De esta manera, surge la propuesta de categorizar dos tipos diferentes de obstáculos de aprendizaje: los de tipo "*brecha"*, y los de tipo *"puente"* (12,13)

Obstáculo epistemológico de tipo "Brecha": consiste en la falta de construcción de modelos mentales que funcionen como estructuras de conocimiento previamente formadas, tales que resulten organizadoras de los nuevos contenidos a ser aprendidos.

El sujeto que toma conciencia de su brecha cognitiva podría responder con un "no sé" frente a una pregunta temática; es decir, durante su búsqueda cognitivo-reflexiva, el sujeto tomaría conciencia de que no ha construido un modelo mental funcional para encontrar una respuesta adecuada. Sin embargo, la actitud del sujeto podría ser diferente y responder mediante heurísticos aunque este mecanismo generalmente conduce a errores (29).

Obstáculo epistemológico de tipo "Puente": se origina en ideas cerradas y erróneas que funcionan como un modelo mental idiosincrásico —diferente del modelo mental del experto—, que da certezas a los sujetos sobre sus conocimientos acerca de un tema. Así, el obstáculo epistemológico tipo "puente" permite al sujeto contestar sin darse cuenta de sus fallas en la construcción del modelo mental experto adecuado.

Ejemplos: "*la glucosa se distribuye hacia donde más se necesita*" (Tabla 1, pregunta 3); el argumento del 26% de los estudiantes que afirmaron "*los carbonos del alimento sólo pueden ser eliminados mediante la actividad bacteriana sobre los desechos de la materia orgánica producto del proceso digestivo, o por las heces, como metano*" (pregunta 3 del cuestionario, Tabla 4)

Resultados comparativos entre materias

En el trabajo Doctoral (12) se analizaron en forma sistemática los resultados de la aplicación de las distintas técnicas e instrumentos de recolección empírica mencionados para cada una de las muestras de estudiantes de las cuatro asignaturas universitarias. En la Tabla 5 se muestra un resumen comparativo final con el porcentaje de errores conceptuales para cada modelo científico *ad hoc* por materia; también, se clasifica a la falla principal como obstáculo epistemológico de tipo Brecha o de tipo Puente:

Tabla 5. Concepciones erróneas en la construcción de MFCCHet, MFDMet y MFCHGSang, por asignatura[ix].			
Modelo	**Evidencias de obstáculos de aprendizaje**	**CBC**	**IBMC**

MFCCHet	Principal falla por afirmar que: *No hay relación entre los carbonos del alimento y los eliminados en la respiración* **Obstáculo epistemológico: de tipo puente**	66-67%	71-78%
	Autoconciencia de falta de conocimientos en: *De dónde proviene la glucosa utilizada en la respiración celular* **Obstáculo epistemológico: de tipo brecha**	59%	71%
MFDMet	Principal falla por afirmar: *Los momentos nutricionales por los que atraviesa un organismo no tienen influencia en el origen de la glucosa que se utiliza en la respiración celular.* **Obstáculo epistemológico: de tipo puente**	66%	77%
	Autoconciencia de falta de conocimientos en: *Influencia de la dieta, o fuentes alternativas de glucosa, o destinos de los carbonos de glucosa* **Obstáculo epistemológico: de tipo brecha**	12-17%	71%
MFCHGSang	Principal falla por afirmar —sin argumentar—: *La glucosa se distribuye hacia donde más se necesita* **Obstáculo epistemológico: de tipo puente**	17-38%	61%
	Autoconciencia de falta de conocimientos en: *Cómo y/o dónde pasa la glucosa a sangre, ó como se distribuye, ó cómo es captada por diferentes tejidos.* **Obstáculo epistemológico: de tipo brecha**	54-72%	28-88%

A primera vista, se observa en la Tabla 5 que en la materia QB se reportan los porcentajes más bajos de errores conceptuales en la construcción de los tres modelos científcos *ad hoc*; mientras que en el CBC y en IBMC se registran los porcentajes más altos. Esto implicaría que los estudiantes de los primeros dos años universitarios no habrían logrado construir contextos sistémicos y fisiológicos adecuados sobre el MHC.

Ante estas evidencias, la pregunta que naturalmente debería surgir para el plantel docente es: ¿Qué tipo de contenidos se enseñan y se evalúan? El análisis de las clases mostró (12) énfasis de enseñanza en contextos moleculares que, evidentemente, los estudiantes pueden memorizar aisladamente, pero no pueden por su

cuenta contextualizarlos en marcos abarcadores.

Respecto de la falta de comprensión específica sobre el MFCCHet se observan respuestas similares en CBC e IBMC y porcentajes altos en BN, si se considera que en esta materia se destinan seis clases al MHC. Si bien en QB los porcentajes son bajos, cabe comentar que la mayoría provienen de respuestas de estudiantes de la carrera de Química (12).

En CBC e IBMC se detectan altos porcentajes tanto en los obstáculos de aprendizaje de tipo puente como en el de tipo brecha. Es decir, una gran proporción de estudiantes no aprendió la idea central de los procesos de óxido reducción de compuestos del carbono en el flujo de energía y de materia en los ecosistemas y, sin embargo, han aprobado exámenes donde se los interrogó sobre glucolisis y respiración celular. Resultaría, por lo tanto, evidente que los estudiantes desarrollaron un tipo de estudio memorístico de procesos bioquímicos sin integrarlos en modelos sistémicos más abarcadores.

Respecto de la comprensión del MFDMet, llama la atención el hecho de que gran porcentaje de los estudiantes de IBMC logran tomar conciencia sobre sus obstáculos de tipo brecha, mientras que los estudiantes de BN mantienen porcentajes muy similares a los del CBC, a pesar de ser BN una materia posterior al CBC y la temática del MHC muy enfatizada en sus clases. Tal vez esta capacidad de los estudiantes de IBMC derive de cambios en sus formas de estudio a esa altura de sus carreras.

Respecto del la comprensión del MFCHGSang cabe aclarar que no se esperaba gran porcentaje de respuestas correctas en CBC pues las temáticas involucradas se presentan tangencial y rápidamente en sus clases (12). El punto llamativo de este modelo es el alto porcentaje de estudiantes —particularmente en IBMC y en QB— que manifiestan tanto obstáculos epistemológicos de tipo puente como de tipo brecha, que se pueden resumir en la afirmación frecuentemente encontrada *"La glucosa en sangre se dirige hacia donde más se necesita… pero no sé cómo*"[x].

CONSIDERACIONES FINALES

El trabajo doctoral (12) permitió conocer concepciones erróneas de los estudiantes en torno a tres modelos que enmarcan el aprendizaje del MHC en contextos fisiológicos y sistémicos, y proponer una categorización para analizar dichas dificultades como obstáculos epistemológicos de tipo brecha y de tipo puente.

Necesariamente, estos resultados hacen reflexionar sobre los criterios de selección de contenidos y sobre las metodologías de enseñanza implementadas en los diferentes niveles educativos acerca del tema MHC[xi].

Los resultados estarían indicando un necesario replanteo epistémico a la hora de tomar decisiones docentes sobre qué y cómo enseñar, y a quiénes. Es decir, los resultados de esta investigación educativa ponen en evidencia que una mejora en las competencias de aprendizaje de los estudiantes podría no solamente basarse en una mayor exigencia de estudio, sino en reflexiones profundas sobre los obstáculos que serían generados por las propias formas de enseñar que derivan, en varias ocasiones, tanto en formas erróneas de pensar los procesos bioquímicos, como en situaciones en las que no se generan los cuestionamientos adecuados para que el estudiante se dé cuenta de su falta de conocimiento.

Surgen tres reflexiones principales respecto de la selección de contenidos:

Por un lado, dado que los estudiantes voluntarios habían sido evaluados en exámenes parciales en sus respectivas materias y que en este trabajo se señalan porcentajes de errores conceptuales mucho mayores que los porcentajes de desaprobación de los estudiantes en sus exámenes, cabe suponer que la enseñanza estaría orientada a "entrenar" a los estudiantes sobre determinadas cuestiones a las que deben responder en los exámenes. Es tradicional que el mencionado "entrenamiento" ponga énfasis en secuencias de reacciones químicas con nombres específicos de reactivos y enzimas, y en cálculos de valores de moles de ATP; es decir con hincapié en cuestiones moleculares y energéticas del MHC, y no de la integración sistémica en modelos fisiológicos. Cabe cuestionarse, entonces, cuál es el sentido de tal selección de contenidos que fuerza a los estudiantes a aprendizajes memorísticos o de razonamientos fragmentados cuando, por ser novatos en estos temas, carecen de modelos mentales abarcadores que funcionen como conocimientos previos sobre los cuales engarzar comprensiva y sustentablemente los nuevos contenidos (30).

Por otro lado, cabe analizar que aún la enseñanza y el aprendizaje de modelos de nivel molecular no permitiría a los estudiantes comprender dos ideas-concepto fundamentales que —a nuestro juicio— deberían constituir el núcleo de los aprendizajes básicos de las primeras asignaturas universitarias: (a) el rol central de los procesos químicos de óxido reducción de compuestos del carbono, cuyo control y regulación son el corazón mismo de la forma en que se relacionan los organismos autótrofos, heterótrofos y los factores abióticos, en el flujo de la energía y en el ciclo de la materia de los ecosistemas; (b) la existencia de especies químicas comunes a diversos procesos metabólicos, que incluyen el desarmado y el rearmado de moléculas, y que así garantizan la disponibilidad de metabolitos en diferentes contextos fisiológicos.

Podría esperarse que tales aprendizajes fueran también medulares para la enseñanza preuniversitaria, dentro del concepto de contar con ciudadanos alfabetizados científicamente (31).

Finalmente, cabe poner en evidencia que las decisiones docentes no siempre se toman en base a investigaciones educativas. En este punto, los contenidos de los libros de texto parecen definir los programas de las asignaturas; sin embargo, deberían ser fuentes bibliográficas tan valiosas como otras con datos históricos, o con reflexiones epistemológicas (20), dando libertad —y compromiso— a los docentes para realizar sus selecciones de contenidos.

Del trabajo doctoral también surgieron elementos para reflexionar sobre la forma en que los docentes toman decisiones respecto de sus tareas como profesionales de la enseñanza.

Por un lado, se pudo observar que la mayoría de los docentes expresó su compromiso de *"presentar y enseñar la información más completa, actualizada y detallada posible*" (12). Sin embargo, cabría preguntarse si "completo, actualizado y detallado" implica dejar de lado aspectos fisiológicos integrados en modelos holísticos del conocimiento biológico.

Por otra parte, ni en la mayoría de las clases ni en los libros utilizados en la bibliografía recomendada en las asignaturas seleccionadas, se observó una tendencia a enmarcar los temas presentados con una construcción histórica que retome la evolución de las preguntas que se hizo la comunidad científica, y las ingeniosas ideas y experiencias con las cuales se fueron construyendo los actuales conocimientos[xii]. Es decir, la enseñanza podría recuperar la evolución epistemológica de temáticas centrales incluyendo las dudas que se tenían y las ideas que sustentaban el conocimiento del sentido común y científico de épocas pasadas. Podrían así pensarse cuestiones didácticas que ofrezcan argumentos para superar errores conceptuales como los detectados.

Obviamente la magnitud de información "a enseñar" en el poco tiempo de una cursada es excusa para justificar la selección de contenidos que hacemos los docentes. Sin embargo, desde la visión transversal que surge en esta investigación, la baja eficiencia de aprendizajes en las primeras asignaturas universitarias lleva a reflexionar sobre cuáles deberían ser las preguntas que guiaran a una mejor selección de contenidos y formas de enseñar, en función de balancear adecuadamente "tiempo de clases, conocimientos previos de los estudiantes y capacidades de procesar comprensivamente nueva información".

Posiblemente, una forma de pensar el recorte de contenidos debería contemplar una enseñanza basada en procesos de argumentación, sustentada en modelos abarcadores donde se articulen los temas específicos del área (32, 33).

Ante la inmensa cantidad de contenidos a ser enseñados, y aceptando el hecho de que cada vez habrá más y más, provenientes de la investigación científica, sin duda, una mejora en la enseñanza requerirá contar con datos sobre las dificultades de los estudiantes para procesar comprensiva y significativamente la información que se les exige que estudien.

Las reflexiones de los equipos docentes sobre qué y cómo enseñar podrían nutrirse de evidencias provenientes de la investigación educativa para adaptarse y evolucionar hacia sistemas educativos más eficientes. Una analogía sobre la obtención de un producto mediante catálisis enzimática sería pertinente para ilustrar la reflexión final que surge de los resultados encontrados en el trabajo doctoral: si el aprendizaje correcto —en tanto construcción mental de modelos científicos expertos y contextualizados— es el producto deseado de la enseñanza, deberían generarse los mecanismos adecuados que permitieran la optimización de las capacidades de los estudiantes para procesar información específica con sentido. Tales capacidades son los sustratos cognitivos reales sobre los cuales podrá eventualmente mediante la enseñanza catalizarse su

conversión a aprendizajes significativos y sustentables.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con los subsidios de la Universidad de Buenos Aires UBACyT X-181 (2004-2007) y UBACyT U011 (2008-2010). S. J. Garófalo fue becaria de doctorado de la Universidad de Buenos Aires (2004-2008).

Los autores agradecen profundamente al Departamento de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires por haber admitido esta investigación, que ha dado lugar a la primera tesis doctoral de dicho Departamento en el área de Educación.

REFERENCIAS

1. **Campbell N Reece JB** (2005) *Biología* (7ª. ed.) Madrid: Médica Panamericana, 2007.

2. **Berg JM Tymoczko JL Stryer L** (2007) *Bioquímica* (6ª. ed.) Barcelona: Reverté.

3. **Songer C Mintzes J** (1994) Understanding Cellular Respiration: An analysis of conceptual changes in college Biology *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6): 621-637.

4. **Banet Hernández E** (2001) *Los procesos de la nutrición humana.* Colección Didáctica de las Ciencias Experimentales. Madrid: Síntesis Educación.

5. **Oliveira GA Sousa CR da Poian AT Luz MRP** (2003) Students' misconception about energy-yielding metabolism: Glucose as the sole metabolic fuel *Advances in Physiology Edu*cation 27: 97–101.

6. **Cliff WH** (2006) Case study and the remediation of misconceptions about respiratory physiology *Advances in Physiology Education* 30: 215-223.

7. **Luz MRP** (2008) Glucose as the sole metabolic fuel: a study on the possible influence of teachers' knowledge on the establishment of a misconception among Brazilian high school students *Advances in Physiology Education* 32: 225–230.

8. **Luz MRP Aguiar de Oliveira G Ribeiro de Sousa C da Poian AT** (2008) Glucose as the Sole Metabolic Fuel: The Possible Influence of Formal Teaching on the Establishment of a Misconception About Energy-yielding Metabolism Among Students from Rio de Janeiro, Brazil *Biochemistry. and Moecular. Biology Education*, 36 (6): 407-416.

9. **Pogozelski W Arpaia N Priore S** (2005) The Metabolic Effects of Low-carbohydrate Diets and Incorporation into a Biochemistry Course *Biochemistry and Molecular Biology Education* 33 (2): 91–100.

10. **Ross PM Tronson DA Ritchie RJ** (2008) Glycolysis & the Krebs Cycle using role-play *The American biology teacher*, 70 (3), pp. 163-168.

11. **Passos R Sé A Wolff V Nobrega YKM Hermes-Lima M** (2006) Pizza and pasta help students learn metabolism *Advances in Physiology Education* 30; 89–93.

12. **Garófalo SJ** (2010) Tesis Doctoral: *Obstáculos epistémicos de aprendizaje del tema metabolismo de Hidratos de Carbono. Un estudio transversa*l Departamento de Química Biológica Facultad de Ciencias Exactas y Naturales UBA.

13. **Garófalo SJ Alonso M Galagovsky LR** (2014) Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje. El caso del metabolismo de los carbohidratos *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, en prensa.

14. **Galagovsky L Di Giacomo MA Castelo V** (2009) Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de fuerzas intermoleculares *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 8(1): 1-22. Vigo, España. http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen8/ART1_Vol8_N1.pdf

15. **Gutiérrez R** (2005) Polisemia actual del concepto "modelo mental": Consecuencias para la investigación didáctica *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2): 209-226.

En http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n2/v10_n2_a4.htm

16. **Johnson-Laird PN** (2005) "Mental models in thought" In Holyoak K and Sternberg RJ (Eds.) *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning.* Cambridge: Cambridge University Press.

17. **Alberts B Johnson A Lewis J Raff M Roberts K Walter P** (2002) *Biología Molecular de la Célula* (4ª. ed.) Barcelona: Omega.

18. **Curtis H Barnes NS Schnek A Massarini A** (2008) *Biología* (7ª. ed.) Buenos Aires: Médica Panamericana.

19. **Hudson J** (1992) *The History of Chemistry* New York: Chapmann & Hall.

20. **González Rodríguez C Martínez Losada C García Barros S** (2014) El modelo de nutrición vegetal a través de la historia y su importancia para la enseñanza *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 11(1): 2-12.

21. **Palmer G** (2001) *Biosciences 302 Course notes* Houston: Rice University. Recuperado el 1 de septiembre de 2010 en <http://www.bioc.rice.edu/~graham/Bios302/>

22. **Kasahara M Hinkle PC** (1976) Reconstitution of D-glucose transport catalyzed by a protein fraction from human erythrocytes in sonicated liposomes *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 73(2): 396-400.

23. **Díaz Hernández DP Burgos Herrera LC** (2002) ¿Cómo se transporta la glucosa a través de la membrana celular? *Iatreia* 15 (3): 179-189.

24. **Lehninger A** (1978) *Bioquímica.* (trad. F. Calvet Prats, J. Bozal Fes) (2ª ed.) Barcelona: Omega.

25. **Banting FG Best CH Collip JB Macleod JJR Noble EC** (1922) The Effect of Pancreatic Extract (Insulin) on normal rabbits *American Journal of Physiology* 62: 162-176.

26. **Teixidó Gómez F** (2003) *Historia de la ciencia española en 25 estampas* León: Lancia ediciones.

27. **Ericsson KA Simon HA** (1999) *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data.* Cambridge, MA: MIT Press.

28. **Sirvent MT** (2003) "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).

29. **Christian K Talanquer V** (2012) Modes of reasoning in self-initiated study groups in chemistry *Chemistry Education Research and Practice* 13(3): 286-295.

30. **Galagovsky L** (2004) a) Del Aprendizaje Significativo al Aprendizaje Sustentable. Parte 1: el modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias* 22(2): 230-240. b) Del Aprendizaje Significativo al Aprendizaje Sustentable. Parte 2: derivaciones comunicacionales y didácticas. *Ibíd*, 22(3): 349-364.

31. **Fourez G** (1997) *Alfabetización científica y tecnológica Acerca de las finalidades de la enseñanza de la ciencia* Buenos Aires: Ediciones Colihue.

32. **Henao S Stipcich M** (2008) Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 7(1).

33. **Galagovsky L** (2012) Educación en ciencia y tecnología: de la certeza de la excelencia a la incertidumbre de la compleja realidad *Revista Ciencia e Investigación* Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias 62(1): 6-19.

34. **Garófalo SJ Galagovsky L Alonso M.** Redes semánticas poblacionales: un instrumento metodológico para la investigación educativa. Enviado el 24/04/2013 a *Ciência & Educação* (Bauru).

35**. Kacelnik A (2009)** Evolución y comportamiento *Ciencia Hoy* 19 (113): 11-19.

36. **Oliveira GA Sousa CR da Poian AT Luz MRP** (2003) Students' misconception about energy-yielding metabolism: Glucose as the sole metabolic fuel *Advances in Physiology Edu*cation 27: 97–101.

i El CBC es el primer año de estudios de la Universidad de Buenos Aires. Los estudiantes cursan seis materias, tres por cuatrimestre, cuatro de las cuales están relacionadas con su carrera. La muestra de estudiantes de ambas asignaturas se unificó para el estudio doctoral, por lo cual se considerarán "estudiantes del CBC".

ii La investigación doctoral abarcó un total de 800 estudiantes entre las cinco asignaturas universitarias.

iii En la materia Biología los contenidos se encontraban desarrollados en la Unidad Temática 2 "Composición química de los Seres Vivos", que incluía estructura química y función de los hidratos de carbono; y en la Unidad Temática 5, "Transducción de Energía", que incluía características de las mitocondrias y las vías metabólicas de glucólisis, ciclo de Krebs, cadena respiratoria, fosforilación oxidativa. En la asignatura Biología e Introducción a la Biología Celular, el tema estaba desarrollado en la Unidad Temática 3, "Organización Molecular de la Célula", que incluía la estructura química y función de los hidratos de carbono, y en la Unidad Temática 9, "Mitocondrias y Respiración Aeróbica", que involucraba glucólisis, ciclo de Krebs, cadena respiratoria y fosforilación oxidativa.

iv La cantidad de horas dedicadas a la enseñanza de estos temas fue similar en CBC e IBMC. En BN y QB el tema se desarrolló en seis clases de tres horas cada una.

v El análisis del cuestionario semiestructurado también fue poblacional; sin intención de analizar continuidades individuales con las respuestas de las entrevistas previas.

vi De las respuestas afirmativas se extrajeron las unidades proposicionales de alto contenido semántico. Esto permitió la construcción de los caminos resolutivos utilizados para la elaboración de Redes Semánticas Poblacionales que representaran la totalidad de respuestas al problema en cada asignatura. En un trabajo de investigación independiente (34) se efectúa el análisis comparativo con redes provenientes de las respuestas entre las poblaciones de estudiantes.

vii Este tipo de expresión, en el experto, resultaría ser una metáfora de intencionalidad (35); sin embargo en un estudiante novato probablemente constituya una afirmación literal.

viii Generalmente no se explican los posibles orígenes de la glucosa, sino que se hace especial énfasis en el papel energético de la misma; por ello es frecuente que los estudiantes sólo relacionen a la glucosa con su la función energética (36).

ix Los intervalos de porcentajes se deben a variaciones del número de respuestas en las entrevistas y los cuestionarios. Las evidencias empíricas deben considerarse como "fotos" del conocimiento declarativo de las poblaciones objeto de la indagación en ese momento. Es decir, los porcentajes podrían cambiar de un cuatrimestre a otro, o de un año a otro, conforme cambian las poblaciones de estudiantes; por tanto, deben valorarse por el contenido que revelan —en cuanto a obstáculos de aprendizaje—, y no considerarse como cifras absolutamente reproducibles.

x Esta afirmación da cuenta de la literalidad de la expresión y de la no construcción de un modelo experto acerca de la captación de glucosa específica de tejido.

xi Las similitudes en la forma de encarar conceptualmente los temas en las cinco materias investigadas se puede observar claramente al comparar las respetivas redes conceptuales específicas de los contenidos enseñados en cada materia. Éstas se pueden ver en el capítulo 5 de la Tesis Doctoral (12), pero aún no han sido publicadas en otro medio.

xii Este tipo de reflexión histórico-epistemológica es mucho más profunda que la mera información sobre datos de algunos personajes históricos de la ciencia.

QuímicaViva
ISSN 1666-7948
www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar

Revista QuímicaViva
Volumen 13, Número 1, Abril de 2014
ID artículo:F0189
Versión online