

CONSTRUCCIÓN DE MODELOS EN CLASE ACERCA DEL FENÓMENO DE LA FERMENTACIÓN, CON ALUMNOS DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

Griselda Moreno-Arcuri*
Ángel D. López-Mota**

Moreno-Arcuri, Griselda y López-Mota, Ángel D. (2013). "Construcción de modelos en clase acerca del fenómeno de la fermentación, con alumnos de educación secundaria". *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*. No. 1, Vol. 9, pp. 53-78. Manizales: Universidad de Caldas.

RESUMEN

Se aplicó una estrategia didáctica, fundamentada en modelos para su orientación y modulada por la modelización en su proceso, a un grupo de primer año de educación secundaria. Primero, se infirió un modelo cognitivo inicial (MCI), derivado de las concepciones alternativas acerca de la utilización del oxígeno en el proceso de respiración. Segundo, se elaboró el modelo curricular (MCu), a partir del contenido encontrado sobre respiración anaerobia en el programa de estudio respectivo. Tercero, se tomó como referencia un modelo científico (MCi), explicativo de la fermentación –tomado como paradigma de la comunidad científica– basado en la respiración celular anaerobia. Terminado ello, se pusieron en tensión y se postuló un Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), que expresó a dónde se quería llegar con una estrategia didáctica a ser diseñada; permitiendo derivar criterios de elaboración de ésta y posibilitando su evaluación, al compararse con los modelos construidos por los alumnos en clase. Éstos, construyeron dos modelos con distinto grado de acercamiento a la explicación científica postulada en MCEA de la respiración celular anaerobia –explicación científica de la fermentación–. El Modelo I se presentó con dos variantes, ambas basadas en la digestión de la colonia de *Lactobacilos* sp. y, así, explicar la fermentación utilizando la intervención de ciertos microorganismos. En el Modelo II, los alumnos refieren algún elemento de la respiración celular anaerobia –producción de ácido láctico, glucosa y energía–, en un intento por explicar la fermentación; aunque las

* Secretaría de Educación Pública. México D.F. E-mail: gmoreno@sep.gob.mx

** Universidad Pedagógica Nacional. México. D.F. E-mail: alopezm@upn.mx

Recibido: 31 de julio de 2012. Aceptado, 25 de octubre de 2012.

relaciones que establecen no son claras. Sin embargo, los resultados permiten visualizar las potencialidades del dispositivo didáctico utilizado, para un aprendizaje basado en la comprensión de un fenómeno –fermentación– a partir de una estrategia de enseñanza cimentada en modelos y modelización.

PALABRAS CLAVE: modelos, ser vivo, fermentación, digestión, estrategia didáctica.

FERMENTATION PHENOMENON CLASSROOM MODEL CONSTRUCTION WITH SECONDARY SCHOOL STUDENTS

ABSTRACT

A didactic strategy based on models for its orientation and modulated through modeling in its process, was applied to a first Secondary School year group of students. First, an initial cognitive model (ICM) derived from alternative conceptions on the role of oxygen in the breathing process was inferred, Secondly, the curriculum model (CuM) was designed from the content found about anaerobic respiration in the respective study program. In third place, a scientific model (SciM) was taken as reference explanatory for the phenomenon of fermentation –taken as a scientific community paradigm– based on the anaerobic cell respiration. Finally, they were put in tension and an arrival scientific school model (ASSM) was postulated which expressed what wanted to be accomplished with the teaching strategy to be designed, thus allowing its elaboration criteria and evaluation when compared with the models designed by students in class. Students designed two models with different degrees of approach to the scientific explanation postulated in anaerobic cellular respiration –scientific explanation of fermentation. Model I presented two variants, both based on the *Lactobacillus* sp. colony digestion process and this way explaining fermentation by using certain microorganisms intervention. In Model II, students refer some elements of anaerobic cellular respiration –lactic acid, glucose and energy production–, in an attempt to explain fermentation though the relationships they establish are not clear. However, the results allow the visualization of the potentialities of the didactic device used for learning based on the understanding of a phenomenon –fermentation– from a teaching strategy built on models and modeling.

KEY WORDS: models, living beings, fermentation, digestion, teaching strategy.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se plantea como una expresión de lo que puede ser el desarrollo curricular en ciencias naturales, en un contexto de formación de profesores y en un nivel de posgrado. Este se realizó desde la perspectiva del establecimiento de modelos y procesos de modelización en la enseñanza de las ciencias. Ello, con el propósito de favorecer en alumnos de educación secundaria (12-15 años de edad), la construcción de modelos científicos escolares que les permitan explicarse y, en la medida de lo posible, predecir fenómenos; en este caso la fermentación.

La atención didáctica a este tipo de fenómenos naturales, permite identificar ciertas dificultades en la enseñanza y en el logro de la comprensión –en este caso de la fermentación– por parte de los alumnos; pues curricularmente¹ se pretende alcanzarla mediante la función de la respiración en seres vivos en general y en particular de la manera anaerobia como se lleva a cabo este proceso en ciertos microorganismos –lactobacilos y levaduras–. En este sentido, los resultados de la aplicación de una estrategia didáctica relativa a modelizar la fermentación –no a aprender el concepto de respiración anaerobia–, muestran la potencialidad didáctica de considerar integralmente la manera de pensar del estudiante, los referentes curriculares y la cultura científica erudita. Ello, a partir de un dispositivo didáctico que presupone un lugar de destino –el cual permite orientar el diseño del mismo y modular el desarrollo de la estrategia didáctica–, reconociendo que el estudiante llega a la institución educativa con un saber que es necesario tomar como punto de partida para la enseñanza.

Las concepciones alternativas de los estudiantes que consigna la literatura acerca, específicamente, de la fermentación, no son muchas; por lo que se amplió la búsqueda de ellas en tópicos como: la respiración celular, microorganismos y descomposición de alimentos; pues corresponden a elementos explicativos del fenómeno.

De la revisión de ella, queda claro que los estudiantes creen que la respiración es básicamente un fenómeno de intercambio de gases que se realiza en los pulmones (Seymour y Longden, 1991; Driver, Squires, Rushworth y Wood-Robinson, 2000;

¹ En el programa de Biología de Educación Secundaria en México (2006), el tema a ser abordado es el de la respiración anaerobia –claramente un énfasis conceptualista– y para ejemplificarla en el programa se propone utilizar ejemplos de fermentación.

Tamayo, Orrego y Dávila, 2008). Esta idea puede ser favorecida por dos situaciones: 1) la experiencia cotidiana en la que la respiración se explica macroscópicamente a nivel del sistema respiratorio (Tamayo y Sanmartí, 2003), y 2) la forma como se aborda generalmente la respiración en la escuela, al partir del ser humano para después generalizar la función a los demás seres vivos. Esto, es muy plausible que haya generado una visión antropocéntrica de tal función; así como la creencia de que los organismos unicelulares no respiran (Cañal, 1999; Charrier, Cañal y Rodrigo, 2006), pues no tienen estructuras –pulmones, principalmente– (Tamayo et al., 2008) que realicen las mismas funciones de un sistema respiratorio, tal como se observa en los seres humanos. Además, los alumnos advierten la existencia de un proceso de respiración en plantas y animales pero, aunque tratan de establecer diferencias entre ellos, no siempre lo hacen con los mejores resultados. La posibilidad de que los alumnos conciban que otros seres vivos –distintos a los animales, en particular los pulmonados– puedan llevar a cabo el proceso de respiración, y además concebir que este proceso se puede llevar a cabo en ausencia de oxígeno, resultó fundamental para el trabajo de modelización que se emprendió con la estrategia didáctica; pues el fenómeno que se abordó en el aula fue el de la fermentación, que está a cargo de bacterias y levaduras –microorganismos– y cuya explicación científica se encuentra en el modelo científico de la respiración celular anaerobia.

Díaz, López, García, Abuín, Nogueira y Gandoy (1996) mencionan que para los alumnos es difícil atribuir a los microorganismos –mediante procesos de respiración celular anaerobia– las transformaciones de ciertos alimentos. En este sentido, los autores explican que microorganismos –sus diferentes tipos– y las correspondientes transformaciones realizadas por ellos, están desligados; por lo que resulta necesario promover actividades en las que se conecten tales elementos. Esto, implica promover actividades de observación de microorganismos y trasladar el fenómeno del nivel macroscópico al microscópico.

Con base en lo anterior, se elaboró una estrategia didáctica en la que se tuvieron en consideración las concepciones alternativas de los estudiantes, bajo la perspectiva de la construcción de modelos, que dieran cuenta del fenómeno de fermentación.

MARCO TEÓRICO

Uno de los elementos teóricos empleados –proveniente del constructivismo– en este trabajo, se origina en el ámbito de las ideas previas o concepciones alternativas

de los alumnos (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Driver y Oldman, 1986; Duit, 2006; Gallegos y Flores, 2003), por una parte y, por la otra, en el de los modelos y la modelización (Giere, 1999; Gilbert y Boutler, 2000; Halloun, 2004; García y Sanmartí, 2005).

De acuerdo con Justi (2006), es importante la búsqueda de integración entre los procesos de enseñanza y aprendizaje, así como la explicitación de elementos metodológicos que orienten al profesor en la identificación de aspectos relevantes que son imprescindibles considerar durante la enseñanza. En este sentido, la construcción de modelos, es vista como una forma de enfocar la enseñanza – distinta de enseñar conceptos– y de disponer de una metodología –modelización de fenómenos– que permite la enseñanza de contenidos científicos de una forma alternativa.

Al respecto García y Sanmartí (2005) retoman a Ronald Giere respecto a la naturaleza de los modelos:

[...] desde la perspectiva de considerar a la Ciencia como un conocimiento basado en modelos, se acepta que las interpretaciones no proceden en forma directa de la realidad, sino de modelos, *“objetos abstractos cuyo comportamiento se ajusta exactamente a las definiciones”*, pero cuya relación con el mundo real es compleja. *“El ajuste modelo-realidad no es global, sino sólo relativo a aquellos aspectos del mundo que los modelos intentan capturar”*. (Giere, 1999: 64)

Izquierdo y Adúriz-Bravo (2005) refieren que Giere (1999) señala que los científicos no solo interactúan con objetos, sino también con creaciones simbólicas propias, por ejemplo: enunciados, ecuaciones, gráficos, diagramas, fotografías, etcétera. Por lo tanto, existen diversas formas de acceder a las “familias de modelos” que constituyen la teoría. En este sentido, una teoría puede ser una manera abstracta y “aparentemente” alejada del mundo real, empero, también “una familia de modelos” que contiene representaciones de hechos ejemplares, los cuales se interpretan y (re)construyen teóricamente.

Este planteamiento puede complementarse por lo señalado por Halloun (2004: 3-6), al afirmar que una teoría de la modelización, distingue entre dos mundos diferentes:

el universo físico o mundo real –que incluye el mundo orgánico– y, el de la mente humana o mundo mental; lo cual sirve de sustento al estudio aquí reportado. Ya que, por un lado, tenemos sistemas físicos –consistentes en objetos singulares o conjunto de ellos que interactúan de forma específica– y fenómenos –eventos o cambios en el espacio-tiempo–, que pueden resultar de la interacción entre constituyentes de un sistema en particular o conjunto de sistemas y, por otro, estructuras y procesos cognitivos –ya sea implícitos o explícitos– constituidos por concepciones, conceptos, modelos o teorías; así como por procesos mentales asociados con normas y reglas. Lo que permite arribar al conocimiento, que consiste en estructuras conceptuales y procesos que han sido corroborados en aspectos específicos.

Así, los científicos –y los alumnos en clase mediante la ciencia escolar– pueden abordar un fenómeno del mundo natural, al construir un modelo que les permita explicarlo y generar predicciones sobre su comportamiento y, constituirse en una actividad de construcción abstracta, generada mediante la actividad humana. De acuerdo con Schwarz et al. (2009) los modelos están conformados por elementos –que presentan ciertas propiedades–, relaciones entre éstos y hacen referencia a condiciones de aplicación de los mismos. Asimismo, Gómez (2006: 3), considera que los modelos contienen entidades finitas que se relacionan entre sí y su organización “produce nociones, definiciones, conceptos, generalizaciones confirmadas, leyes, hipótesis, metáforas, analogías, procesos o ecuaciones”. Asimismo, señala que las entidades y sus relaciones están definidas dentro del modelo en cuestión y, por lo tanto, tienen significado dentro de él.

Justi (2006) argumenta acerca de la importancia de la construcción de modelos en la enseñanza de las ciencias, y al respecto señala que éstos tienen la finalidad de:

- *Aprender ciencia*, es decir, el alumnado debe tener conocimiento acerca de la naturaleza de la ciencia, los ámbitos de aplicación y las limitaciones de los modelos científicos.
- *Aprender sobre ciencia*, esto es, que los estudiantes comprendan la naturaleza de los modelos y puedan evaluar su papel en el desarrollo y la comunicación de los resultados de la investigación científica.
- *Aprender a hacer ciencia*, es decir, las alumnas y los alumnos deben ser capaces de construir, comunicar y comprobar sus propios modelos.

García y Sanmartí (2005) señalan que aprender ciencia en la escuela es ayudar a los alumnos a construir modelos significativos acerca de fenómenos naturales con los cuales tengan relación y sobre los que puedan pensar, hablar y actuar. El establecimiento de relaciones entre estas funciones es lo que se llama modelización y permite modular el proceso de enseñanza y lograr un aprendizaje por construcción de modelos.

Lo anterior, implica cambiar la mirada acerca de la forma como se enseñan las ciencias en la escuela, donde los alumnos son los protagonistas del aprendizaje, para lo cual los docentes tenemos que proporcionar formas diferentes de mirar la propia disciplina (Izquierdo, 2008).

Desde la didáctica de las ciencias, la visión de la construcción de modelos científicos escolares puede llevarse al aula mediante un proceso de transposición didáctica (Chevallard, 1998), lo que implica favorecer entre los alumnos la construcción de modelos, con la intención de que éstos les proporcionen representaciones y explicaciones de los hechos del mundo natural. Muy probablemente estos modelos no serán iguales a los que construye la ciencia erudita, pero sí tendrán que ser coherentes con los desarrollados por ella; de ahí la importancia de la noción de MCEA.

MÉTODO

Las fases del proyecto de investigación-intervención fueron tres. Una primera fase de construcción del/los modelo(s) cognitivo(s) inicial(es) –inferido(s) de las concepciones alternativas de los estudiantes con respecto a la función del oxígeno en el proceso de respiración de los seres vivos–, del modelo científico erudito –respiración celular anaerobia– y del modelo curricular –inferido del plan de estudios para Ciencias I con énfasis en biología, 2006–. Con base en la tensión de estos tres modelos se construyó uno cuarto, el Modelo Científico Escolar de Arriba (MCEA)², en el cual se explicita lo que suponemos pueden lograr los alumnos con base en una estrategia didáctica sustentada en la modelización. Las ideas básicas de este último modelo son las siguientes:

² Intermedio entre el modelo cognitivo inicial de los alumnos y el modelo científico, tamizado por el modelo curricular.

- Los *Lactobacilos* sp. son los elementos responsables de la transformación de la leche en yogur.
- Algunos seres vivos, como los *Lactobacilos* sp., respiran en ausencia de oxígeno.
- La fermentación láctica es producto de la respiración celular anaerobia de cierto tipo de bacterias.

En la segunda fase, se procedió al diseño de la estrategia didáctica y su aplicación en el aula. La planificación de las actividades se realizó con base en criterios como:

- Seleccionar un fenómeno natural cuyo modelo explicativo se fundamentara en el modelo científico erudito de la respiración celular anaerobia, en este caso fue la fermentación.
- Incorporar la experimentación como un elemento que permitiera obtener evidencias y establecer relaciones entre el fenómeno a estudiar y el Modelo Científico Escolar de Arribo (mundo de las ideas) que los alumnos construyen para explicar dicho fenómeno y con ello darle sentido a lo que observan.
- Favorecer la argumentación escrita y oral de los alumnos con la intención de regular la construcción de los modelos que los alumnos van elaborando.

Estrategia didáctica

Con base en lo anterior, se diseñó y aplicó una estrategia didáctica –orientada por el MCEA– a un grupo de 16-29 alumnos –pues hubo variabilidad en la asistencia–, para la enseñanza del contenido de ‘respiración anaerobia’³ (SEP, 2006), a partir de modelizar el fenómeno de la fermentación. La estrategia didáctica se conformó por tres fases –inicio, desarrollo y cierre–, de acuerdo con la idea de postular un referente teórico-metodológico (MCEA) para el diseño, elaboración y evaluación de la misma, contando con información proveniente de otras estrategias fundamentadas en la misma idea (López-Mota, 2011; Claudio y López-Mota, 2012); reconociendo como parcialmente reportado el presente caso (Moreno-Arcuri y López-Mota, 2010).

³ Esta aproximación del programa es netamente conceptual, que contrasta con nuestra aproximación a la temática del mismo, a partir de la sugerencia en él de ejemplificar el abordaje con la fermentación de varios alimentos; pues nosotros tomamos la fermentación del yogur como el fenómeno a modelizar y la respiración anaerobia como la construcción científica derivada de la interacción de los bacilos, que respiran en ausencia de oxígeno, con la leche.

De esta manera lo que se busca es obtener evidencia de la medida en que es posible alcanzar el MCEA con la estrategia didáctica diseñada y aplicada, así como conocer las bondades y retos que presentan los modelos elaborados en clase sobre fermentación, así como los posibles desafíos para alcanzar mejores logros.

Es necesario precisar que los modelos científicos construidos en clase, no pueden ser atribuidos a los alumnos participantes en lo individual, ya que la recolección de información es la típicamente obtenida por profesores en el desarrollo de la clase: cuestionarios, preguntas a pequeños grupos o a la clase en su conjunto, actividades prácticas a resolver asociadas a respuestas requeridas en un instrumento, dibujos solicitados, etcétera. Para poder pretender considerar tales construcciones de conocimientos escolares en forma de modelos explicativos personales, habría que haber realizado un seguimiento pormenorizado de alumnos clave, con el propósito de poder determinar si dichas construcciones pudieran ser consideradas como modelos mentales. De esta manera, lo que se logra con la estrategia teórico-metodológica seguida, es la inferencia de modelos atribuidas al grupo escolar, a partir de analizar la información proveniente de los diferentes instrumentos para recabar datos durante el desarrollo de la clase; faltaría, en una posterior investigación corroborar si tales modelos de fermentación —inferidos del comportamiento grupal e individual—, pueden ser modelos mentales, utilizando una metodología de investigación apropiada a tal propósito, lo cual no fue la intención de este trabajo.

De esta manera, los datos que se analizan buscarán dar cuenta de la forma en que se procedió para recolectarlos, en cómo se codificaron y organizaron, así como la manera en que se analizaron; haciendo referencia, al logro del MCEA en relación con MCI.

La aplicación de la estrategia didáctica se realizó en un grupo de primero de secundaria, con un número de alumnos que osciló entre 16 y 29 integrantes. Se llevaron a cabo 11 sesiones de 50 minutos cada una, de éstas se tuvieron 3 sesiones en laboratorio, con el uso del microscopio para observar muestras de lactobacilos, bacterias y levaduras, así como dos videos animados acerca de la respiración celular anaerobia.

En la mayoría de las sesiones en el aula, la dinámica de trabajo fueron las discusiones en equipo y grupales, con la intención de que los alumnos pusieran a debate sus ideas, las reelaboraran en forma escrita y propusieran a través de dibujos el modelo que construían acerca del fenómeno de la fermentación.

Algunas de estas actividades fueron probadas en un grupo de primero de secundaria –cuestionario acerca de la respiración y dispositivos de fermentación– y con base en ello se realizaron modificaciones para que los alumnos del grupo donde se aplicó la estrategia didáctica completa, pudieran entender mejor lo que se solicitaba de ellos. Sin embargo, no se pudo trabajar con todas las actividades de la estrategia dado que el tiempo permitido por la docente del grupo y la directora del plantel escolar fue de cuatro sesiones (50 minutos cada una, dos de laboratorio y dos en el salón de clase).

Fase de inicio

En ella se planteó la exploración de las concepciones alternativas del proceso de respiración, por medio de un cuestionario y dibujo del cuerpo humano, con dos propósitos: uno, validar –para las condiciones existentes– las concepciones alternativas de lo que informa la literatura especializada y, dos, considerarlas un insumo para la construcción del MCI del proceso de respiración por parte de los alumnos. Por medio del cuestionario, se exploró la utilidad que el alumno le confiere al oxígeno en el cuerpo. Así como el recorrido que sigue el oxígeno a través del cuerpo humano.

Fase de desarrollo

De acuerdo con Tiberghien y Barboux (1983 citados por Méhueat y Psillos, 2004) para el logro de los propósitos pedagógicos consideramos importante que el estudiantado manipule y sobre todo que exprese sus concepciones a través de diversas actividades.

62

En consecuencia, se realizaron actividades experimentales, en las que los alumnos hacían observaciones y descripciones de los búlgaros, la leche y el yogur, para la identificación de las entidades del modelo, sus atributos y las relaciones que se establecen entre ellas. Además, se confrontó el modelo elaborado con base en el yogur, con otras fermentaciones, para ampliar el modelo. Se compararon los modelos construidos por los alumnos con el MCEA previamente establecido.

Los dispositivos experimentales fueron trabajados en el salón de clase, sobre todo lo referido a la preparación del experimento para su posterior trabajo en laboratorio –observación en el microscopio de preparaciones–.

Fase de cierre

Durante el cierre, se aplicó un instrumento para evidenciar las ideas de los educandos acerca de la fermentación, con el propósito de conocer cómo las aplican en dos situaciones: 1) explicación para elaborar algún producto fermentado y 2) resolución de una situación hipotética acerca de lo que le puede suceder a los músculos de unos jóvenes bailarines tras ensayar sus rutinas por mucho tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los datos se realizó en función de inferir –con base en las respuestas individuales y grupales del estudiantado–, los modelos que se pudieron haber construido en clase mediante el proceso de modelización. En este documento se presentan las fases de inicio y desarrollo de la estrategia didáctica.

Modelos acerca del proceso de respiración

Los modelos se construyen con base en las respuestas a diferentes cuestionamientos para explorar las ideas alternativas acerca del proceso de respiración en el ser humano. En primera instancia las respuestas a la pregunta: ¿Para qué utilizamos el oxígeno que respiramos? Las agrupamos en dos modelos; considerando para ello la clasificación propuesta por Tamayo et al. (2008), los que a continuación se describen:

Modelo teleológico. El proceso de respiración es visto por los alumnos (18/26) como una condición necesaria e inherente a los seres vivos, sin profundizar en ideas que den cuenta del proceso llevado a cabo. De ello dan cuenta expresiones como: “para vivir”, “para tener en funcionamiento nuestro organismo”.

Modelo vitalista. Le atribuyen (9/26) al proceso de respiración con funciones de purificación y limpieza en el organismo o en algunos órganos. Esto se infiere a través de expresiones como: “para respirar y purificar los pulmones”, “para poder vivir, para que llegue a los pulmones y se lleve lo que tenemos dentro como el polvo”, “para que nuestro cuerpo pueda vivir y nos entre oxígeno al corazón”.

El tercer modelo, *de intercambio de gases*, lo generamos a partir de las respuestas a las preguntas: ¿Qué sustancias crees que están contenidas en el aire que

respiramos?, las respuestas señaladas por el alumnado fueron: “oxígeno y dióxido de carbono” (22/26). ¿Qué sustancias expulsamos de nuestro cuerpo cuando respiramos?: “dióxido de carbono”, “CO₂”, “DCO₂” (13/26) y “oxígeno”, “O₂” (9/26). Asimismo, se les solicitó un dibujo en el que los alumnos debían describir el recorrido del aire en el cuerpo humano, en él los alumnos (11/26) dibujaron los pulmones como los órganos fundamentales por donde pasa el aire. Con base en lo anterior, se cruzó información, es decir, se agruparon las respuestas de los niños que coincidían con el dibujo que ellos mismos elaboraron del aparato respiratorio y se encontró que 11/26 alumnos tenían respuestas similares, lo que nos hizo suponer que este grupo de alumnos perciben el proceso de respiración como un intercambio de gases (Tamayo et al., 2008).

Los estudiantes que presentan este último modelo, visualizan el proceso de respiración como la entrada de aire, principalmente de oxígeno y dióxido de carbono a los pulmones y la expulsión de estos mismos gases como producto. Resultados similares han sido reportados por Stavy, Eisen y Yaakobi (1987). Conviene mencionar que, de acuerdo con Nuñez y Banet (1996), este modelo –como suele presentarse– es uno ‘no-relacionado’, porque no identifican la respiración como un proceso celular y por ende no establecen su relación con el tejido sanguíneo y la función de nutrición.

Conviene señalar que, si sumamos los números del divisor en los tres modelos, se rebasa el número total de alumnos del grupo, ello se debe a que en las respuestas de los mismos se puede presentar la combinación de dos modelos; de lo que se deriva que no reportamos modelos de los individuos, sino lo que un conjunto de respuestas nos permite inferir en términos de la existencia de uno o varios modelos. Esto, habría que corroborarlo con seguimientos individuales.

El inferir estos modelos, acerca del proceso de respiración, nos dio indicios de que los alumnos no consideran el proceso a nivel celular, lo cual dificultaba el tratamiento del contenido de respiración celular anaerobia. Ahora bien, en la misma actividad de inicio para la recuperación de concepciones alternativas, se cuestionó al estudiantado acerca de si el proceso de respiración se podría llevar a cabo en ausencia de oxígeno y, de ser posible, qué seres vivos lo podrían realizar. Al respecto, algunos de los estudiantes (7/25) consideraron posible que el proceso de respiración se realice sin oxígeno. En contraste con 18/25 alumnos que no lo refieren así. En este sentido, algunas de las respuestas de los alumnos son: “sin oxígeno nos moriríamos”, “porque todo ser vivo necesita oxígeno para vivir”, ello nos hace suponer que prevalece el modelo teleológico.

Por otro lado, el alumnado que consideró posible el proceso de respiración sin la presencia de oxígeno (7/25), refirió organismos como las plantas y los animales acuáticos, en particular peces y moluscos (Seymour y Longden, 1991), así como a las lombrices de tierra. Esto nos permite inferir dos cosas: 1) algunas concepciones alternativas de los alumnos se basan en la percepción (Driver y Oldham, 1986) – pues no conciben la presencia del oxígeno gaseoso disuelto en el agua–, ya que no imaginan la presencia de un gas en un medio líquido, y 2) los estudiantes hacen una relación entre la presencia de pulmones y la utilización de oxígeno, de manera tal que, los organismos mencionados como anaerobios, lo son porque no presentan dicha estructura pulmonar, sin imaginar que estos organismos pueden llevar a cabo el intercambio de gases con otras estructuras (estomas en plantas; branquias en peces y algunos moluscos; piel en lombrices).

Entidades y atributos

El fenómeno empleado como referente para la construcción del modelo de respiración celular anaerobia en bacterias, fue la fermentación. Las entidades del modelo fueron la colonia de bacterias (búlgaro), el alimento (leche) y el producto (yogur). Con base en ellas el alumnado hizo descripciones, considerando el color, olor, consistencia y forma, además de responder a un rubro de ‘otras características’. Cabe destacar que la mayoría de los atributos asignados a cada una de las entidades, estaban en función de la percepción de los alumnos, por ejemplo: “color blanco”, “olor a dulce”, “consistencia líquida, aguada”, “sabor diferente al agua”, “forma líquida”; así como de la información que tienen al respecto. En cuanto a la leche se destacan dos aspectos: el pH y características que no eran visibles e identificables en el momento de la observación. En lo referente al pH, su mención se debió a que se les proporcionó papel pH y se les enseñó a usarlo en sus descripciones –15 de 29 alumnos reportaron un pH de 7 en la medición de acidez–, con la intención de que identificaran el cambio de pH en la leche, por la acción de las bacterias, y su transformación en otro alimento (yogur). Respecto a ‘otras características’, algunos alumnos (5/29) consideraron algunas particularidades, de las cuales ellos no tenían presencia física de ellas, pero consideraron poseían alguna importancia en la explicación del fenómeno: “tiene vitaminas”, “contiene proteínas, vitaminas, calcio, hierro y colina”, lo que tal vez se base en la familiaridad de los alumnos con este alimento y en la publicidad respecto a su contenido nutrimental.

Sin embargo, en el caso de los búlgaros –colonia de bacterias– los atributos referidos por los alumnos (29/29) se limitan al aspecto perceptivo, por ejemplo,

los alumnos mencionan que son: “blancos”, “suaves”, “chiquitos”, “pegajosos”, “mal olor”, “resbalosos”, y no señalan atributos que los identifiquen como seres vivos. Esto tal vez se deba a que los bacilos son organismos microscópicos cuyas características son difíciles de identificar a nivel celular (Mondelo, García y Martínez, 1994). Se supuso que, al observar estos organismos al microscopio, los alumnos podrían referir características de los seres vivos. Sin embargo, en la práctica, se presentaron dos dificultades: 1) Que el alumnado consideró que la bacteria era el búlgaro en su conjunto y no una colonia de bacterias; ello se infiere a partir de que varios de ellos (11/29) mencionaron en sus descripciones que los búlgaros se deshacen al estar en contacto con la leche (Figura 1) y otro grupo de alumnos (6/29) refieren que se hacen bacterias, por ejemplo: “una mezcla, se hicieron una bacteria, se hizo nata”, “se hicieron bacterias”. 2) El estado del equipo de laboratorio, pues los microscopios de la escuela no reciben mantenimiento, lo que influye en su capacidad de resolución. Con base en las respuestas de los alumnos inferimos que hay dificultades para construir el modelo de ser vivo en la escala microscópica como el de la célula (Gómez, 2006).

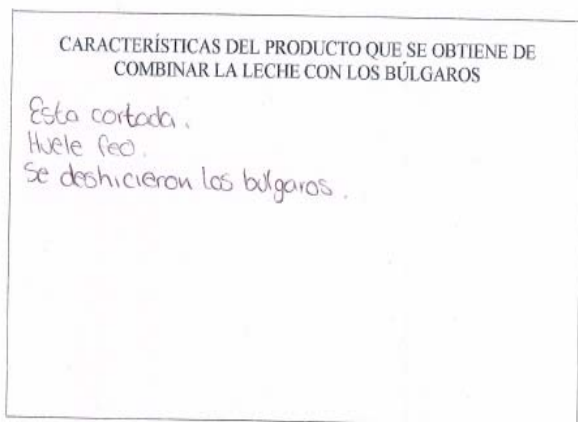


Figura 1. Algunas ideas de los alumnos con respecto a lo que sucede con la leche a partir de combinarla con los búlgaros.

Nos llama la atención que la referencia que hacen algunos alumnos (6/29) de las bacterias, es en términos de descomposición del alimento, por ejemplo, una alumna expresó: “se cortó la leche, descompuso, se hicieron bacterias, tomó un color amarillo, se deshicieron los búlgaros, se hizo más espesa la leche”. Ello

concuera con lo reportado por Simonneaux (2000) en el sentido de que los alumnos consideran a las bacterias como agentes de descomposición de alimentos y no como seres vivos que pueden realizar transformaciones de alimentos en otros que son de importancia para los seres humanos.

En lo que respecta al producto (yogur), se destaca que los alumnos (29/29) continúan refiriendo lo que observan a simple vista, por ejemplo, un alumno expresó: “salió un líquido más espeso que la leche, se cortó la leche y se deshicieron los búlgaros” y, aunque contaron con un instrumento de medición de la acidez (papel pH), no lo utilizaron; porque la profesora no lo indicó.

Entidades y relaciones

Para la identificación escrita de los elementos y relaciones que integran el modelo científico escolar de arriba, se solicitó a los alumnos responder las preguntas: ¿Qué tengo?, ¿qué hice? y ¿qué pasó? (propuestas por Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999). En las dos primeras preguntas hay un consenso del 100% (29/29) en las respuestas de los alumnos, por ejemplo, para la primera pregunta: ¿Qué tengo?, el estudiantado contestó: “leche y búlgaros”. En la segunda pregunta: ¿Qué hice?, mencionan: “combiné los 2”, “mezclar búlgaros con leche”, entre otras expresiones con el mismo sentido. Pero en la tercer pregunta no es así ya que señalan en mayor proporción (18/29) que: “la leche se cortó”, “se hacen grumos” y “la leche se hizo más espesa”, en comparación con características como “se hicieron bacterias” (6/29), “se deshicieron los búlgaros” (11/29).

Con base en la identificación de los elementos –y sus atributos– y las relaciones establecidas, pensamos que se construyeron los siguientes modelos.

Modelos acerca de la fermentación

Modelo la. Este modelo se basa en considerar al yogur como un producto de la digestión de los búlgaros (16/29), así lo refieren en sus respuestas a la pregunta: ¿Qué pasó? Por ejemplo: “pues los búlgaros al comerse la lechita, dejan un residuo tipo como nata y eso hace que se corte la leche así como tipo yogur y olía así como yogur natural”.

De lo anterior, se destaca el hecho de concebir a los búlgaros como organismos que se alimentan, cuyas excreciones cambian la consistencia de la leche. Ello es

importante en el sentido de conferirle vida a un ser que no tiene características antropomórficas.

Sin embargo, los alumnos no identifican las bacterias como las causantes de la transformación de la leche en yogur, sino al búlgaro, que es la colonia de bacterias. En reportes verbales donde se solicitó a los alumnos que expresaran lo que ellos consideraron que pasó cuando se puso en contacto el búlgaro con la leche, señalaron: “los búlgaros absorben la leche y explotan”. Lo anterior, nos hace suponer que los alumnos no identificaron las bacterias –observadas al microscopio– como individuos en sí mismos, sino como fragmentos de búlgaros. Ello denota la dificultad que presenta para el estudiantado pensar en seres vivos a nivel microscópico y atribuirles funciones como la respiración cuando ésta no es evidente para los alumnos (Seymour y Longden, 1991).

Con la intención de que los alumnos reafirmaran la identificación de los elementos y relaciones presentes en la fermentación, se diseñaron cinco situaciones experimentales. En cada caso se fermentaron diferentes alimentos como: piña, harina, manzana, leche y azúcar, por la acción de bacterias o levaduras, en ambientes con poco aire. Esto permitió enriquecer el primer modelo.

Modelo Ib. Está anclado en el proceso de digestión del ser vivo, e incorpora la descomposición del alimento y la participación del medio acuoso como el ambiente que favorece dicho proceso (Figura 2). Aparentemente, a este modelo accedieron pocos alumnos (5/21), así se infiere de algunas respuestas de los alumnos: “los tibicos son como el ser vivo, se tiene que alimentar a través del piloncillo y del agua, su alimentación es el piloncillo y el agua es para que se disuelva para que se pueda alimentar perfectamente”, “si no se pone algo líquido tampoco se hace la fermentación”, “el hongo se comió el alimento y después se descompuso”, y el resto del estudiantado (16/21) se quedó en el Modelo Ia, dado que persistía la idea de que el búlgaro o bien la levadura, se alimentaba y el resultado de esta función era un producto fermentado y expresiones como: “el hongo se come el alimento” nos hacen suponer lo anterior.

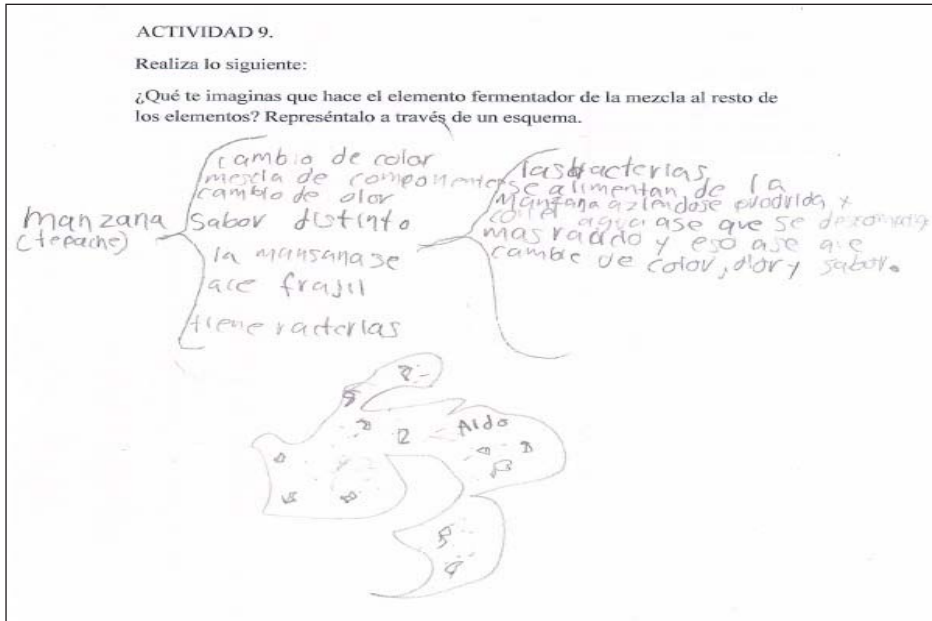


Figura 2. En este esquema el alumno adjudica a la bacteria y al agua el proceso de descomposición de la manzana.

Si bien los alumnos en grupo identificaron en cada uno de los dispositivos los mismos elementos (un ser vivo, un alimento y un producto), señalaron que la diferencia estaba en el producto y, por lo tanto, no podían comparar los dispositivos que cada equipo realizó. Esto sugiere que, para los alumnos, es difícil identificar similitudes, pues el producto es una fermentación en todos los dispositivos; lo anterior se puede explicar en términos de lo que señala Vygotsky (2008) en el sentido de que los niños primero identifican las diferencias antes que las semejanzas, debido a que éstas requieren de una estructura más avanzada de generalización o de un concepto que aglutine los objetos similares, y en cambio las diferencias no requieren de tal generalización y pueden realizarse por otros medios más a su alcance.

También podemos apuntar que, algunos de estos dispositivos, favorecieron la confusión entre los elementos del modelo en los equipos. Por ejemplo, en la fermentación de la manzana (3/3) y la piña (4/4), estos dispositivos se realizaron en equipos que variaron en la cantidad de integrantes, los alumnos no identificaron adecuadamente al ser vivo, de hecho atribuían a la fruta el proceso de fermentación; es decir, en estos casos, la fruta se consideraba el ser vivo, y no así las bacterias,

a pesar de que fueron observadas al microscopio. Este hecho nos vuelve a indicar que los alumnos no tienen el modelo de ser vivo en la escala de célula (Gómez, 2007). Además, continúan dando explicaciones a nivel macroscópico, lo cual sugiere que aún no acceden al pensamiento abstracto y condicional –de entidades que se suponen lógicamente, pero no se ven–, el cual les permitiría brindar explicaciones en términos microscópicos.

En sus descripciones por equipo, los alumnos continúan refiriendo atributos macroscópicos de la fermentación, por ejemplo, en la fermentación de piña señalan que el producto: “tiene como gusanitos”, “huele a agua de piña” y “olor dulce y agrio”, “el color es entre amarillo y blanco”, “tiene pulpa de fruta”, sin establecer relaciones entre lo que observan y las funciones de los microorganismos. Al respecto, Mondelo et al. (1994) refieren que, al abordar funciones vitales a nivel celular, como la nutrición y la respiración, se demanda de los alumnos conocimientos relacionados con aspectos químicos, además de requerirse un cierto nivel de abstracción para pasar del nivel macroscópico al nivel microscópico; es decir, de una “visión organismo” a una “visión de célula”, estructura en la que ocurren una serie de reacciones bioquímicas que no pueden observarse a simple vista.

Modelo II. Para ampliar el modelo inicial hacia otras situaciones, se utilizó un video de animación –con duración de un minuto 36 segundos– donde se representó el proceso de respiración celular anaerobia en las células musculares del ser humano. Esta actividad se tornó difícil por dos cuestiones: 1) el lenguaje, pues se utilizaron términos como: ácido láctico, glucosa, respiración celular e intercambio gaseoso, entre otros –si bien estos términos los han trabajado los alumnos en otros contenidos, en la actividad fue evidente que desconocían su significado–; y 2) las diferentes escalas de explicación utilizadas en el video –escala organismo, celular y molecular–, por lo que el estudiantado expresaba diferentes confusiones. Por ejemplo, se confundía la respiración celular anaerobia con el intercambio de gases (11/16 alumnos): “los pulmones son los órganos principales para la respiración y eso se va hacia las venas y de las venas hacia el ácido láctico”, “si tu corazón y tus pulmones no pueden [...] proporcionarán la respiración anaeróbica para producir más energía” o bien (3/16) mencionan que el ácido láctico está compuesto por la glucosa y células: “el ácido láctico está compuesto de glucosa, células”. En general los alumnos no identificaron los elementos del modelo de respiración celular anaerobia en las células musculares de los seres humanos.

Sin embargo, los alumnos intentan establecer un modelo distinto, a partir de ciertos elementos, aunque las relaciones que establecen entre estos, nos permiten vislumbrar que no tienen claro un modelo. Por ejemplo, un alumno señala que: “la respiración anaerobia [...] sucede que al muchacho por correr mucho se le revolvió el estómago y ahora le duele”, aunque en su dibujo también escribe la siguiente simplificación:

Glucosa \longrightarrow ácido láctico + energía

Aunque la simplificación de lo que sucede con la glucosa, pareciera acorde al conocimiento científico, la descripción que hace va en otro sentido. Este tipo de situaciones se presenta en 3 de los 16 alumnos, que asistieron ese día; lo que nos hace suponer que, el estudiantado, más que tratar de organizar la información en función de lo que se había estado trabajando, intenta repetir la información del video y la superponen con sus ideas acerca de lo que es el proceso de respiración en general. En la Figura 3 se observa que una alumna presenta: el ácido láctico (producto vivo) = glucosa (producto complemento) = una pequeña liberación de energía (producto final). En este modelo el ácido láctico no es un ser vivo, es el producto de la respiración celular anaerobia realizada por las células musculares y, salvo por los signos de igual, podría pensarse que tiene la idea de que la respiración celular anaerobia consiste en la obtención de energía a partir de la glucosa. Sin embargo, no está claramente explícito. Desde nuestra perspectiva, la actividad tiene un alto nivel de complejidad y se requiere trabajar más en las actividades previas para introducir, poco a poco, los términos y conceptos de ácido láctico, glucosa, respiración celular anaerobia y energía.

Zaira Berenice Mtz
RMZ 10 "E"

ACTIVIDAD 10.

Elabora un dibujo, con base en el video 1, donde identifiques los elementos, las relaciones que tú crees se establecen entre ellos y el o los productos que se obtienen.



Figura 3. En el dibujo se aprecia que la alumna trata de relacionar el modelo de intercambio de gases con el modelo de respiración celular anaerobia, e incluso podría decirse que incursiona en el modelo de cambio químico.

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Con base en el análisis de resultados y el propósito general de la estrategia didáctica –de construir en clase modelos explicativos del fenómeno de fermentación–, pueden concluirse dos cuestiones generales: 1) no se logró del todo el Modelo Científico Escolar de Arriba del fenómeno de la fermentación láctica, y 2) se presentan dificultades en términos de la escala de observación –microscópica– y explicación

–elementos que permitan imaginar la respiración celular anaerobia– que involucra el fenómeno de la fermentación.

En cuanto a que no se logró del todo el MCEA de la fermentación láctica en términos del modelo explicativo –respiración celular anaerobia–, se considera que solo pudo alcanzarse una de las tres ideas básicas que lo constituían y no así las otras dos: “algunos seres vivos, como los *Lactobacilos* sp., respiran en ausencia de oxígeno” y que “la fermentación láctica es producto de la respiración celular anaerobia de cierto tipo de bacterias”.

En cambio, los estudiantes (16/29): “Identifican los *Lactobacilos* sp. como responsables de la transformación de la leche en yogur”. De ello da cuenta el Modelo Ia, en el cual los alumnos identifican que el yogur es producto de la digestión del búlgaro. En el Modelo Ib, los escolares (5/21) incorporan, además de la digestión, la descomposición del alimento y la condición de un medio acuoso para que ocurra el respectivo proceso de transformación. Conviene señalar que, en el Modelo Ib, la base es la misma que en el Modelo Ia; es decir, el proceso de digestión de la colonia de bacterias. El Modelo II, se caracteriza por la confusión entre ciertos elementos, intercambio gaseoso con respiración celular anaerobia y 11 de 16 alumnos están en este caso. Tal vez convendría no considerar éste como un modelo, dado que no hay claridad en las respuestas de los alumnos.

En un primer momento, el Modelo I con sus dos variantes (a y b) que alcanzaron los alumnos se centra en el proceso de digestión de los microorganismos (bacterias y levaduras), por lo que es necesario ampliar el modelo incluyendo las excreciones y a partir de éstas ir estableciendo relaciones con el proceso de respiración a nivel celular. Ello podría ayudar en la construcción del MCEA de respiración celular anaerobia basado en el proceso de nutrición; en el cual el ser vivo intercambia energía y materia con su ambiente, modificándolo como resultado de esta interacción (García, 2005).

Las otras dos ideas del modelo científico escolar de arriba no se alcanzaron, pues para ello es necesario trabajar con los alumnos el modelo de ser vivo en la escala de célula; ya que el estudiantado presenta dificultades para concebir a las bacterias como seres vivos microscópicos que realizan las funciones de nutrición, respiración y relación –como los seres vivos macroscópicos en los que sí las identifican–. Pudiera ser que la enseñanza de la respiración celular anaerobia tuviera más sentido en el

bachillerato, al adentrarse en explicaciones de las funciones a nivel celular, pero habría que preparar ese cambio en la educación secundaria.

Esta discordancia tal vez se deba a que los docentes no explicitamos los cambios de niveles, es decir, del nivel macroscópico al microscópico, pues suponemos que los alumnos al observar organismos al microscopio, como bacterias y levaduras, automáticamente establecen las relaciones y el cambio de nivel, lo cual no es así. Por tanto, es necesario que, en la planificación de estrategias didácticas, incorporemos actividades que tiendan hacia una visión de escalas de organización, las cuales además estén interrelacionadas con el propósito de generar explicaciones causales; es decir, que mediante explicaciones a nivel microscópico, los alumnos puedan, también, explicar las transformaciones que se dan a nivel macroscópico.

Asimismo, nos percatamos de que modelizar la respiración celular anaerobia con base en el fenómeno de la fermentación láctica, pudiera no ser lo más adecuado, dado que es factible incurrir en problemas conceptuales. Ya que durante este proceso no hay producción de CO_2 , elemento que podría favorecer la conexión con el proceso de respiración celular aerobia y posteriormente con el de respiración celular anaerobia.

Lo anterior, también nos permite valorar la estrategia didáctica en el sentido de que se quiso extrapolar el fenómeno de la fermentación láctica a otras fermentaciones que no se daban en igualdad de circunstancias, ello generó en los alumnos confusión. Por lo que se hace necesario considerar las limitaciones de la estrategia en la construcción de los modelos Ia, Ib y II. Y se sugiere utilizar un solo fenómeno de fermentación y no hacer extrapolaciones si no estamos seguros de que se sucederán en las mismas condiciones.

También consideramos que, a partir de la modelización de los fenómenos, es posible que las y los estudiantes desarrollen habilidades cognitivas (de identificación, descripción y análisis), de procedimiento (observación de similitudes y diferencias) y actitudes (responsabilidad, apertura a nuevas ideas, crítica) semejantes a las que desarrollan y practican los científicos, aunque en contextos diferentes. Con ello se busca aportar a los escolares una serie de herramientas que les permitan pensar teóricamente acerca de los fenómenos.

Por último, la complejidad en la toma de decisiones con respecto a la enseñanza, no permite el planteamiento de recetas únicas, por lo que el papel del docente, desde la modelización, implica cambiar su visión acerca de la enseñanza de las ciencias. Por una, en la que se parta del diseño de estrategias de intervención fundamentadas en la investigación educativa. Esto involucraría la consideración de las concepciones alternativas de los alumnos acerca de los fenómenos que se estudiarían, el diseño, el desarrollo y la evaluación de estrategias didácticas donde se gestione el hablar, el pensar y el actuar de quienes aprenden, los alumnos.

BIBLIOGRAFÍA

Cañal, P. (1999). "Photosynthesis and 'inverse respiration' in plants: an inevitable misconception?". *International Journal of Science Education*, No. 4, Vol. 21, pp. 363-371.

Charrier, M., Cañal, P. y Rodrigo, M. (2006). "Las concepciones de los estudiantes sobre la fotosíntesis y la respiración: una revisión sobre la investigación didáctica en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 3, Vol. 24, pp. 401-410. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

Chevallard, Y. (1998). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. 3ª ed. Buenos Aires: AIQUE.

Claudio, S. y López-Mota, A. (2012). *Implementación de estrategia didáctica basada en la modelización acerca del fenómeno de los cambios de estado de la materia: resultados*. Ponencia presentada en el III Congreso Nacional de Investigación en Educación en Ciencias y Tecnología-Educyt y II Congreso Iberoamericano en Investigación en Enseñanza de las Ciencias-CIEC, San Juan de Pasto, 19-23 de noviembre, (paper).

Díaz, R., López, R., García, A., Abuín, G., Nogueira, E. y Gandoy, J. (1996). "¿Son los alumnos capaces de atribuir a los microorganismos algunas transformaciones de los alimentos?". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 2, Vol. 14, pp. 143-153. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. 4ª ed. en español. Pablo Manzano, Trad. Madrid: Morata.

Driver, R. y Oldham, V. (1986). "A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science". *Studies in Science Education*, Vol. 13, pp. 105-122.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. y Wood-Robinson, V. (2000). *Dando sentido a la ciencia en secundaria. Investigaciones sobre las ideas de los niños*. México: SEP/VISOR.

Duit, R. (2006). "La investigación sobre enseñanza de las ciencias. Un requisito indispensable para mejorar la práctica educativa". *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, No. 30, Vol. 11, pp. 741-770. Consejo Mexicano de Investigación Educativa.

Gallegos, L. y Flores, F. (2003). "Concepciones, cambio conceptual, modelos de representación e historia y filosofía de la enseñanza de la ciencia". En: López-Mota, A. (coord.). *Saberes científicos, humanísticos y tecnológicos: procesos de enseñanza y aprendizaje* (pp. 457-507). Vol. I. México: COMIE/SEP/CESU.

García, P. (2005). "Los modelos como organizadores del currículo en biología". *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, VII Congreso, pp. 1-6. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

García, P. y Sanmartí, N. (2005). "La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos". En: Quintanilla, M. y Adúriz-Bravo, A. (eds.). *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. Santiago de Chile: Ed. Universidad Católica de Chile.

Giere, R. (1999). "Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico". *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, pp. 63-70. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

Gilbert, J. K. y Boulter C. J. (2000). *Developing models in science education*. New York: Springer Science + Business Media.

Gómez, A. (2006). "El modelo cognitivo de ciencia y la ciencia escolar como una actividad de formación". *Configuraciones formativas I. El estallido del concepto de formación*. pp. 139-156.

_____. (2007). "Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 3, Vol. 25, pp. 325-340. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

Halloun, I. A. (2004). *Modeling theory in science education*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Izquierdo, M. (2008). "La organización y secuenciación de los contenidos para su enseñanza". En: Merino, C., Gómez, A. y Adúriz-Bravo, A. (comps.). *Área y Estrategias*

de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.

Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo A. (2005). "Los modelos teóricos para la ciencia escolar". *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de la Ciencia, pp. 89-101. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). "Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 1, Vol. 17, pp. 45-59. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

Justi, R. (2006). "La enseñanza de la ciencia basada en la elaboración de modelos". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 3, Vol. 24, pp. 173-184. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

López-Mota, A. (2011). *Una nueva forma de aproximarse al diseño y prueba de estrategias didácticas*. Conferencia presentada en la IX Reunión Nacional de UPN Natura Red, Pachuca, 23 de Septiembre (paper).

Méheut, M. y Psillos, D. (2004). "Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research". *International Journal of Science Education*, No. 5, Vol. 26, pp. 515-535.

Mondelo, A., García, S. y Martínez, C. (1994). "Materia inerte/Materia viva. ¿Tienen ambas la misma constitución atómica?". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 2, Vol. 12, pp. 226-233. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

Moreno-Arcuri, G. y López-Mota, A. (2010). "Problemas de modelización estudiantil presentados en el desarrollo de una estrategia didáctica sobre respiración anaeróbica, utilizando la fermentación láctica". En: López-Mota, A. et al. (coords.). *La investigación en el posgrado de la Universidad Pedagógica Nacional* (pp. 139-153). UPN.

Nuñez, F. y Banet, E. (1996). "Modelos conceptuales sobre las relaciones entre digestión, circulación y respiración". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 3, Vol. 14, pp. 261-278. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.

Schwarz, C. V. et al. (2009). "Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners". *Journal of Research in Science Teaching*, No. 6, Vol. 46, pp. 632-654.

SEP. (2006). *Ciencias. Educación básica. Secundaria. Programas de Estudio*. México: SEP.

Seymor, J. y Longden, B. (1991). "Respiration –that's breathing isn't it?". *Journal of Biological Education*, No. 3, Vol. 25, pp. 177-183.

Simonneaux, L. (2000). "A study of pupil's conceptions and reasoning in connection with 'microbes', as a contribution to research in biotechnology education". *International Journal of Science Education*, No. 6, Vol. 22, pp. 619-644.

Stavy, R., Eisen, Y. y Yaakobi, D. (1987). "How students aged 13-15 understand photosynthesis". *International Journal of Science Education*, No. 1, Vol. 9, pp. 105-115.

Tamayo, O., Orrego, M. y Dávila, A. (2008). "Modelos explicativos del concepto de respiración". *Memorias CIIEC 2008*, No. 3, Vol. 2, pp. 50-63.

Tamayo, O. y Sanmartí, N. (2003). "Estudio multidimensional de las representaciones mentales de los estudiantes. Aplicación al concepto de respiración". *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, No. 1, Vol. 1. Colombia: Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano-CINDE-Universidad de Manizales. En: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/colombia/cinde/revis1/07.pdf> [consultado el 26 de enero de 2009].

Vygotsky, L. (2008). *Pensamiento y lenguaje*. Décima edición. México: Quinto Sol.