

Fotografías Wilson Celis Ariza
Licenciado en Biología.
Especialista en enseñanza de la Biología UPN

Wilson Celis A

MODELOS EXPLICATIVOS DE ESTUDIANTES ACERCA DEL CONCEPTO DE RESPIRACIÓN

Explicative Models of students about the respiration concept

Fecha de recepción: 15 de mayo de 2014
Fecha de aprobación: 18 de noviembre de 2014

Oscar Eugenio Tamayo Alzate¹
Mary Orrego Cardozo²
Alba Regina Dávila Posada³

Resumen

Se presentan los modelos explicativos expresados por estudiantes sobre el campo conceptual de la respiración. Se identificaron diferentes tipos de obstáculos frente a la enseñanza y el aprendizaje de la respiración. Se realizó análisis cualitativo de la información recolectada con el uso de la herramienta Atlas-Ti. La identificación de los modelos de los estudiantes y de los obstáculos frente al aprendizaje nos permitirá orientar acciones de enseñanza con el propósito de lograr aprendizajes en profundidad de los diferentes temas enseñados.

Palabras clave

Aprendizaje, respiración, obstáculos, modelos explicativos

Abstract

In this paper, different explicative models about the conceptual field of respiration expressed by students are presented. Different types of obstacles were identified concerning the teaching and learning of respiration. Based on the data collected, a qualitative analysis was carried out by means of the Atlas-Ti Tool. The identification of the students' models and the obstacles faced when learning will allow orienting teaching actions in order to achieve deep learning in the various topics that have been taught.

Key Words

Learning, respiration, obstacles, explicative models.

1 Universidad de Caldas- Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia. Correo electrónico: Oscar.tamayo@ucaldas.edu.co

2 Universidad Autónoma de Manizales- Universidad Nacional. Manizales, Colombia. Correo electrónico: Maryorrego@autonoma.edu.co

3 Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia. Correo electrónico: ardavila@autonoma.edu.co

Introducción

Uno de los campos de mayor relevancia actual en la didáctica de las ciencias lo constituye el estudio de las representaciones y el papel que éstas juegan en el aprendizaje de las ciencias por parte de los estudiantes y, de igual manera, aquellos estudios que profundizan en los diferentes tipos de interacciones que se producen entre las representaciones de los estudiantes y las de los profesores. Nos interesa aquí centrarnos en el papel que juegan los modelos mentales de los estudiantes, como un tipo de representación (Johnson-Laird 1983, 1991, Nersessian 2008), en la identificación de los obstáculos frente al aprendizaje de conceptos en ciencias. Desde la perspectiva de Johnson-Laird el discurso sobre un modelo mental se basa en tres ideas centrales: a.) un modelo mental representa el referente de un discurso, esto es, la situación que el discurso describe, b) la representación lingüística inicial de un discurso captura el significado de ese discurso, o sea, el conjunto total de situaciones que puede describir y c) un discurso es juzgado como cierto si incluye como mínimo un modelo del mundo real.

El carácter funcional de los modelos mentales se evidencia en su capacidad predictiva, en la medida en que permite a las personas comprender y explicar los sistemas físicos y sociales con los cuales interactuamos y anticipar y predecir su comportamiento. Los modelos mentales de las personas reflejan sus creencias sobre el sistema, en tal sentido, debe existir correspondencia entre el modelo mental construido por el sujeto y el mundo real al cual este modelo hace referencia. En este mismo sentido, es importante destacar que los modelos mentales son dinámicos, incompletos, inespecíficos, parsimoniosos y evolucionan permanentemente al interactuar con el contexto. Independientemente de estas características los modelos mentales pueden ser usados de forma adecuada por los sujetos en los contextos en los que ellos se desenvuelven (Johnson-Laird, 1983, Norman, 1983, Vosniadou & Brewer, 1992, Vosniadou, 1997).

Los estudios pioneros realizados sobre los modelos mentales desde la didáctica de las ciencias estuvieron orientados a conocer cuáles eran las representaciones internas que tenían los alumnos en dominios específicos del conocimiento, tanto los que hacían referencia a conocimientos de orden intuitivo como los adquiridos mediante la enseñanza. En la actualidad la orientación básica en el estudio de los modelos mentales reside en comprender cuál es el proceso de construcción y de cambio de esas representaciones, qué clases de procesos determinan su uso y cuáles son los procesos mentales que permiten su creación, lo cual implica reconocerlas, saber cómo están representadas en su mente, cómo son usadas por los sujetos para su razonamiento y cómo son empleadas por los

profesores en función del logro de aprendizajes significativos en sus estudiantes.

El estudio de los modelos mentales en la didáctica de las ciencias no es nuevo, se encuentran trabajos importantes en muy diversos dominios del conocimiento: el movimiento de los objetos (de Kleer y Brown, 1981), circuitos eléctricos (Gentner y Gentner, 1983; Greca y Moreira, 1998), magnetismo (Greca y Moreira, 1998), cambio químico (Solsona, 1997, Khan 2008, Gutierrez, 1996), sistemas de propulsión (Williams, Holland & Stevens 1983), diagnóstico médico (Meyer, Leventhal & Gutmann 1986), movimiento de la tierra (Vosniadou & Brewer 1994). De manera específica en el campo de la biología encontramos aportes en sistema nervioso (Serrano, 1992), bioenergética (Tamayo, 2001, Tamayo & Sanmartí, 2007), inmunología (Orrego, López, y Tamayo, 2012, 2013), respiración (Nuñez y Banet 1996, Grosbois, Rico & Sirota 1991, Vuala 1991, Sanders and Cramer 1992, Songer and Mintzes 1994), cadena respiratoria (Konigsberg 1999), biología (Clement 2008, Rea-Ramírez 2008, Nuñez-Oviedo y Clement 2008). Otros estudios recientes enfatizan en las funciones, procesos e interrelaciones de la respiración con otros procesos del organismo (Barak, Sheva & Goro-detsky, 1999), dentro de los que podemos mencionar la relación de la respiración con la nutrición, con el ejercicio (Tamayo, 2009), la fotosíntesis (Waheed and Lucas 1992), la ecología (Hogan and Fisherkeller 1996, Leach, Driver, Scott, & Wood-Robinson, 1996).

Además de su intencionalidad descriptiva, los modelos han sido empleados como estrategia de enseñanza y de aprendizaje, lo cual ha conducido a una fructífera línea de investigación denominada, en términos generales, enseñanza y aprendizaje basado en modelos (Gilbert and Boulter, 2000, Clement and Rea-Ramirez, 2008, Nersessian 2008), la cual tiene como propósito central lograr aprendizajes en profundidad en los estudiantes (Franco y Colinvau, 2000, Gilbert, *et al.*, 2000), determinar la validez de modelos expresados y lograr mejores comprensiones de los modelos históricos en los diferentes campos del saber a través de la enseñanza (Gilbert Bou *et al.*, 2000). El uso de los modelos con estos fines se constituye en una estrategia para la cualificación de la enseñanza de las ciencias, la cual podría potenciarse a través de la identificación de los obstáculos frente al aprendizaje como puente entre los modelos mentales y las actividades de enseñanza. Como se ilustra en la figura 1, la identificación de los modelos mentales de los estudiantes tiene como propósito central, en nuestro caso, reconocer los obstáculos que ellos tienen frente al aprendizaje de los conceptos enseñados por los profesores, de tal manera que se constituyen en punto de partida del actuar de los profesores en el aula, aspectos presentados a continuación.

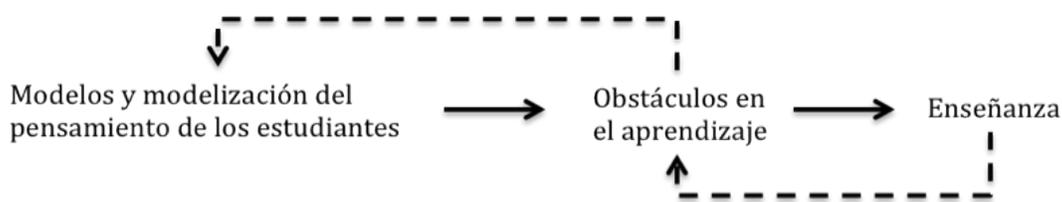


Figura 1: Ruta general del proceso de investigación. La identificación de los modelos explicativos de los estudiantes sobre el concepto respiración tiene como propósito central identificar los obstáculos que los estudiantes tienen frente al aprendizaje de estos conceptos, a partir de los cuales se propone la enseñanza.

Bachelard propone que hay que plantear el problema del conocimiento científico en términos de obstáculos, frente a los cuales se requiere orientar acciones en función de superarlos. En este proceso identificar las ideas previas con las que los estudiantes llegan a la clase es determinante y, dado que éstas difícilmente desaparecen de la estructura cognitiva del sujeto, cobra fuerza la idea bachelardiana de vigilancia del pensamiento a través de la cual los estudiantes pueden autorregular la expresión de las ideas previas y, con ellas, de los obstáculos frente al aprendizaje. Es el distanciamiento reflexivo del obstáculo el que lo hace identificable como tal. En esta línea de trabajo se busca crear situaciones capaces de favorecer en los alumnos la toma de conciencia de los obstáculos que intervienen en su propio pensamiento.

Se deben considerar los obstáculos no como errores o carencias personales sino como una característica universal en la construcción del pensamiento científico (Bachelard, 1995, Camilloni, 2001, Astolfi, 1995). En el marco de la enseñanza de las ciencias el estudio de los obstáculos tiene relevancia en función de conocer las interacciones entre conocimiento común y conocimiento científico (Pozo, 1999, Tamayo, 2001, 2007). La identificación de los obstáculos tiene interés para el profesor debido a que éstos ocupan en la estructura cognitiva de los estudiantes el mismo nicho ecológico que los saberes científicos que enseña el docente. Desde este punto de vista se oponen, de alguna manera, a los objetivos educativos. En términos de Martinand “en la medida en que los obstáculos tienen una significación epistemológica profunda, parece legítimo hacer de su superación los verdaderos objetivos conceptuales” (Martinand 1986, citado por Astolfi, 1995: 169).

Mencionados algunos aspectos generales sobre modelos mentales y obstáculos pasamos a continuación a referirnos a algunos de los desarrollos investigativos actuales en el campo de la respiración.

Consolidación del campo conceptual de la respiración. Sus modelos explicativos centrales

En la tabla 1 resumimos los principales modelos explicativos que se han descrito para explicar los fenómenos relacionados con la respiración, con los principales criterios empleados para la explicación.

Modelo	Criterios explicativos
Vitalismo	Oxígeno como fuente de energía Función purificadora del aire
Modelo teleológico	Respiramos por necesidad La respiración es una condición para vivir
Modelo intercambio de gases	Intercambio gaseoso a nivel sistémico o celular
Modelo combustión	Quemar sustancias
Modelo pseudo-molecular	Explicaciones moleculares Ubicación subcelular de los procesos
Modelo quimiosmótico (molecular)	Ciclo ADP-ATP Ciclo del fosfato Hipótesis quimiosmótica

Dentro de los aspectos bioquímicos más importantes que han orientado el desarrollo del campo conceptual de la respiración, se encuentran los realizados por Meyerhof (1884-1951). Su sistema experimental tomado como referencia fue el músculo, en él estudió la manera como la energía potencial de los alimentos se hace asequible a las células; aportó además al esclarecimiento de las transformaciones energéticas que permiten el funcionamiento y mantenimiento de los organismos vivos. Dentro de sus aportes importantes se destaca la noción básica de acoplamiento químico y energético de las reacciones

celulares. Otro aporte valioso proviene de Mitchell (1988) y Nicholls (1992), quienes proponen el concepto de metabolismo vectorial en el que las reacciones enzimáticas se consideran intrínsecamente vectoriales. En estas reacciones es posible encontrar un complejo enzimático dentro de la membrana (intrínseco), el cual permite que la ruta de la reacción pueda atravesar la barrera de la membrana, con la catálisis simultánea de una reacción química y la traslación de un grupo vectorial.

En el estudio de la bioenergética se han definido tres conceptos centrales a partir de los cuales es posible explicar el proceso de la respiración desde una perspectiva molecular; estos aspectos reúnen los aportes de Meyerhof, Warburg, Oswald, Lundsgaard, Lipmann, Kaplan y Mitchell, entre muchos otros.

1. Ciclo ADP-ATP. La energía libre, liberada por las reacciones metabólicas, se almacena en forma de ATP principalmente o se disipa como calor. La energía almacenada como enlaces de fosfato se utiliza para cualquier trabajo o biosíntesis celular.
2. Ciclo del fosfato, el cual se da en tres fases:
 - Incorporación de fosfato inorgánico en enlaces macroérgicos mediante acoplamiento con reacciones de oxidación.
 - Transferencia de fosfatos macroérgicos al adenosinmonofosfato.
 - Utilización de la energía libre del enlace pirofosfato de alta energía del ATP con la liberación de fosfato inorgánico.

Llegar a este segundo gran paradigma supuso la maduración del concepto de acoplamiento entre oxidorreducción y formación de compuestos ricos en energía.

3. Hipótesis quimiosmótica. Une el transporte electrónico, la síntesis e hidrólisis del ATP y el transporte de solutos a nivel de membranas celulares. Esta teoría une la bioenergética con la electrofisiología clásica; explica cómo las células almacenan energía química en forma de ATP a partir de la fosforilación oxidativa o fotosintética en tejidos, bacterias o cloroplastos.

Estudios didácticos actuales en el campo conceptual de la respiración

Un primer grupo de estudios esta relacionado con propuestas de investigación encaminadas a establecer los conceptos centrales que han orientado la enseñanza del campo conceptual de la respiración en los diferentes nive-

les educativos. En este grupo son importantes las relaciones establecidas entre la ciencia, la ciencia enseñada y la ciencia aprendida (Chevallard, 1985, Dupin y Josua 1993), lo cual lleva a reflexionar sobre las más frecuentes transposiciones didácticas que puede tener el campo científico de la respiración. Grosbois y otros (1991), analizaron las diferentes transposiciones del concepto de respiración encontradas en los manuales escolares de segundo ciclo de enseñanza secundaria general, antes y después de la reforma de la educación francesa. Encontraron que la enseñanza de los conceptos relacionados con la respiración en los textos antes de la reforma, se caracterizan por presentar un saber propio de finales del siglo XIX, centrado en el intercambio gaseoso y en la mecánica del aparato respiratorio. Los textos posteriores a la reforma presentan un saber actualizado a nivel molecular, y las pocas prácticas realizadas se caracterizan por carecer de hipótesis, ser descontextualizadas y no responder a problemas específicos.

Un segundo grupo de estudios establece las concepciones de los estudiantes sobre la respiración, Banet y Nuñez (1990), y Nuñez y Banet (1996) y Tamayo (2001). Llamen la atención sobre la tendencia mostrada por los estudiantes a hacer referencia a la respiración como intercambio de gases y a separar la respiración de otros procesos fisiológicos como la circulatorio, la nutrición y el digestión. Encuentran que la comprensión de las relaciones entre respiración y circulación, presenta más dificultades para los estudiantes que la comprensión de las relaciones entre digestión y circulación.

De manera específica, y desde la perspectiva de la bioenergética, Bligh (1987), aborda el tema de la confusión entre algunos de sus conceptos centrales como la ecuación de Nernst, los gradientes de energía y los potenciales redox. Hace ver que estos errores son en muchos casos apoyados por los textos. Königsberg (1999), desde una perspectiva experimental y consciente de la dificultad de los estudiantes para la comprensión de la cadena respiratoria a nivel mitocondrial, propone enseñar este concepto con base en modelos. Para él, los estudiantes, al usar los modelos, pueden comprender el flujo de los electrones, su movimiento, la traslocación de los protones, la hipótesis quimiosmótica y el efecto de los inhibidores. Identifica como conceptos centrales de la respiración celular los complejos intramembranosos, el transporte electrónico y la traslocación de protones, la diferencia de potenciales y la hipótesis quimiosmótica entre otros.

Cercano al estudio de Königsberg citamos el de Olsher & Beit (1999), quienes plantean que los estudiantes de 14-15 años frente al conocimiento de los procesos biológicos se encuentran ante una especie de *caja negra* constituida

por los procesos bioquímicos, los cuales pueden llegar a ser el centro de los cuestionamientos realizados por ellos. La dificultad para el aprendizaje de estos conceptos abstractos se debe, en parte, a que mencionados procesos no pueden ser percibidos por los sistemas sensoriales de los estudiantes y, además, son procesos que no tienen equivalentes en su experiencia personal.

Es claro que el estudio de la respiración y más específicamente, el de la bioenergética, ha sido tema de investigación desde hace muchos años. Ha sido y es un concepto que requiere para su estudio y aprendizaje, el establecimiento de un sinnúmero de relaciones orientadas tanto a delimitar su campo específico como a esclarecer sus relaciones directas e indirectas con muchos otros procesos celulares y corporales. Es claro, además, que se trata de un concepto que se puede estudiar a muy diferentes niveles y que requiere para su comprensión el conocimiento detallado de un número importante de conceptos químicos, fisicoquímicos y bioquímicos y sus relaciones, lo que hace indudablemente más difícil su comprensión.

Metodología

La investigación tiene como propósito central identificar diferentes modelos que usan los estudiantes para explicar el concepto de respiración y reconocer posibles obstáculos en el aprendizaje de este concepto. Es un estudio comprensivo que se apoya en el análisis del contenido de las conceptualizaciones de 24 estudiantes universitarios de un curso de biología molecular de un programa de área de la salud.

Para la identificación de los modelos se emplearon preguntas abiertas y de tipo Likert con justificación (ver anexo 1). Todas las preguntas planteadas, en total 20, fueron sometidas a juicio de expertos y a prueba piloto antes de su aplicación. Las respuestas que dieron los estudiantes a los diferentes instrumentos aplicados, se discutieron a la luz de los diferentes desarrollos histórico-epistemológicos dados en el campo conceptual de la respiración. Con el conjunto de respuestas dadas por los estudiantes se identificaron sus modelos explicativos y se determinaron los obstáculos en el aprendizaje del concepto respiración. El instrumento empleado para la recolección de la información está constituido por dos partes; en la primera se presentan diez preguntas abiertas en las cuales el estudiante debe responder mediante la selección de una de cuatro opciones (MA: muy de acuerdo, A: acuerdo, MD: muy en desacuerdo y D: desacuerdo). Cada una de estas preguntas esta acompañada de un espacio en blanco en el cual el estudiante debe explicar su respuesta. La segunda parte del instrumento consiste en una serie de preguntas abiertas en las cuales se presentan al estudiante situa-

ciones cotidianas relacionadas con la respiración. Para cada una de las preguntas planteadas en esta sección los estudiantes deben explicar por escrito sus respuestas. Se incluyen también en esta parte del instrumento preguntas en las cuales los alumnos deben responder mediante el empleo de dibujos, esquemas, gráficas, etc. (ver anexo 1).

La información recogida se categorizó con apoyo en el software Atlas-Ti. Se elaboraron redes semánticas las cuales sirvieron para los análisis posteriores. Los análisis realizados nos permitieron identificar algunos obstáculos de diferente naturaleza encontrados en el grupo de estudio que dificultan el aprendizaje del concepto estudiado. El análisis de la información se realizó sobre los textos escritos por los estudiantes teniendo en cuenta todas las expresiones con sentido por ellos elaboradas.

Resultados

Los modelos explicativos encontrados en el grupo de estudio para explicar el fenómeno de la respiración son: vitalista, teleológico, intercambio de gases, combustión y pseudo-molecular. A continuación se hace referencia a cada uno de los modelos mencionados.

Algunos de los aspectos característicos del *modelo vitalista* para la respiración son: la asignación de funciones purificadoras y de limpieza a la respiración y, de manera más específica, al oxígeno contenido en el aire respirado. De otra parte, se plantea que el oxígeno respirado es una fuente de energía para el organismo. El 8% de las respuestas dadas por los estudiantes se encuentra en este modelo. Las explicaciones inscritas en este modelo no se relacionan con la nutrición ni hacen referencia a procesos moleculares. Las expresiones que se muestran a continuación ilustran lo antes planteado.

1.14 “Porque al ingresar el aire está siendo purificada la sangre.”

15.14 “Porque el oxígeno es para purificar o limpiar, el gas carbónico es el residuo de la purificación.”

7.10 “La principal fuente de energía para los órganos vitales es el oxígeno, cuando hacemos nuestro proceso de respiración estamos proporcionándole energía al corazón y la sangre.”

Desde la perspectiva vitalista se sostiene que las cosas de la vida son cualitativamente diferentes de aquellas correspondientes a lo no vivo y, en consecuencia, que la vida de los organismos se debe a sustancias diferentes de aquellas que está constituidas la materia inerte, o, que existe alguna fuerza que anima, que da la vida, de

manera independiente de la constitución de los mismos materiales que la constituyen (NRC, 2005).

En el *modelo teleológico* consideramos aquellas expresiones de los estudiantes en las que se afirma que los seres vivos respiran porque es una condición necesaria para ellos, sin llegar a explicar los diferentes mecanismos respiratorios. Muchas respuestas coinciden en expresar que se respira por *necesidad*, para poder *funcionar* y para poder *sobrevivir* (12% de las respuestas); no se da ninguna explicación molecular al fenómeno de la respiración. En otras palabras, piensan que es algo *natural* de los seres vivos y por tal razón debe realizarse.

23.12 A. “Porque: nosotros necesitamos oxígeno para respirar puesto que sin esto no podríamos vivir es algo indispensable para el ser humano.”

2.16 “Porque: todos los seres vivos (humanos, animales y plantas) respiramos. Los que no respiran son los seres inertes sin vida.”

Si bien podemos considerar estos conceptos aceptables en un primer momento, también lo es que en las explicaciones realizadas por los estudiantes no se ve la necesidad de explorar nuevas respuestas a las preguntas planteadas. Al reconocer que la respiración es un proceso que todo organismo necesita realizar se pasan por alto todas aquellas explicaciones que tienen como propósito explorar el proceso de la respiración. En este caso se observa nuevamente una explicación del fenómeno desde aspectos macroscópicos. Desde las expresiones antes señaladas, los estudiantes reconocen la necesidad que tienen los organismos vivos de respirar, sin llegar a proponer algunas explicaciones acerca de la mencionada necesidad. En este modelo ubican en un primer plano la naturaleza de los seres vivos y justifican el proceso de la respiración desde allí, como se puede observar en las respuestas 2.1 y 2.14.

2.1. “Creo que los seres vivos respiramos por naturaleza, que viene con nosotros desde que nacemos”.

2.14. “Porque es el proceso de respiración además es algo natural que viene con nosotros desde que nacemos”.

En el *modelo de intercambio de gases* los estudiantes consideran que el oxígeno se transforma en dióxido de carbono, es decir, se asume que el oxígeno respirado se transforma de manera directa en CO₂. El 56% de las respuestas de los estudiantes se ubicaron en este modelo explicativo. El texto presentado a continuación ilustra lo antes dicho.

24.1 “La respiración es un mecanismo que se lleva a cabo en los pulmones donde sucede un intercambio gaseoso”.

Los estudiantes creen que en el intercambio de gases el oxígeno que entra al organismo se convierte en dióxido de carbono, el cual es eliminado como sustancia impura o dañina para el organismo. Clasifican los dos gases, el oxígeno como el gas bueno y el dióxido de carbono como la sustancia de desecho. El oxígeno es bueno porque permite que los órganos y en general el organismo funcione adecuadamente. Podría pensarse que estas creencias tienen su origen en los aportes de Priestley a partir de los cuales se propone que la sangre llega a los pulmones cargada de flogisto y sale desflogisticada.

Otras expresiones muestran un modelo de intercambio de gases en diferentes niveles: orgánico, sistémico, celular y molecular. Cuando los estudiantes ubican el intercambio gaseoso a nivel orgánico o sistémico, centran el concepto de respiración en las descripciones realizadas a partir de estudios morfológicos del pulmón y del sistema circulatorio durante los siglos XV y XVI desde la perspectiva galénica. Cuando los estudiantes ubican el proceso de intercambio de gases a nivel de los pulmones, hacen referencia a la mecánica respiratoria, sin tener en cuenta la microestructura de los pulmones, como lo postuló Malpighi. Algunos consideran que el oxígeno es el combustible de los pulmones, pero no explican molecularmente el proceso.

Se menciona el intercambio de gases a nivel celular y se asigna al oxígeno la función de producir energía sin llegar a hacer referencia a algún proceso químico o bioquímico particular. En las respuestas 24.17 se ubica el proceso a nivel celular, los estudiantes identifican a la mitocondria como la organela encargada de suministrar energía, sin llegar a hacer alusión a algún proceso bioquímico.

24.17 “El proceso como tal se efectúa en los pulmones, pero también en cada una de las células del organismo se da la respiración de la mano del metabolismo; se da mas exactamente en la mitocondria quien es el organelo encargado de suministrar energía.”

En estas respuestas el estudiante menciona que existen bacterias que metabolizan químicos y sales ácidas, en este sentido le dan importancia a algunas moléculas en el proceso de respiración. Este tipo de respuestas muestra, sin lugar a dudas, un conocimiento más detallado del proceso de respiración y de la participación de ciertos metabolitos aceptores de los equivalentes reductores producidos en los diferentes procesos oxidativos, tal como sucede en los organismos anaerobios. Este tipo de explicaciones

se ubica en el nivel molecular de la respiración y toma suficiente distancia de las explicaciones centradas en los órganos y sistemas, en los procesos de intercambio de gases y en el vitalismo.

En el *modelo combustión* se considera que el oxígeno es el combustible, es decir, la sustancia que se quema, como lo hace la gasolina en los carros. No mencionan que son los nutrientes como la glucosa o los ácidos grasos los que sufren los procesos de degradación con la consecuente producción de energía.

7.12 “... el oxígeno es con lo que los pulmones funcionan, es como la gasolina para los carros, es el combustible de los pulmones, pero teniendo en cuenta que podemos respirar el O₂ que hay en el aire, más no el que hay en el H₂O.”

Identificar al oxígeno como el combustible de los pulmones nos lleva a dos reflexiones de interés para la didáctica de las ciencias. La primera referida al uso de la analogía antes mencionada con las implicaciones a que esto lleva y, la segunda, en cuanto a la ubicación del proceso de combustión en los pulmones. En este segundo caso, y por extrapolación, si la combustión sucede en los pulmones, éste es el lugar en el que se produce la energía, el calor, el cual sería repartido, por todo el organismo, por la sangre.

En las respuestas 3.5 y 13.5 se hace referencia a que durante el ejercicio se realizan procesos de combustión. Mencionan que lo que se quema es la energía sin llegar a hacer referencia a la combustión como reacción química en la cual los alimentos que se absorben se queman. Para los estudiantes la energía en este caso se quema y no se genera como producto de la oxidación de los nutrientes.

3.5 “... para poder hacer una actividad física necesitamos tener una buena energía y así quemar calorías.”

13.5 “Al hacer cualquier actividad física se está quemando toda esta energía adquirida.”

El 22% de las respuestas de los estudiantes se localizaron en el *modelo pseudomolecular*. Son explicaciones que incluyen algunos aspectos moleculares de la respiración, sin embargo, no llegan a realizarlo de manera rigurosa. Por ejemplo, se menciona la oxidación del alimento sin explicar en que consiste el proceso de oxidación, o la relación que éste tiene con la producción de energía (ver respuestas 18.1).

18.1 “Cuando se respira lo que hace es que se oxida el alimento, con esto ellos pueden producir energía y irla utilizando a medida que la necesita, para cumplir con

las funciones vitales en las células, en los tejidos y en los órganos del cuerpo; además para poder interactuar con el medio”.

A nivel molecular los procesos bioquímicos que implican la respiración tienen que ver con la oxidación de nutrientes como la glucólisis, la beta-oxidación de ácidos grasos, el ciclo de Krebs, la cadena respiratoria y la fosforilación oxidativa. Para explicar los últimos dos procesos el modelo más aceptado en la actualidad es el quimiosmótico, el cual inició su desarrollo en 1932 con Vladimir Engelhardt, quien propuso el acoplamiento de dos procesos biológicos básicos para obtener energía: la oxidación de sustratos y la fosforilación del ADP. En 1953, E. C. Slater, postuló el acoplamiento de la fosforilación a la oxidación basado en las reacciones acopladas a energía a través de un intermediario químico de alta energía. Propuso que la energía liberada por el transporte de electrones queda atrapada en un intermediario químico de alta energía. En 1961, Peter Mitchell, propuso la hipótesis quimiosmótica para explicar el acoplamiento de la oxidación a la fosforilación. En esta hipótesis se destacan los siguientes eventos: la disposición espacial de los componentes de la membrana, la hipótesis del asa redox y la bomba de protones (demostrada experimentalmente por Marten Wikström). La característica más importante de la hipótesis quimiosmótica propuesta por Mitchell fue la idea de que la energía liberada por el transporte de electrones se almacenaba como un gradiente electroquímico de protones a través de la membrana interna de la mitocondria.

Discusión

Determinismo biológico como obstáculo para el aprendizaje. La respiración es considerada por algunos estudiantes como una condición natural de los seres vivos y, como tales, están diseñados para respirar. En este caso nos referimos a una perspectiva causal y mecanicista del universo y, con ella, de la explicación de los fenómenos relacionados con la respiración. En este marco determinista general encontramos expresiones de diferente naturaleza: en las que se dice “respiramos porque estamos programados para hacerlo”, y en las que se afirma, “respiramos por necesidad”. Estas respuestas de los estudiantes muestran, de una parte causalismo y, de otra, finalismo; en una principios deterministas y en la otra principios teleológicos del pensamiento biológico de los estudiantes.

Si bien la diferencia entre la explicación centrada en la “necesidad” y aquella que prioriza la “programación” en el proceso de respirar es sutil, consideramos que, en esencia, en los dos casos el interés se centra, de alguna manera, en un “modelo máquina” para explicar la respiración.

Niveles representacionales como obstáculos para el aprendizaje

La dimensión representacional del conocimiento es central en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Desde el ámbito de la biología, y de acuerdo con Mayr (1982), el mundo de la vida está organizado jerárquicamente de tal manera que las entidades en un nivel se incorporan en entidades del nivel inmediatamente superior, tal es el caso de las moléculas en las células, las células en los tejidos, los órganos en los sistemas funcionales, y los organismos en las poblaciones. Estas cuatro entidades, poblaciones, organismos, células y moléculas, se pueden constituir en un marco de referencia para el conocimiento de la biología. El conocimiento referido a los organismos se conoce como conocimiento fenoménico, el referido a las células como conocimiento mecánico y el referido a las moléculas como conocimiento físico. Esta categorización se ajusta a la noción ontológica, sin embargo, es considerada por diferentes autores como una reducción epistemológica (Thorpe, 1974; Mayr, 1988). En cierto sentido, se admite que las entidades de nivel superior contienen ontológicamente las entidades de su nivel más bajo, mientras que, epistemológicamente, subraya la complejidad de las interrelaciones entre entidades y niveles de la jerarquía.

Desde la perspectiva de las ciencias cognitivas, Rivière (1986) identifica tres niveles al hablar de representación: el fenoménico, el cognitivo y el máquina. La importancia de reconocer estos niveles de representación tienen funciones en la construcción y comprobación sucesiva de representaciones, cada vez más profundas, integradoras y alejadas de la información estimular. Para Rivière, cuando nos enfrentamos a un problema la selección adecuada del nivel representacional es el mecanismo más importante del pensamiento inteligente, de tal manera que recurrimos a las representaciones más profundas cuando las más simples no nos permiten llegar a su solución. Dentro de esta perspectiva es admisible pensar que la mente es capaz de mantener representaciones paralelas con diferentes grados de abstracción.

La integración de los tipos de conocimiento en biología (Mayr 1982) y los tipos de representaciones del conocimiento (Rivière 1986), descritas en los párrafos anteriores nos permiten precisar tres tipos de conocimientos y, con ellos, tres tipos de representaciones que nos permiten referirnos a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias biológicas. La representación fenoménica, referida a organismos y poblaciones, cuya naturaleza es ontológica, experiencial, de interacción con el mundo de la vida. La representación mecánica ó máquina, referida al funcionamiento celular y molecular, de naturaleza científica, técnica, práctica, con intencionalidad explicativa y propia de comunidades académicas o de expertos en los

diferentes campos. La representación mental ó simbólica, referida a situaciones físicas ó imaginarias encarnadas en sujetos y grupos sociales, de naturaleza ideativa e intersubjetiva. Para el aprendizaje de las ciencias biológicas estas tres formas de representar el conocimiento orientan acciones de enseñar: caracterizadas por:

- Interacción no lineal entre los diferentes tipos de conocimiento biológico y los distintos tipos de representación del conocimiento.
- Ausencia de procesos jerárquicos provenientes bien del ámbito de la biología o del de las ciencias cognitivas. Es decir, para el aprendizaje de la biología no se requiere seguir ni la organización lineal que va de moléculas a células a organismos a poblaciones (Mayr, 1982), ni la secuencia lineal que va del uso de representaciones simples a profundas en el proceso de resolver cierto problema (Rivière, 1986). Asimismo, tampoco se requiere seguir en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la biología la secuencia propuesta por Bruner & Haste (1990) en cuanto pasar secuencialmente de representaciones enactivas a icónicas y luego a simbólicas.
- Cierta funcionamiento autárquico entre las diferentes representaciones. Si bien en algún momento es posible recurrir a las secuencias lineales antes descritas, ello no es condición *sine qua non* para la enseñanza ni para el aprendizaje.
- Interacciones dialécticas entre los diferentes tipos de conocimiento biológico (fenoménico, mecánico, simbólico) y entre los diferentes registros semióticos de representación (proposicional, gráfico, gestual, modal, amodal, icónico, etc.) que puedan emplearse en cada tipo de conocimiento.
- Uso de cada tipo de representación de manera consciente e intencionada según los diferentes contextos de actuación.
- Reconocimiento de los alcances de cada uno de los tipos de representación y de los distintos tipos de registros semióticos empleados.

Los resultados de investigación descritos en páginas anteriores muestran que el conocimiento fenoménico determina en gran medida las representaciones que los estudiantes construyen sobre los fenómenos de la respiración; en otras palabras, la experiencia de los estudiantes, sus modos de pensar, los lenguajes que emplean en nuestro caso sobre la respiración, se ubican de manera específica

en la esfera óptica⁴, distanciándose de explicaciones en los ámbitos celular y molecular, modelos explicativos alejados de la experiencia directa de ellos.

Esta separación entre los tipos de representación fenoménica, mental/simbólico y mecánico/máquina debe ser objeto de reflexión en la enseñanza de las ciencias. Una de las vías empleadas propone que el profesor orienta acciones que favorezcan el tránsito de una representación fenoménica a otra que explique los fenómenos bioquímicos en el ámbito molecular. En este sentido, Köhlers (1999) señala que uno de los principales problemas para el aprendizaje de la respiración se debe a que los estudiantes realizan explicaciones macroscópicas de los fenómenos que observan y no realizan explicaciones en el nivel molecular, lo que se constituye en una especie de *caja negra* en el aprendizaje de la bioquímica. En términos de Solomon, “Physical conception and understanding are invaluable for simplifying and exploring the interwoven biological context, and can provide fruitful ideas for more investigations in biology instruction” (Solomon, Duveen & Hall, 1994).

Este movimiento orientado hacia el dominio de representaciones profundas que expliquen los fenómenos bioquímicos se asume como una perspectiva de aprendizaje por evolución conceptual de los estudiantes en la que interesa, como punto de llegada en cuanto al aprendizaje, lograr que los estudiantes empleen de manera adecuada las representaciones simbólicas al referirse a la respiración. Desde otra perspectiva evolutiva el interés es lograr que los estudiantes diferencien de manera consciente e intencionada los modelos explicativos que tienen sobre la respiración (Pozo, 1999; Gierle, 1992; Tamayo, 2007). Desde esta perspectiva de aprendizaje el estudiante aprendería a usar los diferentes tipos de representaciones según los contextos en los que requiera usarlos, es decir, cada uno de los modelos explicativos es pertinente según sus diferentes contextos de uso, lo que exige, según Pozo (1999), la diferenciación metacognitiva en el uso de los diferentes modelos explicativos del fenómeno.

La identificación del nivel representacional adecuado en el momento de resolver un problema se constituye en una de las acciones más importantes en la autorregulación de los procesos de aprendizaje. De tal manera que identificar los alcances de los modelos explicativos que tienen los estudiantes sobre la respiración les da la posibilidad de seleccionar de manera intencionada y consciente cierta explicación y no otra cuando se refieren a un fenómeno,

4 La esfera óptica puede según Carvallo (1961), resolver el problema de cómo el mundo es entendido de manera diferente por la ciencia y por la experiencia común, siendo el mismo mundo. (Ferrater Mora, 2001).

es decir, podemos recurrir a las representaciones más profundas cuando las más simples no nos permiten llegar a la solución del problema. Dentro de esta perspectiva de aprendizaje es admisible pensar que la mente puede mantener representaciones paralelas con diferentes grados de abstracción sobre un fenómeno (Riviere, 1986; Pozo, 1999; Tamayo, 2007).

Concepciones inducidas como obstáculos didácticos para el aprendizaje. Dentro de los múltiples obstáculos ontológicos encontrados destacamos fundamentalmente los derivados de las concepciones transmitidas o inducidas, por ser éstos los que están en relación más directa con los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Algunas de las principales concepciones inducidas encontradas en el grupo son las siguientes: indiferenciación entre los procesos de respiración y combustión, considerar el intercambio de gases como fuente de energía y tendencia generalizada a referirse a la respiración a nivel anatómico. Estas concepciones podrían estar muy influenciadas por los procesos de enseñanza vividos por los estudiantes, por los libros de texto, por los discursos de los profesores y en general por las propuestas curriculares orientadoras de este campo de estudio. En síntesis, pueden ser concepciones que son reforzadas desde la escuela y como tales pueden considerarse como obstáculos ontológicos.

Llamamos inicialmente la atención sobre los dos aspectos centrales en el grupo de estudio. El primero referido a la generalizada creencia por parte de los estudiantes de que la respiración es básicamente un fenómeno de intercambio de gases. Este supuesto epistemológico fuertemente arraigado en los estudiantes se ve reforzado por su experiencia cotidiana, en la cual un fenómeno explicable macroscópicamente, como la respiración vista como intercambio de gases a nivel sistémico, puede explicar un fenómeno que sucede a nivel molecular. Este paso del nivel macro (organismo) al nivel micro (oxidación, reducción, transporte electrónico, acoplamiento molecular, etc.) se constituye en uno de las más importantes obstáculos epistemológicos para el aprendizaje del concepto de respiración. En este sentido, compartimos la apreciación de Olsher & Beit (1999), cuando afirman que aprender los procesos bioquímicos se constituye en una especie de *caja negra* que fácilmente puede inducir errores conceptuales en los estudiantes.

El segundo en cuanto a la semejanza encontrada por los estudiantes entre respiración y combustión. Los estudiantes señalan como la principal función de la respiración la transformación de la energía mediante la combustión de oxígeno, de nutrientes o de ambos. La no distinción entre respiración y combustión, así como suponer que el oxígeno es la sustancia que se quema, se constituye en uno

de los obstáculos epistemológicos que deben enfrentar los profesores en el momento de la enseñanza. Es importante destacar que en la historia del campo conceptual de la respiración encontramos semejanzas con las ideas expresadas por los estudiantes.

Usos del lenguaje y analogías como obstáculos para el aprendizaje. Para Lavoisier, la respiración es una combustión lenta de una porción de carbono que contiene la sangre; de otra parte, el calor animal es mantenido por la porción calórica que se desprende en el momento de la conversión del aire vital de la atmósfera en gas carbónico, como ocurre en toda combustión del carbono. Con la analogía empleada por Lavoisier se da una explicación a varios aspectos ya discutidos en páginas anteriores: se asigna una función al oxígeno, se explica el origen del gas carbónico, se justifica la razón del mantenimiento de la temperatura corporal y se da la posibilidad de proponer explicaciones en el ámbito de lo molecular.

Debido posiblemente a la potencia de esta analogía por su alto poder explicativo, en la actualidad muchos estudiantes consideran que el oxígeno que llega a las células se utiliza para quemar los alimentos absorbidos y gracias a este proceso de combustión se obtiene la energía que el cuerpo necesita y, en especial, el calor que mantiene la temperatura corporal.

Se observa confusión importante en cuanto a *qué es lo que se quema* en la combustión. Son muy frecuentes las respuestas que señalan que se queman calorías o energía, expresión que desconoce las relaciones entre los procesos de nutrición y respiración. Si bien no estudiamos el origen de estas ideas en los estudiantes nos parece pertinente realizar alguna reflexión sobre el uso del lenguaje encontrado en estas expresiones. El proceso oxidativo de los nutrientes y de las reservas que tienen los organismos (carbohidratos y lípidos principalmente), produce energía, dióxido de carbono y agua principalmente. Expresiones como *quemar calorías* y *quemar energía*, son de uso generalizado en el lenguaje cotidiano de las personas, las cuales evocan de manera imprecisa la analogía de la combustión.

Conclusiones

Para la enseñanza de las ciencias la descripción de los modelos explicativos de los estudiantes se constituye en un punto de partida para pensar y planear la enseñanza. Para la identificación y caracterización de estos modelos realizamos, de una parte, un acercamiento desde la disciplina específica y, de otra, un acercamiento desde el ámbito de los procesos de enseñanza y aprendizaje. La integración de estos aspectos en nuestra investigación

nos permitió describir comprensivamente los modelos explicativos de estudiantes universitarios sobre los fenómenos relacionados con la respiración. Asimismo, nos llevó a identificar diferentes tipologías de obstáculos en el aprendizaje de la biología: Determinismo biológico, Tipos de representación, Concepciones inducidas, Usos del lenguaje y Analogías. Asimismo, caracterizamos de manera específica los principales obstáculos de los estudiantes frente al aprendizaje de este campo conceptual, los cuales enunciamos a continuación.

1. Asignar funciones purificadoras a la respiración y al oxígeno.
2. Considerar que el oxígeno es fuente de energía.
3. Desarticular la respiración de otros procesos celulares y del organismo.
4. Considerar que la respiración es cuestión de naturaleza
5. Considerar la respiración como intercambio de gases.
6. Imposibilidad de distanciamiento del mundo de lo concreto.
7. Génesis del dióxido de carbono y del agua en el proceso de la respiración.
8. Uso de analogías en la explicación de la respiración. Uso de lenguajes cotidianos para referirse a procesos bioquímicos y dificultad en el uso del lenguaje especializado.

La importancia central del estudio de los obstáculos para la enseñanza de las ciencias reside principalmente en cómo utilizarlos una vez identificados. Éstos de deben constituir en el punto de partida de los procesos de enseñanza. En la figura 2 representamos el proceso de la respiración a partir de la hipótesis quimiosmótica y localizamos los diferentes obstáculos antes identificados con el propósito de orientar reflexiones en el momento de enseñar el proceso de respiración.

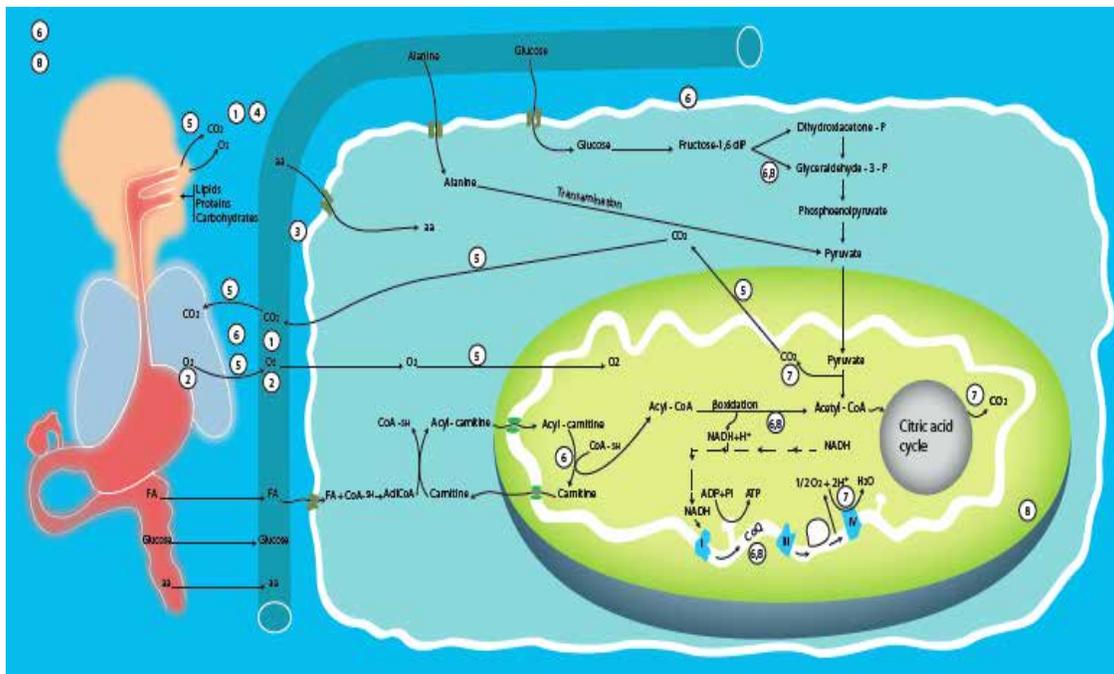


Figura 2. Representación del proceso de la respiración a partir del modelo quimiosmótico. El gráfico incluye los diferentes obstáculos obtenidos a partir del análisis de los datos recogidos: 1. Asignar de funciones purificadoras a la respiración y al oxígeno. 2. Considerar que el oxígeno es una fuente de energía. 3. Concebir la respiración independiente de otros procesos celulares y corporales. 4. Considerar la respiración como un fenómeno natural, una necesidad y una condición de los seres vivos. 5. Considerar la respiración como intercambio de gases. 6. Dificultad para tomar distancia del mundo concreto y para realizar explicaciones a nivel molecular. 7. Dificultad para identificar la génesis de dióxido de carbono y del agua en el proceso de la respiración. 8. Uso de analogías y de lenguaje cotidiano para referirse a los procesos bioquímicos y, por lo tanto, dificultad para usar el lenguaje especializado. Estos obstáculos deben ser el punto de referencia con el fin de planificar la enseñanza.

Referencias

- Astolfi, J-P., Peterfalvi, B. & Vérin, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences*. Retz: Paris.
- Bachelard, G. (1994). *La Formación del Espíritu Científico*. Siglo XXI: México.
- Banet, E. and Nuñez, F. (1990). Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 105-110.
- Barak, J., Sheva, B. and Gorodetsky, M. (1999). As 'process' as it can get: students' understanding of biological processes. *International Journal of Science Education*, 21, 1281-1292.
- Bligh, P. (1987). Teaching molecular bioenergetics. *Biochemical Education*, 15(3), 136-140.
- Bruner, J. & Haste, H. (1990). *La elaboración del sentido*. Buenos Aires: Paidós.
- Camilloni, A. (2001). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. Barcelona: Gedisa.
- Clement, J. J. (2008). Student/Teacher Co-vonstruction of Visualizable Models in Large
- Group Discussion. In: Clement, J. and Rea-Ramirez, M. (Ed.). *Modelo Based Learning and Insrtruction in Science*. Pp. 11-22. Springer. USA.
- Clement, J. J. and Rea-Ramirez, M. A. (2008). *Model Based Learning and Instruction in Science*. Springer. USA.
- Dupin, J.J. and Joshua, S. (1993). *Introduction a la didactique des sciences et des mathématiques*. PUF: París.
- Ferrater Mora, J. (2001). *Diccionario de Filosofía*. Barcelona: Editorial Ariel, S. A.
- Franco, C. and Colinvaux, D. (2000). Grasping Mental Models. In J. K. Gilbert and C. J.
- Boulter (Eds). *Developing Models in Science Education*. 93-118. Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Gentner, D. y Gentner, D. R. (1983). Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity. In: Gentner, D. & Stevens, A. L. (Eds.). *Mental Models*. (pp. 99-129). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Gilbert and C. J. And Boulter (Eds). *Developing Models in Science Education*. Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. and Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert and C. J. Boulter (Eds). *Developing Models in Science Education*. 3-18. Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Giordan, A. and de Vicchi, G. (1995). *Los Orígenes del Saber. De las Concepciones personales a los Conceptos Científicos*. Diada Editores: Sevilla.
- Giordan, A., Raichuarg-Jean, Marc, D. Gagliardi, R. and Canay, A. (1988). *Conceptos de Biología*. Labor: Barcelona.
- Greca, J. and Moreira , M. A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de la física en electricidad y magnetismo. *Didáctica de las Ciencias*, 16(2), 289-303.
- Grosbois, M., Rico, G. and Sirota, R. (1991). Les manuels, un mode de textualisation scolaire des savoir savant. *Aster*, 13.
- Hogan, K. and Fisherkeller, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Biological Education*, 33, 941- 970.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Harvard University Press: Cambridge. MA.
- Johnson-Laird, P. N. (1991). Mental Models. In: Posner, M. I. (Ed). *Foundations Cognitive Science*. (pp 469-500). The MIT Press: Cambridge.
- Khan, S. (2008). Co-construction and Model Evolution in Chemistry. In J. J. Clement and M. A. Rea-Ramirez (eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science*, 59-78. Springer.
- Köningsberg, M. (1999). A simple model to facility student's understanding of the mitochondrial respiratory chain. *Biochemical Education*, 27(1), 9-11.
- Leach, J., Driver, R., Scott, P. and Wood-Robinson, C. (1996). Children's ideas about ecology 2: ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education*, 18, 19-34.
- Mayr, E. (1982). *The growth of biological thought*. Cambridge, MA: Belknap Press.
- Mayr, E. (2001) *What evolution is*. New York: Basic Books.
- Meyer, D., Leventhal, H. y Gutmann, M. (1985). Common-sense models of illness: The example of hypertension. *Health Psychology*, 4, 115-135.
- Mitchell, P., (1988). Strategy of research on the chemiosmotic mechanism of cytochrome oxidase *FEBS Lett.*, 231: 270-271

- National Research Council (2005). 21st Century Biology. In: *Catalyzing inquiry at the interference of computing of biology*. 23-34.
- Nersessian, N. (2008). *Creating Scientific Concepts*. The MIT Press: Cambridge.
- Nicholls, D.G. (1982) *Bioenergetics*. Academic press: New York.
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In: Gentner, D. & Stevens, A. L. (Eds.). *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Nuñez, F. and Banet, E. (1996). Modelos conceptuales sobre las relaciones entre digestión, respiración y circulación. *Enseñanza de las Ciencias*. 14(3), 261-278.
- Nuñez-Oviedo, M. C. and y Clement, J. J. (2008). A competition Strategy and Other Modes for Developing Mental Models in Large Group Discussion. In J. J. Clerment and M. A. Rea-Ramirez (eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science*, 117-138. Springer.
- Olsher, G and Beit, B. O. (1999). Biotechnologies as a context for enhancing junior high-school student's ability to ask meaningful questions about abstract biological processes. *International Journal Science Education*, 21(2), 137-153.
- Orrego C, M., López Rúa, A. M. y Tamayo A. O. E. (2012). Modelos de inflamación en estudiantes universitarios. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, No. 1, Vol. 8, pp. 75-94. Manizales: Universidad de Caldas.
- Orrego C, M., López Rúa, A. M. y Tamayo A. O. E. (2013). Evolución de los modelos explicativos de fagocitosis en estudiantes universitarios". *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*. No. 1, Vol. 9, pp. 79-106. Manizales: Universidad de Caldas.
- Rea-Ramírez, M. A. (2008). Determining Target models and Effective learning Pathways for developing Understanding of Biological Topics. In J. J. Clerment and M. A. Rea-Ramirez (eds.). *Model Based Learning and Instruction in Science*, 45-58. Springer.
- Riviere, A. (1986). *Razonamiento y representación*. Siglo XXI: España.
- Sanders, M. and Cramer, F. (1992). Matric biology pupils' ideas about respiration: Implications for science educators. *South African Journal of Science*, 23, 59-63.
- Serrano, G. T. (1992). Desarrollo conceptual del sistema nervioso en niños de 5 a 14 años. Modelos mentales. Tesis Doctoral no publicada. Universidad Complutense. Madrid.
- Solomon, J., Duveen, J. and Hall, S. (1994). What's happened to biology investigations? *Journal of Biological Education*, 28, 261-266.
- Solsona, N. (1997). L'emergència de la interpretació dels fenòmens químics. Tesis doctoral no publicada. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- Songer, C. J. and Mintzes, J. J. (1994). Understanding cellular respiration: an analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 621-637.
- Tamayo A. O. (2001). Evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional. Aplicación al concepto de respiración. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- Tamayo, O., and Sanmarti, N. (2007). High-School Students' Conceptual Evolution of the Respiration Concept from the Perspective of Giere's Cognitive Science Model. *International Journal of Science Education*. Vol 29(2), 215-248.
- Tamayo, A. O. E. (2009). *Didáctica de las ciencias: La evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales: Editorial Universidad de Caldas.
- Thorpe, W. H. (1974). Reductionism in biology. In F. J. Ayala and T. Dobzhansky, (Eds.), *Studies in The Philosophy of Biology: Reduction and Related Problems*. London: Macmillan Press.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. (1992). Mental models of the earth: A study of the conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*. 24, 535-585.
- Vosniadou, S. (1997). On the development of the understanding of abstract ideas. In: Härnqvist & Burgen (Eds.). *Growing up with science. Developing early understanding of science*. Athenaeum Press: Great Britain.
- Vuala, J. (1991). Le rôle d'un dessin animé dans l'évolution des conceptions d'élèves sur la respiration. *Aster*, 13.
- Waheed, T. and Lucas, A. M. (1992). Understanding inter-related topics: photosynthesis at age 14 +. *Journal of Biological Education*, 26, 193-199.

Anexo 1

Nombre: _____ Fecha: _____

Parte A.

A continuación encontrarás una serie de preguntas frente a las cuales debes justificar claramente tu respuesta en las líneas dadas a continuación. Es muy importante que en las respuestas trates de explicar lo que crees que sucede, en tal sentido debes tratar de emplear todo el espacio dado para la respuesta.

1. ¿Por qué crees que los seres vivos respiran?

2. ¿Por qué al hacer ejercicio cambia nuestra respiración?

3. ¿Cómo crees que se relacionan la respiración y la nutrición?

4. ¿Qué crees que debe hacer un organismo para obtener energía después de tener un ayuno prolongado (16 horas)?

¿Por qué?

5. ¿Qué relaciones crees que se pueden establecer entre actividad física y energía?

¿Por qué?

6. ¿Cómo crees que obtiene la energía un deportista cuando hace ejercicios anaerobios (Levantamiento de pesas – 100 metros planos)?

7. ¿Por qué después de suspender la respiración por un minuto respiras de manera más acelerada?

8. ¿Crees que las plantas respiran? Sí_____ No_____

¿Por qué?

9. ¿Por qué sentimos que nos falta oxígeno cuando hacemos ejercicio?

10. ¿Cómo obtiene un organismo la energía para sus funciones vitales?

Parte B

A continuación te presentamos una serie de afirmaciones. Debes seleccionar:

- CA** si estás completamente de acuerdo
- A** si estás de acuerdo
- D** si estás en desacuerdo
- CD** si estás completamente en desacuerdo

Y además debes justificar claramente tu respuesta en las líneas dadas a continuación. Es muy importante que en las respuestas trates de explicar lo que crees que sucede, en tal sentido debes tratar de emplear todo el espacio dado para la respuesta.

11. El oxígeno que incorporamos cuando respiramos se usa para quemar los alimentos.	CA A D CD
¿Por qué?	

12. Sin oxígeno es imposible respirar.	CA A D CD
¿Por qué?	

13. Cuando un animal se muere se enfría.	CA A D CD
¿Por qué?	

14. La principal función de la respiración en un organismo es incorporar oxígeno y eliminar gas carbónico.	CA A D CD
¿Por qué?	

15. Correr, saltar, caminar o brincar son actividades que requieren de la respiración	CA A D CD
¿Por qué?	

16. A diferencia de los animales las plantas no respiran.	CA A D CD
¿Por qué?	

17. La respiración es un proceso que se efectúa en los pulmones.	CA A D CD
¿Por qué?	

18. La respiración permite mantener la temperatura corporal.	CA A D CD
¿Por qué?	

19. Sin el oxígeno es difícil conservar la vida por más de tres minutos	CA A D CD
¿Por qué?	

20. El oxígeno que inhalamos lo eliminamos en forma de dióxido de carbono	CA A D CD
¿Por qué?	