

Oscar Eugenio Tamayo Alzate*

Neus Sanmartí P.**

• **Resumen:** *Se realizó el estudio de las representaciones mentales de 21 estudiantes de 17-18 años (primero de bachillerato del sistema educativo español) sobre el concepto de respiración. Para su estudio se realizaron análisis orientados a lograr un mejor conocimiento de los aspectos epistemológicos, ontológicos y cognitivo-lingüísticos de los estudiantes; la integración de estas tres dimensiones de análisis nos llevo a construir representaciones mentales multidimensionales sobre el concepto de respiración. Desde la perspectiva epistemológica se ubicaron los textos escritos por los alumnos según los diferentes paradigmas explicativos de la respiración; el análisis ontológico nos llevo a identificar las principales concepciones de los estudiantes sobre el concepto analizado; el análisis cognitivo-lingüístico nos permitió conocer el tipo de discurso elaborado por los estudiantes así como su contenido y coherencia. En su conjunto el análisis multidimensional nos permitió identificar algunos obstáculos para el aprendizaje del concepto de respiración en el grupo estudiado.*

Palabras clave: *Representación, modelo, aprendizaje, cognición, ciencia, respiración.*

• **Resumo:** *Foi realizado um estudo a respeito das representações mentais de 21 estudantes de 17-18 anos (primeiro grau de bacharelado no sistema educativo espanhol) acerca do conceito de respiração. Para este estudo foram feitas análises orientadas a conseguir um melhor conhecimento dos aspectos epistemológicos, ontológicos e cognitivo-lingüísticos dos estudantes. A integração destas três dimensões de análise nos permitiu construir representações multidimensionais do conceito de respiração. Desde a perspectiva epistemológica foi possível classificar os textos escritos pelos alunos segundo os diferentes paradigmas explicativos da respiração. A análise ontológica levou-nos a identificar as principais representações mentais dos estudantes a respeito do conceito analisado. A análise cognitivo-lingüística nos permitiu conhecer o tipo de discurso elaborado pelos estudantes, bem como seu conteúdo e coerência. No seu conjunto, a análise multidimensional nos permitiu identificar alguns obstáculos na aprendizagem do conceito de respiração no grupo estudado.*

Palabras-chave: *Representação, modelo, aprendizagem, cognição, ciencia, respiração.*

• **Abstract:** *A study of the mental representations about the respiration concept was made with 21 students from 17 to 18 years old (first high school degree of the Spanish educational system). Data was analyzed in order to obtain a better knowledge of the epistemologic, ontologic and cognitive-linguistic aspects of the students' mental representations. The integration of these three dimensions of analysis led us to construct multidimensional mental representations concerning the respiration concept. From the epistemological perspective, the texts, written by the students, were classified according to the different explanatory paradigms of the respiration concept. The ontological analysis led us to identify the main conceptions of the students about the selected concept. The cognitive-linguistic analysis allowed us to identify the kind of discourse made by the students as well as its content and coherence. As a whole, the multidimensional analysis*

* Docente e Investigador, Doctorado en Ciencias Sociales, Niñez y Juventud, CINDE-Universidad de Manizales. Director de la Línea de Investigación en Cognición, Universidad Autónoma de Manizales. Dirección electrónica: oscaretamayo@hotmail.com

** Profesora Universidad Autónoma de Barcelona. Directora de la Revista Enseñanzas de las Ciencias ICE-UAB. Dirección electrónica: Neus.Sanmarti@uab.es

allowed us to identify some of the obstacles the participating students should face to comprehend the respiration concept.

Key words: *Representation, model, learning, cognition, science, respiration.*

Estudio multidimensional de las representaciones mentales de los estudiantes. Aplicación al concepto de respiración*

-Introducción.-Materiales y métodos.-Análisis y Discusión.-Representación mental general.-Representación mental de tendencia baja.-Representación mental de tendencia alta.-Conclusiones.-Bibliografía.

Primera revisión recibida Febrero de 2002; versión final aceptada noviembre de 2002 (Eds.).

Introducción

Un problema fundamental para la enseñanza y el aprendizaje es conocer cómo los sujetos representan mentalmente su conocimiento acerca del mundo, cómo operan con esas representaciones y cómo estas pueden construirse, re-construirse y cambiar tanto en contextos de enseñanza como en ambientes cotidianos. En la adquisición de tales representaciones se encuentran quienes defienden su origen en modelos proposicionales puros y quienes resaltan el valor funcional de las imágenes mentales en la construcción de estas representaciones. Desde el ámbito de la enseñanza-aprendizaje el interés ha de centrarse principalmente en la descripción, comprensión y transformación de los procesos que llevan a la construcción del conocimiento, más que en la definición de reglas que lo posibilitan. Describir, comprender y transformar los procesos seguidos por los estudiantes en la construcción de representaciones es indispensable para incidir significativamente en los procesos de aprendizaje, de igual manera, su desconocimiento nos lleva, de alguna forma, a actuar con mayor incertidumbre, lo que en última instancia puede incidir negativamente en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Las representaciones mentales son construcciones hipotéticas que tiene el sujeto para explicar o comprender un fenómeno, las cuales pueden diferir marcadamente en su contenido, más no en su formato representacional o en el proceso en que las personas las construyen y manipulan. El uso de nuestras representaciones, sean estas proposicionales, modelos mentales o imágenes mentales (Johnson-Laird, 1983), no se circunscribe a ambientes específicos, las empleamos para la resolución

* Trabajo de investigación realizado en el marco del programa de Doctorado en enseñanza de las ciencias experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona. Se presentan resultados parciales correspondientes a la investigación “Tendencias sobre el concepto de bioenergética en estudiantes de primero de bachillerato. Sus representaciones mentales”, realizada con estudiantes de 16-18 años. La mencionada investigación fue requisito para optar al título de Master en Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas; sus resultados parciales orientaron desarrollos posteriores en la temática del cambio conceptual en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales. Para la realización de estos estudios se contó con el valioso apoyo de la Universidad Autónoma de Manizales y de Colciencias durante los años 1997-2001.

de cualquier problema, sea éste del ámbito educativo, familiar o laboral; para ello ponemos en juego diferentes formatos para representar la información en los que son importantes, entre otros aspectos, la complejidad del problema, nuestra experiencia, los propósitos de la inferencia, y nuestra habilidad para utilizar inteligentemente los códigos de representación (Rivière, 1986). En tal sentido, cuando nos enfrentamos a un fenómeno determinado, el contenido de las representaciones mentales que construimos depende de las preguntas que nos queremos responder, depende de las necesidades e intereses del individuo. En otras palabras, en el conocimiento del mundo intervienen tanto lo que éste es, como las ideas que de él tenemos, y es la interacción entre estas dos dimensiones, la externa y la del mundo de las ideas, la que nos permite construir las representaciones. Es claro, además, que el hecho de añadir información a la representación no la hace más funcional; en muchos casos la nueva información puede sólo generar *ruido* y dificultar una mejor explicación o comprensión del hecho en cuestión.

Desde esta perspectiva general, las representaciones mentales son lo que la gente tiene realmente en su mente y lo que le guía el uso de las cosas. En su construcción influyen la percepción visual, la comprensión del discurso, el razonamiento, la representación del conocimiento y la experticia. Están orientadas, a su vez, por los conocimientos técnico-científicos de la persona, por su experiencia previa, por la forma en que procesamos la información y por aspectos motivacionales frente al contexto en que se construyen.

Los estudios pioneros realizados sobre las representaciones mentales desde la enseñanza y aprendizaje de las ciencias estuvieron orientados a describir cuáles eran las representaciones de los alumnos en dominios específicos del conocimiento, tanto aquellas que hacían referencia a conocimientos de orden intuitivo como las adquiridas mediante la enseñanza. En la actualidad se destaca la importancia de comprender las múltiples formas de representación a nivel mental, cómo son usadas por los estudiantes en su razonamiento, cómo se dan los procesos de construcción y de cambio de esas representaciones. Llegar a dar respuestas a estas preguntas requiere una aproximación multidimensional, en la que se integren aspectos provenientes de diferentes esferas como la epistemológica, la ontológica y la cognitivo-lingüística.

El análisis epistemológico se centró en el estudio de las concepciones de los estudiantes según se ubicaran éstas en los diferentes paradigmas explicativos de la respiración: aliento vital, intercambio de gases, combustión, oxidación y acoplamiento quimiosmótico.

El análisis desde la perspectiva ontológica se refiere a cómo los estudiantes imaginan la naturaleza de los objetos y de los eventos estudiados, se caracteriza por ser un razonamiento práctico que informa acerca de las cosas que pueden pasar obviamente y lo que nosotros podemos esperar que pase en situaciones cotidianas. El análisis ontológico evalúa la forma en que un estudiante percibe la naturaleza de las cosas que está estudiando. Desde el ámbito de la respiración, las concepciones ontológicas de los estudiantes se desarrollan desde la idea de la respiración como aliento vital o cómo intercambio de gases hasta otras ideas en las que tengan en cuenta aspectos moleculares en sus explicaciones.

En cuanto al análisis cognitivo-lingüístico consideramos que la explicación más importante es la contenida en la macroestructuras semántica o coherencia global; sin esta no habría control sobre las conexiones locales realizadas y las que le suceden. La ausencia de coherencia global puede llevar a conectar las oraciones de manera apropiada según criterios de coherencia local donde se vinculan hechos o factores sin llegar a relacionarse en función de un tópico específico. En otras

palabras, la coherencia global del texto orienta el establecimiento de relaciones entre las diferentes proposiciones y oraciones utilizadas en el discurso y a su vez es la información semántica que da unidad total al discurso. En tal sentido, consideramos el análisis de la coherencia como la información más relevante en cuanto al contenido de los textos elaborados por los estudiantes.

Los estudios sobre las representaciones mentales de los estudiantes en el área de las ciencias son amplios en la actualidad. Son estudios que avanzan en el conocimiento del contenido de las representaciones mentales de los alumnos en temas específicos del conocimiento. Para nuestro caso, nos centraremos específicamente en el concepto de respiración celular, concepto con una larga historia que va desde considerar la respiración como una condición para la vida y para la conciencia hasta concebirla como un fenómeno molecular sucedido a nivel mitocondrial. 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 es un concepto que tiene multiplicidad de significados en los que se encuentra la tendencia generalizada a considerarlo como el simple intercambio gaseoso, distanciado casi por completo de los procesos de transformación de energía por el organismo. Como si fuera poco, es un concepto que requiere para su comprensión el conocimiento detallado de un número importante de conceptos químicos, fisicoquímicos, bioquímicos y biológicos y sus relaciones, lo que hace indudablemente más difícil su aprendizaje significativo.

Materiales y métodos

Los propósitos centrales de la investigación son: describir las representaciones mentales de estudiantes de 1° de bachillerato (17-18 años del sistema educativo español) sobre el campo conceptual de la respiración desde las perspectivas epistemológica, ontológica y cognitivo-lingüística e identificar posibles obstáculos que dificultan el aprendizaje del campo conceptual de la respiración.

La primera fase de la investigación (presentada en este artículo), incluye la descripción de las representaciones de los estudiantes desde las tres perspectivas de análisis propuestas, (Tamayo, 1999). La segunda fase (no incluida), permitió un conocimiento más profundo sobre la evolución conceptual multidimensional de las representaciones de los estudiantes, así como identificar posibles obstáculos en el aprendizaje del concepto de respiración (Tamayo, 2001).

La investigación se realizó con un curso de 21 estudiantes de 1° de bachillerato (17-18 años de edad) del sistema educativo español. Se recogió información sobre el campo conceptual de la respiración en el cual consideramos los siguientes paradigmas centrales: aliento vital, intercambio de gases, combustión, oxidación y acoplamiento quimiosmótico, (Tamayo, 1999). Para la recolección de la información se plantearon afirmaciones en las cuales el estudiante debía seleccionar una de cuatro opciones (CA: completamente de acuerdo, A: acuerdo, D: en desacuerdo, y CD: completamente en desacuerdo); cada una de estas afirmaciones estaba acompañada de un espacio en blanco donde el estudiante debía explicar su respuesta. Se propusieron además preguntas abiertas referidas a situaciones cotidianas relacionadas con la respiración. Se incluyen también preguntas en las cuales los alumnos debían responder mediante el empleo de dibujos, esquemas, gráficas, etc. (ver cuadro 1).

Cuadro 1: Algunas de las preguntas empleadas para la recolección de la información

- 1.- Cuando estas realizando algún ejercicio (corriendo, jugando...) habrás notado que respiras más rápido que cuando estas en reposo. A qué crees que se deba esta diferencia en la respiración?
- 2.- A continuación te presentamos una serie de afirmaciones. Debes escribir: **CA** si estás completamente de acuerdo, **A** si estás de acuerdo, **D** si estás en desacuerdo, **CD** si estás completamente en desacuerdo
Para cada una de las preguntas planteadas debes explicar tu respuesta.
- No existe relación entre los procesos de respiración y de nutrición.
¿Por qué?
 - La principal función de la respiración es tomar oxígeno y liberar gas carbónico.
¿Por qué?
 - Al respirar, el oxígeno nos da la energía que necesitamos para nuestras funciones.
¿Por qué?
 - La respiración de un animal que tiene pulmones es similar a la de un organismo sin pulmones.
¿Por qué?

Análisis y discusión

La información recogida se analizó inicialmente desde las perspectivas epistemológica, ontológica y cognitivo-lingüística a partir de la elaboración de redes sistémicas (Bliss, Monk y Ogborn, 1983); posteriormente se integraron estos tres análisis lo que llevó a la construcción de diferentes representaciones para el concepto de respiración en las que se integran los tres análisis realizados.

El análisis epistemológico realizado nos puede orientar en la identificación de algunos obstáculos de esta naturaleza encontrados en el grupo de estudio que dificultan el aprendizaje significativo del concepto estudiado. 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 es la respiración vista como intercambio de gases a nivel sistémico, puede explicar un fenómeno que sucede a nivel molecular. Este paso del nivel macro al nivel micro (oxidación, reducción, transporte electrónico, acoplamiento molecular, etc.) se llega a constituir en una de las más grandes dificultades a superar por parte de los estudiantes.

Encontramos como obstáculo epistemológico importante para el aprendizaje del concepto de respiración la dificultad para la comprensión de la respiración cuando se pasa de un nivel macroscópico a un nivel microscópico, para lo cual se requiere una profunda comprensión de la naturaleza corpuscular de la materia. En este sentido compartimos la apreciación de Olsher & Beit (1999), cuando afirman que los procesos bioquímicos se constituyen en una especie de *caja negra* que fácilmente puede inducir errores conceptuales en los estudiantes.

Otro aspecto de interés se refiere a la semejanza encontrada por los estudiantes entre la respiración y la combustión. Más que volver sobre la discusión anterior entre procesos macroscópicos y microscópicos, nos interesa centrarnos en la intencionalidad funcional asignada a la respiración. Se identifica como la principal función de la respiración la transformación de la energía mediante la combustión de oxígeno, de nutrientes o de ambos. Es importante destacar que en la historia del campo conceptual de la respiración encontramos semejanzas con las ideas expresadas por los estudiantes. Igualmente, desde la perspectiva epistemológica vemos como una de las rupturas importantes pasar a considerar la respiración como algo diferente de la combustión. En el ámbito ontológico podremos hallar también posibles evidencias del origen de esta relación asociada directamente al concepto de *quemar*.

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.

El análisis cognitivo-lingüístico se centró en el estudio de la coherencia (Van Dijk 2000), pertinencia y exigencia conceptual (Tamayo, 1999; Tamayo y Sanmartí 2001) de las explicaciones realizadas por los estudiantes. El propósito central de este análisis fue el de identificar el tipo de discurso utilizado por los estudiantes así como su contenido. Tener en cuenta las múltiples influencias epistemológicas, ontológicas y cognitivo-lingüísticas en el análisis del discurso escrito de los estudiantes nos proporciona herramientas valiosas en la comprensión de la coherencia global del discurso.

A continuación caracterizaremos las representaciones mentales predominantes en el grupo de 1º de bachillerato. Inicialmente realizaremos una descripción general, o *representación mental general*, que integra las tres categorías analizadas. Esta primera descripción se constituye en un núcleo común a partir del cual mostramos dos tendencias, las representaciones mentales de *tendencia alta* y de *tendencia baja*, que ilustran ciertos distanciamientos de la representación mental general descrita inicialmente.

Representación Mental General

En la representación mental general se concibe como la principal función de la respiración la transformación de la energía, (67%). Llama la atención la poca diferenciación que se hace en cuanto al proceso que implica la respiración, el 81% de los estudiantes la relacionan con los procesos de intercambio de gases y de combustión. El proceso asociado con la respiración se centra a nivel del sistema cardiorrespiratorio, dentro del cual es frecuente encontrar descripciones más o menos detalladas del recorrido realizado tanto por el oxígeno como por la sangre, lo que de alguna manera supone el develamiento de concepciones inducidas. Las explicaciones elaboradas por los estudiantes, en las que se sigue una secuencia causal de proposiciones y oraciones, suponen la

existencia de pensamiento causal simple; en éstas es frecuente encontrar referencias a la ubicación de la respiración a nivel celular sin llegar a precisar aspectos relevantes tanto a nivel estructural como funcional. Relacionado con lo anterior, se observa la realización de representaciones gráficas para la respiración centradas en el sistema cardiorrespiratorio, no obstante en los discursos *se hable* a nivel celular.

El análisis de los discursos realizados por los estudiantes muestra la tendencia a elaborar textos con coherencia global condicional (67%), en los que la exigencia conceptual es moderada, (una media de 4 proposiciones diferentes empleadas en el texto), con predominio de discursos coherentes estables y descriptivos (reproductivos). En este sentido son comunes textos en los que los estudiantes enlazan de manera lineal proposiciones, y se obtiene como resultado final una explicación en la que no es clara la funcionalidad de cada una de las oraciones utilizadas al significado global del texto. Con base en esta descripción general. Creemos conveniente realizar interpretaciones más finas las cuales nos conducirán a definir con mayor detalle ciertas tendencias las cuales presentamos como representaciones mentales de *tendencia baja* y de *tendencia alta*.

Representación mental de *tendencia baja*

Es característico dentro de esta tendencia la ubicación de la respiración a nivel principalmente de ciertas partes del cuerpo dentro de las que se destacan el sistema cardiorrespiratorio, los pulmones y el corazón. En este sentido señalamos afirmaciones como:

...el corazón funciona más rápido para bombear más cantidad de sangre...

...el corazón funciona más rápido ...y por lo tanto el sistema respiratorio debe coger más oxígeno...

Complementarias con la ubicación de la respiración encontramos conceptualizaciones enfocadas a definir el proceso por el cual ésta sucede. Se destacan en este aspecto tres tendencias: se concibe el intercambio de gases a nivel celular,

...la respiración no sólo es pulmonar sino también celular, que es cuando se produce el intercambio de O₂ con CO₂ en las células...

...en la respiración celular se utiliza el oxígeno... para liberar CO₂ y agua...

...[las células] recogen el oxígeno y así podemos sacar el carbónico..

pulmonar

...el árbol produce oxígeno el cual nosotros recogemos por... hasta los pulmones que intercambian el aire (oxígeno) por el carbono...

“cogen” el O₂ y a través de los alvéolos y pulmones y demás liberamos CO₂.

y corporal

...lo que el cuerpo necesita es oxígeno y lo que desecha es el dióxido de carbono...

...el organismo necesita más oxígeno el cual es transportado por la sangre... a todo el organismo...

...a través de la inspiración, inspiramos O₂, este oxígeno pasa a través de los pulmones, a los alvéolos y de ahí a las células de la sangre y son repartidos por todo nuestro organismo. Y a través de la expiración, expiramos CO₂...

...respiramos ...para poder repartir el oxígeno por todo el cuerpo, a los pulmones, músculos...

La función central asignada a la respiración dentro de este modelo es la de obtención de energía, lo cual puede darse bien sea a nivel celular o pulmonar. Los tres tópicos antes planteados,

ubicación, proceso y función de la respiración, definen inicialmente esta representación mental, dentro de la cual se distinguen ciertas concepciones transmitidas en las cuales los estudiantes hacen referencia a diferentes aspectos morfológicos y a determinados procesos fisiológicos que hacen parte de la respiración. Estas diferentes expresiones empleadas por los alumnos pueden provenir de su interacción con el medio, con los libros de texto, con el sistema educativo, con los medios de comunicación, etc. Como ilustraciones de lo anterior tenemos:

“Parte del aire de nuestro alrededor pasa a la sangre y a los glóbulos rojos son los que se encargan de llevarlos a las células. Como las células necesitan muchos nutrientes y mucho oxígeno, el corazón funciona más rápido para “bombear” más cantidad de sangre y por lo tanto el sistema respiratorio debe de coger más oxígeno.

“el árbol produce oxígeno el cual nosotros recogemos por la nariz o por la boca, baja por la tráquea hasta los pulmones que intercambian el aire (oxígeno) por el carbono el oxígeno llega a la célula que lo transporta al corazón mediante la sangre que luego el corazón reparte por todo el cuerpo.”

“en la respiración hay dos procesos: la inspiración y la expiración. La inspiración es un proceso en el que cogemos oxígeno. Los pulmones se hinchan de O₂, y se produce la combustión de O₂ en las células. La expiración es el proceso en el que liberamos el CO₂ de nuestro cuerpo. Los pulmones vuelven a su estado normal.”

Es importante dentro de los textos citados identificar el tipo de discurso empleado por los estudiantes. Son discursos en los que abundan los términos y/o conceptos relacionados con el campo conceptual de la respiración, en los que se observa poca coherencia global. El uso de términos y conceptos específicos dentro del campo conceptual de la respiración al interior de un discurso poco coherente en su conjunto, hace pensar en la existencia de una fuerte tendencia encaminada a la producción de discursos con poco sentido. La aparente necesidad de incluir en su propio discurso aquellos conceptos que a la luz del conocimiento actual y del saber popular se hacen imprescindibles para explicar un fenómeno determinado, lleva a su uso de manera indiscriminada, incoherente y en muchos casos inadecuada.

Esta característica central identificada en los textos citados nos lleva a pensar en la elaboración, por parte de los estudiantes, de discursos netamente reproductores, descriptivos o repetitivos, en los que han mediado de manera determinante los discursos del profesor y del texto escolar. Son discursos que superficialmente aparecen como adecuados y coherentes, sin embargo, un análisis detallado tanto de su estructura como de su significado nos lleva a reconocer dificultades importantes referidas a su estructuración lógica, al uso de las proposiciones y conectores de manera adecuada, al empleo de los conceptos centrales en la explicación que se realiza y su relación con proposiciones complementarias, al significado aislado de los diferentes conceptos empleados y al significado global del discurso.

En los textos estudiados es igualmente fácil identificar concepciones alternativas, las cuales, como se ha planteado anteriormente, se originan en la esfera sensorial y perceptiva de los estudiantes. Desde esta perspectiva encontramos, entre otras, afirmaciones en las que se considera al oxígeno como fuente de energía, a la sangre o al movimiento como responsables de la temperatura corporal y la independencia entre la nutrición y la respiración.

En su conjunto las concepciones alternativas y las transmitidas reúnen algunos de los condicionantes de orden ontológico para el aprendizaje de los conceptos, los cuales interactúan con

elementos provenientes de la epistemología de los alumnos dando lugar a nuevas construcciones conceptuales.

En relación con los aspectos anteriores ubicamos los condicionantes de orden cognitivo-lingüístico, dentro de los que destacamos para la representación mental de *tendencia baja* la elaboración de discursos escritos con secuencias causales, así como coherencia local condicional adecuada y coherencia global baja. El alto uso de conectores causales tanto en expresiones cortas (72%), como en textos largos (67%), y la organización de las proposiciones de manera lineal, (90%), hace pensar en el empleo del pensamiento causal por parte de los alumnos.

Es característico dentro de esta tendencia el empleo de un número bajo de proposiciones o variables dentro del discurso explicativo elaborado por los estudiantes. Las pocas variables identificadas, en general 2 o 3, se relacionan de manera lineal. Incluir aspectos relativos al conocimiento conceptual en la definición de las representaciones mentales es importante en la medida en que la exigencia cognitiva es mayor en la elaboración del discurso, además, la representación mental versa, de hecho, sobre algo bien sea real o ideal. A continuación presentamos, a modo de ilustración, un texto ubicado dentro de la tendencia baja del modelo mental general, en el que identificamos algunos de los tópicos antes planteados, (ver tabla 1).

Tabla 1: Ejemplo ilustrativo de una representación mental de *tendencia baja* con las tres dimensiones de análisis realizadas

Texto: <i>El árbol produce oxígeno el cual nosotros recogemos por la nariz o por la boca, baja por la tráquea hasta los pulmones que intercambian el aire (oxígeno) por el carbono el oxígeno llega a la célula que lo transporta al corazón mediante la sangre que luego el corazón reparte por todo el cuerpo. Con el carbono lo recuperan los árboles que lo transforman en oxígeno.</i>		
Aspectos epistemológicos	Aspectos ontológicos	Aspectos cognitivo-lingüísticos
Se considera la respiración como intercambio de gases, centrada en el sistema cardiorrespiratorio.	Concepciones: <ul style="list-style-type: none"> • El árbol produce oxígeno • Tal transporte de oxígeno por el cuerpo • Los árboles transforman el carbono en oxígeno • Los pulmones son los encargados del intercambio de gases. 	Uso de conectores causales y de razón. Secuencia lineal de proposiciones. Coherencia global baja. Baja exigencia conceptual (bajo número de variables en el discurso) Uso de pensamiento causal simple

Representación mental de *tendencia alta*

Una segunda tendencia de la representación mental general que se destaca dentro del grupo estudiado considera la respiración como una combustión, en la que la función central es la producción de energía mediante los nutrientes o el oxígeno los cuales entran en combustión a nivel celular o pulmonar. A diferencia de la representación mental de *tendencia baja*, en esta se

encuentran como aspectos importantes el mayor número de variables o proposiciones utilizadas en el discurso. Estas proposiciones están dispuestas causalmente, aunque muestran recurrencia, además pueden llegar a relacionarse de manera compleja. Dentro de esta tendencia es importante resaltar la coherencia global funcional del discurso; el estudiante tiene clara la estructura global explicativa acerca del fenómeno estudiado y con el propósito de hacerlo explícito emplea diferentes recursos conceptuales provenientes de otros paradigmas sin llegar a contraponerlos. En otras palabras, pone al servicio de su discurso aportes de otros paradigmas, llegando en última instancia a dar una explicación coherente, una explicación, en la que para el caso de la respiración, cobra sentido de complementariedad más no de contradicción.

Es importante mencionar, desde una perspectiva exclusivamente lingüística, que esta estructura global explicativa no necesariamente tiene que ser correcta, en otras palabras, el uso de ciertas proposiciones o unidades de significado del texto pueden llegar a ser empleadas de manera imprecisa lo cual daría cierta incoherencia al texto, sin embargo, destacamos la presencia de una intencionalidad funcional en la elaboración del discurso. La búsqueda de coherencia global en el texto le permite al estudiante realizar un control más preciso sobre las conexiones locales que se proponen y las que les siguen, se evita con esto el establecimiento de relaciones adecuadas entre las oraciones según criterios de coherencia local, lo cual podría conducirle a perder el sentido global del discurso.

Dentro de esta línea de pensamiento, tampoco importa la validez general del discurso a la luz de diferentes visiones paradigmáticas del fenómeno estudiado, es decir, cobra importancia el uso de proposiciones con intencionalidad funcional orientadas a dar explicaciones, especificaciones, ejemplos, comparaciones, contrastes o generalizaciones, de manera independiente de los diferentes paradigmas dentro de los cuales se pueden realizar los discursos. La elaboración de textos con coherencia global funcional muestra cierto distanciamiento de la realidad inmediata, cierta descentración de la contigüidad espaciotemporal característica del pensamiento causal simple.

Con los dos párrafos anteriores no pretendemos restar importancia al contenido del discurso, ni sobreponemos a éste elementos estructurales o funcionales derivados de la esfera de lo lingüístico. Consideramos indisoluble la relación entre el contenido del discurso y su forma, sin embargo lo anotado en los párrafos señalados identifica un logro importante en los estudiantes en cuanto a *aventurarse* a construir explicaciones funcionales acerca de los fenómenos observados. En otras palabras, podría tratarse de un paso importante hacia el logro del aprendizaje significativo de las ciencias, en el que es importante tomar distancia de aquellos razonamientos orientados primordialmente por la causalidad simple.

En esta tendencia el empleo de un mayor número de variables dentro del discurso y las relaciones establecidas entre ellas hace que el texto sea más rico conceptualmente, y a su vez que sea más exigente desde la perspectiva cognitiva. Conviene recordar en este momento que una representación mental no se constituye solo desde la perspectiva conceptual, en su construcción juegan papel determinante aspectos lingüísticos, culturales, experienciales, motivacionales y cognitivos, entre otros. Todos estos elementos constituyen en su conjunto la representación mental del estudiante la cual puede ser más o menos: precisa, estable, coherente, rigurosa, rica conceptualmente y exigente cognitivamente. A continuación presentamos, a modo de ilustración, un texto ubicado dentro de la *tendencia alta* en la que identificamos algunos de los tópicos antes planteados, (ver tabla 2).

Tabla 2: Ejemplo ilustrativo de una representación mental de *tendencia alta* con las tres dimensiones de análisis realizadas

<p>Texto: <i>Las células de nuestro organismo al estar sometidas a una actividad que no es habitual como andar, correr, etc. necesitan más oxigenación, porque a través de un proceso llamado respiración celular, mediante el oxígeno “queman” los nutrientes para conseguir más energía para dicha actividad. Esta energía debe ser muy alta cuando hacemos ejercicio, por eso se necesita mucho oxígeno. Basándonos en esto primero debemos captar ese oxígeno y para ello tenemos el sistema respiratorio. Parte del aire de nuestro alrededor pasa a la sangre y a los glóbulos rojos son los que se encargan de llevarlos a las células. Como las células necesitan muchos nutrientes y mucho oxígeno, el corazón funciona más rápido para “bombear” más cantidad de sangre y por lo tanto el sistema respiratorio debe de coger más oxígeno. Debido a esto respiramos más de prisa.”</i></p>		
Aspectos epistemológicos	Aspectos ontológicos	Aspectos cognitivo-lingüísticos
<p>Respiración como combustión. Ubicación celular Visión pluriparadigmática del campo conceptual de la respiración</p>	<p>Concepciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relación actividad física con la demanda de oxígeno. • Sistema respiratorio: componentes y función. • Función de los glóbulos rojos • Oxígeno como fuente de energía 	<p>Uso de conectores causales. Secuencia de proposiciones tanto lineal como recursiva. Alto número de proposiciones empleadas en el discurso. Alta exactitud en el uso de las proposiciones Coherencia local funcional Alta coherencia global del discurso. Tendencia a emplear pensamiento causal complejo.</p>

Las tendencias alta y baja presentadas anteriormente podemos considerarlas como los extremos dentro del grupo de estudio analizado. En este sentido, la tendencia baja sería la menos evolucionada en términos generales, mientras la alta la más evolucionada. Como es de esperar, entre estos dos extremos podemos encontrar múltiples representaciones que difieren en alguno o algunos de los criterios centrales empleados en la categorización realizada. A continuación mostramos esquemáticamente la ubicación de las representaciones antes discutidas. (Ver figura 1).

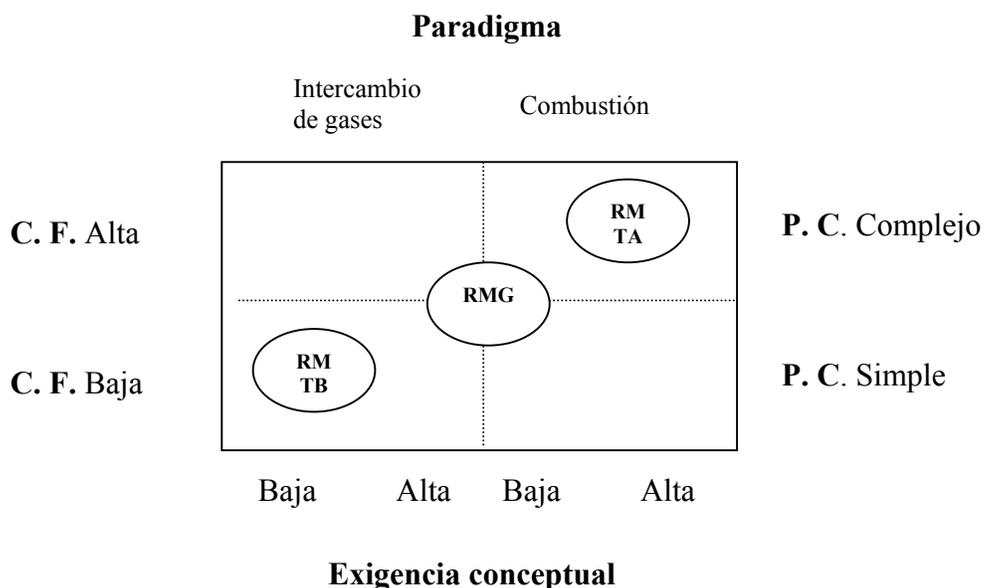


Figura 1: Esquema de las diferentes representaciones mentales de los estudiantes según los análisis realizados. C.F.:Coherencia Funcional, P.C.: Pensamiento Causal, RMG: Representación Mental General, RMTB y RMTA Representaciones Mentales de Tendencia Baja y Alta respectivamente

Las diferentes dimensiones de análisis incluidas en el esquema anterior reúnen los aspectos epistemológicos, ontológicos y cognitivo-lingüísticos que permiten explicar y comprender las representaciones mentales expresadas por los estudiantes.

Conclusiones

El estudio de las representaciones mentales de los estudiantes en los diferentes campos del saber desde la perspectiva de la enseñanza de las ciencias tiene como propósito central conocer en detalle los procesos mediante los cuales los estudiantes construyen y reconstruyen su conocimiento. Para ello creemos necesario afrontar su estudio desde una perspectiva multidimensional en la cual se consideren aspectos de diferente naturaleza, tales como los epistemológicos, ontológicos y cognitivo-lingüísticos. Queda claro que en la elaboración de las mencionadas representaciones ponemos en juego aspectos provenientes de nuestra experiencia, así como nuestras motivaciones, intereses, creencias y conocimientos específicos.

Consideramos que el estudio multidimensional de las representaciones mentales de los estudiantes se constituye en un punto de partida para orientar acciones encaminadas a lograr la evolución de los conceptos científicos y, en última instancia, alcanzar aprendizajes más significativos. Su estudio nos permite identificar obstáculos de diferente naturaleza en el aprendizaje de las ciencias y nos aporta al conocimiento de los procesos de enseñanza sobre la formación y transformación conceptual de los estudiantes. Esta perspectiva multidimensional en el estudio de las representaciones mentales se constituye en orientadora de los procesos de enseñanza-aprendizaje en la medida en que considera que en la formación de las representaciones

mentales, y con ellas de los conceptos científicos, influyen además de los aspectos conceptuales propios del campo de estudio, otras dimensiones como la epistemológica, la ontológica y la cognitivo-lingüística, entre otras. A continuación nos referiremos a algunas conclusiones específicas para las tres perspectivas de estudio analizadas, (un mayor desarrollo se encuentra en Tamayo, 1999).

Plantear que los discursos elaborados por los estudiantes son causales no es nuevo, (Gutiérrez, 1996; Pozo, 1987), sin embargo, consideramos importante destacar algunas diferencias entre los distintos tipos de explicaciones causales encontradas. Se observa la tendencia general a elaborar discursos en los que no es clara la funcionalidad de las diferentes proposiciones utilizadas en el conjunto total de la explicación. Esta baja coherencia funcional esta acompañada, en general, con el uso de un bajo número de proposiciones diferentes, (bajo número de variables en la explicación), lo cual conduce a la elaboración de discursos que siguen secuencias causales o condicionales con poco poder explicativo.

Relacionado con lo anterior se encuentra la dificultad para dar un significado global en las explicaciones realizadas por los estudiantes, debido a la ausencia de proposiciones o ideas unificadoras en función de las cuales se construya el discurso en su totalidad. La ausencia del carácter funcional en la explicación puede llevar fácilmente al estudiante a desenfocar su intencionalidad explicativa inicial y terminar con la construcción de discursos a manera de mosaicos de ideas o de proposiciones.

Otro aspecto de importancia es la aparente relación directa encontrada entre los discursos elaborados por los estudiantes, los del libro de texto y los del profesor. Aunque estudiar esta relación no fue uno de los objetivos de la presente investigación, si es evidente el empleo de términos científicos sin significado claro, lo que hace pensar en el empleo de un lenguaje aprendido de manera superficial y repetitiva, muy distante de lo propuesto, entre otros, por Lemke (1997) y Jorba y Sanmartí (1997).

Como tercera conclusión destacamos la falta de coherencia entre las explicaciones escritas realizadas por los estudiantes y sus representaciones gráficas. Mientras sus discursos hacen referencia a la ubicación celular de la respiración, sus representaciones gráficas se centran exclusivamente a nivel de sistema respiratorio, en el que los pulmones desempeñan la función central.

Ambientar las anteriores conclusiones en una clase real nos ubica frente a una cantidad de posibles obstáculos cognitivo-lingüísticos que influirán decisivamente en el logro de aprendizajes significativos por parte de los estudiantes. Su superación implica adentrarnos en la importancia del análisis de los discursos producidos y utilizados en el aula, saber cómo se negocian sus significados, cómo adquieren nuevos significados, cómo son representados y cómo son utilizados para nuevas construcciones conceptuales.

Dentro de las concepciones alternativas más destacables en el grupo de estudio encontramos las orientadas a señalar directamente a la sangre o al movimiento como responsables de la temperatura corporal, sin llegar a establecer alguna relación con el proceso de la respiración. Se observa también cierta tendencia a considerar al aire, al oxígeno o a la energía como *sustancias* negativas que deben ser eliminadas por el organismo mediante la respiración. Las explicaciones antes mencionadas se caracterizan por presentar un lenguaje más cercano a la cotidianidad del estudiante; es un lenguaje en el que no se encuentra mucha similitud con el discurso característico

del texto escolar o del profesor. En suma, podríamos considerarlas, al menos hipotéticamente, como posibles obstáculos de orden ontológico para la construcción del conocimiento en el campo de estudio de la respiración.

En el grupo de estudio son muy evidentes dos tendencias epistemológicas relacionadas con la respiración. La primera es vincularla directamente con el intercambio de gases, donde los pulmones juegan papel protagónico. La segunda, considera la respiración como un fenómeno de combustión. La alta frecuencia de explicaciones de los estudiantes, cerca del 80%, que incluyen estos dos aspectos en sus explicaciones, nos hace pensar que son verdaderos obstáculos para la comprensión de la respiración como proceso directamente responsable de la obtención y transformación de la energía a nivel mitocondrial.

Sin querer equiparar el desarrollo histórico-epistemológico del campo conceptual de la respiración con el proceso de construcción de este concepto por parte de los estudiantes, si consideramos importante señalar cómo la combustión y el intercambio de gases se constituyeron históricamente en los puntos de reflexión centrales relacionados con la respiración. No invitamos a pensar que los estudiantes siguen procesos similares, ni correspondientes; pero si sugerimos, al igual que muchos otros investigadores, la necesidad de reconocer los aportes desde estas perspectivas teóricas con la finalidad de integrarlas en los procesos de enseñanza.

Bibliografía

- Astolfi, J. P. (1988). El aprendizaje de los conceptos científicos: Aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6,2, 147-155.
- Bliss, J., Monk, M. & Ogborn, J. (1983). *Qualitative data analysis for educational research. A guide to uses of systemic networks*. London: Croom Helm.
- Bruner, J. (1995). *Actos de significado. Más allá de la revolución cognitiva*. Madrid: Alianza.
- Candela, A. (1999). *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*. Barcelona: Paidós.
- Derek, E. (1996). *Discourse and cognition*. Londres: Sage.
- Edwards, D. & Mercer, N. (1987). *Common knowledge. The development of understanding in the classroom*. London: Methuen and Routledge.
- Edwards, D. & Potter, J. (1992). *Discursive psychology*. London: Sage.
- Feldman, C. F. (1990). El pensamiento a partir del lenguaje: La construcción lingüística de las representaciones cognitivas. En Bruner, J. & Haste H. (Comp.), *La elaboración del sentido* (pp. 125-138). Barcelona: Paidós.
- Giere, R. (1992). *La explicación en la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Gutiérrez, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*, 7, 73-86.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jorba, J. & Sanmarti, N. (1997). El desarrollo de las habilidades cognitivolingüísticas en la enseñanza científica. En *O ensino da química. II jornadas internacionais sobre o ensino da química*. Vigo: Universidad de Vigo.
- Leal, A. (1998). Teorías del significado en el lenguaje. En Moreno, M., Sastre, G., Bovet, M. & Leal, A. *Conocimiento y cambio* (pp. 47-61). Barcelona: Paidós.

- Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Lemke, J. L. (1998). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. En J. R. Martin & R. Veel (Eds.), *Reading Science* (pp. 87-113). London: Routledge.
- Olsher, G. & Beit, B. O. (1999). Biotechnologies as a context for enhancing junior highschool student's ability to ask meaningful questions about abstract biological processes. *International Journal Science Education*, 21,2, 137-153.
- Pozo, J. I. (1987). *Aprendizaje de las ciencias y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- Pozo, J. I. Gómez, C. M., Limón, M. & Sanz, S. A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: C.I.D.E.
- Pozo, J. I. y Gómez, C. M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata.
- Rivière, A. (1986). *Razonamiento y representación*. Madrid: Siglo XXI.
- Sanmartí, N. (1996). Para aprender ciencias hace falta aprender a hablar sobre las experiencias y sobre las ideas. *Textos de didáctica de la lengua y la literatura*, 8, 26-39.
- Sutton, C. (1997). Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique*, 12, 8-32.
- Sutton, C. (1998a). New perspectives on language in science. En Fraser, B. J. & Tobin, K. G. (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 27-38). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Sutton, C. (1998b). Science as conversation: come and see my air pump!. En J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science. Which way now?* (pp. 174-191). London: Routledge.
- Tamayo, O. (1999). *Tendencias sobre el concepto de bioenergética en estudiantes de primero de bachillerato. Sus representaciones mentales*. Tesis de Maestría no publicada, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Tamayo, O. (2001). *Evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional. Aplicación al concepto de respiración*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. <http://www.tdcat.cesca.es>
- Tamayo, O. & Sanmartí, N. (2001). Analysis of the written discourse of student of first level of high school about the conceptual field of respiration. III Conference of European Researchers in Didactic of Biology (ERIDOB) (pp. 327-343). Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- Tusón V. A. (1995). *Anàlisi de la conversa*. Barcelona: Empúries.
- Van Dijk, T. A. (1985). *Handbook of discourse analysis*. London: Academic Press.
- Van Dijk., T. A. (2000). El estudio del discurso. En Van Dijk, T. A. (Comp.), *El discurso como estructura y proceso. Estudios sobre el discurso I. Una introducción multidisciplinaria*. (pp. 21-65). Barcelona: Gedisa.
- Vygotsky, L. S. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.