

# EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EXPLICATIVOS DE FAGOCITOSIS EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS

Mary Orrego Cardozo\*  
Ana Milena López Rúa\*\*  
Óscar Eugenio Tamayo Alzate\*\*\*

---

Orrego Cardozo, Mary, López Rúa, Ana Milena y Tamayo Alzate, Óscar Eugenio. (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.

---

## RESUMEN

En esta investigación se describen los modelos explicativos que tienen estudiantes universitarios sobre el concepto de fagocitosis y su evolución como resultado de un proceso de intervención didáctica. Identificamos los obstáculos conceptuales para el logro de aprendizajes en profundidad de estos conceptos. Identificados y caracterizados los obstáculos pasamos a diseñar una unidad didáctica, la cual nos permitió orientar acciones de enseñanza con el propósito de lograr la evolución de los modelos explicativos iniciales de los estudiantes. El estudio es cualitativo comprensivo y con intencionalidad transformadora de la enseñanza y el aprendizaje de los procesos metabólicos que se desencadenan en el sistema inmune como respuesta a la acción de microagresores, en el contexto de la educación universitaria. Participaron en la investigación 20 estudiantes de segundo semestre de un programa

---

\* Licenciada en Biología y Química, Universidad de Caldas. Magíster en Bioquímica y Biología Molecular, Universidad Autónoma de Barcelona. Doctora en Bioquímica y Biología Molecular, Universidad Autónoma de Barcelona. Profesora Universidad Autónoma de Manizales y Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales. E-mail: mary.orrego@gmail.com

\*\* Licenciada en Educación Básica con Énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Universidad de Antioquia. Magíster en Enseñanza de las Ciencias, Universidad Autónoma de Manizales. E-mail: epe.analopez@gmail.com

\*\*\* Licenciado en Biología y Química, Universidad de Caldas. Máster en Desarrollo Educativo y Social, CINDE-UPN. Magíster en Didáctica de las Ciencias y las Matemáticas, Universidad Autónoma de Barcelona. Doctor en Didáctica de las Ciencias y las Matemáticas, Universidad Autónoma de Barcelona. Postdoctorado en Narrativa y Ciencia, Universidad Santo Tomás-Universidad de Córdoba. Profesor Universidad de Caldas y Universidad Autónoma de Manizales. E-mail: oscar.tamayo@ucaldas.edu.co

Recibido 15 de agosto de 2012. Aprobado 12 de diciembre de 2012.

del área de la salud, quienes realizaron las diferentes actividades propuestas en la unidad didáctica a lo largo de un semestre académico. Los diferentes análisis cualitativos nos permitieron caracterizar la evolución de los modelos explicativos empleados por los estudiantes en los cuales se evidencian cambios importantes en los usos de lenguajes proposicionales y gráficos.

**PALABRAS CLAVE:** obstáculos, aprendizaje, modelos mentales, inmunología, enseñanza.

## **EVOLUTION OF PHAGOCYTOSIS EXPLANATORY MODELS IN COLLEGE STUDENTS**

### **ABSTRACT**

The explanatory models college students have about the concept of phagocytosis and its evolution as a result of an educational intervention process are described in this study. After identifying and characterizing the conceptual obstacles to achieving in-depth learning of these concepts, the design of a teaching unit was carried out and it allowed the adjustment of teaching actions in order to achieve the evolution of initial explanatory models and with the transforming intention of the teaching and learning of the metabolic processes that unchain in the immune system as a reaction to micro-aggressors in the context of college education. Twenty second semester students from a program in the area of health participated and performed the various learning activities proposed in the didactics unit throughout the academic semester. Different qualitative analysis allowed the characterization of the evolution of explanatory models used by the students in which important changes are evidenced in uses of propositional language and graphics.

**KEY WORDS:** obstacles, learning, mental models, immunology, teaching.

## 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 estas 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 describir comprensivamente los modelos explicativos, como un tipo de representación, de estudiantes universitarios sobre conceptos en inmunología, específicamente sobre la fagocitosis.

En los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, las representaciones juegan un papel central. Podemos representar en nuestra mente todo lo que nos rodea y percibimos con los sentidos, asimismo, podemos representar algo que imaginamos sin necesariamente verlo o sentirlo. Desde la perspectiva de las ciencias cognitivas, las representaciones son consideradas como cualquier noción, signo o conjunto de símbolos que representan algo del mundo exterior o de nuestro mundo interior, en tal sentido pueden ser externas o internas. Las externas son de carácter público y producidas en gran medida por la acción, intencionada o no, de las personas. Las representaciones internas son de carácter individual, *ocupan un lugar* en la mente de los sujetos y nos permiten mirar el objeto en ausencia total del significante perceptible; pueden ser conceptos, nociones, creencias, fantasías, guiones, modelos mentales, imágenes, entre otras. Estas representaciones son construidas tanto por científicos como por cualquier otro sujeto; en el primer caso, obtendríamos una teoría científica y, en el segundo, una teoría intuitiva acerca del mundo (Tamayo, 2006).

Dada su importante función en el aprendizaje, las representaciones son de especial interés tanto para profesores como para estudiantes. Un problema fundamental y común para diferentes campos del conocimiento, es averiguar cómo los sujetos representan mentalmente su conocimiento acerca del mundo, cómo operan mentalmente con esas representaciones y cómo estas pueden construirse, re-construirse y cambiar tanto en contextos de enseñanza como en ambientes cotidianos. El uso de nuestras representaciones, y con ellas de los modelos mentales, no se circunscribe a ambientes específicos, las empleamos para la resolución de cualquier problema, bien sea del ámbito educativo, familiar o laboral.

La actual popularidad en el estudio de los modelos mentales se debe a Johnson-Laird, quien los empleó ampliamente en la explicación de la deducción y en otras clases de inferencias, incluyendo aspectos del lenguaje. Johnson-Laird plantea como uno de los precursores importantes a Peirce, en cuanto al uso de signos que significan las cosas en virtud de relaciones de semejanza. 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. Para este autor, los modelos mentales son representaciones psicológicas que tienen alguna relación estructural con lo que ellos representan.

Considerar los modelos como análogos estructurales del mundo (Johnson-Laird, 1983), se distancia de la propuesta inicial de Craik (1943), quien plantea que en muchos casos la gente razona realizando experimentos mentales sobre modelos internos de situaciones físicas, donde un modelo es un análogo estructural, comportamental o funcional de fenómenos del mundo real. Craik basa su hipótesis en la capacidad predictiva del pensamiento y la habilidad de los humanos para explorar el mundo real e imaginar situaciones mentalmente. Nersessian (2008: 93), en acuerdo con lo propuesto por Craik, describe los modelos como:

[...] a conceptual system representing the physical system that is being reasoned about. It is an abstraction –idealized and schematic in nature– that represents a physical situation by having surrogate objects and properties, relations, behaviors, or functions of these that are in correspondence with it.

Los modelos son análogos en la medida en que preservan limitantes inherentes a lo que ellos representan.

Los modelos no son colecciones de datos aislados, son útiles en virtud de que capturan interrelaciones importantes en un sistema. Los modelos explicativos son invenciones que aportan nuevos términos teóricos e imágenes, las cuales son parte de las visiones científicas del mundo. Este 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. Asimismo, es importante destacar que los modelos mentales son dinámicos, incompletos, inespecíficos, parsimoniosos y evolucionan permanentemente, al interactuar el sujeto con el contexto. Independientemente de estas características, los modelos mentales pueden ser usados de forma adecuada por las personas en los contextos en los cuales ellas se desenvuelvan (Johnson-Laird, 1983; Norman, 1983; Vosniadou y Brewer, 1992, 1994; Vosniadou, 1997; Clement y Rea-Ramírez, 2008; Nersessian, 2008; Thagard, 2012).

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 profundos en sus estudiantes. En esta línea de reflexión, 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 (Gutiérrez, 1996; Solsona, 1997; Khan, 2008), movimiento de la tierra (Vosniadou y Brewer, 1994). De manera específica en el campo de la biología encontramos aportes en sistema nervioso (Serrano, 1992), bioenergética (Tamayo, 1999, 2001; Tamayo y Sanmarti, 2007), respiración (Grosbois et al., 1991; Vuala, 1991; Núñez y Banet, 1996), cadena respiratoria (Königsberg, 1999), y de manera general sobre la evolución de modelos en biología en Núñez-Oviedo et al. (2008).

El estudio de los modelos mentales en la enseñanza de las ciencias, además de su intencionalidad descriptiva, propone el uso de modelos como estrategia de enseñanza y de aprendizaje, lo cual ha conducido a una fructífera línea de investigación denominada, en términos generales, enseñanza y aprendizaje basada

en modelos (Gilbert et al., 2000; Clement y Rea-Ramírez, 2008; Nersessian, 2008), la cual tiene como propósito central lograr aprendizajes en profundidad en los estudiantes (Franco y Colinvaux, 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 et al., 2000). El estudio de los modelos, con estos fines, se constituye en una estrategia para la cualificación de la enseñanza de las ciencias, debido a que es un punto de partida para la identificación de los obstáculos que tienen los estudiantes frente al aprendizaje de los conceptos enseñados por los profesores.

Bachelard (1994) 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 comprender las razones de su resistencia al cambio, de su estabilidad, en función del logro de aprendizajes profundos. En este proceso, identificar los modelos mentales con los cuales los estudiantes llegan a la clase es determinante y, dado que estos difícilmente desaparecen de la estructura cognitiva del sujeto, cobra fuerza la idea bachelardiana de vigilancia del pensamiento a través de la cual los estudiantes puedan autorregular de manera consciente la expresión de estos modelos que, en algún momento, se consideraron obstáculos epistemológicos frente a los nuevos conceptos enseñados por parte de los profesores. Para Bachelard, el obstáculo es un tipo de conocimiento que ya tiene el estudiante antes de la enseñanza y, como tal, debe ser reconocido por los profesores y por estudiantes en los procesos de aula. 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.

Desde la perspectiva antes planteada, los obstáculos no se consideran errores o carencias personales, sino una característica universal en la construcción del pensamiento científico (Bachelard, 1994; Astolfi, 1998; Camillioni, 2001). En el marco de la enseñanza de las ciencias, el empleo del concepto de obstáculo tiene relevancia en el estudio de las interacciones entre conocimiento común y conocimiento científico, entre los cuales puede darse compatibilidad, incompatibilidad o independencia (Pozo, 1999; Tamayo, 2001; Tamayo y Sanmartí, 2007). En esta interacción, la identificación de obstáculos contribuye a consolidar y estructurar la construcción de conceptos pues “la formulación de aquello contra lo cual se construye el concepto es determinante para delimitarlo” (Peterfalvi, 2001: 129).

La identificación de ideas previas y de unos modelos mentales que se constituyan como obstáculo frente al aprendizaje de un concepto científico, tiene interés para el profesor debido a que aquellos 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 tal sentido, se requiere, por parte de profesores y estudiantes, vigilancia y regulación en función de su superación. En términos de Martinand (1986), en la medida en que los obstáculos tienen un significado epistemológico profundo, parece legítimo proponer los objetivos conceptuales en función de su superación.

Al asumir lo anterior, presentamos la caracterización de los modelos empleados por los estudiantes para referirse a los procesos inmunológicos, particularmente a la fagocitosis y, asimismo, a la identificación de los principales obstáculos frente al aprendizaje de este concepto, obstáculos que se constituyen en orientadores de las acciones, conscientes e intencionadas, de los profesores en función de superarlos (Tamayo, 2012). En otras palabras, la identificación de los obstáculos se constituye en orientadora de las acciones de los profesores en el aula de biología. Los análisis realizados concluyen con la caracterización de los cambios en los modelos explicativos empleados por los estudiantes, lo cual asumimos desde una perspectiva evolutiva (Tamayo y Sanmartí, 2007; Tamayo, 2009).

## **MODELOS EXPLICATIVOS DE FAGOCITOSIS**

La historia de la biología es rica en descripciones y explicaciones de los diferentes fenómenos que se relacionan con la salud, la enfermedad y la homeostasis, temas centrales en el estudio de la inmunología. Los distintos modelos explicativos que los científicos de diferentes épocas han construido sobre los diferentes procesos inmunológicos se constituyen, sin lugar a dudas, en puntos de partida, no obligados, para la enseñanza de estos conceptos (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Modelos explicativos en inmunología

<b>Modelos explicativos</b>	<b>Aproximación teórica</b>
Sobrenatural	Enfermedad como forma de castigo teúrgico de los dioses o los enemigos.
Desequilibrio	Las enfermedades eran atribuidas a una alteración o desequilibrio en uno de los cuatro humores: sangre, flema, bilis amarilla y bilis negra.
Teoría miasmática	Las enfermedades como el cólera y la peste negra eran causadas por un miasma, una forma nociva de aire ahogado; si alguien era expuesto al miasma podía adquirir la enfermedad.
Modelo clásico o biológico	La respuesta inmune tiene su fundamento en una metáfora militar. El cuerpo responde frente a amenazas externas atacando o combatiendo los agentes extraños.
Pre-científico	No se sufre una enfermedad infecciosa dos veces y de padecerla la recaída nunca es mortal.
	La exposición a agentes patógenos otorga inmunidad duradera.
	La inmunidad se adquiere por variolización, escarificación o ingestión gradual de tóxicos.
Científico	Surgimiento de la inmunidad adquirida de manera activa.
	Vacunación.
	Agentes patógenos como causantes de enfermedad.
	Relación bacteria-enfermedad.
	Concepto de prevención.
	Resistencia por vacunación.
Especificidad inmunológica.	
Presencia de receptores para el reconocimiento de antígenos.	
Mecanismos de inmunidad específica.	
Mecanismos de inmunidad inespecífica.	

## METODOLOGÍA

Se realizó un estudio cualitativo, en el cual, se describieron los modelos explicativos de 20 estudiantes de segundo semestre de un programa de salud en la asignatura de biología celular y molecular. Se recogió información sobre los modelos de fagocitosis empleados por los estudiantes, para lo cual, se aplicó un instrumento tipo Likert. Se propusieron, además, preguntas abiertas referidas a situaciones cotidianas o casos clínicos relacionados con los mecanismos inmunológicos. Se incluyó también una pregunta en la cual los estudiantes debían responder mediante el empleo de representaciones sobre fenómenos relacionados con los procesos



inmunológicos (ver Tabla 2). Esta información fue recogida antes y después de la aplicación de una unidad didáctica para la enseñanza de la inmunología realizada por una de las autoras.

**Tabla 2.** Ejemplos de preguntas (P) realizadas en los diferentes instrumentos empleados para la recolección de la información

<b>Tipología de preguntas realizadas para la recolección de la información</b>				
10. (P) En algunos casos de amigdalitis se observan placas blanquecinas en las amígdalas. ¿Sabes por qué se forman esas placas?				
18. Es común que el acné de los adolescentes ocasione lesiones con pus. El pus está formado por agua y sangre y se produce porque los glóbulos rojos se estallan.				
CA	A	D	CD	Justifica la respuesta:

La unidad didáctica empleada estuvo constituida por los temas de estudio y actividades de enseñanza y aprendizaje descritas en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Temas de estudio y actividades contenidas en la unidad didáctica elaborada para enseñar los conceptos y procesos fundamentales de la fagocitosis

<b>Temas de estudio</b>	<b>Actividades de enseñanza y aprendizaje</b>
Estructura y metabolismo bacteriano	Elaboración de representaciones gráficas, cuestionarios, solución de problemas, reflexión sobre el aprendizaje, identificación de obstáculos frente al aprendizaje, reflexión metacognitiva, trabajo en grupo, identificación de aprendizajes logrados, actividades de autorregulación, sustentaciones orales.
Inmunidad natural	

Una vez recogida la información con los diferentes instrumentos, previamente validados por expertos, se identificaron las oraciones con sentido [en términos de Chomsky (2004), oraciones nucleares], dadas por los estudiantes en el campo de la inmunología. Para el proceso de categorización central y axial se empleó el software Atlas.ti. Realizada la categorización de todas las respuestas dadas por los estudiantes a las diferentes preguntas, se pasó a la elaboración de redes semánticas a partir de las cuales se realizó el trabajo conceptual, orientado a la identificación y caracterización de los modelos explicativos empleados por ellos para explicar la fagocitosis antes y después de la intervención didáctica. Este proceso nos llevó a caracterizar la evolución en los modelos explicativos de los estudiantes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación presentamos los modelos explicativos empleados por los estudiantes para referirse a los procesos de fagocitosis. Es necesario recordar, como se presentó en la introducción, que los modelos a los cuales haremos referencia son inferidos por los investigadores a partir de las diferentes respuestas, verbales, escritas y gráficas, dadas por los estudiantes. Inicialmente, nos referiremos a los modelos explicativos iniciales construidos a partir del análisis de la información obtenida antes de la intervención didáctica. Posteriormente, precisamos los principales obstáculos identificados en los estudiantes en función del aprendizaje de conceptos relacionados con la fagocitosis. Por último, presentamos los modelos explicativos finales elaborados a partir de las respuestas dadas por los estudiantes después de la intervención didáctica.

### 1) Modelos explicativos iniciales

#### · *Modelo científico inicial*

El análisis de las oraciones nucleares con el propósito de identificar las categorías a las cuales se refieren los estudiantes, nos arrojó la información presentada en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Distribución en porcentajes relativos de las respuestas dadas por los estudiantes antes y después de la intervención didáctica

Categoría	RI	A	P	If	IN	F	Ifi
%	5	20	37,1	29,2	0	0	0

RI: Respuesta Inmune; A: Acné; P: Pus; If: Infección; IN: Inmunidad Natural; F: Fagocitosis; Ifi: Inflamación.

El análisis cualitativo de las respuestas dadas por los estudiantes lo presentamos a partir de redes semánticas elaboradas con el software Atlas.ti (Figura 1). Para su realización partimos de la identificación de las oraciones nucleares encontradas en las expresiones por ellos escritas y del establecimiento de relaciones entre los diferentes conceptos a los cuales ellos se refieren.

En la exploración de los modelos explicativos sobre fagocitosis, se presentaron preguntas relacionadas con procesos de inmunidad natural relacionados con la fagocitosis y la inflamación, que son mecanismos de defensa inespecíficos. De acuerdo con la historia del campo conceptual de la inmunidad, estos procesos se desarrollaron científicamente a partir de 1880 y hacen parte del modelo científico de la inmunidad (Iglesias-Gamarra et al., 2009). Los modelos encontrados en el grupo de estudio para explicar los mecanismos de defensa de la inmunidad natural son: el científico y el clásico (ver Figura 1). A continuación se hace referencia a cada uno de los modelos mencionados.

En el análisis del concepto fagocitosis encontramos expresiones que relacionan el término respuesta inmunológica con el sistema inmune. Cuando se plantea a los estudiantes que el acné ocasiona lesiones con pus, o cuando se plantea que en algunos casos de amigdalitis se observan placas blanquecinas en las amígdalas, ellos se refieren al pus o a las placas blanquecinas como una respuesta del sistema inmune para atacar la infección, como se puede evidenciar en las siguientes respuestas:

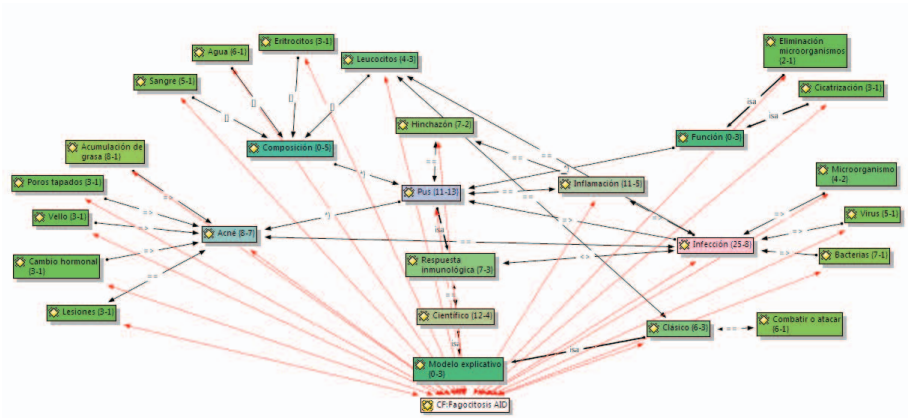
10. (P) En algunos casos de amigdalitis se observan placas blanquecinas en las amígdalas. ¿Sabes por qué se forman esas placas?

10.12 “Son respuesta de nuestro sistema inmunológico, produciendo una especie de llagas blancas”.

18. (P) Es común que el acné de los adolescentes ocasione lesiones con pus. El pus está formado por agua y sangre y se produce porque los glóbulos rojos se estallan.

CA AD CD Justifica la respuesta:

18.25 “D, el pus se produce como una respuesta del sistema inmune para atacar la infección de la zona ya que los leucocitos migran hacia esa zona”.



**Figura 1.** Red semántica que reúne las principales categorías a las cuales los estudiantes se refieren cuando explican procesos relacionados con la fagocitosis, antes de la intervención didáctica.

Podemos inferir que los estudiantes consideran el pus o las placas blanquecinas como una respuesta inmune y no como una consecuencia de los eventos moleculares sucedidos en mecanismos de defensa inespecíficos como los procesos de fagocitosis e inflamación. El término fagocitosis no es expresado por ningún estudiante para dar respuesta a las preguntas planteadas, en lugar de este, emplean el de inflamación (ver Figuras 1 y 2). Se puede observar que los estudiantes no asocian la formación de pus con el proceso inflamatorio ni con la fagocitosis. Desconocen que el pus se produce como un proceso en el cual las células fagocitarias han realizado degradación interna de los agentes extraños y que muchas de estas células, una vez cumplida su función, mueren, como es el caso de los neutrófilos. Por lo tanto, en el pus hay presencia de leucocitos, hay restos celulares del tejido inflamado, productos metabólicos celulares y agua.

En las respuestas 10.5 y 10.10 se puede establecer que los estudiantes se refieren a la inflamación como a una hinchazón, usan estos dos términos como sinónimos y desconocen que una de las manifestaciones del proceso de inflamación es la presencia de edema (hinchazón), término que no es usado por los estudiantes.

10. (P) En algunos casos de amigdalitis se observan placas blanquecinas en las amígdalas. ¿Sabes por qué se forman esas placas?

10.5 “Creo que es por medio del virus, que se [...] y con anticuerpos trata de contrarrestarlos y se da la flema, mucosidad de las amígdalas, hinchazón pura, con secuelas de la misma forma de combatirlos”.

10.10 “Creo que estas placas se forman debido a la hinchazón de las amígdalas, cuando un microorganismo entra a nuestro cuerpo”.

Desde el punto de vista molecular no diferencian inflamación e hinchazón; inflamación como mecanismo inespecífico que tiene como finalidad aislar y destruir microagresores, proceso en el que se liberan mediadores como la histamina y las prostaglandinas que producen vasodilatación, aumento de la permeabilidad vascular, y por lo tanto, extravasación de líquidos y proteínas que generan la hinchazón del tejido afectado (edema).

#### • **Modelo clásico inicial**

En este modelo se presenta el sistema inmunológico como un sistema de reconocedores dirigidos al exterior, moléculas que miran hacia afuera con el fin de defender lo que constituye nuestro cuerpo. Este hecho sugiere claramente un modelo que se formula como una metáfora militar. En ese sentido, en el modelo biológico o clásico se considera que el sistema inmunológico se basa en una serie de soldados (anticuerpos) dirigidos desde el exterior para atacar al enemigo (antígeno) (Varela, 1997). A continuación se muestran algunas respuestas de las cuales se infiere que los estudiantes consideran el sistema inmune como un sistema de defensa, lo cual enmarca estas conceptualizaciones en el modelo clásico que explica, en nuestro caso, la fagocitosis:

10. (P) En algunos casos de amigdalitis se observan placas blanquecinas en las amígdalas. ¿Sabes por qué se forman esas placas?

10.4 “Esas placas blanquecinas se pueden formar porque las defensas del cuerpo las combaten y así poder ser expulsadas y bajar la inflamación de las amígdalas”.

10.9 “Estos son los virus que han muerto cuando se han atacado”.

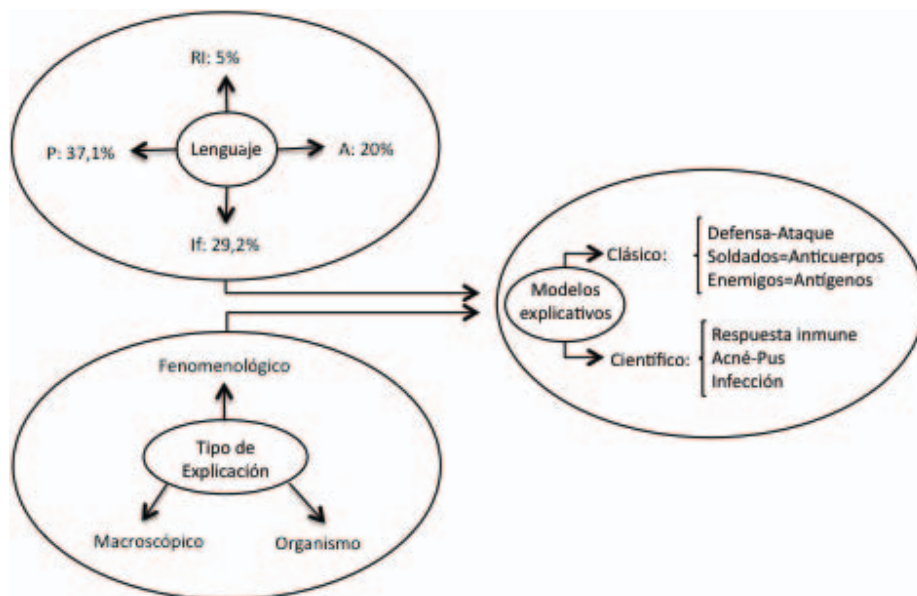
10.22 “Estas placas son las defensas que atacan las bacterias o virus que entran por el aire, ocasionando que actúen y no pasen de allí”.

10.25 “Se forman debido a los leucocitos que llegan a atacar la infección en las amígdalas”.

En las respuestas de los estudiantes se identifican las características del modelo clásico. Son las *defensas* las encargadas de atacar bacterias o virus que han entrado del exterior como se puede evidenciar en las respuestas 10.4 y 10.22. En estas expresiones se dice de manera general que son las *defensas* las que atacan o combaten a los microorganismos, sin llegar a precisar quiénes o qué son las defensas, ni cuáles son los mecanismos que permiten eliminar el agente extraño. En la expresión 10.25 se especifica que son los leucocitos los que llegan a *atacar* la infección, aquí ya se asigna la función de ataque a los linfocitos, sin embargo, no se hace explícita la forma como atacan, ni se refieren de manera directa a los agentes causantes de la infección; es decir, no se dice qué es lo extraño que atacan los leucocitos.

### **Síntesis del modelo explicativo inicial antes de la intervención didáctica**

Los análisis anteriores nos llevan a la elaboración de un modelo explicativo de la fagocitosis antes de la intervención didáctica, caracterizado por ciertos usos del lenguaje y tipos de explicaciones dadas por los estudiantes. Estos dos componentes permiten identificar dos modelos explicativos: el clásico y el científico. En cuanto a los usos del lenguaje, las oraciones nucleares escritas por los estudiantes se refieren a: respuesta inmune (5%), pus (37,1%), infección (29,2) y acné (20%). El análisis cualitativo de estas expresiones nos lleva a identificar explicaciones a nivel orgánico, macroscópicas, y que se refieren a los fenómenos con los cuales los estudiantes han tenido algún tipo de experiencias a lo largo de su vida. Los usos del lenguaje y los tipos de explicación configuran dos modelos explicativos: el clásico, en el que los estudiantes se refieren a la fagocitosis como a un sistema militar constituido por soldados (anticuerpos) y enemigos (antígenos), quienes están en interacción de defensa-ataque. En cuanto al modelo científico, los estudiantes explican la fagocitosis a partir de los conceptos: respuesta inmune, infección, acné-pus (Figura 2).



RI: Respuesta Inmune; A: Acné; P: Pus; If: Infección; IM: Inmunidad Natural; F: Fagocitosis; If: Inflamación.

**Figura 2.** Modelo explicativo de la fagocitosis antes de la intervención didáctica. Se destacan en las elipses los usos del lenguaje, el tipo de explicación y los modelos explicativos empleados por los estudiantes.

Los análisis anteriores nos permiten identificar los siguientes obstáculos frente al aprendizaje de la fagocitosis:

- Privilegio del uso de lenguajes cotidianos para referirse a fenómenos relacionados con la fagocitosis.
- Explicación de la fagocitosis a partir de la relación entre: respuesta inmune, acné, pus e infección y no en torno a las categorías fagocitosis e inflamación.
- Realización de explicaciones de carácter macroscópico de los fenómenos relacionados con la fagocitosis, con el consecuente distanciamiento de explicaciones moleculares que se constituirían en un indicador del aprendizaje profundo del fenómeno estudiado por parte de los estudiantes.

## 2) Modelos explicativos finales

El análisis de las oraciones nucleares con el propósito de identificar las categorías a las cuales se refieren los estudiantes nos arrojó la información presentada en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Distribución en porcentajes relativos de las respuestas dadas por los estudiantes antes y después de la intervención didáctica

Categoría	RI	A	P	If	In	F	Ifl
% AID	5	20	37,1	29,2	0	0	0
% DID	1,6	0	48,4	3,1	1,6	19,5	7

RI: Respuesta Inmune; A: Acné; P: Pus; If: Infección; IM: Inmunidad Natural; F: Fagocitosis; Ifl: Inflamación.

### • **Modelo científico final**

Al plantear las preguntas relacionadas con amigdalitis y acné, para indagar sobre los procesos de fagocitosis y de inflamación, vemos que, algunos estudiantes, asocian estos dos procesos con la producción de pus, del cual, identifican sus componentes: agua, linfa, células muertas y microorganismos. Los estudiantes mencionan algunos causantes del pus y algunos de sus componentes, sin embargo, no explican los mecanismos que originan estos componentes, ni los que son responsables de la formación de las placas blanquecinas, consecuencia del proceso de fagocitosis e inflamación.

10.15 “Estas placas son el denominado pus. El pus es el conjunto de sustancias como leucocitos muertos, microorganismos muertos, desechos de microorganismos, agua: que forman dicho pus luego que se ha dado una respuesta de la inmunidad natural frente a un patógeno”.

10.12 “Las placas blanquecinas de las amígdalas, son el resultado que queda de procesos como inflamación y fagocitosis, este producto, son las bacterias que han sido fagocitadas a causa de sus factores patogénicos y antigénicos”.





quedan después de la realización de procesos como la fagocitosis y la inflamación, además de agua, sangre, restos celulares, etc.; y no porque los glóbulos rojos se estallen”.

Los estudiantes se refieren específicamente a las células muertas como células fagocitarias que destruyen los antígenos, como se puede ver en la respuesta 10.5. Es importante resaltar que mencionan que estas bacterias poseen factores patogénicos, respuesta 10.12, y como se observa en la respuesta 18.1 se relacionan los linfocitos con la función fagocítica:

10.12 “Las placas blanquecinas de las amígdalas, son el resultado que queda de procesos como inflamación y fagocitosis, este producto, son las bacterias que han sido fagocitadas a causa de sus factores patogénicos y antigénicos”.

10.5 “Porque al tener amigdalitis quiere decir una infección, entonces estas placas son acumulaciones de células muertas fagocitarias que destruyeron antígenos”.

18.1 “Son los glóbulos blancos, (linfocitos) quienes son los encargados de fagocitar el microorganismo encargado de producir la lesión”.

Asimismo, reconocen que la amigdalitis es una infección y como aparece en la respuesta 10.6 se dice que es por causa de una bacteria. Es importante resaltar esta respuesta porque se reconoce el agente etiológico o patogénico. Antes de la intervención didáctica tenían dificultad para diferenciar el agente causante de infecciones.

10. En algunos casos de amigdalitis se observan placas blanquecinas en las amígdalas. ¿Sabes por qué se forman esas placas?

10.6 “La verdad nunca entendí muy bien porqué se dan dichas placas lo que sí recuerdo, es que es por infección de una bacteria, y también sé que dichas placas al formarse causan problemas como la halitosis”.

10.20 “Porque la amigdalitis es una infección y las infecciones producen (pus-materia) lo que llamamos nosotros placas blanquecinas. Cuando ya hay placas blanquecinas es porque ya hay enfermedad (signos y síntomas)”.

Los estudiantes lograron hacer representaciones de las etapas implicadas en el proceso de fagocitosis (Figura 4) y fueron capaces de hacer descripciones de esos procesos. A continuación se muestra la descripción realizada por uno de los estudiantes en una sustentación oral:

*Profesora:* ¿Cómo responde el sistema inmunológico?

*Estudiante:* Una vez se libera la sustancia quimiotáctica, esta se dirige hacia el vaso sanguíneo, lo atraviesa por difusión y cuando se pega a un receptor de la célula endotelial desencadena una contracción del citoesqueleto para que la vesícula se mueva y llegue a fusionarse con la membrana de la célula y se exprese la selectina P y a los macrófagos para que las integrinas cambien su conformación para que se pueda unir a la selectina P. El macrófago libera proteasas para poder romper la unión entre las células endoteliales, hay diapédesis para poder hacer la migración y salir en busca del antígeno que ya está opsonizado por inmunoglobulinas. Entonces, la membrana del macrófago se invagina y forma un fagosoma, se une con el lisosoma. Entonces ya queda el fagolisosoma, por medio de unos mecanismos ya sean dependientes de oxígeno o independientes de oxígeno, se da la degradación de la bacteria. Los mecanismos dependientes del oxígeno como los radicales libres y el no dependiente de oxígeno que es por hidrolasas que hidrolizan, que también las hidrolasas pueden destruir la bacteria.

### • **Modelo clásico final**

Encontramos respuestas, en las cuales se hace referencia al modelo clásico de inmunidad, en el cual se asigna a la inmunidad la función de atacar o combatir; sin embargo, los estudiantes ya mencionan que son las células fagocitarias quienes destruyen los antígenos, usan adecuadamente el término antígeno y reconocen el proceso de fagocitosis.

10. En algunos casos de amigdalitis se observan placas blanquecinas en las amígdalas. ¿Sabes por qué se forman esas placas?

10.4 “Porque gracias a la respuesta inmune se produce un pus que está conformado por agua, restos celulares, células inmunológicas, etc. Es una reacción normal para combatir y eliminar el virus que después de haber realizado proceso de fagocitosis pueden morir”.

18. Es común que el acné de los adolescentes ocasione lesiones con pus. El pus está formado por agua y sangre y se produce porque los glóbulos rojos se estallan.

CA AD CD Justifica  
la respuesta:

18.5 CA. "Porque el pus está formado principalmente de sangre, células fagocitarias, que atacaron el antígeno causante del acné y agua, pero el pus se produce por acumulación de estos componentes y no por glóbulos rojos que estallen".

En el análisis de las respuestas sobre fagocitosis podemos concluir que, después de la intervención didáctica, los estudiantes mejoraron el uso del lenguaje especializado. Para dar las explicaciones, por ejemplo, ya no se refieren a la inflamación con el término de hinchazón. Reconocen la fagocitosis y la inflamación como mecanismos de defensa que permiten destruir los antígenos y resuelven las preguntas más desde el conocimiento científico que desde el sentido común. En esta categoría, los estudiantes dieron explicaciones moleculares sobre los procesos de fagocitosis e inflamación. Como queda claro con lo expuesto, los estudiantes siguen haciendo referencia al modelo clásico, sin embargo, es evidente que su conceptualización incorpora explicaciones de naturaleza científica, en coherencia con el modelo de compatibilidad (Carey, 1992) entre el modelo clásico y el científico para explicar fenómenos relacionados con la inflamación.

A manera de síntesis, las respuestas de los estudiantes a las diferentes actividades propuestas después de la intervención didáctica se enmarcan en el modelo científico de la inmunología, y de manera específica de la fagocitosis. Los estudiantes se refieren de forma explícita a la fagocitosis, a la inmunidad natural y a la infección y describen los procesos a los que estos conceptos se refieren. Caracterizan la inmunidad natural como un proceso relacionado con la fagocitosis y la inflamación, las cuales generan la producción de pus, con la consecuente aparición de la infección. Las categorías: respuesta inmune, inmunidad natural, fagocitosis, inflamación, pus e infección, se constituyen en la columna vertebral del modelo científico expresado por los estudiantes, después de la intervención didáctica, para explicar la fagocitosis.



los estudiantes (Sanmartí y Jorba, 1996; Lemke, 1997; Mortimer y Scott, 2000; Tamayo, 2009).

Después de la intervención didáctica, encontramos más expresiones relacionadas con el modelo científico y menos expresiones relacionadas con el modelo clásico (ver Figura 1). En general, las respuestas dadas por los estudiantes hacen referencia a los mecanismos de defensa de la inmunidad natural que son la fagocitosis y la inflamación. Los estudiantes mejoraron el uso del lenguaje especializado, se refieren a algunos términos con mayor propiedad, por ejemplo:

10.12 “Las placas blanquecinas de las amígdalas, son el resultado que queda de procesos como inflamación y fagocitosis, este producto, son las bacterias que han sido fagocitadas a causa de sus factores patogénicos y antigénicos”.

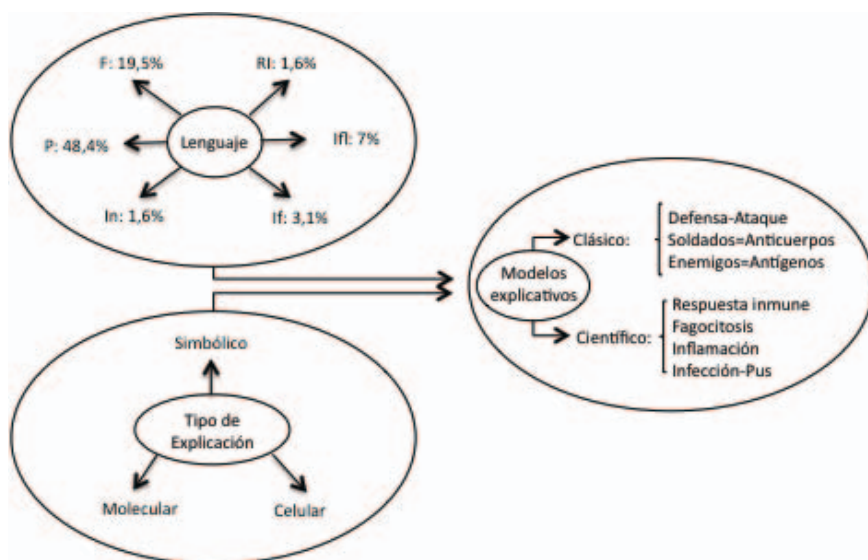
10.15 “[...] El pus es el conjunto de sustancias como leucocitos muertos, microorganismos muertos, desechos de microorganismos, agua: que forman dicho pus luego que se ha dado una respuesta de la inmunidad natural frente a un patógeno”.

18.16 “[...] el pus es ocasionado por células muertas que quedan después de la realización de procesos como la fagocitosis y la inflamación, además de agua, sangre, restos celulares, etc.; y no porque los glóbulos rojos se estallen”.

En la Figura 3 presentamos de manera comprensiva las categorías a las cuales se refieren las respuestas dadas por los estudiantes después de la intervención didáctica (DID). Destacamos en este caso, que los estudiantes enuncian de manera explícita procesos como: inmunidad natural, fagocitosis e inflamación, conceptos a los que no hacían referencia antes de la intervención didáctica (ver Figuras 1 y 2), y que determinan de manera clara los componentes centrales del modelo científico expresado por los estudiantes. Además, hicieron representaciones gráficas de los procesos implicados en la fagocitosis y realizaron sustentaciones orales de estas representaciones.

### Síntesis del modelo explicativo final después de la intervención didáctica

Los análisis anteriores nos llevan a la elaboración de un modelo explicativo de la fagocitosis después de la intervención didáctica, caracterizado por ciertos usos del lenguaje y tipos de explicaciones dadas por los estudiantes. Estos dos componentes permiten identificar dos modelos explicativos: el clásico y el científico. En cuanto a los usos del lenguaje, las oraciones nucleares escritas por los estudiantes se refieren a: respuesta inmune (1,6%), infección (1,6%), fagocitosis (19,5%), pus (48,4%), infección (1,6%), inflamación (7%). El análisis cualitativo de estas expresiones nos lleva a identificar explicaciones a nivel simbólico, molecular y celular. Los usos del lenguaje y los tipos de explicación configuran dos modelos explicativos: el clásico, en el que los estudiantes se refieren a la fagocitosis como a un sistema militar constituido por soldados (anticuerpos) y enemigos (antígenos), quienes están en interacción de defensa-ataque. En cuanto al modelo científico, los estudiantes explican la fagocitosis a partir de los conceptos: respuesta inmune, fagocitosis, inflamación, infección y pus (ver Figura 5).



RI: Respuesta inmune; A: Acné; P: Pus; If: Infección; IM: Inmunidad Natural; F: Fagocitosis; If: Inflamación.

**Figura 5.** Modelo explicativo de la fagocitosis después de la intervención didáctica. Se destacan en las elipses los usos del lenguaje, el tipo de explicación y los modelos explicativos empleados por los estudiantes.



## CONCLUSIONES

Dentro de los aspectos más destacables al comparar las respuestas antes y después de la intervención didáctica podemos mencionar los siguientes:

- Incremento en el porcentaje, del 8,6 al 20,3%, de las respuestas ubicadas en el Modelo Científico de fagocitosis y surgimiento de las categorías fagocitosis e inflamación con 19,5% y 7% respectivamente del total de las respuestas dadas por los estudiantes. Asimismo, los estudiantes, después de la intervención didáctica, no hacen referencia de manera explícita a la categoría *acné*, la cual antes de la intervención tenía una frecuencia relativa del 20%. Este *debilitamiento* del modelo clásico se vio acompañado de una mejor descripción de la categoría *pus* con el 48,4% de las respuestas dadas por ellos frente al 37,1% antes de la intervención didáctica.
- Las categorías: *respuesta inmune*, *acné*, *pus* e *infección*, se constituyen en la columna vertebral del modelo clásico para explicar la fagocitosis, expresado por los estudiantes antes de la intervención didáctica. Después de la intervención didáctica las categorías que adquirieron mayor relevancia fueron: *respuesta inmune*, *inmunidad natural*, *fagocitosis*, *inflamación*, *pus* e *infección*, las cuales se constituyen en la columna vertebral del modelo científico para explicar la fagocitosis.
- Unido al uso más preciso de categorías en el marco de los modelos científicos aceptados hoy para explicar fenómenos relacionados con la fagocitosis, encontramos el empleo de terminología especializada del ámbito de la inmunología para referirse a estos fenómenos.
- Se observó que los estudiantes realizaron explicaciones a nivel molecular sobre los fenómenos relacionados con la fagocitosis. Las descripciones realizadas por ellos antes de la intervención didáctica fueron macroscópicas, mientras que las realizadas después de la intervención fueron más ricas, más exigentes conceptualmente y estuvieron soportadas en representaciones gráficas de los fenómenos estudiados.



## BIBLIOGRAFÍA

Astolfi, J.-P. (1998). "Desarrollar un currículo multirreferenciado para hacer frente a la complejidad de los aprendizajes científicos". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 3, Vol. 16, pp. 375-385.

Bachelard, G. (1994). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI.

Camillioni, A. (2001). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. España: Gedisa.

Chomsky, Noam. (2004). *Estructuras sintácticas*. México: Siglo Veintiuno.

Clement, J.J. y Rea-Ramírez, M.A. (2008). *Model Based Learning and Instruction in Science*. USA: Springer.

Craik, K. (1943). *The Nature of Explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.

De Kleer, J. y Brown, J.S. (1981). "Mental models of physical mechanism and their acquisition". In: Anderson, J.R. (ed.). *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 285-309). New York: Hillsdale.

Franco, C. y Colinvaux, D. (2000). "Grasping Mental Models". In: Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (eds.). *Developing Models in Science Education* (pp. 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. y Stevens, A. (eds.). *Mental Models* (pp. 99-129). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Gilbert, J.K., Boulter, C. y Elmer, R. (2000). "Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education". In: Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (eds.). *Developing Models in Science Education* (pp. 3-18). Netherlands: Kluwer Academic Publisher.

Greca, J. y Moreira, M.A. (1998). "Modelos mentales y aprendizaje de la física en electricidad y magnetismo". *Enseñanza de las Ciencias*, No. 2, Vol. 16, pp. 289-303.

Grosbois, M., Rico, G. y Sirota, R. (1991). "Les manuels, un mode de textualisation scolaire du savoir savant". *Aster*, No. 13, pp. 59-91.

Gutiérrez, R. (1996). "Modelos mentales y concepciones espontáneas". *Alambique*, No. 7, pp. 73-86.

Iglesias-Gamarra, A., Siachoque, H., Pons-Estel, B., Restrepo, J.F., Quintana L., G. y Gómez, G.A. (2009). "Historia de la autoinmunidad. Primera Parte La inmunología ¿desde dónde y hacia dónde?". *Rev. Colomb. Reumatol.*, No. 1, Vol. 16, pp. 11-31.

Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Khan, S. (2008). "Co-construction and Model Evolution in Chemistry". In: Clement y Rea-Ramírez (eds.). *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 59-78). USA: Springer.

Köningsberg, M. (1999). "A simple model to facility student's understanding of the mitochondrial respiratory chain". *Biochemical Education*, No. 1, Vol. 27, pp. 9-11.

Lemke, J.L. (1997). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Paidós.

Martinand, J.L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.

Mortimer, E. y Scott, P. (2000). "Analyzing discourse in the science classroom". In: Monk, M. y Osborne, J. (eds.). *Good practice in science teaching. What research has to say*. Buckingham: Open University Press.

Nersessian, N. (2008). *Creating Scientific Concepts*. Cambridge: The MIT Press.

Norman, D.A. (1983). "Some observations on mental models". In: Gentner, D. y Stevens, A.L. (eds.). *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates Inc.

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

Núñez-Oviedo, M.C., Clement, J. y Rea-Ramírez, M.A. (2008). "Developing Complex Mental Models in Biology Through". In: Clement y Rea-Ramírez (eds.). *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 173-193). USA: Springer.

Peterfalvi, B. (2001). "Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos". En: Camilloni, A. (comp.). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza* (pp. 127-168). España: Gedisa.

Pozo, J.J. (1999). "Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico. Del cambio conceptual a la integración jerárquica". *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, Junio.

Sanmartí, N. y Jorba, J. (1996). *Importancia del lenguaje en la evaluación del proceso de construcción de los conocimientos científicos*. Universidad Autónoma de Barcelona.

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.

Solsona, N. (1997). *L'emergència de la interpretació dels fenòmens químics*. Tesis Doctoral no publicada. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.

Tamayo, Ó.E. (1999). *Tendencias sobre el concepto de bioenergética en estudiantes de primero de bachillerato*. Sus representaciones mentales. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.

\_\_\_\_\_. (2001). *Evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional. Aplicación al concepto de respiración*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.

\_\_\_\_\_. (2006). "Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas". *Revista Educación y Pedagogía*, No. 45, Vol. XVIII, pp. 37-49.

\_\_\_\_\_. (2009). *Didáctica de las ciencias: La evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales: Editorial Universidad de Caldas.

\_\_\_\_\_. (2012). "Hacia la construcción de un modelo teórico para la enseñanza de las ciencias que potencie la formación de pensamiento crítico en los estudiantes". En: Tamayo, Ó.E., Restrepo, F. y Velasco, L.A. (eds.). *Pequeños Científicos: El caso de niños y maestros*. Manizales: Editorial Universidad Autónoma de Manizales.

Tamayo, Ó. y Sanmartí, 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*, No. 2, Vol. 29, pp. 215-248.

Thagard, P. (2012). *The Cognitive Science of Science. Explanation, Discovery, and Conceptual Change*. Cambridge: The MIT Press.

Varela, F. (1997). El Segundo cerebro del cuerpo en: Fischer, H. R., Retzer, A., Schweitzer, J. En: *El final de los grandes proyectos*. Barcelona: Editorial Gedisa, 107-113.

Vosniadou, S. (1997). "On the development of the understanding of abstract ideas". In: Härnqvist y Burgen (eds.). *Growing up with science. Developing early understanding of science*. Great Britain: Atheneum Press.

Vosniadou, S. y Brewer, W. (1992). "Mental models of the earth: A study of the conceptual change in childhood". *Cognitive Psychology*, No. 24, pp. 535-585.

\_\_\_\_\_. (1994). "Mental models of the day/night cycle". *Cognitive Science*, No. 18, pp. 123-183.

Vuala, J. (1991). "Le rôle d'un dessin animé dans l'évolution des conceptions d'élèves sur la respiration". *Aster*, No. 13, pp. 7-34.