

Modelos de inmunidad en estudiantes universitarios: su evolución como resultado de un proceso de enseñanza

Mary Orrego Cardozo¹

ORCID: 0000-0002-9416-2355

Ana Milena López Rua¹

ORCID: 0000-0001-5566-331X

Óscar Eugenio Tamayo Alzate²

ORCID: 0000-0002-6080-8496

Resumen

El estudio de la evolución de los modelos conceptuales de los estudiantes es un tema de actual importancia en la didáctica de las ciencias. Los estudios iniciales en el campo de la modelización se orientaron a describir los modelos de estudiantes y profesores en diferentes campos del conocimiento con resultados importantes en la didáctica. Hoy, y de manera particular en esta investigación, asumimos los modelos como representaciones potentes para representar y construir conocimiento en el aula de clase. Con la investigación se identificaron y caracterizaron los modelos conceptuales iniciales de estudiantes universitarios sobre el concepto de inmunidad. Identificados los modelos se aplicó una unidad didáctica orientada al logro de la evolución de los modelos iniciales a los modelos de inmunología determinados por el programa curricular en el que se realizó la investigación. Esta es una investigación cualitativa, realizada con veinte estudiantes de segundo semestre de un programa universitario de ciencias de la salud. Se realizaron análisis de contenido de los textos escritos por los estudiantes a lo largo de un semestre académico. Se caracterizaron los modelos iniciales y finales de los estudiantes, así como el cambio en los usos de lenguajes y representaciones gráficas los cuales son indicadores de la comprensión de los mecanismos moleculares de defensa que forman parte de la inmunidad innata y de la adquirida. Se observó que los modelos empleados por los estudiantes antes y después de la intervención didáctica siguen principios explicativos de los modelos científicos empleados en inmunología.

Palabras clave

Modelos – Inmunología – Enseñanza – Aprendizaje.

1- Universidad Autónoma de Manizales y Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. Contactos: mary.orrego@gmail.com; cpe.analopez@gmail.com.

2- Universidad de Caldas y Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia. Contacto: oscar.tamayo@ucaldas.edu.co.



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-4634201945184698>

This content is licensed under a Creative Commons attribution-type BY-NC.

Models of immunity among college students: their evolution as a result of instruction³

Abstract

The study of the evolution of the conceptual models of students is a topic of current importance in the didactics of science. Initial studies in the field of modeling were oriented toward describing the models of students and teachers and professors in different fields of knowledge with important results in didactics. Today, and particularly in this investigation, we assume the models as powerful representations to represent and build knowledge in the classroom. First we identified the college students' initial conceptual models of the concept of immunity. Then we applied a didactic unit aimed at the evolution of the initial models to immunology models determined by the curricular program in which the investigation was conducted. This qualitative research was conducted with twenty second-semester students of a university program in health sciences. Content analysis of the texts written by the students was carried out during an academic semester. The initial and final models of the students were characterized, as well as the change in the uses of languages and graphic representations, which are indicators of the understanding of molecular defense mechanisms that are part of innate and acquired immunity. It was observed that the models used by students before and after the educational intervention follow explanatory principles of the scientific models used in immunology.

Keywords

Models – Immunology – Teaching – Learning.

Introducción

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. 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 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 o imágenes, entre otras (ORREGO; LÓPEZ; TAMAYO, 2013).

3- Translated by Ana Paula C. Renesto. Contact: paularenesto@usp.br.

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 conocer *cómo los sujetos representan mentalmente su conocimiento acerca del mundo, cómo operan mentalmente con esas representaciones y cómo éstas pueden construirse y reconstruirse* 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, lo empleamos para la resolución de cualquier problema, bien sea del ámbito educativo, familiar o laboral. Para Craik (1943), los modelos, como un tipo de representación, son análogos estructurales, comportamentales o funcionales 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.

Los estudios pioneros realizados sobre los modelos mentales desde la didáctica de las ciencias estuvieron orientados a describir los modelos 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 (TAMAYO; SANMARTÍ, 2007; VOSNIADOU; BREWER, 1992). 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, qué clases de procesos determinan su uso y cuáles son los procesos mentales que permiten su creación, lo cual implica reconocerlos, saber cómo están representados en su mente, cómo son usados por los sujetos para su razonamiento y cómo son empleados por los profesores en función del logro de aprendizajes profundos en sus estudiantes.

Además de su intencionalidad descriptiva, se 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 basado en modelos (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000, CLEMENT; REA RAMÍREZ, 2008, NERSESSIAN 2008; GILBERT; JUSTI, 2016; TABER, 2013; JUSTI; GILBERT; -FERREIRA, 2009), la cual tiene como propósito central lograr aprendizajes en profundidad en los estudiantes, 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; BOULTER; ELMER, 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.

En el estudio de los modelos en la didáctica de las ciencias, bien como representaciones o como artefactos epistémicos, abundan los diferentes significados (GILBERT; JUSTI, 2016; KNUUTTILA, 2005b). Sean ellos mediadores (MORRISSON; MORGAN, 1999) o artefactos (KNUUTTILA, 2005a, 2011; NIA; DE VRIES, 2017) son importantes en educación en ciencias. Según Gilbert y Justi (2016) los modelos funcionan como representaciones externas para soportar el pensamiento, mientras su construcción y manipulación apoyan varias funciones epistémicas.

Los modelos mentales como artefactos epistémicos no solo informan sobre lo que piensan los sujetos, sobre cómo está constituido su pensamiento o cómo se procesa la

información; también aportan conocimiento útil acerca de cómo funcionan los modelos en la práctica científica en el aula de clase. En este sentido, Knuuttila y Boon (2011), proponen considerar la modelización como una práctica en la que los modelos se constituyen en artefactos para la generación de nuevo conocimiento, lo que implica concebirllos como objetos concretos, que se expresan con representaciones externas y cuya construcción orienta el razonamiento científico dependiendo del tipo de representación, por ejemplo, las imágenes y los gráficos posibilitan diferentes tipos de razonamiento de aquellos derivados de las expresiones lingüísticas o matemáticas. Considerar los modelos como artefactos epistémicos nos lleva, de una parte, a reconocer los modelos como objetos concretos y, de otra, a reconocer su función en la construcción y reconstrucción de modelos conceptuales estudiados en las aulas de clase.

Al asumir lo anterior, presentamos, de una parte, la caracterización de los modelos empleados por estudiantes del área de la salud para referirse a los procesos inmunológicos, con el propósito de identificar los principales obstáculos frente al aprendizaje de este concepto y, de otra parte, consideramos los modelos explicativos de los estudiantes como mediadores en el proceso de construcción de conocimiento, lo cual exige acciones, conscientes e intencionadas de los profesores en función de diseñar ambientes de enseñanza que potencien el cambio en los modelos conceptuales de los estudiantes (LUKIN, 2013). En otras palabras, la caracterización de los modelos y 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; SANMARTÍ, 2007; TAMAYO, 2009).

Modelos de inmunidad

La inmunología es una ciencia moderna que se ha desarrollado de la mano de la microbiología. Es una ciencia biológica que estudia mecanismos fisiológicos de defensa, dichos mecanismos consisten esencialmente en la identificación de lo extraño y su destrucción. La respuesta inmune se considera como la acción integrada de un gran número de mecanismos de defensa contra sustancias y agentes extraños. A las sustancias extrañas se les denomina antígenos y son los que desencadenan en el organismo una serie de eventos celulares que provocan la producción de los mecanismos de defensa. La inmunidad empezó a definirse a través de experiencias y observaciones intuitivas aproximadamente 500 años a.C. Se han propuesto en la historia de la inmunología diferentes modelos que expliquen los mecanismos de defensa, dentro de los cuales se destacan: el sobrenatural, el del desequilibrio, la teoría miasmática, la iatrofísica, el modelo clásico de inmunidad, y los modelos precientífico y científico de inmunidad (BERRÓN PÉREZ et al., 2003; DOSNE, 2009; IGLESIAS GAMARRA et al., 2009; MAZANA, 2003; SILVERSTEIN, 2009; VARELA, 1997). A continuación, en el Cuadro 1, presentamos de manera general, los modelos que históricamente se han construido para explicar la inmunidad.

Cuadro 1- Principales modelos de inmunidad construidos a lo largo de la historia de la biología

Principales modelos de inmunidad a lo largo de la historia
<i>Modelo Sobrenatural:</i> Enfermedades causadas por fuerza sobrenatural. Enfermedad como forma de castigo teúrgico de los dioses o de los enemigos, por malos actos o pensamientos malvados que visitaban el alma.
<i>Modelo del desequilibrio:</i> Enfermedades atribuidas a una alteración o desequilibrio en uno de los 4 humores: sangre, flema, bilis amarilla y bilis negra. Uso de terapias como el sangrado, las ventosas, las sanguijuelas y los purgantes y expectorantes de muchos tipos (Hipócrates).
<i>Modelo de la teoría miasmática:</i> Enfermedades causadas por un miasma, una forma nociva de aire ahogado. La exposición al miasma genera enfermedad. Quien se recupera de la enfermedad cuenta con una sangre balsámica, la cual hace que esté a salvo de esta enfermedad en el futuro (Paracelso, Girolamo Fracastoro, Thomas Sydenham).
<i>Modelo clásico o biológico:</i> Sistema inmune como sistema militar. El cuerpo responde frente a amenazas externas atacando o combatiendo los agentes extraños
<i>Modelo precientífico:</i> No se sufre una enfermedad infecciosa dos veces y de padecerla la recaída nunca es mortal. Tucídides (465-395 a.C). Teoría inmunidad adquirida: la exposición a agentes patógenos otorga inmunidad duradera. Al-Razí (S. X). Mitidratismo: La resistencia a tóxicos: el organismo se hace resistente a la acción de determinado tóxico por su ingesta sucesiva en pequeñas dosis (132 a.C. y 63 a.C.). La inmunidad se adquiere por variolización, escarificación (macerado de costras) o ingestión gradual de tóxicos. Surgimiento de la inmunidad adquirida de manera activa natural y artificial.
<i>Modelo científico:</i> Conceptos centrales: prevención, inmunización. agente etiológico, resistencia a la enfermedad por vacunación, inmunidad activa, inmunidad celular, fagocitosis, complemento, inflamación, inmunidad humoral, anticuerpo, inmunoquímica, teoría de la selección clonal, red idiotípica, inmunidad natural, inmunidad de edad, inmunidad de especie, inmunidad de raza, barreras naturales, entre muchos otros.

Fuente: Tomado y adaptado de Iglesias Gamarra y otros autores (2009) y Silverstein (2009).

Desde la perspectiva de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias destacamos los estudios realizados por Maguregi, Uskola y Burgos (2017) quienes a partir de la vacunación enseñan aspectos relacionados con el sistema inmunológico. Asimismo, se destacan los trabajos de Aznar y Puig (2016a, 2016b), sobre concepciones y modelos de profesores en formación para la educación básica primaria sobre la tuberculosis. En general los resultados de investigación muestran que las ideas expresadas por los estudiantes están muy alejadas de los modelos científicos de referencia. Lundström, Ekborg, y Ideland (2012), analizaron el desarrollo de la argumentación y toma de decisiones en adolescentes mediante procesos de enseñanza centrados en las controversias científicas acerca de la vacunación o no contra la gripe. De Andrade, Araújo Jorge y Coutinho Silva (2016) encontraron que la mayoría de los estudiantes atribuían al sistema inmunológico acciones de ataque y defensa destinadas a la protección del organismo ante la invasión de patógenos y cuerpos extraños; estos autores, al igual que Aznar y Puig (2016a, 2016b), reportan un conocimiento limitado respecto a la dinámica de interacciones del organismo consigo mismo y con los elementos del entorno.

El estudio de los modelos conceptuales de inmunología de los estudiantes y de su cambio como resultado de un proceso de enseñanza son los objetivos centrales de esta investigación. Para avanzar en ello, presentamos a continuación aspectos de naturaleza metodológica.

Metodología

Se realizó un estudio cualitativo en el cual se describieron los modelos conceptuales de inmunidad de veinte estudiantes universitarios de segundo semestre de un programa de salud, de una universidad colombiana, en la asignatura de Biología Celular y Molecular. Se recogió información con un cuestionario de respuesta abierta constituido por diez preguntas en las que se presentaron situaciones cotidianas relacionadas con diferentes procesos inmunológicos (ver Cuadro 2). Se empleó, además, un instrumento tipo Likert constituido por diez ítems con justificación de la respuesta. Asimismo, se plantearon preguntas en las que se solicitaba a los estudiantes que representaran de forma gráfica diversos procesos inmunológicos (ver Cuadro 2). Esta información fue recogida a lo largo de dieciocho semanas, tiempo que duró la aplicación de la unidad didáctica por parte de una de las investigadoras. Antes de realizar los análisis correspondientes se trianguló la información obtenida con los instrumentos antes descritos. La unidad didáctica presenta en un primer momento un cuestionario para explorar ideas previas sobre inmunidad. Contiene, además, los objetivos y el desarrollo de todas las actividades conceptuales, metacognitivas, de usos del lenguaje y argumentación. Los temas enseñados en la unidad didáctica fueron: estructura y metabolismo bacteriano, estructura y ciclo reproductivo de los virus, inmunidad natural e inmunidad adaptativa.

Cuadro 2- Tipología de preguntas propuestas a los estudiantes. CA: completamente de acuerdo, A: de acuerdo, D: desacuerdo, CD: completamente en desacuerdo

Tipología de preguntas* propuestas a los estudiantes
Pregunta 1: 1. A los estudiantes de las facultades de salud se les exige al ingreso el certificado de la vacuna contra la hepatitis B. ¿Puedes explicar por qué?
Pregunta 3: ¿Cuándo nos golpeamos se produce hinchazón en la zona afectada, puedes explicar por qué?
Pregunta 9: A consulta médica llega un niño que se cayó de la bicicleta y se golpeó la cara. Presenta enrojecimiento, dolor, hinchazón y aumento de la temperatura. ¿Cómo explicaría el médico este fenómeno a los padres del niño?
Pregunta 12: Es más probable ser alérgico en la niñez que en la edad adulta CA _____ A _____ D _____ CD _____ Justifica tu respuesta
Pregunta 13: Cuando nos pica un mosquito la piel se hincha, se enrojece y aumenta la temperatura CA _____ A _____ D _____ CD _____ Justifica tu respuesta

* El cuestionario estuvo constituido por 10 preguntas abiertas y 10 tipo Likert, de las cuales se presentan 5, para efectos de ilustrar el tipo de interrogantes usados.

Fuente: Elaborado por los autores para este estudio.

El proceso de enseñanza seguido se resume en los siguientes pasos: a) aplicación de cuestionario para explorar modelos explicativos iniciales de inmunidad de los

estudiantes; b) identificación de posibles obstáculos frente al aprendizaje de los conceptos de inmunidad enseñados; c) planeación de actividades de enseñanza que incluyeron aspectos conceptuales, metacognitivos, argumentativos y de uso del lenguaje científico; d) realización del proceso de enseñanza -es de anotar que a lo largo de la experiencia de aula se aplicaron los instrumentos antes descritos para la recolección de información-; e) finalizada la actividad de enseñanza se aplicó nuevamente el cuestionario para explorar modelos explicativos finales de los estudiantes.

Una vez recogida la información con los diferentes instrumentos, previamente validados por expertos, se identificaron las oraciones nucleares (CHOMSKY, 2004) 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 antes de la intervención didáctica, se pasó a expresarlas porcentualmente según los modelos conceptuales de inmunidad a los que ellas se referían (los modelos el clásico, el precientífico y el científico). Luego se realizaron redes semánticas que describen los aspectos más característicos de los modelos conceptuales de inmunidad. Con la información arrojada por los diferentes instrumentos aplicados a lo largo de la actividad de enseñanza se caracterizó la evolución de los modelos conceptuales de los estudiantes.

Inmunidad antes de la intervención didáctica

Antes de la intervención didáctica identificamos tres modelos conceptuales: el precientífico, el clásico, y el científico (ver tabla 3). El modelo precientífico está relacionado con sistema inmune, resistencia adquirida y con el postulado de Tucídides y el modelo clásico, está relacionado con el sistema inmune como sistema que ataca o combate lo extraño. En el modelo científico se ubicaron el 90,4% de las oraciones nucleares (CHOMSKY, 2004) elaboradas por los estudiantes, es decir 549 de un total de 607 oraciones analizadas. En este modelo se destacan las categorías defensa, inmunidad innata, resistencia adquirida, transmisión y vacunación (ver Tabla 1).

Tabla 1- Porcentaje de respuestas para el modelo de inmunidad antes de la Intervención Didáctica (AID) y porcentajes de respuestas encontradas para el modelo científico AID

Modelos de inmunidad (AID)		Modelo científico de inmunidad (AID)	
Modelo	Porcentaje de respuestas	Categoría	Porcentaje de respuestas
Modelo pre-científico	3,4	Defensa	14,2
		Inmunidad innata	23,1
Modelo Clásico	6,1	Sistema Inmune	1,8
		Resistencia adquirida	15
Modelo Científico	90,4	Transmisión	12,2
		Vacunación	22,9

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 2, presentamos algunas de las respuestas más frecuentes en los modelos conceptuales de los estudiantes.

Tabla 2- Tipología de respuestas dadas por los estudiantes para explicar fenómenos relacionados con la inmunidad

Pregunta*	Respuesta
<p>5. En el ambiente que nos rodea se encuentran gran cantidad de microorganismos como: bacterias, virus, hongos y parásitos. Muchas personas son colonizadas por estos microorganismos y sólo algunas desarrollan la enfermedad. ¿Puedes explicar por qué?</p>	<p>5.9. Las personas que desarrollan esta enfermedad ..., es porque la persona, pueda tener sus defensas bajas. 5.16. ... porque se encuentran bajos de defensas o por el medio que los rodea hace que estos microorganismos los ataquen y sean expuestos a las enfermedades. 5.20. A causa de las defensas, si tienen muchas defensas o muy pocas pueden desarrollar la enfermedad, también depende de la alimentación, los chequeos médicos, el cuidado de la salud en general. 5.27. Pienso que algunas personas no desarrollan la enfermedad ya que tienen buenas defensas que ayudan a contrarrestar los microorganismos.</p>
<p>7. Al 80% de las personas de raza negra el <i>Plasmodium vivax</i> no les causa malaria, mientras que la mayoría de blancos son infectados por este parásito. ¿Cómo se podría explicar este fenómeno?</p>	<p>7.17. Las personas de raza blanca comparados con los de raza negra son muy propensos a sufrir más enfermedades. 7.19. Porque los de raza negra tiene mecanismo que los defienden contra eso. 7.21. Quizás las personas de raza blanca son más propensos a padecer este virus, los de raza negra pueden ser más fuertes ante esto debido a su tipo de piel.</p>
<p>15. Los bebés alimentados con leche materna son más resistentes a sufrir enfermedades ocasionadas por microorganismos CA A D CD Porque:</p>	<p>15.33. A, porque la leche materna tiene componentes con altas defensas para el niño y que además son importantísimas para el correcto y buen desarrollo del bebe. 15.25. CA la leche materna no solo le proporciona carbohidratos y proteínas, sino que a su vez le proporciona defensas para poder combatir muchos microorganismos. El niño entra en contacto con diferentes microorganismos tanto de la madre como del medio. 15.14. CA la leche materna tiene más vitaminas, mas sustancias de defensa para el bebe, lo cual la leche de vaca nos las tiene, además esta leche es procesada. 15.8. A, por medio de la leche materna, adquieren las defensas de la madre.</p>

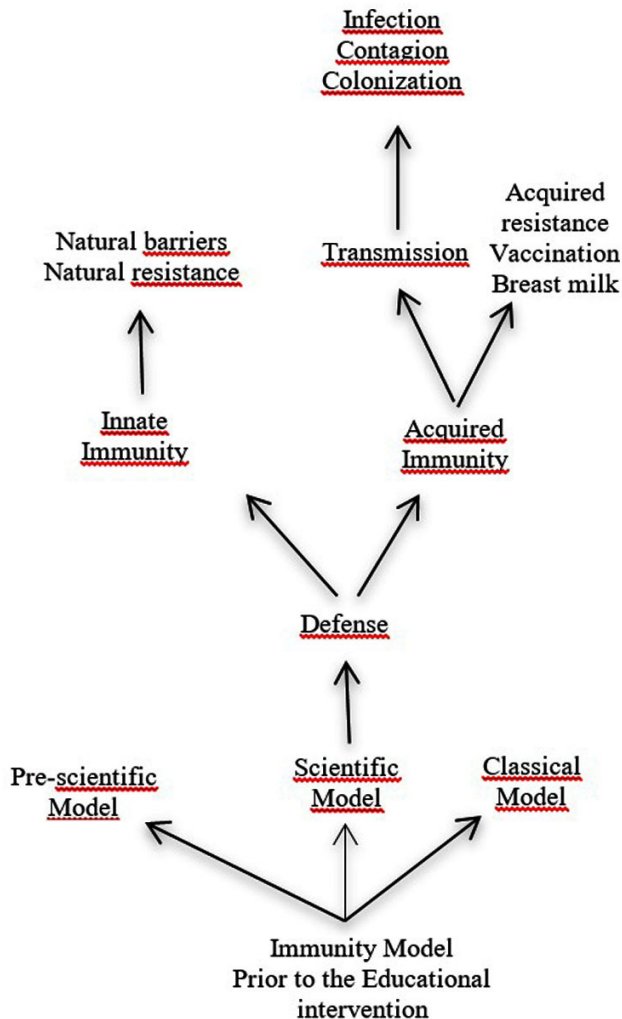
Tipología de respuestas dadas por los estudiantes para explicar fenómenos relacionados con la inmunidad. CA: completamente de acuerdo, A: de acuerdo, D: desacuerdo, CD: completamente en desacuerdo.

* Presentamos a manera de ilustración tres (3) preguntas (5, 7 y 15) con algunas de las respuestas dadas por los estudiantes.

Fuente: Elaboración propia.

Los estudiantes se refieren al término *defensas* para expresar que éstas pueden estar bien o mal desarrolladas en un individuo o pueden estar bajas y esto puede favorecer el desarrollo de microorganismos. En general, se limitan a hablar de defensas sin llegar a explicar sus mecanismos de acción. Como se evidencia en la figura 1, la categoría *defensa* se relaciona directamente con la presencia o ausencia de enfermedad. En las respuestas dadas por los estudiantes (ver Tabla 2), no se explica la función de la respuesta adaptiva (inmunidad adquirida) que tiene como finalidad activar mecanismos de defensa contra microorganismos agresores. Los estudiantes mencionan que la leche materna transmite defensas a los bebés, además, relacionan los nutrientes de la leche materna con la resistencia adquirida, sin llegar a realizar explicaciones científicas de lo sucedido.

Figura 1- Representación del modelo de inmunidad de los estudiantes antes de realizar la intervención didáctica, inferido de las respuestas dadas por ellos. Si bien hay una marcada tendencia a referirse al modelo conceptual de inmunidad, como quedó claro en el Cuadro 1, los estudiantes también hacen referencia a los modelos precientífico y clásico



Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, expresan que muchos individuos presentan resistencia (natural) a sufrir algunas enfermedades causadas por agentes patógenos, por ser el tipo de resistencia que confieren los factores constitutivos de la inmunidad innata, resistencia relacionada con las inmunidades de raza, de especie y genética (ver Figura 1). Los estudiantes tienen el concepto de resistencia natural asociado a la inmunidad de especie, aunque no se refieren de manera explícita a esta última y no identifican este

tipo de inmunidad como parte de la inmunidad natural. Además, se refieren al concepto de inmunidad de raza a partir de los conceptos de resistencia y susceptibilidad. En general, podemos decir que los estudiantes desconocen los procesos inmunológicos que se dan en el organismo, los términos para referirse a la inmunidad adquirida pasiva y activa y los procesos moleculares que ellos explican. Las respuestas son simples y generales y no hacen alusión a los procesos que permiten adquirir inmunidad de manera natural o artificial. Resaltamos que hay desconocimiento de los agentes etiológicos de las enfermedades infecciosas. Destacamos, además, que no conocen los mecanismos moleculares a través de los cuales un microorganismo entra a las células hospederas. Aunque mencionan algunos términos como inmunidad adquirida, de raza, especificidad, capacidad para recordar, los estudiantes no dan explicaciones moleculares sobre la forma como las células del sistema inmune reconocen los microorganismos; en síntesis, no tienen el conocimiento de los eventos moleculares y fisiológicos que acontecen en los mecanismos de defensa específicos como la inmunidad celular y la inmunidad humoral.

Inmunidad después de la intervención didáctica

En la Tabla 3 presentamos tipologías de respuestas dadas por los estudiantes después de la intervención didáctica. Identificamos 2 modelos conceptuales: el clásico y el científico (ver Tabla 4). El modelo clásico, está relacionado con el sistema inmune como sistema que ataca o combate lo extraño. En el modelo científico se ubicaron el 98% de las oraciones nucleares (CHOMSKY, 2004) elaboradas por los estudiantes, es decir 719 de un total de 734 oraciones analizadas. Es de anotar que el total de las 719 oraciones nucleares hacen referencia a elementos de naturaleza científica, en otras palabras, y de acuerdo con Chi (2008), son enunciados que pertenecen a la misma ontología; sin embargo, los usos del lenguaje, los procesos de razonamiento empleados y los conceptos a los cuales se refieren, son de baja complejidad.

En este modelo se destacan las categorías: *inmunidad innata*, dentro de la cual los estudiantes se refieren a inmunidad de especie, de raza y de edad, así como a los receptores; e *inmunidad adquirida*, al interior de la cual los estudiantes se refieren a la inmunidad pasiva o natural, a memoria inmunológica, a enfermedad y a vacunación. Las respuestas clasificadas en este modelo corresponden a los planteamientos teóricos que hacen parte del sistema inmune específicamente sobre inmunidad natural e inmunidad adquirida.

Tabla 3- Tipología de respuestas dadas por los estudiantes para explicar fenómenos relacionados con la inmunidad

Pregunta	Respuesta
<p>7. Al 80% de las personas de raza negra el <i>Plasmodium vivax</i> no les causa malaria, mientras que la mayoría de blancos son infectados por este parásito. ¿Cómo se podría explicar este fenómeno?</p>	<p>7.14 Se puede explicar de acuerdo a la inmunidad innata, dentro de ella hay un factor constitutivo bastante importante que es la inmunidad de raza, lo cual se aplica en este caso, ya que las personas de raza negra no tienen el receptor Duffy y los de raza blanca tienen el receptor duffy en la membrana de los eritrocitos (glóbulos rojos), lo que permite el reconocimiento del virus y su posterior colonización.</p>
<p>14. Los niños que sufren varicela cuando son adultos nunca vuelven a padecer esta enfermedad CA A D CD Porque:</p>	<p>14.14 CA, Estoy completamente de acuerdo ya que al padecer la enfermedad nuestro sistema inmunológico está en la capacidad de reconocer el tipo de microorganismo que produjo tal enfermedad para posteriormente eliminarlo-esto lo llamamos "inmunidad adquirida". 14.15 CA, El sistema inmune, más específicamente las células de inmunidad adquirida desarrollaron memoria frente al microorganismo causante de varicela cuando sufrieron de la enfermedad.</p>
<p>17. Las personas que desarrollan el SIDA mueren por cáncer o por infecciones producidas por diferentes tipos de microorganismos como los que producen la tuberculosis, la hepatitis o la neumonía. CA A D CD Porque:</p>	<p>17.12 CA, El sida es una enfermedad causada por el VIH, este virus actúa sobre las células del sistema inmune lo que hace que queden afectadas e incapaces de combatir ciertos microorganismos peligrosos, lo que hace que el cuerpo quede muy vulnerable. 17.16 A, El virus VIH ataca a los linfocitos T y estos son los que activan los linfocitos B, entonces la ausencia de estas células ocasiona que el sistema inmune se encuentre débil y no pueda atacar fácilmente a los microorganismos que se adhieren al tejido. 17.18 CA, Ya que las personas que son portadoras del virus del VIH tienen una gran deficiencia en su sistema inmune y esto hace que distintos organismos que causan cualquier tipo de enfermedad entren al cuerpo afectado y lo afecten con gran facilidad hasta causar la muerte.</p>
<p>19. Cuando los americanos y los europeos viajan a zonas tropicales les exigen la vacuna contra la malaria. CA A D CD Porque:</p>	<p>19.16 CA, Porque los americanos y europeos son personas de raza blanca y por tanto sus eritrocitos contienen el receptor Duffy que reconoce el <i>plasmodium vivax</i> y es este el causante de la malaria. 19.1 A, En las zonas tropicales es común encontrar al <i>plasmodium vivax</i>,... encargado de transmitir la malaria y más aún como las personas de estos lugares tienden a ser de raza blanca, no poseen en la membrana de sus células el receptor Duffy.</p>

Tipología de respuestas dadas por los estudiantes para explicar fenómenos relacionados con la inmunidad. CA: completamente de acuerdo, A: de acuerdo, D: desacuerdo, CD: completamente en desacuerdo.

Fuente: Elaboración propia.

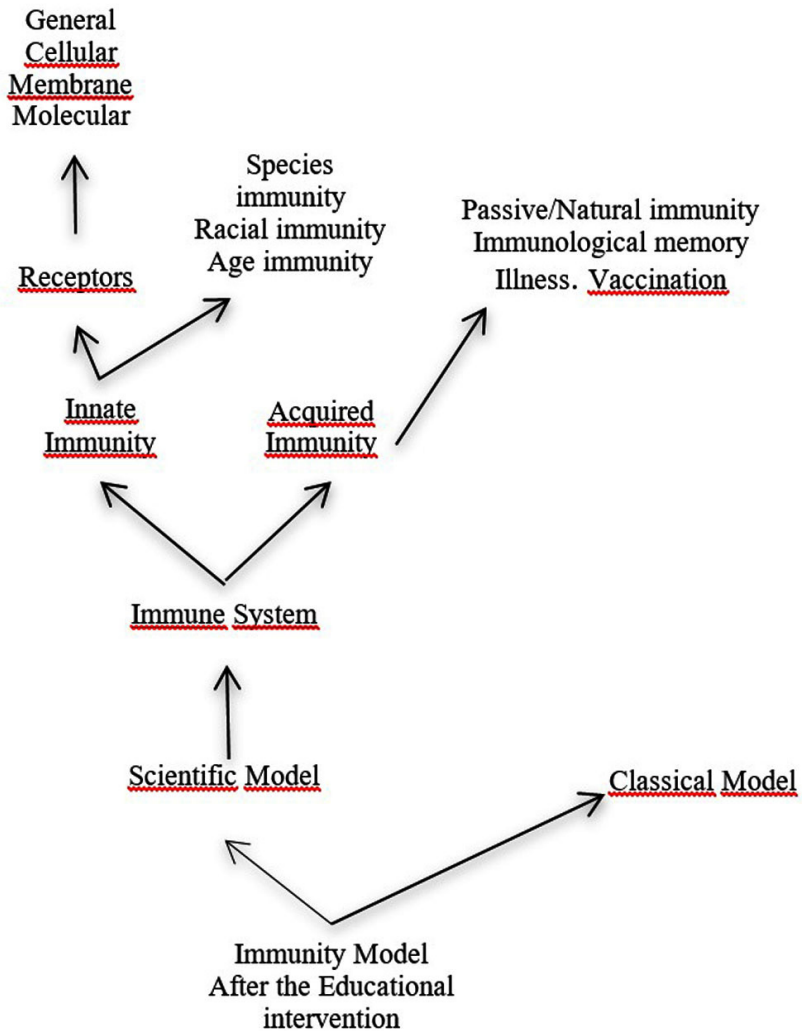
Tabla 4- Porcentaje de respuestas para el modelo de inmunidad después de la Intervención Didáctica (DID) y porcentajes de respuestas encontradas para el modelo científico DID

Modelos de inmunidad (AID)		Modelo científico de inmunidad (DID)	
Modelo	Porcentaje de respuestas	Categoría	Porcentaje de respuestas
Precientífico	0	Inmunidad innata	48,8
		• De especie	3,8
Clásico	2,0	• De raza	5,3
		• De edad	0,7
Científico	98,0	• Receptores	29,4
		Inmunidad adquirida (Pasiva/Natural inmunidad, memoria Inmunológica, enfermedad, vacunación).	35,1

Fuente: Elaboración propia.

Los estudiantes relacionan la inmunidad innata con inmunidad de raza, inmunidad de especie, factores genéticos y barreras naturales. Cuando realizamos preguntas para indagar sobre los elementos constitutivos de la inmunidad innata o natural, encontramos que, después de la intervención didáctica, los estudiantes reconocen los componentes de este tipo de inmunidad, con explicaciones a nivel celular y molecular; el 48,8% de las respuestas dadas por los estudiantes (358 respuestas de un total de 734) se refieren a la categoría inmunidad natural, al interior de la cual se refieren a inmunidad de especie, de raza y a los factores genéticos. Los estudiantes identifican los receptores para explicar la interacción célula hospedero-microorganismo o la interacción célula inmunitaria-microorganismo. Para referirse a los receptores, hallamos respuestas generales de los estudiantes en las que no se especifican estructuras celulares. Algunos lo hacen de manera general sin ubicarlos en estructuras celulares o a nivel plasmático; otros ubican los receptores en la célula sin especificar su ubicación y otros los ubican específicamente en las membranas (ver Figura 2). Asimismo, tienen el concepto de inmunidad adquirida, identifican los tipos de inmunidad activa, pasiva y reconocen que este tipo de inmunidad se adquiere de manera natural o artificial, el 35,1% de las respuestas dadas por los estudiantes (258 de 734) se refiere a este tipo de inmunidad, (ver Tabla 6). Los estudiantes explican que la inmunidad adquirida activa se genera cuando se ha padecido una enfermedad infecciosa ocasionada por microorganismos, o también por procesos de vacunación, además, mencionan que al adquirir este tipo de inmunidad se genera memoria inmunológica para un posterior reconocimiento de los antígenos.

Figura 2- Modelo de inmunidad después de la intervención didáctica. El modelo científico se conceptualiza a partir del concepto de defensa, del cual se derivan los conceptos de inmunidad innata e inmunidad adquirida



Fuente: Elaboración propia.

Los estudiantes hacen explicaciones de los receptores como moléculas para el reconocimiento de los antígenos, por ejemplo, de los virus o de las bacterias. Reconocen los microorganismos como agentes etiológicos o agentes patogénicos, diferencian agente etiológico y enfermedad infecciosa, describen, por ejemplo, que el SIDA es una enfermedad infecciosa causada por el virus VIH y, además, pueden llegar a explicar que este virus infecta las células del sistema inmune y a describir las funciones de diferentes tipos de linfocitos. Emplean lenguaje especializado lo cual demuestra que hubo comprensión de los procesos generales y moleculares que explican fenómenos relacionados con la inmunología (ver Tabla 4). En la figura 2, representamos el modelo de inmunidad de los estudiantes después de realizar la intervención didáctica, inferido de las respuestas dadas por ellos. Se destacan en este modelo de inmunidad los conceptos centrales asociados al modelo científico: Sistema inmune, inmunidad adquirida e inmunidad innata, con sus correspondientes componentes (ver Figura 2).

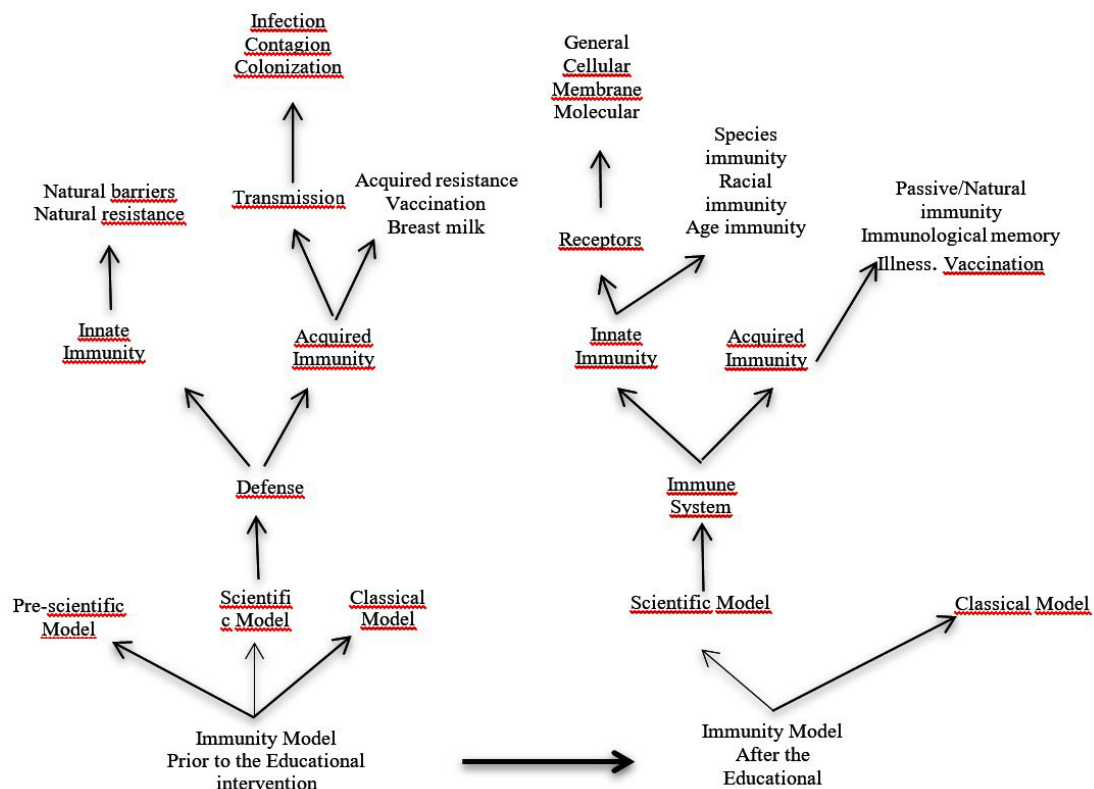
Dentro de las principales diferencias encontradas entre los modelos antes y después de la intervención didáctica (ver figura 3) podemos señalar las siguientes:

- En cuanto a la estructura del concepto de inmunidad. Antes de la intervención didáctica el modelo de inmunidad hallado en los estudiantes estuvo constituido por los modelos precientífico, clásico y científico. El modelo científico, con un total de 90,4% de respuestas se estructura a partir del concepto de defensa, del cual se derivan los conceptos de inmunidad natural y adquirida. A su vez, la inmunidad adquirida se estructura a partir de los conceptos de transmisión, resistencia adquirida y vacunación. Por su parte, después de la intervención didáctica el modelo de inmunidad estuvo conformado por dos modelos: el clásico y el científico. El modelo científico de inmunidad, con el 98% de respuestas, se estructuró a partir de la categoría sistema inmune, constituida ésta a su vez por las categorías inmunidad adquirida e innata (ver Figura 2). Parece claro que la estructura del modelo de inmunidad, después de la intervención didáctica, es más precisa en cuanto a su estructura lógica, así como en el uso del lenguaje especializado.
- La categoría central que capta la atención de los estudiantes antes de la intervención didáctica es *defensa*. Después de la intervención la categoría central es *sistema inmune*.
- Después de la intervención didáctica se observó mayor especificidad que la alcanzada antes de la intervención (ver Figuras 1 y 2).

Discusión

Los resultados descritos en páginas anteriores nos llevan a discutir el aprendizaje de los estudiantes desde cinco aspectos: a) valor de las ideas previas en el aprendizaje de inmunología; b) compatibilidad entre conocimientos cotidianos y científicos en el ámbito de la inmunología; c) aprendizaje dentro de categorías ontológicas; d) perspectiva evolutiva para el aprendizaje de la inmunología y e) enseñanza dirigida a la evolución de los modelos conceptuales de los estudiantes, donde los modelos son considerados artefactos de conocimiento. A continuación, discutiremos los aspectos antes señalados.

Figura 3- Comparación de los modelos de inmunología antes y después de la intervención didáctica (izquierda y derecha respectivamente)



Fuente: Elaboración propia.

Valor de las ideas previas en el aprendizaje de la inmunología. El reconocimiento de las ideas previas como punto de partida para la enseñanza ha sido un principio central de la buena enseñanza. En el contexto de la educación universitaria, y particularmente en lo relacionado con el aprendizaje de la inmunología, las ideas previas de los estudiantes parecen no tener tanta incidencia. Los conocimientos que tienen los jóvenes universitarios sobre inmunología parecen estar poco influenciados por conocimientos cotidianos, en virtud de dos aspectos esenciales: su naturaleza y su profundidad. De una parte, los conocimientos cotidianos logrados por los estudiantes en inmunología, antes del ingreso a la universidad, son tan generales y superficiales que poco inciden en el aprendizaje de los conceptos científicos enseñados. De otra parte, el gran desarrollo conceptual logrado en este campo, con la participación de la anatomía, la biología molecular, la bioquímica y la biofísica, entre otras ciencias, hace de este un campo altamente complejo que requiere para su aprendizaje un acercamiento científico. Es decir, los conocimientos previos sobre inmunología que tienen los estudiantes a su ingreso a la universidad, no parecen constituirse en obstáculo para los nuevos aprendizajes.

Compatibilidad entre conocimientos cotidianos y científicos en el ámbito de la inmunología. Relacionada con la característica anterior, podemos afirmar que el aprendizaje de la inmunología en el contexto de la educación universitaria sigue la hipótesis de la compatibilidad entre conocimientos cotidianos y científicos (TAMAYO, 2009). Dado que las ideas previas con las que ingresan los estudiantes a las aulas universitarias son de la misma naturaleza que las ideas científicas enseñadas por los profesores, el proceso de aprendizaje de los modelos enseñados sigue principalmente la vía del enriquecimiento gradual de lo que el estudiante ya trae al aula. En otras palabras, el proceso de aprendizaje de los modelos de inmunología enseñados sigue básicamente un proceso de diferenciación y categorización de los principios que constituyen el modelo científico con el cual ingresan los estudiantes al curso. Obsérvese que el porcentaje de respuestas pertenecientes al modelo científico antes y después de la intervención didáctica fue 90,4% y 98% respectivamente. En tal sentido, la acción de enseñanza se orienta básicamente a realizar ajustes en el proceso de categorización ya existente, reconocer categorías complementarias, emplear adecuadamente el lenguaje, relacionar las nuevas categorías aprendidas con las ya existentes y lograr explicaciones más complejas de los diferentes fenómenos estudiados. En síntesis, el aprendizaje del estudiante se da principalmente por el enriquecimiento gradual, a nivel conceptual y de usos del lenguaje, del modelo con el que ingresa al aula.

Aprendizaje dentro de categorías ontológicas. Dadas las características de los conceptos en inmunología, y de acuerdo con Chi (2008), los estudiantes para su aprendizaje siguen procesos de cambio conceptual débil, caracterizados por aprendizajes al interior de una misma categoría ontológica. Como describimos en el análisis de la información, los estudiantes no llegan al aula de Ciencias en la universidad con conocimientos previos en inmunología de naturaleza ontológica diferente a la del conocimiento científico. Es decir, no se requieren, en este caso, cambios conceptuales radicales en los cuales los conceptos se reasignan a diferentes categorías ontológicas. En consecuencia, su enseñanza estaría anclada al modelo científico de inmunología, haciendo énfasis en la ontología completa de éste.

Perspectiva evolutiva en el aprendizaje de la inmunología. Consideramos la evolución del aprendizaje de los modelos explicativos en inmunología caracterizada por dos aspectos: el primero, la complejización gradual de las explicaciones. En coherencia con lo antes señalado, el proceso de aprendizaje de la inmunología sigue una dinámica gradual de enriquecimiento que parte de los conocimientos previos que traen los estudiantes a la clase. La elaboración de explicaciones con diferentes grados de complejidad, caracterizadas por contener mayor número de variables y distintos tipos de relaciones causales entre éstas, hace de esta perspectiva de aprendizaje un proceso evolutivo. El segundo, por la cualificación en los usos del lenguaje. Unido a la exigencia conceptual gradual en el aprendizaje de la inmunología se encuentra el uso adecuado de la terminología en este campo del saber. La incorporación de manera gradual, consciente e intencionada del lenguaje especializado con el propósito de explicar fenómenos relacionados con la inmunología se constituye en un indicador del aprendizaje de los estudiantes.

Enseñanza dirigida a la evolución de los modelos de los estudiantes. La acción de los profesores se cualifica a través de la incorporación de procesos de enseñanza y de aprendizaje basados en modelos (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000; CLEMENT;

REA RAMÍREZ, 2008; NERSESSIAN, 2008). Esta perspectiva de enseñanza tiene como propósitos centrales, entre otros, lograr aprendizajes en profundidad en los estudiantes (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000; SAWYER, 2006; RAMÍREZ; TAMAYO, 2011), determinar la validez de los modelos expresados y lograr mejores comprensiones de los modelos que históricamente se han construido en los diferentes campos del saber y en su enseñanza (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000). Las investigaciones desde la perspectiva de modelos en la enseñanza de las ciencias se consideran al menos desde dos perspectivas: la primera y la más estudiada, en relación con los modelos conceptuales de los estudiantes y, la segunda en función de los modelos mentales. Estas dos perspectivas de trabajo tienen como principal aspecto distintivo su restricción o no a elementos de naturaleza conceptual. En tal sentido, parece pertinente limitar el uso del término modelo conceptual a aquellos modelos de naturaleza explicativa (por ejemplo, modelos de enlace químico, de célula, de inmunidad, etc.) y privilegiar el uso del término modelo mental para aquellos modelos en los cuales se integran aspectos de naturaleza conceptual, cognitivo-lingüística y motivacional⁴. Un proceso de enseñanza orientado a la evolución de modelos conceptuales centra su atención en la estructura lógica del concepto enseñado, en su organización jerárquica y relacional de los diferentes conceptos que lo constituyen. Un proceso de enseñanza orientado a la evolución de modelos mentales permite realizar acciones en función de lograr gradualmente explicaciones más integrales de los procesos estudiados, explicaciones que incorporen aspectos de naturaleza conceptual, de usos del lenguaje, metacognitivos y motivacionales.

En el caso particular de la enseñanza de la inmunología no encontramos en los estudiantes la presencia de diferentes modelos conceptuales de los fenómenos estudiados, tal como lo señalan, por ejemplo, Legare y Gelman (2008), al referirse a explicaciones naturales y sobrenaturales de la enfermedad. En términos de Giere (1992), no podemos referirnos a una familia de modelos en inmunología. En lugar de ello, encontramos que los estudiantes explican fenómenos inmunológicos a partir, casi de manera exclusiva, de elementos del modelo científico. En tal sentido, la evolución conceptual de los estudiantes mostró cambios débiles (CAREY, 1992; SPELKE, 1991), sucedidos al interior del modelo científico, relacionados principalmente con una mayor precisión en el uso de las ideas ya existentes, por la incorporación de otras nuevas, por el empleo de lenguaje especializado y por las explicaciones a nivel molecular. Estos cambios débiles se dan por procesos de modificación del modelo conceptual inicial con el que los estudiantes ingresan al aula, lo cual es posible cuando el modelo inicial es parcialmente compatible con el modelo de llegada objeto de enseñanza (NÚÑEZ OVIEDO; CLEMENT; REA RAMÍREZ, 2008). En esta vía la evolución del modelo se puede dar mediante la adición, eliminación o replanteamiento de alguno o algunos de los elementos del modelo de partida. Desde esta perspectiva se asume una estrategia escalonada en la evolución de los modelos mediante la cual los estudiantes reestructuran sus modelos iniciales para producir modelos intermedios sucesivos, hasta llegar al modelo de llegada propuesto para la clase.

4- Esta diferenciación parece importante en la medida en que la tradición investigativa sobre modelos en didáctica de las ciencias llama *modelo mental* a aquellos modelos específicamente de naturaleza conceptual o explicativa de un concepto o fenómeno determinado.

Conclusiones

La caracterización de los modelos empleados por estudiantes del área de la salud para referirse a los procesos inmunológicos, con el propósito de identificar los principales obstáculos frente al aprendizaje de este campo conceptual, así como considerar los modelos explicativos de los estudiantes como mediadores en el proceso de construcción de conocimiento, se constituyen en herramientas valiosas en función del logro de aprendizajes profundos de los estudiantes.

El análisis de las respuestas de los estudiantes a las diferentes situaciones presentadas durante la intervención didáctica nos permite afirmar que los modelos empleados por los estudiantes antes y después de la intervención didáctica emplean criterios explicativos de los modelos científicos empleados en inmunología. Al parecer, en el contexto de la educación universitaria, y particularmente en la enseñanza de fenómenos relacionados con la inmunología, el peso de las ideas previas es más relativo que en otros niveles de la educación. Los conocimientos previos que tienen los estudiantes sobre estos fenómenos son tan incipientes que poco o nada influyen sobre el aprendizaje de los modelos científicos enseñados en la clase de inmunología. En consecuencia, es el concepto mismo, y su propia estructura relacional, el que inicialmente es orientador de su enseñanza.

La aplicación de la intervención de aula hizo posible que los estudiantes emplearan no sólo terminología especializada sino, además, que realizaran explicaciones en los niveles celular y molecular de los fenómenos estudiados. El cambio en los usos de lenguajes, la fuerza explicativa y la exigencia conceptual en las explicaciones elaboradas por los estudiantes son indicadores del logro de aprendizajes profundos en ellos. En nuestra investigación, identificar los modelos explicativos iniciales de los estudiantes, caracterizar los obstáculos de ellos frente a aprendizajes y planear de manera consecuente las acciones de enseñanza en función del logro de aprendizajes se constituye en una estrategia para cualificar la enseñanza.

Referencias

ANZAR, Virginia; PUIG, Blanca. Concepciones y modelos del profesorado de primaria en formación acerca de la tuberculosis. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 34, n. 1, p. 33-52, 2016a.

ANZAR, Virginia; PUIG, Blanca. ¿Qué conocimientos movilizan un grupo de futuros docentes para elaborar el modelo de infección por tuberculosis? **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, Andalucía, v. 13, n. 2, p. 264-278, 2016b.

BERRÓN-PÉREZ, Renato et al. El sistema del complemento. Vías clásicas y de la lectina que se une a la manosa. **Alergia, asma e inmunología pediátricas**, México, DF, v. 12, n. 2, p. 46-52, 2003.

CAREY, Susan. **The origin and evolution of everyday concepts: cognitive models of science**. Minneapolis: Universidad de Minnesota Press, 1992.

CHI, Michele. Three types of conceptual change: belief revision, mental model transformation, and categorization shift. In: VOSNIADOU, Stella (Ed.) **International handbook of conceptual change**. New York: Routledge, 2008. p. 61-82.

CHOMSKY, Noam. **Estructuras sintácticas**. México, DF: Siglo Veintiuno, 2004.

CLEMENT, John; REA-RAMIREZ, Mary. **Model based learning and instruction in science**. Switzerland: Springer, 2008.

CRAIK, Kenneth. **The nature of explanation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1943.

DE ANDRADE, Viviane Abreu; ARAÚJO-JORGE, Tania Cremonini; COUTINHO-SILVA, Robson. Concepções discentes sobre imunologia e sistema immune humano. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 1-22, 2016.

DOSNE, Christiane. Hitos en la historia de la inmunología: Apogeo y caída de la teoría de la red. **Medicina**, Buenos Aires, v. 69, n. 5, p. 582-584, 2009.

GIERE, Ronald. **La explicación de la ciencia: un acercamiento cognoscitivo**. México, DF: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1992.

GILBERT, John; BOULTER, Carolyn; ELMER, Roger. Positioning models in science education and in design and technology education. In: GILBERT, John; BOULTER, Carolyn (Ed.). **Developing models in science education**. Netherlands: Kluwer Academic, 2000. p. 3-18.

GILBERT, John; JUSTI, Rosária. Models of modelling. In: GILBERT, John; JUSTI, Rosária (Ed.). **Models and modeling in science education**. Switzerland: Springer, 2016, p. 17-38.

IGLESIAS-GAMARRA, Antonio et al. Historia de la autoinmunidad: primera parte la inmunología ¿desde dónde y hacia dónde? **Revista Colombiana de Reumatología**, Bogotá, v. 16, n. 1, p. 11-31. 2009.

JUSTI, Rosaria; GILBERT John; FERREIRA, Poliana. The application of a 'model of modelling' to illustrate the importance of metavisualisation in respect of the three types of representation. In: GILBERT, John; TREAGUST, David (Ed.). **Multiple representations in chemical education**. Switzerland: Springer, 2009. p. 285-307.

KNUUTTILA, Tarja. Modelling and representing: an artefactual approach to model-based representation. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 42, n. 2, 262-271, jun. 2011.

KNUUTTILA, Tarja. **Models as epistemic artefacts: toward a non-representationalist account of scientific representation**. 2005. 78 p. Tesina (Maestría) – Department of Philosophy and Faculty of Behavioural Sciences, Department of Education, Faculty of Arts, University of Helsinki, Helsinki, 2005a. Disponible en: <<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/hum/filos/vk/knuuttila/modelsas.pdf>>. Acceso en: agt. 2017.

KNUUTTILA, Tarja. Models, representation, and mediation. **Philosophy of Science**, v. 72, n. 5, p. 1260-1271, 2005b.

KNUUTTILA, Tarja; BOON, Mieke. How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine. **European Journal for Philosophy of Science**, Netherlands, v. 1, n. 3, p. 309-334, sept. 2011.

LEGARE, Cristine; GELMAN, Susan. Bewitchment, Biology, or both: the co-existence of natural and supernatural explanatory frameworks across development. **Cognitive Science**, EE.UU, v. 32, p. 607-642, jun. 2008.

LUNDSTRÖM, Mats; EKBORG, Margareta; IDELAND, Malin. To vaccinate or not to vaccinate: how teenagers justified their decision. **Cultural Studies of Science Education**, Netherlands, v. 7, n. 1, p. 193-221, en. 2012.

LUKIN, Kara. Exciting middle and high school students about immunology: an easy, inquiry-based lesson. **Immunologic Research**, v. 55, n. 1-3, p. 201-209, mzo. 2013.

MAGUREGI, Gurutze; USKOLA, Araitz; BURGOA, Begoña. Modelización, argumentación y transferencia de conocimiento sobre el sistema inmunológico a partir de una controversia sobre vacunación en futuros docentes. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 35, n. 2, p. 29-50, 2017.

MAZANA, Javier Sebastián. Veinticinco años de Historia de la Inmunología. **Llull**, Madrid, v. 26, n. 55, p. 175-205, 2003.

MORRISON, Margaret; MORGAN, Mary. Models as mediating instruments. In: MORGAN, Mary; MORRISON, Margaret (Ed.). **Models as mediators: perspectives on natural and social science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p. 10-37.

NERSESSIAN, Nancy. **Creating scientific concepts**. Cambridge: The MIT Press. 2008.

NIA, Mahdi; DE VRIES, Marc. Models as artefacts of a dual nature: a philosophical contribution to teaching about models designed and used in engineering practice. **International Journal of Technology and Design Education**, Netherlands, v. 27, n. 4, p. 627- 653, dec. 2017.

NÚÑEZ-OVIEDO, María Cecilia; CLEMENT, John; REA RAMÍREZ, Mary Anne. Developing complex mental models in biology through. In: CLEMENT, John.; REA-RAMIREZ, Mary (Ed.). **Model based learning and instruction in science**. Washingto, DC: Springer, 2008. p. 173-193.

ORREGO, Mary; LÓPEZ, Ana Milena; TAMAYO, Óscar Eugenio. Evolución de los modelos explicativos de fagocitosis en estudiantes universitarios. **Revista Latinoamericana de Estudios Educativos**, Manizales, v. 1, n. 9, p. 79-106, 2013.

RAMÍREZ, Liliana Patricia, TAMAYO, Óscar Eugenio. Aprendizaje profundo en semiología neurológica mediante una herramienta informática. **Hacia la promoción de la salud**, Manizales, v. 16, n. 2, p. 109-120, jul./dic. 2011.

SAWYER, Keith. Introduction: the new science of learning. In: SAWYER, Keith (Ed.). **The Cambridge handbook of the learning sciences**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. p. 1-16.

SILVERSTEIN, Arthur. **A history of immunology**. Amsterdam: Elsevier, 2009.

SPELKE, Elizabeth. Physical knowledge in infancy: reflections on Piaget's theory. In: CAREY, Susan; GELMAN, Rochel (Ed.). **The epigenesis of mind: essays on biology and cognition**. Hillsdale: Erlbaum, 1991. p. 133-169.

TABER, Keith. **Modelling learners and learning in science education: developing representations of concepts, conceptual structure and conceptual change to inform teaching and research**. London: Springer, 2013.

TAMAYO, Óscar Eugenio. **Didáctica de las ciencias: la evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias**. Manizales: Universidad de Caldas, 2009.

TAMAYO, Óscar Eugenio; SANMARTÍ, Neus. High-school students' conceptual evolution of the respiration concept from the perspective of Giere's cognitive science model. **International Journal of Science Education**, London, v. 29, n. 2, p. 215-248, 2007.

VARELA, Francisco. El segundo cerebro del cuerpo. In: FISCHER, Hans Rudi; RETZER, Arnols; SCHWEITZER, Jochen (Comp.). **El final de los grandes proyectos y el florecimiento de la praxis sistémica**. Barcelona: Gedisa, 1997. p. 107-113.

VOSNIADOU, Stella, BREWER, William. Mental models of the earth: a study of the conceptual change in childhood. **Cognitive Psychology**, Amsterdam, v. 24, n. 4, p. 535-585, oct. 1992.

Recibido en: 29.08.2017

Revisiones en: 06.02.2018

Aprobado en: 03.04.2018

Mary Orrego Cardozo es profesora de la Universidad Autónoma de Manizales, Colombia. Universidad Nacional de Colombia / Sede Manizales. Doctora en Bioquímica y Biología Molecular (Universidad Autónoma de Barcelona, España).

Ana Milena López Rua es profesora de la Universidad Autónoma de Manizales, Colombia. Estudiante de doctorado en Didáctica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

Óscar Eugenio Tamayo Alzate es doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas (Universidad Autónoma de Barcelona, España). Profesor de la Universidad de Caldas y de la Universidad Autónoma de Manizales, Colombia.