

Capítulo 5

Didácticas dominio-específicas y modularidad de la mente

Óscar Eugenio Tamayo Alzate
Universidad de Caldas
oscar.tamayo@ucaldas.edu.co

Introducción

En este capítulo se exploran algunas relaciones entre la didáctica de las ciencias, tanto desde la perspectiva general como específica, y algunos desarrollos de las ciencias cognitivas en lo relacionado con el concepto de modularidad de la mente. El origen de este propósito se sitúa en dos lugares: el primero, en la actual discusión en torno a las posibles definiciones de objetos de estudio diferentes para la didáctica general y para las didácticas específicas. El segundo, concerniente a los desarrollos teóricos de las ciencias cognitivas en cuanto al procesamiento de la información por diferentes módulos y, con ello, la identificación de posibles procesos específicos para el aprendizaje de ciertos dominios de las ciencias.

En este marco, en gran medida exploratorio e hipotético, presentamos inicialmente reflexiones en el ámbito de las didácticas generales y específicas. Posteriormente plantaremos algunas reflexiones sobre el concepto de módulos y modularización: para ello expondremos algunos fundamentos sobre el procesamiento de la información visual desde la neurociencia, lo que nos llevará al concepto de dominio en las ciencias cognitivas, a partir del cual discutiremos las

relaciones con el campo de las didácticas específicas, con las cuales concluimos. No discutiremos las múltiples y variadas relaciones entre la ciencias de referencia (química, biología, sociales...) y su didáctica de dominio específica.

Uno de los problemas centrales que se plantea la didáctica de las ciencias es cómo enseñar ciencias significativamente. Para ello se requiere describir, analizar y comprender los problemas más importantes en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, y diseñar y validar modelos de intervención que ofrezcan posibles soluciones a la problemática educativa. Para esto, han tomado fuerza diferentes líneas de investigación en las que se enfatizan aspectos como las concepciones de los alumnos, obstáculos para el aprendizaje, contexto educativo, dimensión social del aprendizaje, importancia del lenguaje en la educación, procesos de modelización –tanto de la enseñanza como del aprendizaje–, etcétera. En este marco general, nos interesa en la presente reflexión centrarnos en los procesos de aprendizaje en dominios específicos del conocimiento.

En un sentido amplio, la didáctica busca explicar, comprender y transformar el entorno del aula, mediante el conocimiento de lo que allí sucede y de los múltiples tipos de relaciones que en ella ocurren. Para lograr tales propósitos, la didáctica históricamente ha construido un conjunto de conocimientos que en la actualidad se puede considerar como central. Este eje, constitutivo de una didáctica general, está conformado por conceptos como *transposición didáctica*, *enseñanza y aprendizaje significativo*, *evaluación formativa*, *autorregulación de los aprendizajes*, *el lenguaje con el que se hace explícito el aprendizaje*, entre otros. De igual manera, hay avances metodológicos con aplicabilidad específica a la problemática de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, dentro de los que se destacan los mapas conceptuales, la «V» heurística de Gowin, las redes sistémicas y semánticas, las entrevistas «teachback», los mapas de Thagard, los análisis del discurso de la clase, etcétera. En síntesis, planteamos que el núcleo fundamental de la didáctica general como disciplina emergente, reúne desarrollos teóricos y metodológicos aplicables a la enseñanza y al aprendizaje de diferentes campos del saber.

El reconocimiento de aspectos comunes para las didácticas dominio-específicas tiene límites inherentes a la misma especificidad de los diferentes dominios del conocimiento, dada su naturaleza diferente. Es decir, los diferentes desarrollos en distintos campos del saber como la biología, matemáticas, química, ciencias sociales, ciencias humanas.... pueden requerir distintas plataformas teórico-

metodológicas alejadas de aquellas ya definidas como comunes a los diferentes campos conceptuales.

A continuación presentamos, a manera de ilustración, tres reflexiones generales, la primera sobre representaciones, la segunda sobre metacognición y la tercera sobre cambio/evolución conceptual, con las cuales pretendemos mostrar cómo ciertos desarrollos teórico-metodológicos que se pueden considerar en la actualidad de carácter general para la didáctica, permiten, a su vez, el reconocimiento de ciertas especificidades que desbordan esta perspectiva general y dan cabida a avances en dominios específicos. Conviene mencionar que este no es el único camino para proponer nuevos desarrollos en el ámbito de las didácticas disciplinares; es claro que nuevos avances se pueden derivar de manera directa de los propios desarrollos de las didácticas especiales, provenientes de los procesos de sistematización, reflexión, experimentación, comprensión y transformación que hacen cotidianamente los profesores en sus aulas de clase y en dominios específicos del conocimiento.

Representaciones

El estudio de las representaciones y su importante función en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias parece ser en la actualidad un lugar común para las didácticas. Las concepciones alternativas, los modelos mentales, las imágenes, los lenguajes, los mapas, los guiones, etc., como representaciones que son, juegan un papel determinante en los procesos de enseñanza y aprendizaje, hasta el punto de considerarse en la actualidad como uno de los puntos de partida para enfrentar los procesos de enseñanza. Algunas de las características más importantes de las concepciones alternativas de los alumnos son:

1. Se presentan asociadas a una metodología denominada *de la superficialidad*, caracterizada por respuestas rápidas, poco reflexivas y que transmiten mucha seguridad.
2. Se encuentran presentes en contextos muy diferentes y responden a situaciones muy variadas.
3. Se construyen a lo largo de la vida del individuo mediante la influencia de los diferentes contextos en los cuales él participa.
4. Son de origen tanto individual como social.

Con las primeras investigaciones realizadas sobre las concepciones alternativas se evidenció la gran importancia de las ideas de los alumnos y el papel que estas juegan para sus posteriores aprendizajes. Dichos trabajos definieron un problema central de investigación en la didáctica de las ciencias: la inconsistencia entre las respuestas teóricas de los estudiantes y su dificultad, por ejemplo, para resolver problemas prácticos o para relacionar la teoría con los fenómenos observados, lo cual evidencia comprensiones alejadas del ámbito científico en el aprendizaje de los estudiantes.

Si bien el trabajo sobre representaciones ha contribuido sustancialmente a la didáctica, parece claro que no todos sus desarrollos son comunes a las distintas didácticas dominio-específicas. La didáctica de las matemáticas ha avanzado en torno al concepto de representación, generando gran impacto en la enseñanza y aprendizaje (Duval, 1999, 2006; Vasco, 2004), especialmente en cuanto a la producción e interpretación de los diferentes tipos de representaciones externas, los registros semióticos, los procesos de tratamiento y de conversión, así como lo entendido por signo, señal, ícono y símbolo. De forma similar, las ciencias sociales han abordado los fundamentos epistemológicos de las representaciones mentales y sociales, el carácter social de las representaciones, la problemática entre individuo y sociedad, los vínculos entre las representaciones sociales y las prácticas, las diferencias entre conocimiento científico y cotidiano, entre otros (Moscovici, 1986; Edwards y Potter, 1992, Rodríguez, 2003). Sin embargo, en este campo de las ciencias sociales los desarrollos sobre el concepto de representación adquieren matices lo suficientemente alejados de aquellos en el ámbito de las matemáticas; con seguridad, los tipos de registros, signos, símbolos, íconos y procesos de tratamiento y conversión son de naturaleza diferente a aquellos de las matemáticas y, en consecuencia, difícilmente podríamos suponer la transferencia directa de desarrollos teórico-metodológicos del dominio de las matemáticas al de las ciencias sociales y viceversa.

Metacognición

Los procesos metacognitivos se consideran indispensables para el logro de aprendizajes en profundidad. La metacognición se refiere, en términos generales, al conocimiento que tienen las personas sobre sus propios procesos cognitivos, es decir, a su habilidad para identificar los distintos tipos de conocimiento que

posee o no en un campo disciplinar específico, a la conciencia de su desempeño en mencionado campo y a su capacidad de monitorear, evaluar y planificar sus propios procesos de aprendizaje. Es especialmente importante para la educación y para la didáctica de las ciencias debido a que incide en la adquisición, comprensión, retención y aplicación de lo que se aprende; además tiene influencia en la eficacia del aprendizaje, el pensamiento crítico y la resolución de problemas. La metacognición se considera una de las habilidades más importantes que definen el pensamiento científico; mediante ella se pueden diferenciar y relacionar la teoría y los hechos, es decir, ser capaz de pensar explícitamente acerca de las ideas o concepciones que uno tiene, más que solo pensar *con* esas concepciones (Tamayo, 2006).

Las discusiones actuales en el ámbito de la metacognición plantean preguntas de gran interés ¿es la metacognición una habilidad de carácter general o de dominio específico?, ¿qué habilidades metacognitivas son transferibles de un dominio a otro?, ¿existen algunas diferencias en cuanto al soporte neurobiológico que explica desarrollos metacognitivos en diferentes campos del conocimiento?, ¿es posible enseñar habilidades metacognitivas? De ser así, ¿son los procesos de enseñanza mediados por un actuar metacognitivo de profesores de ciencias naturales, similares a aquellos de profesores de matemáticas, ciencias humanas o sociales? El consenso entre la comunidad de investigadores en educación en cuanto a la importancia de la metacognición en los procesos de enseñanza aprendizaje y, a su vez, en cuanto a la dificultad para lograr resultados de investigación válidos, es aplicable para la discusión entre la didáctica general y la didáctica de dominio específica que adelantamos en este documento.

Cambio conceptual

Otro componente esencial en los actuales estudios en didáctica lo constituye los trabajos sobre evolución/cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson y Herzog, 1982; Strike y Posner, 1992; Tamayo y Sanmartí, 2007). Sus principales campos de investigación se centran en la comprensión de los procesos que llevan a la formación de los conceptos naturales, la formación y evolución de los conceptos científicos y la inteligencia artificial. La evolución conceptual desde la perspectiva cognitiva considera, en primer lugar, la existencia de *ideas previas* en los estudiantes, las cuales se caracterizan por ser relativamente coherentes, comunes

en distintos contextos culturales y difíciles de cambiar; y en segundo lugar, la existencia del conocimiento científico. Estas dos formas de conocer definen diferentes formas de concebir el cambio/evolución conceptual. En el ámbito de la enseñanza de las ciencias existe acuerdo generalizado sobre la importancia de favorecer el cambio o la evolución de estas *ideas*, de tal manera que se *acerquen* más a los conocimientos científicos.

En los estudios de cambio conceptual en dominios específicos se observa un esfuerzo importante de parte de los investigadores por caracterizar los procesos de cambio conceptual, proponer hipótesis de secuenciación y progresión de los contenidos a enseñar, derivados del estudio detallado de los procesos de aprendizaje en dominios específicos del conocimiento (Vosniadou y Brewer 1992; Pintrich, Marx y Boyle, 1993; Caravita y Hallden, 1994; Chin y Brown, 2000; Tytler, 2000, Prieto, Blanco y Bredo, 2002). Al igual que en las dos ilustraciones anteriores (representaciones y metacognición), las investigaciones del cambio conceptual parecen referirse de manera específica a los dominios de la física, la química, la biología.

Las didácticas se pueden beneficiar de la integración de discusiones provenientes de otros campos disciplinares. De especial interés son los aportes de las teorías de la mente, específicamente aquellos referidos a la modularidad en el procesamiento de la información. Las páginas que presentamos a continuación exploran algunas de estas relaciones que pueden ser promisorias para el ámbito de la enseñanza de las ciencias; para ello presentamos, a manera de ejemplo, algunas características del procesamiento de información visual; posteriormente discutimos los conceptos de módulo mental y modularización, para concluir con algunas reflexiones preliminares que integran las discusiones anteriores a la enseñanza de las ciencias en dominios específicos.

La percepción visual como ejemplo de procesamiento modular de la información

Durante los años 40, Bard, Marshall y Woolsey mostraron por primera vez que el cuerpo humano está representado en la superficie del cerebro (Kandel, 2009). Con base en estos resultados, Mountcastle demostró que diferentes submodalidades sensoriales están segregadas en la corteza somatosensorial primaria, y las neuronas que responden a una modalidad específica se encuentran agrupadas en

estructuras anatómicas llamadas columnas corticales, que comparten las mismas propiedades eléctricas (Mountcastle, 1957). Pocos años después, David Hubel y Torsten Wiesel hallaron grupos de neuronas de la corteza visual primaria (V1) que responden a barras o líneas de orientaciones específicas (Hubel y Wiesel, 1962), un segundo ejemplo de segregación de modalidades sensoriales.

Estos dos ejemplos indican que diferentes tipos de entradas sensoriales (información) son procesadas de manera independiente por estructuras anatómicas diferentes con propiedades eléctricas específicas, y soportan la idea de modularidad en el procesamiento de la información. Un análisis más detallado de cómo se procesa la información en el sistema visual ilustra mejor esta idea.

La percepción visual comienza con la estimulación de los fotorreceptores retinianos y finaliza en las regiones de asociación de los lóbulos parietal y temporal. La mayor parte de la información que hace parte de la conciencia visual alcanza la corteza visual primaria (V1) localizada en el lóbulo occipital y, a partir de esta región, es distribuida por las cortezas visuales secundarias (V2-V6) y terciarias (Carlson, 1999).

Desde comienzos del siglo xx existía la noción de dualidad en la percepción visual, pues Heinrich Lissauer y Paul Flechsig establecieron la existencia de zonas primordiales para la visión (V1) y zonas de asociación visual (Zeki, 1995). Gracias a las investigaciones de Semir Zeki sabemos que las áreas V2-V6 están especializadas en el procesamiento de tipos diferentes de información visual, hecho que se debe a la organización jerárquica de diferentes áreas visuales que tienen arquitecturas corticales diferentes. Esta concepción jerárquica del procesamiento visual se puede expresar de la siguiente manera: existen células simples en V1, conectadas a su vez con células complejas en V2, las cuales se conectan con células hipercomplejas ubicadas en la corteza de asociación visual (Zeki, 1995); en esta cascada, la totalidad de la información aferente llega hasta V1, zona de relevo sináptico desde la cual diferentes «bits» son distribuidos para un «análisis» por separado, efectuado por las áreas visuales secundarias V2-V6, entre otras. El siguiente es un ejemplo de modularidad en el procesamiento de la información visual.

Grosso modo, hay dos grandes vías de procesamiento visual que comienzan en V1, llamadas vía del *qué* o ventral y del *dónde* o dorsal; esta concepción se debe a Ungerlieder y Mishkin (1983). Según esta teoría, el procesamiento de la

información que lleva a la determinación de los objetos, como la forma o el contorno, se produce en una vía que va desde V1 hasta la corteza temporal inferior (vía ventral); existen regiones localizadas en este área que responden específicamente a caras, lugares o partes corporales (Op de Beeck, 2008). Por otra parte, una vía independiente de la anterior se dirige desde V1 hasta la corteza parietal posterior y se encarga del procesamiento espacial de la información visual (vía dorsal). Este modelo teórico ha sido muy importante desde sus inicios, pues establece dos vías neurales diferentes para el procesamiento de dos características diferentes de los objetos: la forma y la localización en el espacio. Sin embargo, se ha demostrado que la salida de la información desde V1 se produce en paralelo, con interconexiones recíprocas entre muchas de las áreas secundarias (Carlson, 1999), hecho que invalida la independencia estructural y funcional completa de las dos vías dorsal y ventral. Por tanto, aunque no son totalmente independientes, estas vías actúan como módulos en el sentido en que están mejor conectadas entre ellas que con las regiones adyacentes. Este principio funciona para otras regiones cerebrales.

En conclusión, diversas zonas visuales secundarias poseen cierta independencia funcional y estructural; por ejemplo, un déficit específico para la detección del movimiento de los objetos (o aquinetopsia) debido a una lesión restringida al área MT/V5, ilustra esta idea (Zeki, 1991). De forma parecida, algunas personas presentan acromatopsia o visión sin colores, debido a una lesión del área V4 (Kandel, et ál., 2001). Estos déficits sugieren la existencia de módulos para el movimiento y los colores. Por tanto, hay zonas discretas de la corteza visual especializadas en el análisis de atributos diferentes de la imagen, es decir, módulos diferenciados funcional y estructuralmente. Es interesante mencionar que esta segregación de las áreas visuales ha permanecido por toda la historia filogenética de los mamíferos, siendo más refinada en los primates (Striedter, 2004). Si dichos módulos están preespecificados genéticamente o maduran durante el desarrollo, es difícil de responder.

Modularidad de la mente

Chomsky, mediante el análisis del lenguaje y al observar que no es posible explicar la preferencia de las personas por el uso de ciertas estructuras lingüísticas, llega a la conclusión de que la mente es modular, es decir, que consta de sistemas

separados (lenguaje, sistemas, visual, reconocimiento de rostros, entre otros) para el procesamiento de la información. Algunos de los componentes de la propuesta de la modularidad son, según Hirschfeld y Gelman (2002):

1. Los principios que determinan las propiedades de la facultad del lenguaje son diferentes de los principios que determinan las propiedades de otros dominios del pensamiento.
2. Estos principios reflejan nuestras bases biológicas particulares.
3. Las propiedades peculiares del lenguaje no se pueden atribuir al funcionamiento de un mecanismo de aprendizaje general (Hirschfeld y Gelman, 2002).

Para Fodor, el conocimiento de distintos aspectos del mundo se representa mentalmente en diferentes formatos. La percepción no solo implica interpretación, pues está limitada por el formato en que se representa ese tipo particular de conocimiento. Es decir, los sistemas de entrada no son solo conductos de percepción, sino módulos mentales que llevan aquellas representaciones que se interpretan más naturalmente, como características de la disposición de los objetos del mundo. Los analizadores de las entradas son, para Fodor, sistemas que llevan a cabo inferencias (Fodor, 1986).

En su libro *La modularidad de la mente* (1986), Fodor identifica módulos para la percepción de colores, el análisis de las formas, de las representaciones espaciales tridimensionales y el reconocimiento de rostros y voces. El autor diferencia entre sistemas de entrada (responsables del conocimiento del mundo) y transductores (que compilan informaciones tomadas del mundo). Los sistemas de entrada (módulos) se diferencian de los procesadores centrales en que toman información de los módulos y hacen intervenir esta información en funciones superiores, como la fijación de creencias.

Fodor, en uno de sus principales hallazgos, describe la existencia de discontinuidades entre procesos perceptivos y conceptuales. Propone que los procesos perceptivos se desarrollan a partir de mecanismos especializados y fuertemente rígidos. Estos módulos tienen su base de datos propia y no toman información de los procesos conceptuales (Sperber, 2002, p. 71). Un proceso perceptivo tiene como *entrada* la información que proviene de los receptores sensoriales y, como *salida*, una representación conceptual que caracteriza el objeto percibido. Un proceso conceptual tiene como *entrada* y como *salida* procesos conceptuales. Un

módulo cognitivo es un dispositivo computacional genéticamente especificado de la mente, que trabaja de manera bastante independiente sobre inputs de algún dominio cognitivo específico.

Al parecer, la comprensión de sentido común que tienen las personas acerca del movimiento, los seres vivos y las acciones de alguien, se basa en tres mecanismos diferentes: uno físico, uno biológico y uno psicológico intuitivo. Se propone que estos mecanismos no son conocimientos adquiridos sino que hacen parte del equipamiento cognitivo innato. Para Fodor (según Sperber, 2002), la modularización en dominios específicos viene determinada de manera innata, siendo los módulos independientes y autónomos. Sus actividades son obligatorias y rápidas, se encuentran encapsuladas en lo que respecta a la información, es decir, solo disponen del fondo de información que se encuentra en su propia base de datos. Los módulos están «vinculados con una arquitectura neural fija».

Evolución de la modularidad cognitiva

Desde una perspectiva evolutiva, muchos trabajos recientes sostienen que diversos procesos básicos del pensamiento conceptual, presentes en todas las culturas y en todos los seres humanos con un desarrollo normal, están gobernados por competencias de dominio específicas (Sperber, 2002, p. 75). De ser así, los módulos tienen carácter innato y por ende sería posible hacerles un seguimiento filogenético.

Desde la biología de la evolución resulta poco plausible y poco económico considerar la mente humana como una máquina equipotencial, dotada para todos los propósitos (Cosmides y Tooby, 2002, p. 137); en términos de los autores, lo que sirve para todo no es bueno para nada, dado que solo se puede lograr la generalidad sacrificando la eficiencia. Cuanto más importante es el problema de adaptación, más intensamente la selección natural especializa y mejora el desempeño del mecanismo para resolverlo. Diferentes problemas adaptativos no pueden resolverse a partir de un solo mecanismo general. Dado lo anterior, puede suponerse que la mente humana incluya una cantidad de especializaciones cognitivas adaptativas. En palabras de Cosmides y Tooby,

una psicología humana que solo contuviese mecanismos de dominio general sería incapaz de evolucionar, porque un sistema de este tipo no puede comportarse de manera adaptativa y por lo tanto no podría haber

conseguido resolver los problemas del contexto ancestral cuya solución ha permitido que hoy estemos aquí (Cosmides y Tooby, 2002, p. 139).

Algunos puntos relevantes que apoyan la especialización son:

1. Toda arquitectura cognitiva humana debe/tuvo que haber producido comportamientos adaptativos mínimos según los contextos en los cuales se desarrollaban los hombres. De haber una arquitectura cognitiva de dominio general, esta debió ser capaz de resolver todos los problemas necesarios para la sobrevivencia. Es fácil evidenciar la exigencia de problemas específicos, los cuales no podrían ser solucionados desde dominios generales.
2. Desde un punto de vista biológico, el aumento de la funcionalidad es el único resultado de la selección. No hay evolución desde el criterio, por ejemplo, de economía cognitiva (específicamente cuando entra en conflicto con la funcionalidad). De igual manera, no hay razones para que los procesos azarosos de evolución creen arquitecturas cognitivas que operen según principios simples, generales y económicos (Cosmides y Tooby, 2002, p. 140).

Destacan los autores que una arquitectura funcional de dominio general no puede guiar el comportamiento para promover la adaptación, al menos porque:

- a. Un comportamiento adaptativo varía de un dominio a otro. No hay criterios de dominio general sobre el éxito o fracaso que se correlacionen con la adaptación.
- b. En última instancia, las acciones que conducen a la adaptación no se pueden deducir ni aprender a partir de criterios generales, debido a que dependen, entre otras, de relaciones estadísticas entre rasgos del entorno. El comportamiento y la adaptación derivan del desempeño a través de muchas generaciones durante el transcurso de una vida.
- c. La explosión combinatoria paraliza a cualquier sistema que sea verdaderamente de dominio general cuando este entra en contacto con la complejidad del mundo real.

Lo que constituye un error adaptativo varía de un dominio a otro; debido a esto, debe haber tantos mecanismos cognitivos dominio-específicos como dominios, entre los cuales no se pueden compatibilizar las definiciones de comportamientos exitosos.

Dado que los módulos son el resultado de diferentes historias filogenéticas, no es de esperar que todos tengan el mismo módulo ni que estén elegantemente conectados entre sí. Aunque son dispositivos inferenciales, los procesos inferenciales que cada módulo utiliza pueden ser diferentes. Por lo tanto, desde el punto de vista modular, no es razonable pensar en una única forma de inferencia humana (reglas lógicas, esquemas pragmáticos, modelos mentales, entre otros). Este argumento es muy importante para la enseñanza y el aprendizaje, pues plantea la imposibilidad de aprender diferentes áreas de una única manera.

Modularización de la mente

Existe una crítica muy importante a la teoría de una mente modular, también llamada paradoja de la psicología de la evolución. Si nuestra especie posee módulos mentales especializados y seleccionados para los problemas de hace miles de años, ¿por qué somos habilidosos en actividades modernas, como conducir vehículos o utilizar computadores? Este argumento parecería más bien soportar la idea de la mente como un dispositivo de procesamiento general, no modular.

De modo similar, existen otros argumentos en contra de las concepciones puramente modulares de la mente. Para quienes defienden la modularidad, trastornos del neurodesarrollo –como el autismo– han sido tradicionalmente descritos como fallos o disfunciones específicas del módulo de la teoría de la mente (o psicología popular, mencionado antes). Sin embargo, los niños aquejados por dicho trastorno no solo presentan problemas de socialización o interacción con los demás, sino que también exhiben otros déficits, como trastornos perceptuales, hallazgos difíciles de reconciliar con la concepción modular. De manera similar, Karmiloff-Smith ha propuesto que, debido a que los módulos solo maduran tardíamente durante el desarrollo, y los trastornos del neurodesarrollo son eventos tempranos, las disfunciones de los módulos no permiten explicar dichos trastornos (Elsabbagh y Karmiloff-Smith, 2006). Una solución muy llamativa a este problema consiste en la idea de modularización durante el desarrollo, según la cual ciertas áreas cerebrales tienen propensiones para procesar ciertos tipos de información, de forma que el cerebro de los niños se vuelve especializado y localizado de forma progresiva (Karmiloff-Smith, 1992). Esta concepción, a diferencia de la concepción modular de Fodor, defiende la existencia de plasticidad durante el desarrollo, así como la inexistencia de módulos configurados genéticamente.

Dominios específicos y dominios de los módulos

No hay claridad, a pesar de los hallazgos investigativos, sobre lo que es un dominio. Son ejemplos de dominios: las entidades y los procesos físicos, las sustancias, las especies vivientes, los números, los artefactos, los estados mentales, los tipos sociales y los fenómenos sobrenaturales. Saber si son dominios cognitivos es asunto de la psicología o de la antropología. No obstante lo anterior, podemos caracterizar un dominio como un conjunto de conocimientos que identifica e interpreta una clase de fenómenos que supuestamente comparten ciertas propiedades y son de un tipo definido y general. Un dominio funciona como una respuesta estable a un conjunto de problemas complejos y recurrentes que el organismo enfrenta. Esta respuesta involucra procesos perceptivos, de codificación y evocación e inferenciales, que son de difícil acceso y están dedicados a la solución de ese problema (Hirschfeld y Gelman, 2002, p. 48). De lo anterior se deriva una de las funciones centrales de los dominios: la categorización.

Los dominios del conocimiento representan adaptaciones ampliamente compartidas que se ocupan de problemas recurrentes que los organismos deben enfrentar. Se considera por lo general que el procesamiento dominio específico es independiente de la voluntad, y que solo se llega a tener conciencia de él con esfuerzo. Las operaciones de dominios generalmente implican procesos perceptivos, conceptuales o inferenciales involuntarios, específicos y restringidos.

Los dominios no son campos semánticos, guiones, esquemas, prototipos o analogías. Todas estas estructuras, al igual que los dominios, son maneras de alcanzar interconexiones conceptuales y de lograr economía mental. Los dominios no dependen del lenguaje, los campos semánticos sí. Las estructuras de un dominio implican expectativas acerca de las conexiones entre los elementos –derivados de módulos–, mientras en los guiones, sus componentes no pueden ser explicados a partir del mismo guión. A continuación mencionamos otras de las principales características de los dominios.

- *Los dominios como guías de la participación del mundo.* La mayor parte de los trabajos convergen en la idea de que los dominios tienen la función conceptual de identificar la pertenencia de los fenómenos a una sola categoría general, incluso cuando estos fenómenos puedan subsumirse bajo distintos conceptos. Sin embargo, pese a esta competencia de modos de clasificar las cosas vivientes, algunas creencias acerca de los seres vivos surgen tempranamente, son consistentes y se adquieren sin esfuerzo. La competencia de dominio lo

facilita, porque la atención se centra en un dominio específico y no en un conocimiento general (Chi, Slotta y Leeuw, 1994).

- *Los dominios como marcos explicativos.* Un dominio cognitivo es una clase de fenómeno que comparte una cantidad de propiedades relevantes entre ellas, pero no con otras clases de fenómenos. Aunque virtualmente todos los dominios parecen hacer referencia a conexiones causales o a otras conexiones derivadas de módulos, existe una considerable variación en los distintos dominios en cuanto a la flexibilidad de estas conexiones.
- *Los dominios como dispositivos funcionales ampliamente distribuidos.* Los dominios del conocimiento representan adaptaciones ampliamente compartidas que se ocupan de problemas recurrentes que un organismo debe enfrentar. Los dominios son ampliamente (aunque no universalmente) compartidos por los miembros de una especie y no son soluciones idiosincrásicas para problemas individuales. Algunas habilidades propias de ciertos dominios parecen estar estrechamente ligadas a diferencias en el entorno del aprendizaje, aunque la competencia subyacente para ese dominio no dependa de condiciones ambientales.
- *Los dominios como mecanismos dedicados.* En general se considera que el procesamiento dominio-específico es independiente de la voluntad, y que solo se llega a tener conciencia de él con esfuerzo. Las operaciones de dominio generalmente implican procesos perceptivos, conceptuales o inferenciales involuntarios, específicos y restringidos.

Un dominio se define semánticamente por medio de un concepto que agrupa a los objetos que caen dentro de su esfera. Por lo tanto, el dominio de un módulo no es una propiedad de su estructura interna. La estructura interna de un módulo cognitivo solo posee un modo de construir una disposición para organizar la información de cierta manera y para realizar las computaciones de un cierto modo (Keil, 2002, citado por Sperber, 2002). Un módulo cognitivo también posee relaciones estructurales con otros dispositivos mentales con los que interactúa, lo cual determina en parte los inputs: a través de qué dispositivos va a llegar la información y cómo debe ser categorizada por esos otros dispositivos (Sperber, 2002, p. 88). Desde un modelo aislado de mente, el conocimiento de las conexiones cerebrales internas de un módulo cognitivo especializado no llevaría a la determinación de su dominio.

Para explicar la forma en que las interacciones con el entorno determinan el dominio de un módulo cognitivo, conviene distinguir entre dominio efectivo y dominio propio de un módulo. El dominio efectivo de un módulo conceptual está

determinado por toda la información propia del entorno del organismo que puede satisfacer las condiciones de *entradas* del módulo, mientras que al dominio propio pertenece toda la información que el módulo está preparado biológicamente para procesar. Es decir, la función de un dispositivo biológico es crear una clase de efectos que contribuyan a transformar ese dispositivo en un rasgo estable de la especie. Un módulo, además de su dominio, puede tener otros dominios. Es más probable que los dominios sufran cambios pequeños que radicales. A diferencia de lo que propone Keil, el hecho de que un modo de construcción adoptado por un módulo mental pueda acomodarse a varios dominios no disminuye el carácter dominio-específico del módulo en cuestión.

El dominio está constituido por el espectro de información que el módulo procesa y su función es procesar de un modo particular este tipo específico de información. Un módulo puede procesar información que encuentra en su verdadero dominio, sea o no parte de su dominio propio (Sperber, 2002). El autor propone la existencia de módulos perceptuales y conceptuales de primer orden; con ellos se pueden tener creencias, pero no tener creencias sobre las creencias propias o ajenas, ni una actitud reflexiva respecto a ellas. El vocabulario relacionado con sus creencias se limita al vocabulario de salida de sus módulos. Esto podría explicar la dificultad para superar el lenguaje tautológico y las representaciones lingüísticas superficiales. La existencia de módulos de segundo orden o metarrepresentacionales abre la posibilidad de representar conceptos y creencias acerca de conceptos y creencias.

En este modelo de funcionamiento mental los seres humanos pueden tener creencias pertenecientes a un mismo dominio conceptual que han surgido de dos módulos diferentes: el módulo de primer orden, especializado en ese dominio conceptual, y el módulo representacional de segundo orden. Hay entonces dos clases diferentes de creencias: las «intuitivas», originadas en los modelos de primer orden, y las creencias «reflexivas», surgidas del módulo metarrepresentacional.

Desde este modelo, la mente queda descrita en tres instancias:

1. Un estrato de módulos de entrada simples.
2. Una compleja red de módulos conceptuales de primer orden.
3. Un módulo metarrepresentacional de segundo orden. Este módulo permite el desarrollo de la comunicación.

Sperber propone la existencia de módulos de segundo orden dentro de los que está el módulo metarrepresentacional. Mientras los módulos conceptuales procesan conceptos y representaciones de cosas (generalmente cosas percibidas), el módulo metarrepresentacional procesa conceptos de conceptos y representaciones de representaciones. Desde esta perspectiva, el dominio efectivo del módulo metarepresentacional está definido por el conjunto de representaciones cuya existencia y contenido, el organismo es capaz de inferir o aprehender de alguna otra manera (Sperber, 2002). Se propone que la capacidad de concebir y procesar metarrepresentaciones parte de dotar a los seres humanos de una psicología intuitiva, es decir, este es un «módulo de teoría de la mente» y su dominio propio está constituido por las creencias, los deseos y las intenciones que dan lugar a la conducta humana.

Una vez realizado este breve recorrido por algunas de las discusiones centrales en torno a los conceptos de dominio y módulo en el ámbito de las ciencias cognitivas, nos disponemos a concluir nuestras reflexiones desde el lugar conceptual de la didáctica de las ciencias. Para ello nos centraremos de manera específica en el concepto de aprendizaje, en el cual integramos las discusiones dadas en páginas anteriores.

Aprendizaje como cambio conceptual en dominios específicos del conocimiento

Para que en un ser humano se de el aprendizaje, es necesario que él utilice los mecanismos con que cuenta para tal fin, es decir, que emplee procesos mentales como la memoria, los juicios, las emociones, la atención, entre otros, procesos que presentan desarrollos independientes y autónomos que se articulan e integran dependiendo de las experiencias de aprendizaje.

Aceptar la existencia de ciertos módulos y dominios para el procesamiento de información nos lleva a pensar en la posibilidad de considerar el aprendizaje en relación con estos. Para realizarlo nos centraremos de manera específica en aquellos modelos de aprendizaje por cambio o evolución conceptual, en los cuales podemos identificar algunos componentes que pueden empezar a hacer parte de un modelo general de cambio conceptual dada su potencia y consistencia interna como perspectiva de aprendizaje; asimismo, es posible identificar algunos aspectos que se empiezan a considerar específicos para ciertos dominios del conocimiento.

Desde la perspectiva didáctica se pueden encontrar diferentes tipos de cambio conceptual (Caravita y Hallden, 1994; Schnotz y Preuss, 1997; Tamayo y Sanmartí, 2007; Vosniadou y Brewer, 1992). Entre estos múltiples estudios, podemos identificar acuerdos en cuanto:

- Al reconocimiento de cierta coherencia interna de las estructuras de conocimiento iniciales de los estudiantes en dominios específicos. Estas pueden ser muy diferentes de las estructuras conceptuales en otros dominios, al igual que de las estructuras conceptuales que caracterizan el pensamiento adulto en el dominio en cuestión.
- A la aceptación del cambio conceptual normal/superficial dentro de dominios específicos, así como también se comparte la gran dificultad para lograr cambios conceptuales profundos/radicales.
- Al reconocimiento de la influencia de variables situacionales, sociohistóricas, lingüísticas, motivacionales y metacognitivas sobre el cambio conceptual.
- Al logro de comprensiones puntuales y tentativas sobre los procesos que conducen al cambio.

Hay algunos aspectos sobre los cuales en la actualidad no hay consenso:

- En cuanto a qué cambia y cómo se da el cambio conceptual en dominios específicos de las ciencias.
- Sobre posibles comprensiones holísticas de los procesos que conducen al cambio conceptual en el aula, bien por razones de insuficiencia en desarrollos teóricos y metodológicos, o por la gran complejidad del problema estudiado.

Hasta el momento la investigación en didáctica de las ciencias acerca del cambio conceptual ha estado enmarcada, casi exclusivamente, en la tensión entre cambio conceptual radical y cambio conceptual gradual. Estudios recientes muestran que el cambio conceptual es más complejo y que difícilmente puede explicarse y comprenderse desde la única referencia a aspectos conceptuales (Tytler, 2000). Una visión integral del cambio conceptual debe reunir, además de los conceptuales, logros provenientes de las dimensiones afectiva, sociohistórica y sociocultural del aprendizaje, lo cual requiere, a su vez, diferentes acercamientos metodológicos que den cabida a los nuevos datos empíricos reportados.

Dentro de las principales perspectivas actuales para el estudio del cambio conceptual, las cuales podemos considerar en la actualidad como constitutivas

de una didáctica general, mencionamos aquellas orientadas a demostrar la importancia de la secuenciación de los conceptos con propósitos curriculares, las que enfatizan en el conocimiento de los aspectos cognitivos profundos y superficiales tanto a nivel colectivo como individual, las encaminadas a identificar los contextos múltiples del aprendizaje y las que vinculan el cambio conceptual con estudios del discurso y de la comunicación en el aula de clase. Dentro de esta diferente visión del cambio conceptual, reconocemos los siguientes supuestos teóricos básicos:

- Los estudiantes generan continuamente aprendizajes sobre la base de sus propias acciones, percepciones y conocimientos anteriores.
- El aprendizaje de los conceptos científicos puede requerir caminos diferentes en cuanto a su profundidad y naturaleza.
- El aprendizaje de los conceptos científicos debe verse como el desarrollo y construcción de procesos, así como el desarrollo de elementos cognitivos estables. Se debe considerar el cambio como la esencia del desarrollo cognitivo.
- La estructura cognitiva esta determinada por el contexto y por las propiedades del sistema cognitivo individual.
- El conocimiento de los procesos cognitivos de los estudiantes solo es posible a partir del estudio profundo de las acciones por ellos realizadas, a partir de sus contribuciones verbales y no verbales.
- Los condicionantes culturales y los múltiples usos del lenguaje son determinantes en la construcción de conceptos.

Si bien estos supuestos básicos nos definen con alguna claridad la posibilidad de identificar un núcleo común en cuanto a los estudios del aprendizaje desde la perspectiva del cambio conceptual, también nos cuestionan sobre las especificidades del cambio conceptual al interior de los diferentes dominios del conocimiento y en cuanto a la posibilidad de hallar algunas diferencias que expliquen ciertas especificidades en el procesamiento de información en lo referente a los diferentes dominios conceptuales. Este vínculo entre cambio conceptual general y dominio específico, parece evidente en la literatura especializada, no tanto así los vínculos con aspectos de orden neurobiológico, como mencionamos a continuación.

Estudios del cambio conceptual en química (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989; Mortimer, 1998, 2000) demuestran la existencia de dificultades de aprendizaje que persisten después de los procesos de enseñanza realizados por los maestros.

Tales dificultades vienen determinadas por las maneras como los estudiantes organizan sus propias teorías implícitas en el campo específico del conocimiento. Para Gómez y Pozo (2004), algunos de los conceptos de mayor dificultad para los estudiantes están relacionados con la estructura y conservación de la materia, aspectos en los cuales la teoría del cambio conceptual sería determinante y sin los cuales no es posible lograr comprensiones profundas en el aprendizaje de los conceptos químicos. En buena parte, la dificultad para el reconocimiento de la discontinuidad de la materia, por ejemplo, se debe a cierta tendencia de nuestro sistema cognitivo, mediada por la intuición, de creer ciegamente en lo observado, de dar especial importancia, dentro de la estructura de nuestro sistema de creencias, a aspectos de orden empírico.

En la discusión planteada hasta el momento parece pertinente preguntarnos sobre las posibilidades reales que ofrece la perspectiva general del cambio conceptual para el aprendizaje de temas específicos en química. Vinculadas con la anterior pregunta, podríamos explorar otras como: ¿tienen similar naturaleza las ideas de los estudiantes en las diferentes áreas del conocimiento?, ¿en qué *sitios* del procesamiento de la información, cuando se aprende química, se requieren algunas acciones específicas que permitan diferenciar procesos de aprendizaje de la química de los de otros campos como la física o las ciencias sociales?, ¿qué exigencias, en cuanto a procesos de aprendizaje, se derivan de la estructura epistemológica y de la naturaleza de los diferentes campos disciplinares?

Desde el ámbito de la enseñanza de la física son significativos los aportes a la teoría del cambio conceptual; tal es el caso de los desarrollos de Chi (1992), DiSessa (1988), y DiSessa y Sherin (1998). De especial importancia son las propuestas de Carey (1985, 1992), quien considera que el cambio conceptual se puede dar mediante tres procesos: reemplazamiento de una idea antigua por una nueva, coalescencia entre las ideas antiguas y las nuevas, y diferenciación entre estos dos tipos de ideas.

En el campo de la biología, los estudios del cambio conceptual enfrentan problemáticas como las del origen de la vida, la evolución, la integración entre dimensiones químicas, físicas y biológicas para explicar fenómenos de los seres vivos; tal es el caso de las relaciones entre el ciclo de Krebs, la cadena respiratoria y la producción de energía a partir de los nutrientes (Köningsberg, 1999; Tamayo y Sanmartí, 2007; Tanner y Allen, 2005).

En términos generales y comunes a los tres campos antes mencionados, Gómez y Pozo (2004) encuentran que los estudiantes muestran dificultad para avanzar

sobre la apariencia real de los fenómenos o para integrar los datos que obtienen de la realidad al interior de los modelos científicos que aprenden. Para los autores, los estudiantes fallan en la interpretación de su mundo sensorial en términos microscópicos. Dado que el cambio conceptual no es un proceso de reemplazo de unas ideas por otras, el proceso de redescrición representacional propuesto por Karmiloff-Smith (1992), parece potente para la enseñanza de las ciencias.

Desde la perspectiva de la modularidad antes discutida, las creencias intuitivas serían producto del procesamiento de la información en módulos perceptuales y conceptuales de primer orden, mientras que las creencias reflexivas serían producto de módulos metarrepresentacionales o de segundo orden (figura 1). El proceso de redescrición representacional propone la existencia de representaciones implícitas, y de representaciones con diferentes niveles de explicitación, y sostiene que «en la mente coexisten múltiples representaciones del mismo conocimiento con diferentes niveles de detalle y explicitud». (Karmiloff-Smith, 1994, p. 42). En términos de Pozo y Gómez Crespo:

las teorías de dominio, si bien son implícitas en el sentido de no ser aún accesibles a la conciencia del sujeto, se hallan ya explícitamente representadas en la memoria (Karmiloff-Smith, 1992). La explicitación sería un proceso continuo que implicaría diversos niveles de redescrición representacional basados en códigos de creciente abstracción o formalización (Pozo y Gómez Crespo, 2006, p. 106).

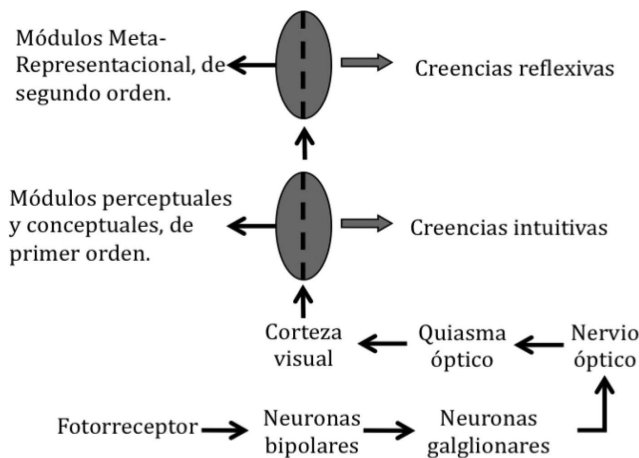


Figura 1: Representación, a manera de ilustración, del proceso de información visual, desde los fotorreceptores hasta la construcción de módulos meta-representacionales.

Este modelo de redescrición representacional se relaciona con algunos de los desarrollos propuestos por Giere (1999) en cuanto a las relaciones entre modelos y teorías. Para este autor, los modelos teóricos son sistemas idealizados, son entidades socialmente construidas que no tienen más realidad que las que les confiere la comunidad en la cual fueron creados y funcionan como representaciones; son los medios con los que los científicos representan el mundo, tanto para sí mismos como para los demás.

Al funcionar como representaciones, los modelos nos permiten integrar o relacionar la información que tenemos en nuestra mente con la información suministrada por los órganos de los sentidos. En este proceso de conocer el mundo participa, entonces, lo que creemos de él, así como lo que este es en sí mismo; en otras palabras, el conocimiento del mundo depende tanto de nuestra estructura cognitiva como de nuestras experiencias. Desde esta perspectiva, en la construcción de los modelos influyen la percepción visual, la comprensión del discurso, el razonamiento, la representación del conocimiento y la experticia. Están limitados, a su vez, por los conocimientos técnico-científicos de la persona, por su experiencia previa, por la forma en que procesamos la información y por aspectos motivacionales frente al contexto en que se construya el modelo.

Pasar de un modelo a otro en el aprendizaje de las ciencias puede implicar, entonces, procesos de redescrición representacional, lo cual permite la coexistencia de las diferentes representaciones (familia de modelos) que tienen los estudiantes, sin pensar en la necesidad de erradicar algunas de estas de su estructura cognitiva. Sería necesario, entonces, identificar las características específicas de las representaciones, su naturaleza, sus dinámicas de cambio según los diferentes campos disciplinares, las maneras en las cuales se producen nuevas representaciones a partir de las ya existentes (redescrición representacional), las formas en las cuales, en términos de Duval, se dan los procesos de tratamiento y conversión. Esto nos lleva a nuevas preguntas: ¿siguen los procesos de redescrición representacional las mismas vías en el procesamiento de la información cuando nos referimos a diferentes dominios del conocimiento?, ¿qué caracteriza un proceso de redescrición representacional en matemáticas y qué en química o en biología?

Conclusión

Aunque en las ciencias cognitivas existen desacuerdos entre los defensores de las visiones modular y general de la mente, existe evidencia experimental y clínica que soporta el procesamiento modular de ciertos tipos de información por el sistema nervioso. Sin embargo, en el nivel conceptual, es más difícil proponer una conclusión en cuanto a este problema. El estudio de trastornos del neurodesarrollo indica que los módulos cognitivos no están especificados genéticamente, sino que diferentes áreas cerebrales se van especializando en el tratamiento de información de forma de dominio específico a medida que los niños crecen (El-sabbagh y Karmiloff-Smith, 2006). Según esta idea de modularización progresiva de dominios cognitivos durante el desarrollo, existiría una ventana de oportunidad para las didácticas dominio-específicas.

Muchas preguntas quedan sin responder sobre las ideas de modularidad y especificidad de dominio en la ciencia cognitiva y las didácticas dominio-específicas. ¿Es posible asimilar el concepto de especificidad de dominio de la ciencia cognitiva a la didáctica de las ciencias? De serlo, ¿qué clases de ajustes debemos realizar? El aprendizaje en un dominio específico de las ciencias ¿en qué se diferencia del aprendizaje en otros dominios del conocimiento?, ¿tienen alguna especificidad los procesos de aprendizaje en dominios específicos de las ciencias?, ¿se aplican los conceptos de módulo y modularidad de la mente al aprendizaje en campos del saber específicos? De existir un nuevo núcleo conceptual para la didáctica general, del que hacen parte la metacognición, el cambio conceptual, las representaciones mentales y las emociones, entre otras, ¿de qué se ocuparán las didácticas específicas en el futuro?, ¿se circunscribe el trabajo desde las didácticas específicas al aprendizaje del lenguaje de la ciencia de referencia apoyado en los desarrollos de una didáctica general?, ¿en qué direcciones serán los futuros aportes de las didácticas dominio-específicas a una didáctica general?

Referencias

- Calrson, N. R. (1999). *Fisiología de la conducta*. Barcelona: Ariel Neurociencia.
- Caravita, S. y Hallden, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, pp. 89-111.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. MIT Press: Cambridge, Mass.

- Carey, S. (1992). The origin and evolution of everyday concepts. *Cognitive Models of Science*. Universidad de Minnesota Press: Minneapolis.
- Carey, S. y Spelke, E. (2002). Conocimiento dominioespecífico y cambio conceptual. En: Hirschfeld y Gelman: *Cartografía e la mente. La especificidad de dominio en la cognición y en la cultura* (pp. 243-284). Barcelona: Gedisa.
- Chi, M. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In: R.N. Giere (Ed.). *Cognitive Models of Science*. Universidad de Minnesota Press: Minneapolis.
- Chi, M. T., Slotta, J. D. y Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, pp. 27-43.
- Chin, C. y Brown, D. E. (2000). Learning in science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), pp. 109-138.
- Cosmides, L. y Tooby, J. (2002). Orígenes de la especificidad de dominio: la evolución de la organización funcional. En: Hirschfeld y Gelman: *Cartografía e la mente. La especificidad de dominio en la cognición y en la cultura* (pp. 132-173). Barcelona: Gedisa.
- DiSessa, A. (1988). Knowledge in pieces. In: G. Forman y P. B. Pufall (Eds.). *Constructivism in the computer age*. Hillsdale, NY: Lawrence Erlbaum.
- DiSessa, A. y Sherin, B. L. (1998). What change in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 2(10), pp. 1155-1198.
- Driver, R., Guesne, T. y Tiberghien, A. (1989). *Las ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia-Morata.
- Duval, R. (1999). *Semiosis y pensamiento. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Cali: Universidad del Valle.
- Duval, R. (2006). Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación. *La Gaceta de la RSME*, Vol. 9.1, pp.143-168.
- Edwards, D. y Potter, J. (1992). *Discursive psychology*. Londres: Sage.
- Fodor, J. (1986). *La modularidad de la mente*. Madrid: Ediciones Morata.
- Elsabbagh, M. y Karmiloff-Smith, A. (2006). Modularity of mind and language. *Encyclopedia of language and linguistics*. Boston, MA: Elsevier.

- Gómez Crespo, M. A. y Pozo, J. I. (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal Science Education*, Vol 26(11), pp. 1325-1343.
- Hirschfeld, L. y Gelman, S. (2002). Hacia una topografía de la mente: introducción a la especificidad de dominio. En: Hirschfeld y Gelman: *Cartografía de la mente. La especificidad de dominio en la cognición y en la cultura* (pp. 23-67). Barcelona: Gedisa.
- Hubel, D. H. y Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology* 160, pp. 106-154.
- Kandel, E., Schwartz, J. H. y Jessell, T. M. (2001). *Principios de neurociencia*. Madrid: McGraw-Hill.
- Kandel, E. (2009). An introduction to the work of David Hubel and Torsten Wiesel. *Journal of Physiology* 587, pp. 2733-2741.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge, MA: M. I. T. Press.
- Karmiloff-Smith (1994). *Más allá de la modularidad*. Madrid: Alianza.
- Köningsberg, M. (1999). A simple model to facilitate student's understanding of the mitochondrial respiratory chain. *Biochemical Education*, 27(1), pp. 9-11.
- Kuhn, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.
- Mishkin, M., Ungerlieder, L. G. y Macko, K. A. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends Neuroscience*, 6, pp. 414-417.
- Mortimer, E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from the theory of matter. *International Journal of Science Education*, 20(1), pp. 67-82.
- Mortimer, F. E. (2000). *Lenguaje y formación de conceptos en la enseñanza de las ciencias*. Madrid: A. Machado Libros S. A.
- Moscovici, S. (1986). De la ciencia al sentido comun. En: *Psicología social*, Tomo II. Barcelona: Paidós.
- Mountcastle, V. B. (1957). Modality and topographic properties of single neurons of cat's somatic sensory cortex. *Journal of Physiology* 20(4), pp. 408-34.
- Op de Beeck, H. P., Haushofer, J. y Kanwisher, N. G. (2008). Interpreting fMRI data: maps, modules and dimensions. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, pp. 123-35.

- Pintrich, P. R., Marx, R. W. y Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 6, pp. 167-199.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.
- Prieto, R. T., Blanco, L. A. y Brero, V-B. (2002). La progresión en el aprendizaje de dominios específicos: una propuesta para la investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol 20(1), pp. 3-14.
- Rodríguez, T. (2003). El debate de las representaciones sociales en la psicología social. *Relaciones*, Vol 24(93), pp. 51-80.
- Schnotz, W. y Preub, A. (1997). Task-dependent construction of mental models as a basic for conceptual change. *European Journal of Psychology Education*, 12(2), pp. 185-211.
- Sperber, D. (2002). La modularidad del pensamiento y la epidemiología de las representaciones. En: Hirschfeld y Gelman: *Cartografía e la mente. La especificidad de dominio en la cognición y en la cultura* (pp. 71-108). Barcelona: Gedisa.
- Striedter G. F. (2004). *Principles of brain evolution*. Sunderland MA: Sinauer Associates.
- Strike, K. y Posner, G. L. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In: R. Duschl y R. Hamilton (Eds.). *Philosophy of science, cognitive science and educational theory and practice*. New York: Sumy Press.
- Tamayo, A. O. E. (2006). La metacognición en los modelos para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. En: *Los bordes de la pedagogía: del modelo a la ruptura*, pp. 275-306. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Tamayo, O. E. 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*, Vol 29(2), pp. 215-248.
- Tanner, K. y Allen, D. (2005). Approaches to Biology Teaching and Learning: Understanding the Wrong Answers. Teaching toward Conceptual Change. *Cell Biology Education* Vol. 4, pp. 112-117.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual Revolutions*. Princeton: Princeton University press.

- Tyler, R. (2000). A comparison of year 1 and year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: Dimensions of conceptual progression. *International Journal Science Education*, 22(5), pp. 447-467.
- Mishkin, M. y Ungerleider, L. G. (1982). Contribution of striate inputs to the visuospatial functions of parieto-occipital cortex in monkeys. *Behavioral and Brain Science*, 6, pp. 57-77.
- Vasco Uribe, C. E. (2004). Análisis semiótico del álgebra elemental. En: *Mente y Cultura: Cambios Representacionales en el Aprendizaje*, pp. 1-14.
- Vosniadou, S. y Brewer, W. (1992). Mental models of the earth: A study of the conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, pp. 535-585.
- Zeki, S. (1995). *Una visión del cerebro*. Barcelona: Ariel Psicología.
- Zeki, S. (1991). Cerebral akinetopsia (cerebral visual motion blindness). *Brain*, 114, pp. 811-824.