

Investigación en enseñanza de las ciencias

*De las concepciones alternativas
a las representaciones múltiples*

García Franco Alejandra
Flores Camacho Fernando
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo
Tecnológico, UNAM
alegfranco@terra.com.mx
floresf@aleph.cinstrum.unam.mx

En este artículo, se da cuenta de distintas aproximaciones utilizadas en el campo de la enseñanza de las ciencias, para estudiar los procesos de aprendizaje, todas ellas enmarcadas en la perspectiva del cambio conceptual. Se hace una breve descripción de las posiciones más relevantes, y se analiza cómo se ha ido modificando el campo de estudio, apuntando la necesidad de contar con métodos más detallados que permitan dar cuenta del complejo problema del aprendizaje

Después de cerca de tres décadas de investigación en enseñanza de las ciencias, es claro que los estudiantes llegan a la educación formal con conocimientos previos, contruidos a través de la interacción con su entorno, y con diversos cursos escolares anteriores y que, en muchas ocasiones, se encuentran alejados del conocimiento aceptado por la comunidad científica.

Como consecuencia de este reconocimiento, en la enseñanza de las ciencias, y en la psicología cognitiva, se originaron diversas teorías para tratar de explicar cómo es posible transitar desde una concepción construida a partir de la experiencia cotidiana hacia una concepción cercana a las concepciones científicas. En términos generales, estas teorías e investigaciones se han enmarcado bajo la denominación común de *cambio conceptual*.

En este artículo, se hará una revisión de las principales teorías que han tratado de dar cuenta de este tránsito. También se intenta dar cuenta de cómo ha sido este proceso,

y presentar un panorama que nos permita ubicar los desarrollos más importantes, sus diferencias y el punto en que nos encontramos actualmente. Es claro que no puede hacerse una revisión exhaustiva en este espacio, sin embargo, hemos elegido los puntos que nos parecen más relevantes para comprender la evolución de este campo de conocimiento. Haremos una breve revisión de las concepciones alternativas, para después analizar algunos autores de teorías de cambio conceptual que hemos enmarcado en dos tipos fundamentales: el cambio conceptual radical (que implica reemplazo) y el cambio conceptual evolucionista. Para finalizar, revisaremos con mayor detalle dos aproximaciones teóricas que intentan explicar los mecanismos mediante los cuales se puede lograr este cambio conceptual.

1. Las concepciones alternativas y el cambio conceptual

Comenzando con el trabajo de Piaget en 1920 y hasta la actualidad, se ha hecho un enorme esfuerzo por tratar de comprender la forma en la que los estudiantes, a través de sus ideas o concepciones, se representan el mundo natural y, de manera complementaria, lo que los maestros necesitan hacer para facilitar una comprensión más cercana a la científica.

Existe un gran número de estudios empíricos que proporcionan evidencia de que las concepciones de los estudiantes, en muchos campos del currículum científico, son sustancialmente diferentes a las concepciones científicas aceptadas.¹ Se ha encontrado que estas concepciones son compartidas por estudiantes de diversas edades, habilidades, sexo y diferencias culturales y, de forma muy importante, se ha hecho evidente que estas concepciones son estables y resistentes al cambio, de hecho, sobreviven incluso a los cursos universitarios y a las estrategias de enseñanza explícitamente diseñadas para modificarlas.²

Gran parte de la investigación realizada desde finales de los setenta, hasta mediados de los noventa, se centró en la descripción de las concepciones de los estudiantes acerca de conceptos científicos aislados. Al consultar la base de datos de Pfund y Duit,³ que enlista la mayoría de las investigaciones alrededor de este tema que se han publicado en revistas de habla inglesa, se encuentran más de 6000 referencias, lo

¹ DUIT, R. y D. F. Treagust. "Learning in science: From behaviourisms toward social constructivism and beyond". En Fraser y K. Tobin (Eds.). *International Handbook of Science Education*. Dordrecht Kluwer. s.l., 1998, pp. 3-23.

² WANDERSEE, et. al. "Research on alternative conceptions in science", en Gabel, D. (Ed.). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. NSTA. S.l.,1994, pp. 177-210.

³ PFUND, H. y R. Duit. *Bibliography, students alternative frameworks and science education*. Institute for Science Education at the University of Kiel. Alemania, 2004. (Distribuida electrónicamente).

cual nos da una idea de la importancia del tema en cuestión. De la misma forma, la base de datos que se ha construido en la UNAM da cuenta de la gran cantidad y diversidad de estas ideas de los estudiantes.

Si bien, en los primeros estudios realizados había cierta tendencia de los investigadores a considerar que estas concepciones eran equivocadas (*misconceptions*, errores conceptuales) producto de un aprendizaje erróneo, al encontrar su persistencia y su presencia en situaciones tan diversas, fue claro que estas concepciones alternativas son construcciones personales y racionales de los individuos que les permiten hacer inteligible el mundo que les rodea así como actuar en él.

En la última década hubo un aumento notable en los estudios cuyo objetivo es analizar la transformación de estas concepciones, o bien, diseñar aproximaciones de enseñanza que tiendan a modificarlas, la mayor parte de ellos enmarcados en una aproximación que, como se ha apuntado, de manera general se ha llamado *cambio conceptual*. La gran mayoría de la investigación en este campo se ha realizado desde una perspectiva constructivista, desde la cual, se concibe a cada sujeto como constructor activo de su conocimiento, reconociendo así, que el proceso de conocer es activo, individual y personal y que se basa en el conocimiento previamente construido.

El término cambio conceptual ha sido utilizado con diferentes significados en la enseñanza de la ciencia y la investigación acerca del aprendizaje. En sentido general, se entiende este término como sinónimo de aprendizaje, dentro de una perspectiva constructivista,⁴ es decir, se entiende como una reestructuración mayor del conocimiento existente, que representa un aprendizaje más profundo y difícil de lograr, comparándolo con el aprendizaje más cotidiano, en el que, se memorizan datos, o se aprenden más ejemplos sobre algo ya conocido.

1.2 Las concepciones alternativas como maneras diferentes de experimentar un fenómeno: la visión de la fenomenografía

La fenomenografía es una línea de investigación educativa que apareció a finales de los años setenta en la Universidad de Gotenburgo, Suecia. El término fue acuñado por Ference Marton en 1979 y apareció publicado por primera vez dos años más tarde⁵ y consiste en reconocer que los individuos tienen maneras cualitativamente

⁴ DUIT, R. "Conceptual change approaches in science education". En W. Schnotz, et. al. (Eds.) *New Perspectives on Conceptual Change*. Pergamon. Oxford, Inglaterra, 1999, pp. 263-282. Ojo en el texto dice 2001.

⁵ MARTON, F. "Phenomenography – Describing conceptions of the world around us", en *Instructional* →

diferentes de comprender un fenómeno y que éstas podían agruparse en un número determinado de categorías. De acuerdo con Marton⁶ estas diferencias podrían ser importantes para explicar cómo es que los estudiantes aprenden de maneras diversas y tienen por lo tanto distintos resultados escolares

La fenomenografía sostiene una ontología no dualista, que considera que el individuo y el mundo que éste experimenta están internamente relacionados.⁷ La experiencia misma es la relación entre la persona y el mundo, por lo que experimentar el mundo, significa participar en su constitución. Dada esta ontología, no es posible describir los fenómenos en sí mismos, así, en lugar de estudiar el aprendizaje en sí mismo, la fenomenografía estudia la experiencia del aprendizaje, dando lugar, a una descripción cualitativa de la variación que se encuentra en ésta. Usualmente, estas descripciones cualitativas no son individuales, sino instancias colectivas de *una forma de experimentar*. El objeto de investigación es entonces la variación en las formas en las que se experimenta un fenómeno.

Desde el punto de vista de la fenomenografía, el aprendizaje es un cambio cualitativo en las concepciones de una persona acerca de un fenómeno determinado, acerca de la forma en la que lo percibe, lo comprende y los significados que le asigna. Una persona puede tener distintas maneras de experimentar un fenómeno, por lo que distintas concepciones pueden coexistir y aplicarse en diferentes contextos, otras veces, los cambios entre estas concepciones, ocurren debido a que el conflicto entre distintas concepciones se hace explícito, gracias a los problemas que el estudiante debe resolver.⁸

Un aporte relevante para el cambio conceptual de la fenomenografía, radica en el reconocimiento de la existencia de concepciones múltiples respecto al mismo fenómeno, que son cualitativamente diferentes, que no necesariamente son obstáculos para el aprendizaje y que, sin embargo, al ser número finito, constituyen un espacio de variación determinado alrededor de un fenómeno.

Science. Suecia, 1981, pp. 10, 177-200.

⁵ MARTON, F. "Phenomenography – Describing conceptions of the world around us." En *Instructional Science*. Suecia, 1981, pp. 10, 177-200.

⁶ MARTON, F. "Phenomenography – A research approach to investigating different understandings of reality". En *Journal of Thought*. Suecia, 1986, pp. 21 (3), 28-49.

⁷ MARTON, F. "Cognosco ergo sum – Reflections on reflections". En G. Dall'Alba y B. Hasselgren (Eds.). *Reflections in Phenomenography*. Acta Universitatis Gothoburgensiss. Suecia, 1998, pp. 163-187.

⁸ *Ibid.*

2. Las teorías radicales sobre el cambio conceptual. El cambio implica reemplazo.

Dentro de las distintas aproximaciones al cambio conceptual, algunas consideran el cambio conceptual como un proceso revolucionario, en el que el conocimiento que los estudiantes tienen antes de la instrucción, es reemplazado por otro, más cercano al conocimiento científico. Las teorías que revisaremos comparten algunos elementos, sin embargo, difieren en la forma en la que consideran el conocimiento inicial y su transformación.

2.1 La teoría clásica del cambio conceptual

Una de las teorías iniciales sobre el cambio conceptual más reconocida, surgió a principios de los años ochentas, en la Universidad de Cornell, con el artículo publicado por Posner, Strike, Hewson y Hertzog,⁹ tratando de dar respuesta a la pregunta “... ¿de qué forma se puede transitar desde una concepción alternativa C_1 hacia una concepción científicamente aceptada C_2 ?”¹⁰

La teoría propuesta por Posner y sus colaboradores, se fundamenta, por un lado en los supuestos epistemológicos de historiadores y filósofos de la ciencia, como Kuhn, Lakatos y Toulmin y por otro lado, tiene un componente psicológico, basado en la noción piagetiana de acomodación, que permite explicar la forma en la que las nuevas concepciones son incorporadas en la estructura conceptual de los individuos.

De acuerdo con esta teoría, las condiciones para que el cambio conceptual pueda ocurrir son:

- Existe insatisfacción con las concepciones que se tienen actualmente
- Existe una nueva concepción que resulta inteligible
- Esta nueva concepción es inicialmente plausible
- La nueva concepción sugiere la posibilidad de un programa de investigación fructífero, o bien puede ser aplicada con éxito en diferentes dominios.

⁹ POSNER, *et. al*, Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. En *Science Education*. S.I., 1982, pp. 66, 211-227.

¹⁰ DUIT, *op. cit.*, 1999, p. 264.

Uno de los conceptos centrales de esta teoría, es la *ecología conceptual* que comprende la interrelación de diversos factores como los compromisos epistemológicos de quien aprende, su experiencia pasada, ejemplos e imágenes, analogías y metáforas, anomalías, así como creencias metafísicas. Es por medio de ella que el sujeto determina si las nuevas concepciones son inteligibles, plausibles y fructíferas. Esta idea es fundamental porque determina que los cambios en los conceptos no suceden de manera aislada sino que afectan una red de conceptos, concepciones y creencias.

La teoría inicial fue duramente criticada por hacer demasiado énfasis en el aspecto racional del aprendizaje,¹¹ sin embargo, en algunas revisiones posteriores, han puesto de relieve la importancia y utilidad sobre todo de la noción de *ecología conceptual*, donde se admite que cualquier cambio en un concepto ocurre enmarcado en otra serie de factores no directamente relacionados con éste.

Los autores de esta teoría dejan claro que ésta no es una teoría pedagógica, sin embargo, muchas estrategias de aprendizaje se han derivado a partir de ella, La mayoría basadas en el conflicto cognitivo, dado que la primera de las condiciones necesarias para que el cambio ocurra, es la de la insatisfacción con las condiciones actuales, de forma que, se espera que si una concepción actual resulta conflictiva, o incapaz de resolver un problema o explicar un fenómeno, el estudiante tratará de buscar una concepción nueva que tenga más sentido y permita explicar un número más amplio de fenómenos.

Si bien, existen algunas investigaciones¹² que sostienen que las estrategias que se basan en el conflicto cognitivo han resultado exitosas, o al menos más que las estrategias *tradicionales* de enseñanza, otros investigadores como Duit,¹³ aseguran que no hay un sólo reporte de investigación en el que a partir de una estrategia de enseñanza, una concepción alternativa haya sido reemplazada por una concepción científicamente aceptada.

¹¹ PINTRINCH, *et. al.* "Beyond conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change", en *Review of Educational Research*. S. l., 1993, pp. 63 (2), 167-169.

¹² WANDERSEE, *op. cit.*

¹³ DUIT, *op. cit.*, 1999.

2.2 El cambio conceptual como cambio en las teorías de referencia. Los modelos sintéticos

De acuerdo con Stella Vosniadou,¹⁴ los conceptos se encuentran contenidos dentro de estructuras teóricas que determinan el proceso de adquisición de conocimiento. Basándose en estudios en niños pequeños, argumenta que todos los seres humanos tienen una *teoría intuitiva de la física*,¹⁵ que funciona como marco de referencia y que, al estar formada por una serie de presupuestos epistemológicos y ontológicos, determina el conocimiento que se adquiere.

El cambio conceptual ocurre cuando los conceptos que deben aprenderse son inconsistentes con las presuposiciones de las teorías existentes, o bien, con su estructura relacional. Dado que se considera que estas teorías son sistemas coherentes de explicación, su transformación resulta muy difícil. En este caso, al tratar de incorporar información nueva a teorías existentes, los sujetos generan, *modelos mentales sintéticos* (concepciones alternativas), que representan intentos para darle sentido a la información nueva, sin reestructurar de manera sustancial las teorías existentes.

El cambio conceptual, desde este punto de vista, es un proceso lento que se lleva a cabo a través de la supresión gradual de las presuposiciones que componen las teorías generales de los alumnos, hasta que son reemplazadas con un diferente marco explicativo. Si bien, Vosniadou considera que distintas concepciones pueden coexistir durante un periodo de tiempo, el cambio conceptual no ocurre hasta que la teoría general de referencia cambia sus supuestos epistemológicos y ontológicos.

2.3 El cambio conceptual como cambio en las categorías ontológicas

Un trabajo muy conocido en el campo ha sido el de Michelene Chi,¹⁶ quien parte de la afirmación de que todo nuestro conocimiento está dividido en diferentes categorías ontológicas y propone que existe un número pequeño de éstas, dentro de las cuales puede clasificarse todo lo que conocemos. Desde su punto de vista, las categorías son: materia (o sustancia material), eventos (o procesos) y abstracciones. Estas

¹⁴ VOSNIADOU, S. "Capturing and modelling the process of conceptual change", en *Learning and Instruction*. s.l., 1994, pp. 4. 45-116.

¹⁵ El término teoría es utilizado por Vosniadou, denotando una estructura relacional y explicativa y no una teoría científica clara y explícitamente formulada.

¹⁶ CHI, M. "Conceptual change within and cross ontological categories: examples from learning and discovery in science", en R. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press. Minneapolis, 1992, pp. 129-186.

categorías ontológicas son constructos independientes de los individuos, existen y tienen características determinadas, independientemente de los conceptos que contengan o del uso que los individuos hagan de ellas.

Desde este punto de vista, las concepciones alternativas ocurren al hacer una asignación de un concepto a una categoría ontológica que no le corresponde. Por ejemplo, algunos conceptos físicos se clasifican dentro de la categoría *sustancia material*, dotándoles de propiedades y características que no les corresponden. Por ejemplo, al categorizar la electricidad dentro de la categoría ontológica “*sustancia*”, más que en la categoría de “*procesos*”, se cometen algunos errores comunes tales como afirmar que “la electricidad se almacena en una batería, del mismo modo que otras sustancias se almacenan en cajas o latas”.¹⁷

De acuerdo con Chi,¹⁸ el cambio conceptual puede ocurrir en un ambiente de aprendizaje similar al *tradicional*, siempre y cuando se enfatice la categoría ontológica de cada dominio conceptual, de manera que los estudiantes puedan construir el puente que conecta la información que se está recibiendo con la categoría ontológica adecuada. Chi reconoce que es posible incorporar información nueva sin modificar los conocimientos intuitivos a ese respecto, simplemente permaneciendo como dos sistemas de conocimiento independientes.

Desde este punto de vista, el aprendizaje o cambio conceptual, no es necesariamente un proceso constructivo, sino más bien un proceso que se lleva a cabo mediante adquisición de conocimiento y en el que las estructuras mentales iniciales, pueden permanecer idénticas, sin que esto implique un problema para la adquisición y aplicación del nuevo conocimiento.

2.4 Elementos comunes en las teorías de reemplazo

En los cuatro modelos o teorías de cambio conceptual que hemos descrito hasta este momento, podemos afirmar que existen diferencias importantes respecto a lo que cada uno de ellos considera que son las concepciones alternativas, así como la explicación sobre cuáles son los elementos necesarios para llevar a cabo el cambio conceptual.

¹⁷ CHI, M. y Roscoe. “The processes and challenges of conceptual change”, en, M. Limom y L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*. Dordrecht Kluwer Academic Publishers. Holanda, 2003, p. 14.

¹⁸ CHI, M. *op. cit.*, 1992.

Existe en todas ellas, sin embargo, la idea de que los conceptos, teorías o concepciones deben ser reemplazadas, unas por otras, de forma que es posible seguir su trayectoria a lo largo del proceso de cambio.¹⁹ No se afirma que este reemplazo sea inmediato o sencillo, sin embargo, no se considera que el cambio conceptual está completo hasta que las concepciones alternativas hayan sido reemplazadas por concepciones nuevas, con mayor poder explicativo o más coherentes en términos de las teorías científicas aceptadas, o bien, hasta que se tengan teorías nuevas con distintos supuestos epistemológicos y ontológicos.

En la siguiente tabla, se hace una síntesis sobre los diferentes modelos revisados y la manera en que cada uno de ellos considera las concepciones alternativas y el proceso del cambio conceptual.

3. El cambio conceptual *evolucionista*

Existen otras aproximaciones al cambio conceptual que consideran que las concepciones alternativas son fructíferas, ya sea porque se pueden refinar y desarrollar para constituirse en concepciones con mayor poder explicativo, o bien, porque son

¹⁹ SPADA, H. "Conceptual change or multiple representations?", en *Learning and Instruction*, s.e. s.l., 1994.

adecuadas en determinados contextos. En este apartado, hablaremos de dos de estas aproximaciones.

3.1 Los primitivos fenomenológicos

Andrea DiSessa²⁰ ha propuesto la construcción de una perspectiva teórica que hace énfasis en la continuidad entre estados más ingenuos y avanzados de la comprensión de los estudiantes. De acuerdo con este punto de vista, al interactuar con el mundo físico, los individuos adquieren un *sentido del mecanismo*, es decir, una idea (*sentido*) acerca de cómo es que funcionan las cosas, cuáles son los eventos necesarios para que algo suceda, cuáles son los eventos posibles o imposibles de ocurrir.

Para DiSessa, en contraposición con algunos autores como Vosniadou,²¹ la *física intuitiva* es una expresión de este *sentido del mecanismo* que, en general, no tiene la sistematicidad necesaria para constituirse en una teoría. En este modelo, los elementos del conocimiento que forman o que dan lugar a esta *física intuitiva* son lo que denomina primitivos fenomenológicos (*p-prims*), que son estructuras mínimas de conocimiento, en general auto-explicativas y que le permiten al sujeto explicar los fenómenos físicos. Son fenomenológicos porque, "frecuentemente se originan en interpretaciones superficiales de la realidad experimentada".²²

DiSessa considera que los *p-prims* no constituyen un sistema coherente de conceptos y relaciones, sino que son piezas sueltas de conocimiento que se utilizan en un momento determinado para dar una explicación sin constituirse en modelos mentales o estructuras sólidas en la mente de quien aprende. El cambio conceptual, desde el punto de vista de DiSessa consiste más en un proceso de reestructuración o de desarrollo, en el que los *p-prims*, sin desaparecer, dejen de ser auto-explicativos, y forman parte de estructuras teóricas más amplias. El argumento epistemológico central de esta teoría, es que el desarrollo del conocimiento científico acerca del mundo físico es posible solamente a través de la reorganización del conocimiento intuitivo.

Esta aseveración plantea diferencias muy importantes con algunas de las teorías a las que se ha hecho referencia en la sección anterior, en primer lugar porque desde este punto de vista, las concepciones alternativas, teorías sintéticas o preconcepciones, no pueden, ni deben ser reemplazadas por concepciones o teorías nuevas. El cambio

²⁰ DiSESSA, Andrea. 1993, 1996, 2003

²¹ VOSNIADOU, *op. cit.*, 2003.

²² DiSESSA, *op. cit.*, 1993, p. 112.

conceptual, implica construir a partir de las concepciones de los estudiantes, un conocimiento más estructurado y coherente que permita explicar los fenómenos físicos. Dado que el conocimiento intuitivo de los individuos no consiste en un sistema organizado y coherente de ideas, no tiene ningún sentido intentar reemplazarlo como un todo, por el contrario, requiere de desarrollo y refinamiento.

3.2 Los perfiles conceptuales

Eduardo Mortimer²³ ha propuesto un modelo diferente para analizar el aprendizaje de conceptos científicos, denominado *evolución conceptual*. Su intención es encontrar un modelo que describa los cambios en el pensamiento de los individuos como resultado de un proceso de enseñanza. Mortimer sostiene que el reemplazo de una concepción o una teoría por otra, más cercana a la científicamente aceptada, es una tarea que no tiene sentido. Y afirma que es posible utilizar diferentes formas de pensar en diferentes dominios, planteando así una postura diferente a la sostenida hasta entonces por las teorías previamente descritas.

Mortimer se apoya en el filósofo francés G. Bachelard,²⁴ quien afirmaba que cada individuo tiene formas diferentes de comprender o explicar un concepto y que la forma de utilizarlas depende del contexto en el que cada individuo se desenvuelve, de su experiencia previa y de su conocimiento sobre el tema, entre otros factores. Bachelard acuña el término *perfil epistemológico*, para describir un perfil formado por categorías epistemológicas que constituyen las diferentes maneras de comprender un concepto. Por ejemplo, para el concepto de masa, distingue las categorías de realista, empirista, clásico racional y relativista.

De acuerdo con Bachelard, sería posible que cada individuo delinear su perfil epistemológico en relación con cada concepto científico. A pesar de las diferencias individuales de cada perfil, (...) las categorías que constituyen las diferentes divisiones del perfil, son formas supraindividuales de pensamiento, que corresponden a un intelecto colectivo.²⁵

Mortimer sostiene que el cambio conceptual, o evolución conceptual, consiste en un cambio en el perfil conceptual que cada individuo tiene para un concepto determinado.

²³ MORTIMER, E. "Conceptual change or conceptual profile change?", en *Science & Education*, s. 1., 1995.

²⁴ BACHELARD, G. *La filosofía del no: Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. Amorrortu. Buenos Aires, 1973. (La 1ª edición es de 1948).

²⁵ MORTIMER, *op. cit.*, p. 270.

El perfil conceptual, comparte algunas características con el perfil epistemológico, difiere, sin embargo, porque cada una de las zonas del perfil puede no solamente ser epistemológica sino también ontológicamente diferente de las otras.

El aprendizaje de un concepto científico, consiste en el uso de las categorías adecuadas en un contexto determinado, es decir, en el *crecimiento* de algunas zonas del perfil conceptual. Este cambio, no implica la extinción de categorías relacionadas, por ejemplo, con el pensamiento de la vida cotidiana, incluso si éstas no son *aceptadas* en un contexto científico.

A diferencia de DiSessa,²⁶ Mortimer considera que, en algunos casos, el proceso de aprendizaje puede representarse como la construcción de un cuerpo nuevo de conocimientos a partir de la presentación de hechos y experimentos dado que no dependen de conceptos anteriores y pueden aplicarse en distintos dominios. Existen casos, sin embargo, en los que las concepciones anteriores, aún cuando están en una zona distinta del perfil conceptual, interfieren con el desarrollo de los conceptos en un nivel más complejo, por lo que se hace necesario enfrentar esta contradicción y resolverla adquiriendo conciencia de la validez de cada una de las concepciones o categorías según el contexto en el que sean empleadas.

El modelo propuesto por Mortimer, conjunta una serie de presupuestos tomados en cuenta en otros modelos, tales como los perfiles epistemológicos de Bachelard, la ecología conceptual de Strike y Posner, entre otros, al mismo tiempo que toma en cuenta la evidencia empírica respecto a la imposibilidad de sustituir o reemplazar las concepciones alternativas de los estudiantes. Con este modelo se apoya la existencia de múltiples concepciones en los estudiantes y permite vislumbrar la diversidad de caminos que existen para el aprendizaje.

4. Los mecanismos del cambio

La investigación sobre el cambio conceptual, en los años más recientes, ha comenzado a moverse, de algo más que tratar describir las concepciones existentes antes y después de la instrucción y de establecer condiciones para el aprendizaje o para la sustitución conceptual, hacia un terreno aún inexplorado que parece más fértil y que se relaciona con el estudio específico, detallado, de cómo se llevan a cabo estos procesos de cambio.²⁷ En esta sección, se hará un breve análisis de dos aproximaciones

²⁶ DiSessa, *op. cit.*, 1993.

²⁷ CHIU, M. *et. al.* "Learning to graph linear functions: a case study of conceptual change", en *Cognition and Instruction.. s. l., 2001.*

diferentes que tratan de dar cuenta de cómo cambian las concepciones de los estudiantes a lo largo de un proceso de enseñanza. Ambas aproximaciones, parten de supuestos epistemológicos diferentes. Desde el punto de vista de A. DiSessa y sus colaboradores, existen ciertas estructuras mentales y el proceso de conocimiento puede conocerse y modelarse, mientras que desde el punto de vista de la fenomenografía, el conocimiento no existe como tal en la mente del individuo sino que se conforma a partir de la tarea que debe ser resuelta. Existen, sin embargo, aspectos similares en ambas posiciones, mismos que resaltaremos al final de la sección.

4.1 La fenomenografía y la estructura de la conciencia²⁸

Desde el punto de vista de la fenomenografía, el aprendizaje o cambio conceptual consiste en adquirir una nueva forma de experimentar un fenómeno. En el trabajo de Marton y Booth,²⁹ sobre la “anatomía de la *conciencia*” se establece que una concepción o forma de experimentar un fenómeno se relaciona con la manera en la que la *conciencia*³⁰ está estructurada. Esta *conciencia*, tiene una dimensión estructural y una dimensión de significado (llamado referente).³¹

El aspecto estructural denota la relación entre los diferentes aspectos del fenómeno que constituyen su significado e implica el discernimiento del objeto a partir del contexto en el que se encuentra. La dimensión referencial denota el significado que se le asigna a un fenómeno determinado, a partir de los aspectos en los que se enfoca la atención, así como en la relación que se establece entre ellos y con el objeto en su conjunto. Las diferentes formas de experimentar los distintos fenómenos (concepciones en esta aproximación), pueden comprenderse en términos de las diferencias en la estructura de la conciencia en un momento determinado.

En un estudio respecto a las diversas concepciones que los estudiantes tienen de algunos fenómenos económicos, Pong³² ha encontrado que para el precio, existen fundamentalmente cuatro concepciones diferentes, una de ellas es que “el precio es una propiedad del objeto en cuestión” En este caso, el aspecto estructural estaría

²⁸ Se utiliza el término conciencia como traducción de *awareness*, que también quiere decir estar atento a, darse cuenta de, por ello, se usan cursivas para referirnos a la conciencia, dado que no estamos usando el término en sentido estrictamente filosófico.

²⁹ MARTON, F. y S. Booth. *Learning and awareness*. Lawrence Erlbaum. Nueva Jersey, 1997.

³⁰ De acuerdo con Marton (1998), se llama conciencia a la totalidad de experiencias que un ser humano tiene.

³¹ Marton se basa en la noción de *campo de conciencia* de la gestalt (Gurwitsch, 1964 en Runnesson, 1999).

³² PONG, W.Y. “The Dynamics of Awareness”. Presentado en la 8a. Conferencia Europea de Aprendizaje e Instrucción (EARLI), en agosto de 1999.

determinado por la atención que se pone en las características del objeto. Este aspecto se relaciona con el tipo de objeto sobre el que se esté preguntando, aún cuando desde el punto de vista económico, el precio es independiente del tipo de objeto. La dimensión referencial se conforma entonces por los aspectos del fenómeno en los que se pone atención y la experiencia particular de quien está interpretando este fenómeno.

Esta caracterización de la *conciencia, desde la fenomenografía* provee de una manera de comprender la naturaleza dinámica y contextual de las concepciones,³³ dado que la estructura de la conciencia a la que se refieren, se modifica de acuerdo al objeto en cuestión y a la situación en la que éste se percibe, constituyendo un espacio de variación en torno a un fenómeno determinado.

De acuerdo con Runesson,³⁴ “cuando el mismo objeto es visto de formas diferentes, podemos hablar acerca del aprendizaje. Así, el aprendizaje puede verse como un cambio en la estructura de la conciencia”

Desde esta perspectiva, el aprendizaje puede ocurrir cuando se ha abierto un *espacio de variación*, en el que es posible discernir distintos aspectos de un mismo fenómeno y darles significado. Este espacio está constituido por las diversas formas en las que un concepto puede ser comprendido, por lo que el cambio conceptual, puede entenderse como la posibilidad de constituir este espacio, en un proceso dinámico, que relaciona los diversos aspectos del fenómeno con el contexto en el que éste es comprendido y con la experiencia particular de quien aprende.

4.2 El conocimiento en transición

A. DiSessa y sus colaboradores,³⁵ han hecho una fuerte crítica a la falta de rigor con la que son tratados los conceptos de concepto, modelo, teoría, esquema conceptual, etc., en gran número de trabajos sobre el cambio conceptual, debido a que no encuentran categorías teóricas capaces de describir la naturaleza de las entidades mentales involucradas y su evolución provocando, en varias ocasiones, que se subestime la complejidad del fenómeno del cambio conceptual.

Desde su punto de vista no es claro en la literatura qué es lo que puede considerarse como un concepto, por lo que proponen la necesidad de más de un constructo teórico

³³ *Ibid.*

³⁴ RUNESSON, U. “Teaching as constituting a space of variation”. Presentado en la 8a. Conferencia del EARLI, en agosto de 1999, p. 2.

³⁵ DiSESSA y Serrín. “What changes in conceptual change?”, en *International Journal of Science Education*. s.l., 1998.

que permita manejar la diversidad de construcciones personales de los estudiantes. De acuerdo con DiSessa:

... la tendencia debe ser a estudiar un número mayor de elementos de menor escala,” de forma que no se evite la complejidad real que existe en un proceso de cambio conceptual. Estos autores encuentran problemático tratar los conceptos como unidades aisladas y proponen cambiar esta visión por una en la que el conocimiento sea considerado como un sistema complejo que evoluciona, no sólo mediante el cambio en sus elementos sino por la construcción de relaciones nuevas y poderosas entre las concepciones iniciales.³⁶

La perspectiva del conocimiento como un sistema complejo, no limita la forma de los elementos que lo constituyen; desde esta perspectiva se pueden aceptar diversos tipos de conocimiento que caracterizan la diversidad y la complejidad de las acciones cognitivas. Se requiere entonces, caracterizar y tomar en cuenta diversos elementos y subsistemas de conocimiento tales como los modelos mentales, los primitivos fenomenológicos, los casos cualitativos y las creencias acerca de la naturaleza del aprendizaje y el conocimiento.³⁷ La tarea teórica más importante está entonces en caracterizar cómo estos sistemas evolucionan e interaccionan para producir el razonamiento en tiempo real, así como la resolución de problemas.

En esta línea de investigación, se han propuesto dos constructos teóricos, o tipos de conocimiento: los primitivos fenomenológicos y las clases coordinadas. Ambas categorías son diferentes entre sí, claramente definibles y permiten comprender distintas situaciones de aprendizaje mediante un cuidadoso análisis empírico. Ya hemos mencionado los primitivos fenomenológicos que constituyen mayoritariamente la física intuitiva y son elementos mínimos de conocimiento, conectados directamente con la realidad fenomenológica. En términos de sistema, los primitivos fenomenológicos son diversos y se encuentran vagamente relacionados y por tanto no hay una jerarquía estricta, ni niveles de importancia.

Algunas características relevantes de los *p-prims* es que son: pequeños y monolíticos, numerosos, permiten una sensación de naturalidad y plausibilidad, son autoexplicativos, son fluidos y generados por los datos, se originan en abstracciones mínimas y se desarrollan mediante reorganización.³⁸ Los *p-prims* permiten dar cuenta de una serie de situaciones en las que los individuos construyen el conocimiento Como lo muestra

³⁶ DiSESSA, *op. cit.*, 2003, p. 33.

³⁷ SMITH, *et al.* “Misconceptions reconceived: A constructivist análisis of knowledge in transition”, en *The Journal of the Learning Sciences*, s.l., 1993.

DiSessa mediante los datos obtenidos en distintos casos empíricos, en general, de sujetos con quienes ha realizado entrevistas a profundidad y en las que muestra cómo los p-prims se convierten en elementos de estructuras de conocimiento más amplias.

En oposición a los conceptos entendidos como unidades monolíticas, las clases coordinadas,³⁹ las clases coordinadas pueden entenderse como un sistema de conocimiento. Es claro que al hacer de un concepto, un sistema de conocimiento, se pierden sus límites de definición, sin embargo, desde su punto de vista, esto permite reflejar de mucho mejor manera la realidad, es decir, la manera de aprender de cualquier individuo.

El desarrollo de una clase coordinada, como es de suponerse, es una tarea compleja, dado que está compuesta por muchos elementos diversos que deben integrarse de determinada manera para lograr una clase coordinada efectiva. Una clase coordinada permite hacer una lectura específica de la realidad a partir de las formas posibles que los sujetos tienen para “leer sus observables” y establecer “relaciones causales” entre ellos, y así, de esta forma poder llegar a una representación con sentido para el sujeto. Desde luego que esto implica un proceso complejo, cambiante y que deberá correlacionarse con otros elementos para generar visiones o interpretaciones coherentes (alineamiento en términos de DiSessa).

4.3 Coincidencias y diferencias entre ambas teorías

Las posiciones expresadas, por un lado por DiSessa y sus colaboradores, y por el otro por Marton y sus colaboradores, son diferentes fundamentalmente porque parten de posiciones epistemológicas distintas. Mientras, desde el punto de vista de la fenomenografía, no existen las entidades mentales como constructos, sino que el conocimiento se genera en la experiencia directa con la realidad a través de un uso colectivo de los conceptos, para DiSessa y sus colaboradores, la construcción de este conocimiento se hace a través de ciertas entidades mentales específicas de cada persona, como los p-prims y las clases coordinadas.

La idea de las clases coordinadas, permite dar cuenta de forma detallada del proceso de construcción que se lleva a cabo cuando se trata de aprender un concepto o fenómeno, dado que, desde la perspectiva de sistemas de conocimiento, integra las estrategias de lectura con las inferencias particulares que se hacen respecto a este

³⁸ *Ibid.*

³⁹ Es la traducción del término *coordination class*, que de alguna forma se refiere a los conjuntos coordinados. Puede no ser la traducción más afortunada, pero hemos preferido dejarlo de la forma más literal posible.

fenómeno. Por otro lado, Marton y sus colaboradores, al encontrar que cada concepción o forma de experimentar un fenómeno, tiene un aspecto estructural y un aspecto referencial, dan cuenta de las concepciones resultantes. No hay en este caso, elementos teóricos como una red causal (necesaria en las clases coordinadas) que permitan dar cuenta del proceso de construcción.

Ambas posiciones coinciden en que aprender un fenómeno o concepto significa aprender a verlo de cierta forma. Así mismo, coinciden en que la forma en la que los seres humanos se relacionan con un fenómeno determina un espacio de variación. Es en este espacio donde se generan distintas formas de interpretación que llevan a concebir el aprendizaje como proceso dinámico, evolutivo y contextualizado, y que requiere de los diversos procesos cognitivos que cada teoría propone.

5. Consideraciones finales

El camino que ha seguido la comprensión de los problemas del aprendizaje de las ciencias naturales ha ido transitando hacia la complejidad. Desde las consideraciones que hacían del conocimiento de los estudiantes un conjunto de “contenidos” memorizables hasta el reconocimiento de una gran variedad de concepciones alternativas o ideas previas que determinan, en buena medida, la comprensión posible en los distintos niveles escolares. También este tránsito hacia la complejidad se manifiesta en las concepciones de aprendizaje que van desde la incorporación o reorganización, hasta el cambio conceptual y, dentro de éste, como se ha descrito en este trabajo desde la idea simple de reemplazo hasta una dinámica compleja.

El proceso de transformación referido nos da indicios de que la investigación en este campo educativo proporciona, cada vez más, una mejor comprensión del problema del aprendizaje de las ciencias, y por tanto mayores posibilidades de construir, desde la enseñanza, mejores enfoques y procesos educativos que, sin embargo, requieren a su vez de nuevas aproximaciones teóricas e investigaciones específicas, de las que puedan reestructurar didácticas más cercanas a los procesos complejos de aprendizaje que se han descrito. También implica una visión mucho más amplia de los problemas a los que se enfrenta la enseñanza y que requerirán de mayor especialización por parte de docentes y otros actores educativos.

La dinámica que ha seguido el desarrollo de las teorías de cambio conceptual hace patente, también, la necesidad de profundizar e incrementar las investigaciones sobre cómo aprenden las ciencias los estudiantes, sobre la efectividad de poner en práctica

nuevos enfoques y, sobre todo desarrollar nuevos modelos o teorías que permitan una mejor aproximación a las variaciones posibles del aprendizaje de las ciencias, alejándose de la unidireccionalidad y linealidad por la que la enseñanza tradicional de las ciencias ha transitado.

Desarrollar investigaciones y marcos teóricos que den cuenta de los procesos que se llevan a cabo en los sujetos y determinar sus diferentes formas de “ver” los conceptos asociados a los procesos naturales y construir así, sus visiones o representaciones se presenta como uno de los nuevos retos que deberá ser abordado tanto desde las aproximaciones epistemológicas como cognitivas y en buena medida requerirá de momentos de síntesis de ambas aproximaciones a la construcción del conocimiento.

El desarrollo teórico de estas aproximaciones permitirá proponer nuevos enfoques y procesos de enseñanza y nos brindará mayores elementos para comprender el complejo fenómeno del aprendizaje.▲

Bibliografía

- BACHELARD, G. *La filosofía del no: Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. Amorrortu. Buenos Aires, 1973.
- CHI, M. “Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science”, en R. Giere (Ed.) *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press. Minneapolis, 1992, pp. 129-186.
- CHI, M. y ROSCOE, R. “The processes and challenges of conceptual change”, en M. Limón y L. Mason (eds.) *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. Holanda, 2003, pp. 3-17
- CHIU, M., KESSEL, C., MOSCHKOVICH, J. y MUÑOZ-NUÑEZ, A. “Learning to graph linear functions: a case study of conceptual change”, en *Cognition and Instruction*. s.l., 2001, p. 19 (2), 215-252.
- DISESSA, A. “Toward an Epistemology of Physics”, en *Cognition and Instruction*, s.l., 1993, pp. 105-225.
- DISESSA, A. “What do ‘Just Plain Folk’ know about physics?”, en D. Olson y N. Torrance (Eds.) *Handbook of Education and Human Development*. Blackwell. Oxford, 1996, pp. 709-730.
- DISESSA, A. “Why conceptual ecology is a good idea”, en M. Limón y L. Mason (eds.) *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. Holanda, 2003, pp. 29-60.
- DISESSA, A. y SHERIN, B. “What changes in conceptual change?”, en *International Journal of Science Education*, s.l., 1998, pp. 20 (10), 1155-1191.
- DUIT, R. “Conceptual change approaches in science education”, en W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (Eds.) *New Perspectives on Conceptual Change*. Pergamon, Oxford, 1999, pp. 263-282.
- DUIT, R. y TREAGUST, D. F. “Learning in science: From behaviourisms towards social constructivism and beyond”, en B. Fraser y K. Tobin (Eds.) *International Handbook of Science Education*. Dordrecht:Kluwer, s.l., 1998, pp. 3-25.
- MARTON, F. “Phenomenography – Describing conceptions of the world around us”, en *Instructional Science*, s.l., 1981, pp. 10, 177-200.
- MARTON, F. (1986) “Phenomenography – A research approach to investigating different understandings of reality”, en *Journal of thought*. Suecia, 1986, pp. 21 (3), 28-49.

- MARTON “Cognosco ergo sum – Reflections on reflections”, en G. Dall’Alba y B. Hasselgren (Eds.) *Reflections in phenomenography*. Acta Universitatis Gothoburgensiss. Suecia, 1998, pp. 163-187.
- MARTON, F. y BOOTH, S. *Learning and awareness*. Lawrence Erlbaum. Nueva Jersey, 1997.
- MORTIMER, E. F. “Conceptual change or conceptual profile change?”, en *Science & Education*, s.l., 1995, pp. 4, 267-285.
- PFUND, H. y DUIT, R. *Bibliography: students alternative frameworks and science education*. Institute for Science Education at the University of Kiel. Kiel, Alemania, 2004. (Distribuida electrónicamente)
- PINTRINCH, P. R., MARX, R. W. y BOYLE, R. A. “Beyond conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change”, en *Review of Educational Research*, s.l., 1993, pp. 63 (2), 167-199.
- PONG, W. Y. “The Dynamics of Awareness”. Presentado en 8ª Conferencia Europea de Aprendizaje e Instrucción (EARLI). Agosto de 1999.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W., y GERTZOG, W. A. (1982). “Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change”, en *Science Education*, s. l., 1982, pp. 66, 211-227.
- RUNESSON, U. “Teaching as constituting a space of variation”. Presentado en la 8ª Conferencia Europea de Aprendizaje e Instrucción (EARLI). Agosto de 1999.
- SMITH, P., DISESSA, A. y ROSCHELLE, (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, s.l., s.a. 3 (2), 115-163.
- SPADA, H. “Conceptual change or multiple representations?”, en *Learning and Instruction*, s. l., 1994, pp. 4, 113-116.
- VOSNIADOU, S. “Capturing and modelling the process of conceptual change”, en *Learning and Instruction*, s. l., 1994, pp. 4, 45-69.
- VOSNIADOU, S. “On the nature of naïve physics”, en M. Limón y L. Mason (eds.) *Reconsidering conceptual change: issues in theory and practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Holanda, 2003, pp. 61-76.
- WANDERSEE, J. MINTZES, J. y NOVAK, J. (1994) “Research on alternative conceptions in science”, en D. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. NSTA. s. l., 1994, pp. 177-210.