

M^a Luz Rodríguez Palmero (org.)

LA TEORÍA DEL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO EN LA PERSPECTIVA DE LA PSICOLOGÍA COGNITIVA

editorial **octaedro**

M^a Luz Rodríguez Palmero (org.)

**LA TEORÍA DEL APRENDIZAJE
SIGNIFICATIVO
EN LA PERSPECTIVA
DE LA PSICOLOGÍA COGNITIVA**

editorial**octaedro**

A David P. Ausubel, *in memoriam*

Primera edición: noviembre de 2008

© M^a Luz Rodríguez Palmero, Marco Antonio Moreira, M^a Concesa Caballero Sahelices, Ileana M^a Greca,

© Derechos exclusivos de edición:
Ediciones Octaedro, S.L.

© De la presente edición:
Ediciones Octaedro, S.L.
C/ Bailén, 5 - 08010 Barcelona
Tel. 93 246 40 02 Fax 93 231 18 68
e-mail: octaedro@octaedro.com
<http://www.octaedro.com/>

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares del *Copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento.

ISBN: 978-84-8063-290-4
Edición electrónica

Sumario

Introducción	5
1. La Teoría del Aprendizaje Significativo.....	7
2. La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird.....	46
3. La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud.....	88
4. La integración de modelos mentales y esquemas de asimilación para la comprensión de procesos de aprendizaje significativo.....	133
5. La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos.....	162
6. Aprendizaje significativo: la asimilación ausubeliana desde una visión cognitiva contemporánea.....	198

Introducción:

La Teoría del Aprendizaje Significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva

M^a LUZ RODRÍGUEZ PALMERO
Organizadora

Superado el enfoque conductista de la enseñanza y del aprendizaje, al menos en teoría, hace bastantes años que la tendencia dominante en la investigación en educación es la psicología cognitiva, una perspectiva de análisis que centra su atención en lo que sucede en la mente humana cuando aprende, recurriendo para ello al procesamiento de la información y equiparando metafóricamente el funcionamiento de la mente al de un ordenador. En este planteamiento, lo que importa no son las conductas observables, sino lo que realmente ocurre cuando el individuo procesa esa información y la convierte en conocimiento y acción.

El avance en la psicología cognitiva en este periodo ha sido espectacular y son muchas las teorías psicológicas y de aprendizaje que se nos ofrecen para explicar cómo se produce y cómo se facilita la cognición. La Teoría del Aprendizaje Significativo es una de ellas y ya tiene más de cuarenta años de historia. Para Moreira (1997), su concepto estructurante, «aprendizaje significativo», es subyacente a los planteamientos piagetianos, kellianos, vygotskyanos, etc., lo que demuestra la potencialidad explicativa de éste, hasta el extremo de que resiste y supera esos otros enfoques psicológicos cognitivos de aprendizaje.

En tiempos más recientes han surgido otras teorías psicológicas que tratan los procesos implicados en la cognición, cuyo objetivo es facilitar una mejor comprensión de los mismos. Es imposible abordarlas todas; se ha optado por seleccionar dos de ellas, la Teoría de los Modelos Mentales (Johnson-Laird) y la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud) porque conjuntamente ofrecen un marco teórico de referencia que apoya consistentemente los presupuestos, principios, condiciones y características expresados por Ausubel (1973, 1976, 2002) en la Teoría del Aprendizaje Significativo.

El objeto de este libro es, pues, dar a conocer las tres teorías citadas (Ausubel, Johnson-Laird y Vergnaud), así como correlacionarlas entre sí, para poder

establecer una visión conjunta que permita entender el aprendizaje significativo desde una perspectiva cognitiva más reciente. Para ello se han seleccionado y reunido los diferentes capítulos que lo conforman, que ya han sido publicados como artículos en distintas revistas y libros dedicados a la investigación en la enseñanza de las ciencias, pero que se han adaptado para el presente proyecto. Por esa razón, el lector advertirá cierta reiteración en algunos aspectos, dado que son documentos que se han escrito de manera independiente y con objetivos y fines distintos; reiteración que, en cualquier caso, permitirá mostrar de mejor modo rasgos y características esenciales de las teorías tratadas. La intención de esta recopilación no es otra que la de poder ofrecer en un único documento todos los referentes necesarios y suficientes que permitan entender la evolución del constructo «aprendizaje significativo», así como la comprensión de cómo se genera y se construye, desde una perspectiva mentalista representacional más actual. Sólo el último de ellos es inédito y en él se presenta la visión heurística que se pretende dar del aprendizaje significativo.

Los tres primeros capítulos se ocupan de cada una de las teorías citadas, mostrando los orígenes de las mismas, sus conceptos clave, sus presupuestos teóricos fundamentales y sus consecuencias o posibilidades, tanto para la investigación en educación, como para la docencia. El capítulo cuarto trata una visión conjunta de las teorías de los Modelos Mentales y los Campos Conceptuales. En el quinto capítulo se compara ésta última con la Teoría del Aprendizaje Significativo, desde la perspectiva del proceso que conduce a la adquisición de conceptos en ambos enfoques. El último capítulo muestra una explicación global articulada en torno a las tres teorías citadas, que, si bien no resuelve todos los entresijos implicados en la complejidad del proceso de la conceptualización significativa, ofrece una visión integrada del aprendizaje significativo en términos de representaciones mentales que operan en la memoria episódica y a largo plazo. En él, se exponen las razones que han llevado a las teorías citadas, la visión heurística que su consideración conjunta nos aporta y la conceptualización cognitiva representacional que este referente ofrece para comprender y aplicar de mejor modo el constructo aprendizaje significativo.

Como producto de un trabajo colaborativo que es, este texto plasma intenciones, reflexiones y propuestas de diferentes personas ocupadas en y preocupadas por la educación y el aprendizaje. Quiero expresar mi agradecimiento a Concesa Caballero Sahelices, Ileana M^a Greca y Marco Antonio Moreira por haber prestado su saber y sus producciones a este proyecto, así como por su apoyo y colaboración. Me gustaría mostrar mi gratitud también a Javier Marrero Acosta y a Ángel Pérez Gómez por sus sugerencias, su ánimo y su ayuda en la materialización de este libro.

La Laguna, enero, 2007.

La Teoría del Aprendizaje Significativo¹

M^a LUZ RODRÍGUEZ PALMERO

Centro de Educación a Distancia (C.E.A.D.), Santa Cruz de Tenerife, España.

David P. Ausubel es el creador de la Teoría del Aprendizaje Significativo, una teoría que ha tenido una gran trascendencia en la enseñanza y en la educación. Es una teoría de aprendizaje que centra la atención en el alumno. Aprendizaje significativo, su constructo esencial, constituye una pieza clave para comprender el constructivismo moderno. Por eso, no podría entenderse la psicología de la educación ni la psicología cognitiva sin hacer referencia a Ausubel.

1. Introducción

En 1963, Ausubel hizo su primer intento de explicación de una teoría cognitiva del aprendizaje verbal significativo publicando la monografía «The Psychology of Meaningful Verbal Learning»; en el mismo año se celebró en Illinois el Congreso Phi, Delta, Kappa, en el que intervino con la ponencia «Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento», exposición que se encuentra recopilada por Elam (1973) con el título *La educación y la estructura del conocimiento. Investigaciones sobre el proceso de aprendizaje y la naturaleza de las disciplinas que integran el currículum*.

Más de cuarenta años de vigencia tiene, por tanto, esta teoría, lo que justifica su fuerza explicativa. Mucho tiempo, sin duda, en el que los profesionales de la educación nos hemos familiarizado sobre todo con la idea de significatividad del aprendizaje y hemos intentado lograrlo en nuestro alumnado, no siempre con el éxito deseado. Supuestamente al amparo de la Teoría del Aprendizaje Significativo se han planificado muchas programaciones escolares y programas curriculares y en el fondo no sabemos muy bien de qué trata o cuáles son sus aspectos más destacados, aquéllos que sí hubiesen podido ayudarnos a comprender los entresijos que definen al aprendizaje significativo y que lo hacen

1. Ampliado y adaptado de Rodríguez Palmero, M. L. (2004). «La Teoría del Aprendizaje Significativo», ponencia invitada en el I Congreso Internacional de Mapas Conceptuales, Pamplona, 14-17 de septiembre.

posible. Por eso se hace necesario hacer un alto en el camino, adentrarnos en la teoría en sí y profundizar en ella, de manera que la aprendamos significativamente para, con ello, lograr que los aprendizajes que pretendemos de nuestros estudiantes (relativos a los contenidos científica y contextualmente validados) sean realmente significativos.

Ése es el objeto del presente capítulo. Para ello, se dedica una primera parte a la caracterización de la teoría como tal. En un segundo apartado se tratan los conceptos que resultan claves y definitorios de la misma, fundamentalmente, el constructo «aprendizaje significativo», que se aborda con cierta profundidad, primero desde una perspectiva ausubeliana y, después con las aportaciones que lo han enriquecido, aumentando así su comprensión y su aplicabilidad. Con objeto de aclarar y especificar su potencialidad en el aula, se termina este capítulo con una revisión de algunos equívocos o usos poco acertados de dicho constructo. Se analizan también algunas consecuencias derivadas de esta teoría, articuladas en torno a reflexiones realizadas sobre la misma por el propio Ausubel y por otros autores. De todo ello, finalmente se extraen algunas conclusiones sobre su validez y limitaciones.

2. ¿Qué es la Teoría del Aprendizaje Significativo?

Podemos considerar la teoría que nos ocupa como una teoría psicológica del aprendizaje en el aula. Ausubel (1973, 1976, 2002) ha construido un marco teórico de referencia que pretende dar cuenta de los mecanismos por los que se lleva a cabo la adquisición y la retención de los grandes cuerpos de significado que se manejan en la escuela.

Es una teoría psicológica porque se ocupa de los procesos mismos que el individuo pone en juego para aprender. Pero desde esa perspectiva no trata temas relativos a la psicología misma ni desde un punto de vista general, ni desde la óptica del desarrollo, sino que pone el énfasis en lo que ocurre en el aula cuando los estudiantes aprenden; en la naturaleza de ese aprendizaje; en las condiciones que se requieren para que éste se produzca; en sus resultados y, consecuentemente, en su evaluación (Ausubel, 1976).

Es una teoría de aprendizaje porque ésa es su finalidad. La Teoría del Aprendizaje Significativo aborda todos y cada uno de los elementos, factores, condiciones y tipos que garantizan la adquisición, la asimilación y la retención del contenido que la escuela ofrece al alumnado, de modo que adquiera significado para el mismo.

Para Ausubel (op. cit., pág. 18) «*la psicología educativa debe concentrarse en la naturaleza y la facilitación del aprendizaje de la materia de estudio*» y eso significa prestar atención, por una parte, a aquellos conocimientos provenientes de la psicología que hacen falta para dar cuenta de dichos procesos; y, por otra, a aque-

llos principios y premisas procedentes de las teorías de aprendizaje que pueden garantizar la significatividad de lo aprendido, sin que ni unos ni otros se constituyan en fines en sí mismos, ya que lo que realmente interesa es que se logre un aprendizaje significativo en el entorno escolar. Por eso es por lo que la psicología educativa es una ciencia aplicada, en la que se enmarca la Teoría del Aprendizaje Significativo, una teoría que, probablemente por ocuparse de lo que ocurre en el aula y de cómo facilitar los aprendizajes que en ella se generan, ha impactado profundamente en los docentes y se ha arraigado al menos en sus lenguajes y expresiones, si bien no tanto en sus prácticas educativas, posiblemente por desconocimiento de los principios que la caracterizan y que la dotan de su tan alta potencialidad.

Pozo (1989) considera la Teoría del Aprendizaje Significativo como una teoría cognitiva de reestructuración; para él, se trata de una teoría psicológica que se construye desde un enfoque organicista del individuo y que se centra en el aprendizaje generado en un contexto escolar. Es una teoría que *«se ocupa específicamente de los procesos de aprendizaje/enseñanza de los conceptos científicos a partir de los conceptos previamente formados por el niño en su vida cotidiana [...] Ausubel desarrolla una teoría sobre la interiorización o asimilación, a través de la instrucción»* (op. cit., págs. 209-210), opinión que refuerza la consideración de teoría psicológica cognitiva del aprendizaje que tiene la construcción ausubeliana. Se trata de una teoría constructivista, ya que es el propio individuo-organismo el que genera y construye su aprendizaje. Según Pozo (op. cit., pág. 210), *«Ausubel pone el acento de su teoría en la organización del conocimiento en estructuras y en las reestructuraciones que se producen debido a la interacción entre esas estructuras presentes en el sujeto y la nueva información»*.

El origen de la Teoría del Aprendizaje Significativo está en el interés que tiene Ausubel por conocer y explicar las condiciones y propiedades del aprendizaje, que se pueden relacionar con formas efectivas y eficaces de provocar de manera deliberada cambios cognitivos estables, susceptibles de dotar de significado individual y social (Ausubel, 1976). Por eso aborda problemas tales como:

- a) Descubrir la naturaleza de aquellos aspectos del proceso de aprendizaje que afecten, en el alumno, la adquisición y retención a largo plazo de cuerpos organizados de conocimiento; b) el amplio desarrollo de las capacidades para aprender y resolver problemas; c) averiguar qué características cognoscitivas y de personalidad del alumno, y qué aspectos interpersonales y sociales del ambiente de aprendizaje, afectan los resultados de aprender una determinada materia de estudio, la motivación para aprender y las maneras características de asimilar el material, y d) determinar las maneras adecuadas y de eficiencia máxima de organizar y presentar materiales de estudio y de motivar y dirigir deliberadamente el aprendizaje hacia metas concretas. (Op. cit., pág. 23)

Dado que lo que quiere conseguir es que los aprendizajes que se producen en la escuela sean significativos, Ausubel entiende que una teoría del aprendizaje escolar que sea realista y científicamente viable debe ocuparse del carácter complejo y significativo que tiene el aprendizaje verbal y simbólico. Así mismo, y con objeto de lograr esa significatividad, debe prestar atención a todos y cada uno de los elementos y factores que le afectan, que pueden ser manipulados para tal fin. Por lo tanto, su ámbito de aplicación es el aprendizaje y la enseñanza de cualquier cuerpo organizado de conocimiento, lo que constituye las diferentes disciplinas científicas que configuran el currículum escolar.

3. ¿Cuáles son los conceptos clave de la teoría?

Lo que define y caracteriza a la teoría ausubeliana es el «aprendizaje significativo», una etiqueta que está muy presente en el diálogo de docentes, diseñadores del currículum e investigadores en educación y, sin embargo, son muchos también los que desconocen su origen y su justificación. Precisamente por eso, conviene que se haga una revisión sobre su significado y sobre la evolución teórica que ha seguido. El objeto de este apartado es, pues, analizar el sentido y la potencialidad del constructo como tal. Para ello se abordará una primera parte relativa al aprendizaje significativo en sí, analizada bajo dos puntos de vista: la posición de Ausubel, por un lado, y algunas aportaciones y reformulaciones realizadas a lo largo de este tiempo, por otro. Esto permitirá que pasemos revista, en la segunda parte, a algunos malos entendidos y confusiones con respecto al sentido que se le atribuye a aprendizaje significativo o a su aplicación. De este modo, se obtendrá una visión de conjunto que delimite algunas conclusiones significativas al respecto y posibilite una mejor comprensión y aplicación del constructo en el aula.

3.1. Aprendizaje significativo: una revisión de su significado²

Podría considerarse aprendizaje significativo un constructo con una muy larga historia, como se ha dicho, al menos en el contexto en el que nos movemos; analizarla con un mínimo de corrección nos conduce a partir de sus orígenes, o sea, de los significados atribuidos por el propio Ausubel (1973, 1976, 2002) desde que surgió y a repasar, siquiera de puntillas, no sólo el significado del constructo en sí, sino toda la construcción teórica de la que forma parte y a la que le da nombre.

2. Adaptado de Rodríguez Palmero, M. L. (2003). «Aprendizaje significativo e interacción personal». Ponencia presentada en el IV Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo, Maragogi, AL, Brasil, 8-12 de septiembre.

3.1.1. Perspectiva ausubeliana

Aprendizaje significativo es el constructo central de la Teoría del Aprendizaje Verbal Significativo y de la Teoría de la Asimilación propuestas por Ausubel (1973, 1976, 2002).

a) Caracterización

El aprendizaje significativo es el proceso según el cual se relaciona un nuevo conocimiento o una nueva información con la estructura cognitiva de la persona que aprende de forma no arbitraria y sustantiva o no literal. Esa interacción con la estructura cognitiva no se produce considerándola como un todo, sino con aspectos relevantes presentes en la misma, que reciben el nombre de subsumidores o ideas de anclaje (Ausubel, 1976, 2002; Moreira, 1997a). La presencia de ideas, conceptos o proposiciones inclusivas, claras y disponibles en la mente del aprendiz es lo que dota de significado a ese nuevo contenido en interacción con el mismo (Moreira, 2000a). Esa interacción es lo que caracteriza al aprendizaje significativo. Pero no se trata de una simple unión o ligazón, sino que en este proceso, los nuevos contenidos adquieren significado para el sujeto produciéndose una transformación de los subsumidores o ideas de anclaje de su estructura cognitiva, que resultan así progresivamente más diferenciados, elaborados y estables (íbid.).

La sociedad actual se caracteriza por la ingente cantidad de contenidos que se manejan; se define este tiempo como la era de la información. La mente humana se ve obligada a procesar muy diferentes y numerosos conceptos y proposiciones que, además, cambian y evolucionan a gran velocidad. Ausubel (1976, 2002) entiende que el mecanismo humano de aprendizaje por excelencia para aumentar y preservar los conocimientos es el aprendizaje receptivo significativo, tanto en el aula como en la vida cotidiana. «*Adquirir grandes volúmenes de conocimiento es sencillamente imposible si no hay aprendizaje significativo*» (Ausubel, 1976, pág. 82). No solamente interesa, pues, la adquisición de los nuevos significados, sino que se trata de un proceso natural en el que el paso siguiente es su retención y/o el olvido de todos aquellos conocimientos –subsumidores– que van quedando en desuso por falta de funcionalidad.

Pero aprendizaje significativo no es sólo este proceso, sino que también es su producto. La atribución de significados que se hace con la nueva información es el resultado emergente de la interacción entre los subsumidores claros, estables y relevantes presentes en la estructura cognitiva y esa nueva información o contenido. Como consecuencia del mismo, esos subsumidores se ven enriquecidos y modificados, dando lugar a nuevos subsumidores o ideas-ancla más potentes y explicativas que servirán de base para futuros aprendizajes.

La adquisición de significados, como ya se ha comentado, es un producto del aprendizaje significativo. Es decir, el significado real para el individuo (significado psicológico) emerge cuando el significado potencial (significado lógico) del mate-

rial de aprendizaje se convierte en contenido cognitivo diferenciado e idiosincrásico por haber sido relacionado, de manera substantiva y no arbitraria, e interactuado con ideas relevantes existentes en la estructura cognitiva del individuo. (Op. cit., pág. 23)

En contraposición al aprendizaje significativo, proceso que dota a los sujetos de significado, Ausubel (1976, 2002) plantea la existencia del aprendizaje mecánico, un proceso que tampoco se produce en el vacío cognitivo, pero que no supone interacción entre el nuevo contenido y la estructura cognitiva de los que aprenden o que la supone arbitraria y literal; dada la inexistencia de elementos de anclaje claros y relevantes en la misma, el resultado o producto es un aprendizaje repetitivo carente de significado. En cualquier caso, hemos de considerar que aprendizaje significativo/aprendizaje mecánico son los dos extremos de un continuo o dimensión en lugar de constituir posiciones dicotómicas, ya que habitualmente nos movemos entre una y otra. Lo mismo ocurre con la dimensión aprendizaje por recepción/aprendizaje por descubrimiento, perspectiva distinta de análisis del mismo proceso cognitivo de aprender que, en ambos casos o extremos, puede ser de manera memorística o significativa y que han estado asociados a planteamientos y discusiones pedagógicas extremistas e insuficientemente documentadas. La figura 1 expone la gradación existente en ambas dimensiones.

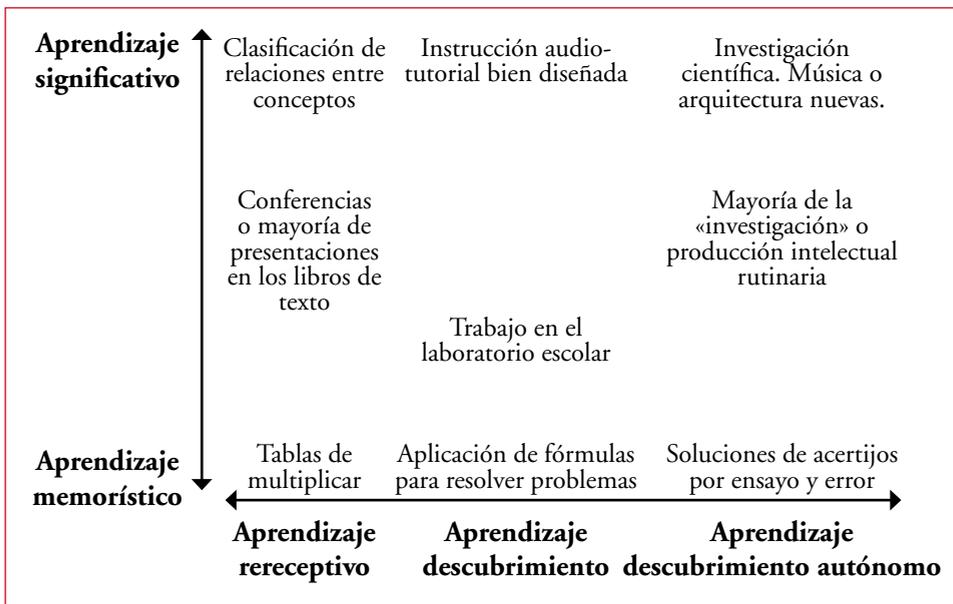


Figura 1. Continuos aprendizaje memorístico/aprendizaje significativo y aprendizaje receptivo/aprendizaje por descubrimiento autónomo (Novak, 1988a).

b) Condiciones

Para que se produzca aprendizaje significativo han de darse dos condiciones fundamentales:

- Actitud potencialmente significativa de aprendizaje por parte del aprendiz, o sea, predisposición para aprender de manera significativa.
- Presentación de un material potencialmente significativo. Esto requiere:
 - Por una parte, que el material tenga significado lógico, esto es, que sea potencialmente relacionable con la estructura cognitiva del que aprende de manera no arbitraria y sustantiva.
 - Y, por otra, que existan ideas de anclaje o subsumidores adecuados en el sujeto que permitan la interacción con el material nuevo que se presenta.

Existe un componente emocional o afectivo en el aprendizaje significativo sin el que es imposible lograrlo: si el individuo no muestra la intención o disposición para establecer relaciones sustantivas y no arbitrarias entre su estructura cognitiva y el nuevo material, el aprendizaje no se produce de manera significativa, incluso aunque existan los subsumidores adecuados y pertinentes y el material sea lógicamente significativo (Ausubel, 1976, Moreira, 1997a).

La expresión «significado lógico» hace referencia al sentido característico del propio material en sí. El significado lógico se refiere a la capacidad que tiene el material de aprendizaje que se le brinda al estudiante de enlazarse de forma no arbitraria y sustantiva con algunas ideas de anclaje que estén presentes en su estructura cognitiva y que sean pertinentes para ello. Debería ser, pues, un material no aleatorio, plausible, razonable (Ausubel, 2000).

La significatividad lógica no garantiza que el aprendizaje sea significativo; es sólo una de las condiciones necesarias. Cuando los conceptos o las proposiciones tienen significado lógico, pueden relacionarse sustancial y no arbitrariamente con elementos de la estructura cognitiva del individuo, siendo su interacción (si se produce) lo que posibilita su transformación en significado psicológico (Ausubel, 1973). Éste es el significado atribuido por la persona a los contenidos aprendidos, de tal modo que el subsumidor que actuó de anclaje se ha modificado y la información que se recibió se ha interpretado. El significado psicológico es, por tanto, el resultado de «*la relación sustantiva y no arbitraria de material lógicamente significativo con la estructura cognitiva del aprendiz*» (Moreira, 2000a, pág. 15). El significado psicológico es real o fenomenológico, mientras que el significado lógico sólo depende de la naturaleza del material en sí mismo (Ausubel, 2002).

Aun contando con la predisposición para aprender y con la utilización de un material lógicamente significativo, no hay aprendizaje significativo si no están presentes en la estructura cognitiva los subsumidores claros, estables y precisos que sirvan de anclaje para la nueva información. El nivel de inclusividad de los

conceptos subsumidores viene a ser el grado de conceptualización necesario para que el estudiante realice una tarea de aprendizaje concreta. Por eso, la variable independiente más importante para que se produzca aprendizaje significativo es la estructura cognitiva del individuo (Ausubel, 1973, 1976).

Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: de todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto, y enséñese consecuentemente. (Ausubel, 1976, pág. 6)

La forma en que el conocimiento se organiza en términos psicológicos condiciona los procesos de aprendizaje y retención de significativos, implicando una distribución jerárquica de la estructura cognitiva «*que se diferencia progresivamente en función del grado de generalidad e inclusividad*» (Ausubel, 1973, pág. 215). La presencia de ideas de anclaje en un nivel óptimo de abstracción, generalidad e inclusividad en esa estructura cognitiva adquiere una importancia fundamental como variable previa al aprendizaje significativo y en su retención: «*la ausencia de estas ideas constituye la principal influencia limitadora o negativa en los nuevos aprendizajes significativos*» (Ausubel, 2002, pág. 244).

De la organización jerárquica que se le atribuye a la estructura cognitiva se derivan también otros dos principios que dan cuenta de su funcionamiento y que tienen una especial relevancia: la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora.

c) Tipos de aprendizaje significativo

Atendiendo al **objeto aprendido**, el aprendizaje significativo puede ser *representacional, de conceptos y proposicional*.

El aprendizaje representacional tiene una función identificativa según la cual se establece una correspondencia entre el símbolo (en general, una palabra) y su referente. Este aprendizaje es básicamente reiterativo y por descubrimiento; se produce primordialmente en la infancia y tiene naturaleza nominalista o representativa. Por ejemplo, para un niño pequeño, el sonido «perro» representa a un perro concreto que él percibe en ese momento, esto es, para el niño el sonido es equivalente al referente. En los primeros años de vida, los niños son capaces de abstraer regularidades de ciertos objetos con los que lidian, que reciben el mismo nombre. De este modo se denotan los significados iniciales con símbolos u otros signos que se refieren a conceptos o los representan.

El aprendizaje de conceptos tiene una función simbólica que deriva de la relación de equivalencia que se establece esta vez entre el símbolo y los atributos definitorios, regularidades o criterios comunes de diferentes ejemplos del referente; tiene carácter de significado unitario. Dado que el aprendizaje representacional conduce de modo natural al aprendizaje de conceptos y que éste está en

la base del aprendizaje proposicional, los conceptos³ constituyen un eje central y definitorio en el aprendizaje significativo. A medida que se incorporan nuevos significados adicionales a los mismos símbolos y signos, se irán delimitando los atributos criteriosales definitorios de los conceptos en sentido estricto, lo que constituye el proceso ausubeliano de formación de conceptos. En este proceso la experiencia ejerce un papel fundamental, ya que es a través de sucesivas etapas y contactos con los objetos y/o eventos como puede establecerse la generalización. A partir de aquí y una vez que ya están presentes en la estructura cognitiva estos elementos conceptuales, el aprendizaje se realiza por asimilación de conceptos, o sea, una incorporación de nuevos materiales para la que se usan como ideas de anclaje o subsumidores los conceptos ya formados, con los que podemos hacer diferentes combinaciones de sus atributos criteriosales.

Haciendo uso del ejemplo anterior, el niño es capaz en este caso de abstraer regularidades que le permiten construir el concepto cultural «perro» y aplicarlo a diferentes animales con los mismos atributos criteriosales. En este caso, la relación no es unívoca entre el símbolo (la palabra «perro») y el objeto concreto (el perro exacto), como ocurre en el aprendizaje representacional.

El aprendizaje proposicional tiene una función comunicativa de generalización, cuyo objeto es aprender ideas expresadas verbalmente con conceptos; maneja, por tanto, un significado compuesto. La finalidad del aprendizaje proposicional es la atribución de significados a las ideas expresadas verbalmente, que son mucho más que la suma de los significados de los conceptos que las componen. No se podrá comprender el significado de «El perro es un animal y, por tanto, un ser vivo» si no se han aprendido significativamente los conceptos perro, animal, ser vivo. La comprensión de las leyes físicas, por ejemplo, no es posible si no se han aprendido de manera significativa los conceptos que manejan, pero el aprendizaje de los mismos, de su significado, no basta para entenderlas y aplicarlas correctamente.

El proceso que conduce al aprendizaje de conceptos y el que da lugar al aprendizaje de proposiciones tienen naturaleza sustantiva.

Si se utiliza como criterio la **organización jerárquica** de la estructura cognitiva, el aprendizaje significativo puede ser **subordinado**, **superordenado** o **combinatorio**. El aprendizaje conceptual y proposicional se producen porque se genera una relación de subordinación de los nuevos contenidos con otros ya presentes en esa estructura cognitiva, que actúan como subsumidores por ser más abstractos, generales e inclusivos. Por eso este aprendizaje recibe el nombre de subordinado (que puede ser derivativo o correlativo). Moreira (2000a) ofrece un ejemplo para el concepto físico de campo: personas que comprenden este concepto pueden derivar el significado de «campo de presiones», «campo de tempe-

3. Ausubel (1978, pág. 86) define conceptos como «*objetos, eventos, situaciones o propiedades que poseen atributos criteriosales comunes y se designan, en una cultura dada, por algún signo [...] aceptado*» (Moreira, 2000a, pág. 21).

raturas» o «campo de energías» del significado que le han atribuido al concepto «campo», que actuarán, por tanto, como ejemplos del mismo. También podrán correlacionar otros sentidos o significados para el concepto «campo», como, por ejemplo, «campo eléctrico», definiendo o construyendo para el mismo características propias y no meramente ejemplos.

El aprendizaje superordenado se produce cuando se incorpora un concepto o una idea que es capaz de subordinar a otras ya existentes en la mente del individuo porque tiene un mayor grado de abstracción y generalidad, resultando más inclusiva. Si un niño adquiere los conceptos de «silla», «mesa», «armario», etc., podrá construir el concepto «mueble» que los subordina a todos; éste puede ser un ejemplo de aprendizaje superordenado.

En el aprendizaje combinatorio (más frecuente en proposiciones que en conceptos) no se dan relaciones de subordinación ni de superordenación, sino que se establecen conexiones con contenidos disponibles en la estructura cognitiva pero sólo de modo general. Se trata de proposiciones que tienen sentido en términos genéricos y que se detectan como significativas, pero sin que puedan ser asimiladas o puedan asimilar otras ideas ya presentes (Moreira, 2000a). Ausubel (citado por Moreira, 2000a) aporta como ejemplos de este aprendizaje la relación masa/energía, la interacción o relación calor/volumen o, también, la relación precio/demanda.

d) Asimilación

A través de este proceso, como se comentó en el apartado anterior, se produce básicamente el aprendizaje en la edad escolar y adulta. Se generan así combinaciones diversas entre los atributos característicos de los conceptos que constituyen las ideas de anclaje, para dar nuevos significados a nuevos conceptos y proposiciones, enriqueciendo paulatinamente la estructura cognitiva.

Ausubel explica la asimilación de conceptos en la Teoría de la Asimilación (1976, 2002). Según ésta, un nuevo concepto o idea potencialmente significativos se asimilan a un subsumidor relevante que resulta modificado debido a la interacción asimiladora, ya que se ha transformado en otro más explicativo y potente (subsumidor enriquecido), modificándose de igual modo el material potencialmente significativo que, así, deja de ser potencial para convertirse en real o psicológicamente significativo. La figura 2 refleja esquemáticamente el proceso de asimilación.

Supongamos que una persona tiene construido un concepto de animal que ha adquirido a través de su experiencia con mamíferos. Si la nueva información que se le ofrece se refiere a animales invertebrados, se producirá una interacción entre su concepto de animal y éstos otros que se le brindan. En esa interacción significativa aprenderá el concepto de invertebrado, al tiempo que reestructurará su significado del concepto de animal.

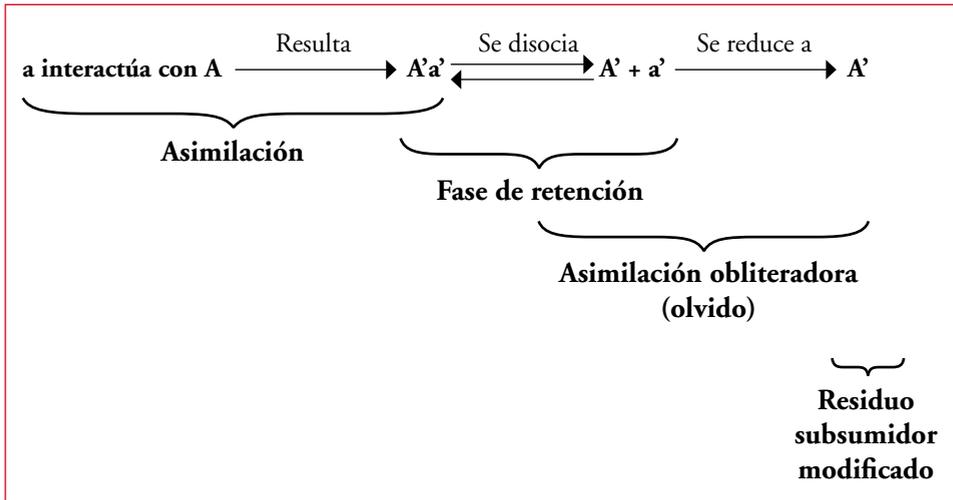


Figura 2. Proceso de asimilación (Moreira, 2000a, pág. 26).

e) Lenguaje

Para que se dé la necesaria asimilación que caracteriza al aprendizaje verbal significativo, se cuenta con un importantísimo facilitador o vehículo: el lenguaje. El aprendizaje significativo se logra por intermedio de la verbalización y del lenguaje y requiere, por tanto, comunicación entre distintos individuos y con uno mismo. De hecho, el aprendizaje representacional que hemos situado en la base del funcionamiento cognitivo tiene su razón de ser en las propiedades representacionales de las palabras con las que poco a poco somos capaces de construir el discurso.

La nominalización de conceptos o de eventos y la expresión verbal o exteriorización de ideas resultan cruciales en la conceptualización, como hemos tenido ocasión de destacar, al analizar los tipos de aprendizaje significativo o la formación y la asimilación de conceptos. La mente humana opera con conceptos y los maneja en términos lingüísticos en sus operaciones de pensamiento, de lo que se sigue que la mediación del lenguaje determina la significatividad de los aprendizajes. El papel del lenguaje como facilitador es notorio y evidente tanto en el aprendizaje significativo receptivo como en el basado en el descubrimiento, dado que aumenta la capacidad manipulativa de conceptos y proposiciones, teniendo un papel esencial y operativo en el funcionamiento del pensamiento (íbid.). Si se produce fracaso inicial en la adquisición del lenguaje adecuado, se limita el desarrollo posterior de las capacidades cognitivas (como procesamiento de información o resolución de problemas), lo que dificulta el desempeño cognitivo posterior. La correlación entre lenguaje y aprendizaje significativo es, pues, crucial.

f) Facilitación

Una vez expuesto lo que se entiende por aprendizaje significativo, sus condiciones, principios y tipos, así como aquello que se aprende, podemos prestar atención a cómo se consigue o facilita. Ausubel (1973, 1976, 2002) se ocupa de este aspecto con profusión; no en vano su teoría es una teoría psicológica de aprendizaje. De lo expuesto hasta el momento se derivan dos aspectos fundamentales: el contenido y la estructura cognitiva del alumno. Dado que de lo que se trata es de que los estudiantes adquieran aprendizajes significativos, una de las tareas que nos competen como docentes es conocer su bagaje, la organización de su estructura cognitiva y los subsumidores de que dispone, así como su naturaleza, para que puedan servir de soporte de la nueva información; en caso de que éstos no estén presentes o cognitivamente disponibles, habría que facilitar los organizadores pertinentes. En este sentido, estaremos manipulando la estructura cognitiva que garantiza el aprendizaje subsecuente.

Otra tarea ineludible es atender al contenido en sí mismo, manipularlo, también, analizándolo conceptualmente, de manera que puedan determinarse e identificarse los conceptos, las ideas, los métodos esenciales al proceso de aprendizaje (Moreira 2000a). Para Ausubel es muy clara y nítida la distinción entre el contenido de las disciplinas formalmente constituidas y organizadas y la manera en que ese contenido se representa y se interioriza mentalmente (Ausubel, 1973).

En términos de planificación y programación de la enseñanza, Ausubel (2002, págs. 259 y 260) parte de dos supuestos que hemos de tener en consideración si queremos desarrollar un trabajo consistente con la fundamentación teórica expuesta:

- 1) Para los seres humanos es menos difícil captar los aspectos diferenciados de un todo previamente aprendido y más inclusivo que formular el todo inclusivo a partir de sus partes diferenciadas previamente aprendidas; y 2) la organización por parte de un individuo del contenido de una disciplina dada en su propia mente consiste en una estructura jerárquica donde las ideas más inclusivas se encuentran en la cúspide de la estructura y subsumen progresivamente proposiciones, conceptos y datos factuales menos inclusivos y más diferenciados.

El primero de ellos supone una consideración *top down* del currículum congruente con la diferenciación progresiva de conceptos e ideas (en términos psicológicos). El segundo da cuenta del funcionamiento cognitivo humano postulado por el autor y debería verse reflejado en los procedimientos pedagógicos tendentes al aprendizaje significativo. Las tareas de análisis de contenidos son poco habituales en el profesorado y, sin embargo, a la luz de lo expuesto, resultan cruciales. «*Se efectúan pocos esfuerzos serios con la finalidad explícita de explorar las relaciones entre estos conceptos, señalar sus similitudes y diferencias sig-*

nificativas y conciliar sus inconsistencias reales o aparentes» (Ausubel, 1973, pág. 234). La figura 3 ejemplifica una organización posible para la asignatura de Biología de Segundo de Bachillerato.

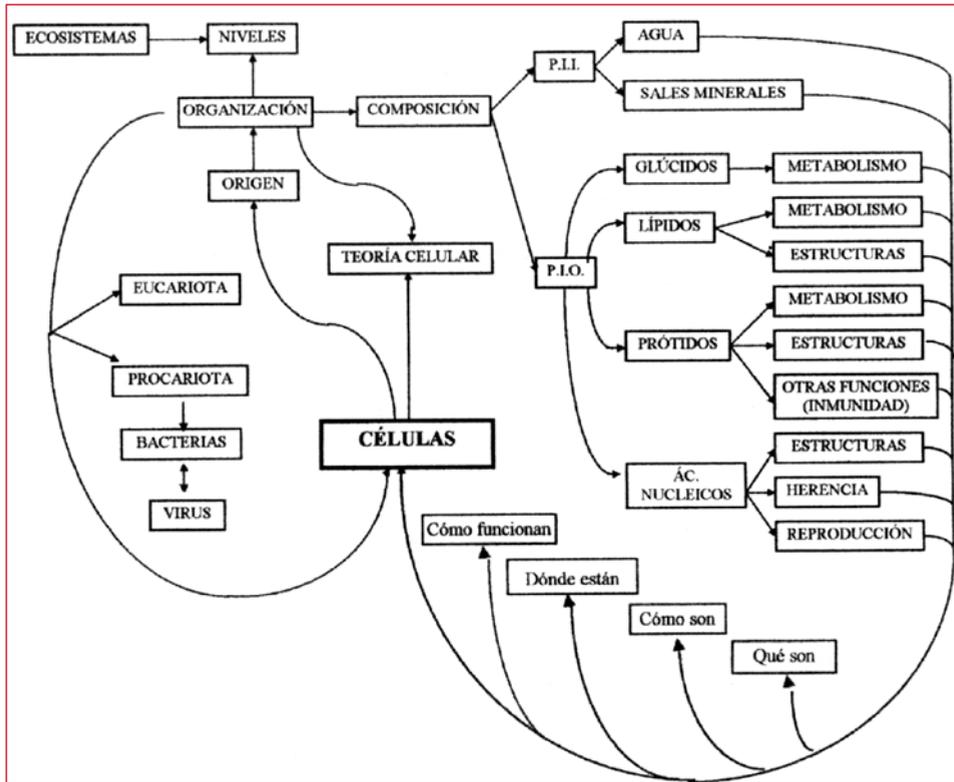


Figura 3. Organización del contenido de la asignatura de Biología de Segundo de Bachillerato (Rodríguez, 2000).

Como puede observarse, el concepto central es la célula, ya que lo que se pretende que los estudiantes aprendan es qué es, cómo es y cómo funciona. Para eso se ha optado por una organización compleja convergente, diferente a la habitual,⁴ según la cual, una vez que se trabaja una introducción general sobre su origen y significado, se analiza cada uno de los principios inmediatos orgánicos que la constituyen desde la perspectiva de qué son, cómo son, cómo funcionan y dónde están. Con una secuenciación como la expuesta, se estudian algunos procesos y estructuras celulares (por ejemplo, respiración celular, fotosíntesis, síntesis protei-

4. La organización más frecuente para la Biología responde a los niveles de organización de la materia viva, lo que lleva a secuenciar el contenido articulado en torno a la bioquímica, citología, fisiología o metabolismo... Los libros de texto y los programas curriculares muestran habitualmente esta planificación.

ca, mitocondrias, cloroplastos, ribosomas, citoesqueleto, etc.) en varias ocasiones, pero con un contenido nuevo o más profundo, lo que permite a los estudiantes la reconciliación integradora de los conceptos tratados, así como su consolidación, aumentando sus posibilidades de establecer un mayor número de relaciones entre los mismos (Rodríguez, 2000; Rodríguez y Marrero, 2003).

En la programación del contenido de una disciplina encaminada a la consecución de aprendizajes significativos en el alumnado han de tenerse en cuenta cuatro principios (Ausubel, 1976): *diferenciación progresiva*, *reconciliación integradora*, *organización secuencial* y *consolidación*. Los dos primeros son principios definitorios del aprendizaje significativo aplicados a las tareas programáticas; los otros dos son derivaciones naturales de los mismos.

La diferenciación progresiva es el proceso característico del aprendizaje verbal significativo subordinado y, por tanto, estratégicamente, en términos pedagógicos, deberíamos usarlo para estos fines con el mismo sentido.

Cuando se trata de ideas que resultan nuevas para los estudiantes, el proceso de discriminación con respecto a las ya existentes resulta más complejo. En este caso, el proceso mental que deben seguir los obliga a establecer reconciliaciones integradoras características de los aprendizajes superordenado y combinatorio. La enseñanza debe organizarse en estas situaciones siguiendo el mismo patrón, de manera que se busquen esas diferenciaciones previamente en el material de aprendizaje.

Derivado de los principios programáticos anteriores, nos ocupamos ahora del siguiente: la organización secuencial. Según éste, es necesario respetar las relaciones naturales de dependencia del contenido. Así, el material estudiado y aprendido en primer lugar o presentado previamente ejerce el papel de soporte ideacional u organizador del que se presentará a continuación; de este modo, actúa como facilitador, justificando así la importancia que tiene una organización curricular en secuencia.

El último principio que afecta a la programación es la consolidación. No se refiere al dominio mecánico como prerrequisito, sino que destaca la necesidad de la reiteración y de la realización de tareas en contextos y momentos diferentes, para que se produzca la generalización y la interiorización efectiva y significativa de lo aprendido.

3.1.2. Aportaciones al constructo

El tiempo transcurrido desde que surgió el constructo aprendizaje significativo, como ya se comentó, ha sido mucho. Llama poderosamente la atención su perdurabilidad, sobre todo si tenemos en cuenta que nos movemos en el ámbito de un conjunto de disciplinas científicas y áreas del conocimiento consideradas jóvenes, que evolucionan y cambian a gran velocidad. Probablemente la clave de su «éxito» está en que aparentemente es un constructo simple a la mano de todos los docentes y diseñadores del currículum, pero de una extraordinaria compleji-

dad (lo que hemos tenido ocasión de comprobar en lo expuesto hasta ahora) y, sobre todo, insuficientemente comprendido (Novak, 1998), lo que dificulta su aplicación a contextos específicos y concretos (tanto curriculares como docentes, en el aula).

Con el ánimo de profundizar en su significado y, fundamentalmente, para aumentar su comprensión, su aplicabilidad y funcionalidad, son varios los investigadores que han ido enriqueciendo el constructo, aportando matices y modos de utilizarlo. Lo que sigue no es una revisión exhaustiva a este respecto, sino tan sólo algunas aportaciones que han resultado especialmente significativas como reflexiones necesarias que mejoran su entendimiento y amplían sus horizontes, haciendo que «aprendizaje significativo» sea un constructo aún más comprensible, más plausible y más fructífero.

a) Aprendizaje significativo: pensamiento, sentimiento y acción

Aprendizaje significativo es también el constructo central de la Teoría de Educación de Novak (1988a, 1998). Ya Ausubel (1976, 2002) delimita el importante papel que tiene la predisposición por parte del aprendiz en el proceso de construcción de significados, pero es Novak quien le da carácter humanista al término, al considerar la influencia de la experiencia emocional en el proceso de aprendizaje. «Cualquier evento educativo es, de acuerdo con Novak, una **acción** para intercambiar **significados** (*pensar*) y **sentimientos** entre el aprendiz y el profesor» (Moreira, 2000a, págs. 39 y 40). La negociación y el intercambio de significados entre ambos protagonistas del evento educativo se constituye así en un eje primordial para la consecución de aprendizajes significativos.

Lo que Novak aporta es que no basta que el material sea potencialmente significativo (significatividad lógica y presencia de subsumidores en la mente del aprendiz) y que haya predisposición para aprender significativamente. Una actitud significativa de aprendizaje es necesaria, pero también lo es la emoción o sentimiento de querer aprender de esta manera en interacción con el profesor.

Es importante caer en la cuenta, en este sentido, de que no todas las prácticas docentes favorecen procesos como el expuesto; a decir verdad, es frecuente que el clima de las aulas sea totalmente contrapuesto a lo que Novak postula. La creación de contextos en los que el ambiente de trabajo sea realmente colaborativo y en los que la verbalización y el intercambio de significados sea la nota dominante, adquiere una especial relevancia si lo que se quiere es desarrollar ciertamente en el alumnado aprendizajes significativos.

Para Novak (1998, pág. 13), como se dijo, «*El aprendizaje significativo subyace a la integración constructiva de pensamiento, sentimiento y acción, lo que conduce al engrandecimiento humano*». La preocupación no se centra sólo en el conocimiento (público, compartido), sino también y sobre todo en el aprendizaje (personal e idiosincrásico), articulado en torno a experiencias que comportan pensamiento, sentimiento y acción (Novak y Gowin, 1988). En este marco es en el que nos en-

contramos otra gran aportación de Novak y sus colaboradores tendente a facilitar el aprendizaje significativo: los mapas conceptuales (Novak, 1988a y b, 1991, 1998; Novak y Gowin, 1988; Moreira y Buchweitz, 1993). Son instrumentos o herramientas metacognitivas, en el sentido de que potencian la reflexión sobre el propio conocimiento y el proceso de la cognición.

Los mapas conceptuales surgieron en la década de los años setenta como formas de reflejar las relaciones entre conceptos y/o proposiciones que se habían obtenido de entrevistas clínicas; a partir de ahí se han seguido perfeccionando como modos de plasmar la organización del conocimiento externamente y en su función de andamiaje mental. En su fundamentación teórica derivan directa y nítidamente de los principios ausubelianos de diferenciación progresiva y reconciliación integradora y constituyen un vehículo muy útil, tanto para auxiliar al docente en la organización del contenido objeto de enseñanza, como al estudiante en la delimitación de los conceptos clave del mismo y de las relaciones que establecen, por lo que han jugado un importante papel en los contextos escolares, dada su potencialidad para facilitar aprendizajes significativos. Constituyen herramientas muy útiles también en otros contextos, como, por ejemplo, en la captura del conocimiento de expertos.

b) Aprendizaje significativo: significados y responsabilidades compartidos

Según Ausubel (2002), aprender significativamente o no forma parte del ámbito de decisión del individuo, una vez que se cuenta con los subsumidores relevantes y con un material que reúne los requisitos pertinentes de significatividad lógica. El papel del sujeto ya es destacado, tanto por Ausubel como por Novak, como acabamos de ver. La idea de aprendizaje significativo como proceso en el que se comparten significados y se delimitan responsabilidades está, no obstante, desarrollada en profundidad en la Teoría de Educación de Gowin (1981).

Como elementos de cualquier evento educativo, el profesor, el aprendiz y los materiales educativos que plasman el currículum constituyen un eje básico en el que, partiendo de éstos últimos, las personas que lo definen intentan deliberadamente llegar a acuerdos sobre los significados atribuidos. El docente intencionalmente procura que el estudiante modifique sus concepciones y su experiencia, y éste intencionalmente intenta captar y aprehender el significado de los materiales que se le presentan, siempre que tenga una actitud significativa de aprendizaje. Así, profesor/materiales educativos/alumno establecen una relación triádica (Gowin, 1981; Moreira, 2000a) caracterizada por compartir significados. «*La enseñanza se consume cuando el significado del material que el alumno capta es el significado que el profesor pretende que ese material tenga para el alumno*» (Gowin, 1981, pág. 81). De este modo Gowin delimita las responsabilidades implicadas en el aprendizaje significativo:

- Le compete al docente la selección, organización y elaboración de los materiales educativos, así como la comprobación de que se comparten los

significados aceptados en el contexto de la materia o disciplina que se enseña; si esto no se lograra, le corresponde también presentar de una manera nueva los significados validados hasta lograr que el aprendiz los capte y los comparta.

- Le compete al alumno aprender significativamente, siendo ésta una responsabilidad que no puede compartir con el docente. Una vez que captó los significados que el profesor le ha presentado en el material objeto de enseñanza/aprendizaje, es el propio alumno quien decide si los quiere aprender significativamente o no, de modo que para Gowin hay un paso previo al aprendizaje significativo: la captación del significado (Gowin, 1981; Moreira, 2000a).

Gowin también aporta un instrumento de metaaprendizaje: la V heurística o epistemológica. Se trata de una herramienta que pretende favorecer la comprensión del conocimiento y ayudar en el proceso de construcción del aprendizaje significativo. Su fundamento está en facilitar a los aprendices una vía para que entiendan cómo es la estructura y el proceso de producción de ese conocimiento (Novak y Gowin, 1988; Moreira, 2000a). Haciendo uso de la misma, el que aprende puede analizar su propio proceso de aprendizaje y, con ello, mejorarlo. Es un modo de desentrañar o desempaquetar el conocimiento que no se articula en torno a los principios ausubelianos en sentido estricto, pero que resulta muy eficaz en la generación de aprendizajes significativos y como vehículo para compartir significados.

c) Aprendizaje significativo: un constructo subyacente

Aprendizaje significativo no sólo es lo que hemos visto hasta ahora, sino que puede considerarse una idea suprateórica que resulta compatible con distintas teorías constructivistas, tanto psicológicas como de aprendizaje, subyaciendo incluso a las mismas (Moreira, 1997a). En este marco, sin pretender equiparar conceptos y constructos propios y definitorios de cada una de las teorías en cuestión, podemos establecer algunas analogías que justificarían la afirmación antes expuesta.

Es posible, por ejemplo, hacer corresponder la asimilación, la acomodación y la equilibración piagetianas con el aprendizaje significativo, ya que se pueden dar procesos de acomodación por subordinación o por superordenación conceptual. Para una teoría el punto de anclaje está en los esquemas de asimilación y para la otra en los subsumidores, pero en ambas se procuran explicaciones semejantes, pudiendo aceptar que en la teoría de Piaget se encuentra como sustrato el aprendizaje significativo.

De igual modo se observan correlaciones y equivalencias si se compara la teoría ausubeliana con la teoría de los constructos personales de Kelly. Para éste, los constructos personales ejercen un papel fundamental en los procesos de conceptualización, ya que son los que dan sentido a los objetos y eventos. Se parecen

mucho a los subsumidores o ideas-ancla, lo mismo que el sistema de construcción kellyano a la estructura cognitiva de Ausubel. El aprendizaje significativo tiene sentido, pues, en la teoría de los constructos personales.

Vygotsky entiende el desarrollo cognitivo como un proceso complejo que va de lo interpsicológico a lo intrapsicológico. Considera que los procesos mentales superiores, como son pensamiento, lenguaje, conducta, se originan en contextos sociales y se internalizan y adquieren sentido a través de la mediación, siendo ésta la que posibilita la atribución de significados a los signos e instrumentos socialmente definidos y construidos. Esa internalización viene a ser la transformación del significado lógico de los materiales en significado psicológico para el sujeto (que maneja los materiales ofrecidos por el profesor como mediador). Ese significado psicológico no se adquiere, como ya hemos visto, sobre todo con las aportaciones de Novak y de Gowin, si no hay negociación de significados, si no se produce la interacción verbal que genere el consenso sobre los mismos. El aprendizaje significativo tiene origen social. Cabe, por tanto, correlacionar ambos planteamientos teóricos.

Sólo se han comentado algunas de las correlaciones teóricas más evidentes. Lejos de restar valor al constructo como tal, lo expuesto da muestras de su enorme potencial no sólo explicativo (tal y como Ausubel, Novak y Gowin lo han definido), sino para la práctica pedagógica y desde esta perspectiva, no sólo se detecta que no se trata de una trivialidad (aunque su uso en parte sí se haya trivializado, como veremos), sino del referente más poderoso con el que contamos para planificar la enseñanza y facilitar el aprendizaje significativo (Moreira, 1997a).

d) Aprendizaje significativo: un proceso crítico

El aprendizaje significativo depende de las motivaciones, intereses y predisposición del aprendiz. No se trata de un proceso pasivo, ni mucho menos, sino que requiere una actitud activa y alerta que posibilite la integración de los significados a su estructura cognitiva (Ausubel, 2002). El estudiante no puede engañarse a sí mismo, dando por sentado que ha atribuido los significados contextualmente aceptados, cuando sólo se ha quedado con algunas generalizaciones vagas y confusas sin significado psicológico (Novak, 1998) y sin posibilidades de aplicación en situaciones diferentes. Por eso es tan importante la contribución de Gowin (1981) en el sentido de que deben comprobarse los significados asignados por los estudiantes al contenido trabajado. En la misma línea es crucial también que el que aprende sea crítico con su propio proceso cognitivo, de manera que manifieste su disposición a analizar desde distintas perspectivas los materiales que se le presentan, a enfrentarse a los mismos desde diferentes puntos de vista, a trabajar activamente por atribuir los significados y no simplemente a manejar el lenguaje con apariencia de conocimiento (Ausubel, 2002).

Nuevamente es Moreira (2000b) quien trata de modo explícito el carácter crítico del aprendizaje significativo; para ello integra los presupuestos ausube-

lianos con la enseñanza subversiva que plantean Postman y Weingartner (1969, citados por Moreira, 2000b). Al identificar semejanzas y diferencias y al reorganizar su conocimiento, el aprendiz tiene un papel activo en sus procesos de aprendizaje. Como Gowin plantea, ésta es su responsabilidad, y como Ausubel señala, depende de la predisposición o actitud significativa de aprendizaje. Esta actitud debe afectar también a la propia concepción sobre el conocimiento y su utilidad. Debemos cuestionarnos qué es lo que queremos aprender, por qué y para qué aprenderlo y eso guarda relación con nuestros intereses, nuestras inquietudes y, sobre todo, las preguntas que nos planteemos. «*Cuando se aprende a formular preguntas –relevantes, apropiadas y sustantivas– se aprende a aprender y nadie nos impedirá aprender lo que queramos*» (Postman y Weingartner, 1969, pág. 23, citados por Moreira, 2000b, pág. 5).

Éste es el sentido que tiene el aprendizaje significativo crítico, un modo de aprender que se relaciona con una actitud reflexiva hacia el propio proceso y hacia el contenido que es objeto de aprendizaje. Este enfoque implica activamente al sujeto no sólo en términos cognitivos, sino también emocionales, y a su modo de percibir el mundo, a su manera de representarlo.

Como Moreira plantea, esta visión tiene carácter antropológico y lo que él hace es aplicarla al proceso mismo de aprender significativamente (íbid.). Lo que se procura desde este enfoque es dotar al alumno de elementos y referentes que le permitan posicionarse en la estructura social y cultural de la que forma parte de manera crítica y analítica, de modo que pueda tomar posturas y llevar adelante sus decisiones sin ser arrastrado por la misma. Es decir, se trata de aprender a manejar el conocimiento que esa cultura define distanciándose lo suficiente como para no dejarse dominar por el mismo y, efectivamente, ese aprendizaje tiene que ser significativo y eficaz en la sociedad de hoy tan solo por cuestión de supervivencia.

Un aprendizaje significativo crítico es un aprendizaje que considera el error de un modo diferente, que lo acepta como algo natural en el proceso de aprehender la información y que lo usa críticamente como forma de superarlo. Desde esta perspectiva crítica es como pueden encararse las situaciones en las que se dispone de un conocimiento previo significativamente aprendido y, por tanto, no borrrable, que resulta inadecuado para afrontar la asimilación de los nuevos conocimientos. Son subsumidores relevantes pero no los más idóneos para establecer los vínculos correspondientes para un nuevo aprendizaje. Si somos capaces de desarrollar el sentido crítico expuesto, necesitamos llevar a cabo un proceso de desaprendizaje de nuestro conocimiento previo (Ausubel, 1976; Moreira, 2000b), o sea, un modo de trabajar realmente con el error de manera que nos capacite para no usar el subsumidor «no pertinente». Eso es aprendizaje significativo crítico, una visión que enriquece mucho al constructo, tanto en términos teóricos como para su aplicación en los contextos escolares.

3.1.3. Aprendizaje significativo: un resumen

Hagamos una síntesis. Aprendizaje significativo es el proceso que se genera en la mente humana cuando subsume nuevas informaciones de manera no arbitraria y sustantiva y que requiere como condiciones: predisposición para aprender y material potencialmente significativo que, a su vez, implica significatividad lógica de dicho material y la presencia de subsumidores o ideas de anclaje en la estructura cognitiva del que aprende. Es subyacente a la integración constructiva de pensar, hacer y sentir, lo que constituye el eje fundamental del engrandecimiento humano. Es una relación o interacción triádica entre profesor, aprendiz y materiales educativos del currículo, en la que se delimitan las responsabilidades correspondientes a cada uno de los sujetos protagonistas del evento educativo. Es una idea que engloba a diferentes teorías y planteamientos psicológicos y pedagógicos que, en todo caso, ha resultado ser más integradora y eficaz en su aplicación a contextos naturales de aula, favoreciendo pautas concretas que lo facilitan, rasgo del que podríamos admitir que adolecen esas otras teorías. Es, también, una forma de encarar la velocidad vertiginosa con la que se desarrolla la sociedad de la información, posibilitando elementos y referentes claros que permitan el cuestionamiento y la toma de decisiones necesarios para hacerle frente a la misma de una manera crítica.

A la vista de este breve resumen, no resulta nada sorprendente que sea un constructo que se haya mantenido vivo durante tanto tiempo, cosa que no ha ocurrido con otros del mismo ámbito del conocimiento. Pero no todo lo que se hace supuestamente al amparo de este referente es aprendizaje significativo. Porque su vida ha sido larga y porque se encuentra arraigado en nuestros lenguajes pero no en nuestras prácticas, son muchos los aspectos y matices que merecen una revisión, una reflexión crítica que pueda ayudarnos a aprender significativa y críticamente de nuestros errores en su uso o aplicación. De esto es de lo que se ocupa el apartado siguiente.

3.2. Aprendizaje significativo: algunas incorrecciones contextuales en su aplicación

Una vez que se ha expuesto el sentido atribuido al constructo aprendizaje significativo, así como su evolución, conviene que hagamos un alto en el camino y que reflexionemos acerca de lo que son algunas de sus más controvertidas aplicaciones y contextualmente errados usos. Hemos de hacer válida la opinión de Moreira (1997a) de que se ha trivializado su utilización, como ya se comentó, ya que todos «hacemos» aprendizaje significativo con nuestros alumnos y en muchos casos se desconoce su significado, su desarrollo y la fundamentación teórica que lo avala. No podemos aceptar que todo es aprendizaje significativo, no todo vale, y en ese sentido, lo que sigue pretende servir de revisión de algunos de esos tópicos

o aspectos mal comprendidos con respecto al constructo que, en ningún caso, constituirá una relación exhaustiva de los mismos. Su finalidad no es otra que la de ayudar a mejorar nuestro conocimiento sobre el tema en el contexto de la teoría expuesta y de ninguna manera pretende ser descalificante.

Actitud de aprendizaje: No es posible desarrollar aprendizajes significativos si no se cuenta con una actitud significativa de aprendizaje. Para Ausubel (1976) esta actitud es la predisposición para relacionar de manera no arbitraria y sustantiva la nueva información con la estructura cognitiva del que aprende; si no es éste el caso, el aprendizaje que se produce será repetitivo y mecánico.

Si recordamos la relación triádica de Gowin (1981), un evento educativo se consume cuando el profesor y el alumno comparten significados con respecto a una materia concreta. Compartir es una actitud sin la que este proceso sería inviable, no resultando, por tanto, aprendizaje significativo. Se recordará, también, que este mismo autor considera la captación de significados, una vez compartidos, como una fase previa a su interiorización. Una vez que se comparten significados, es el aprendiz quien decide si los aprende significativamente o no.

La escuela, naturalmente, no puede asumir nunca la responsabilidad completa de que el estudiante aprenda. Éstos deben realizar su propia parte, aprendiendo activa y críticamente, persistiendo en aprender y atender a lo que se les enseña, integrando las nuevas tareas de aprendizaje con los conocimientos previos y la experiencia idiosincrásica, traduciendo los nuevos enunciados a sus propios lenguajes, esforzándose por cuenta propia en dominar las materias nuevas y difíciles, planteando preguntas significativas, y emprendiendo conscientemente los ejercicios de solución de problemas que se les asignen; pero, de esto a exigirle al alumno que lleve la carga completa de su propio aprendizaje hay una gran distancia. (Ausubel, 1976, págs. 50 y 51)

Una actitud de aprendizaje significativa es, como vemos, esencial y responsabilidad exclusiva del que aprende; pero esto no nos exime como docentes, ya que depende de nosotros generar el clima adecuado para que se desarrolle y favorezca. La motivación es primordial en este proceso (Novak, 1988). El evento educativo es una interacción de pensamientos, acciones y sentimientos y, por eso, la vertiente afectiva es uno de sus pilares. ¿Pero de qué motivación hablamos? ¿Qué actitud de aprendizaje será la que nos interesa para lograr un aprendizaje significativo? Aun admitiendo que exista una actitud significativa de aprendizaje por parte de la persona, en términos de Ausubel, esto es, que muestre predisposición para enlazar la nueva información de manera no arbitraria y no literal con su estructura cognitiva, ésta puede responder a razones distintas:

- El estudiante puede estar interesado en aprender para superar un examen; una vez terminado, cesa la motivación.

- Puede mostrar una motivación vital por aprender, por el interés en el contenido que se le ofrece, para disfrutar, para utilizarlo, etc.

Como es obvio, la actitud que nos interesa desarrollar en el alumnado como docentes es la segunda: una motivación intrínseca por y para aprender, una actitud que genere disfrute, satisfacción y utilidad por y del contenido que se aprende, lo que nos lleva a la idea de aprendizaje significativo relevante⁵ para el sujeto.

Aprender significativamente también requiere una actitud crítica de cuestionamiento que favorezca la toma de decisiones y posibilite el planteamiento de preguntas relevantes (Moreira, 2000b). No se atribuyen significados con actitudes irreflexivas y pasivas.

Subsumidores: No se genera aprendizaje significativo si no están presentes las ideas de anclaje pertinentes en la estructura cognitiva del aprendiz. Es un requisito indispensable sin el cual no hay modo de enlazar las nuevas informaciones con las existentes en la mente de los sujetos. Ya Ausubel (1976) plantea con rotundidad que es el factor aislado más importante que afecta al proceso de aprendizaje; señala categóricamente «averígüese esto y actúese en consecuencia». Por lo tanto, no se puede plantear ninguna estrategia de enseñanza que no parta de esta decisiva información. No se puede planificar la docencia desconociendo si existen o no los subsumidores relevantes en las mentes de los estudiantes que supuestamente tendrían que aprender.

La estructura cognitiva es definitoria y característica de cada individuo y analizarla no resulta fácil. Conocer la presencia o ausencia de subsumidores relevantes en la misma no es una tarea mecánica que deban realizar los profesores, simplemente aplicando un cuestionario, sino que debería atender a la delimitación lo más clara posible del nivel adecuado de inclusividad que permita la conceptualización y generalización que se le propone con el nuevo contenido. Debemos, por tanto, saber cuál es el grado de diferenciación, claridad y estabilidad de ideas que tiene el aprendiz, así como sus experiencias previas en el área, con respecto a la materia objeto de enseñanza.

5. Pérez Gómez (2006, pág. 101) considera aprendizaje relevante como *«aquel tipo de aprendizaje significativo que por su sentido e importancia para el individuo provoca inestabilidad cognitiva, conflicto cognitivo, duda e interrogación, porque les hace repensar sus esquemas clásicos de interpretación al darse cuenta de que son insuficientes y les hace abrirse a la posibilidad de construir nuevos esquemas de interpretación de la realidad que son y que incluyen conocimientos, habilidades, actitudes y comportamientos en parte nuevos»*. Para este autor, el aprendizaje relevante depende de dos factores: la intencionalidad del que aprende, esto es, el valor que le atribuye la persona a ese conocimiento, que puede ser valor de uso o valor de cambio —que es el que conduce a la reconstrucción de sus esquemas—, por una parte; y, por otra, del contexto, que puede ser de producción, de aplicación y de reproducción, siendo los dos primeros los que conducirían a un aprendizaje relevante para la vida y no solo reproductivo, que se puede ejemplificar en la superación de una prueba, tras la cual, desaparece la atribución de significados.

Si se detecta que estas ideas de anclaje no están presentes en la estructura cognitiva, habrá que facilitar organizadores que permitan actuar de puente entre el individuo y el nuevo contenido para que se produzcan condiciones mínimas para un aprendizaje significativo que, de otro modo, es imposible. Sin embargo, en muchos casos los organizadores no tienen la potencia prevista por Ausubel y no hay forma de huir de la construcción previa de dichos puntos de anclaje. Por eso se hace necesario recurrir al proceso de formación de conceptos definido por Ausubel, es decir, es imprescindible buscar la forma de generar por este procedimiento los subsumidores adecuados y pertinentes para que puedan servir de anclaje de la nueva información.

Hemos de tener en cuenta, en cualquier caso, que este contenido ideacional que permite la inserción de nuevas informaciones es personal y definitorio de cada estudiante. Pueden detectarse regularidades o respuestas similares, pero se trata de una información eminentemente idiosincrásica.

Material de aprendizaje: Aprendizaje significativo no es lo mismo que aprendizaje (que puede ser mecánico) de material lógicamente significativo y ésta es una idea en la que Ausubel (1976, 2002) insiste. El aprendizaje significativo es un proceso complejo que requiere predisposición para aprender y un material potencialmente significativo. No cabe, pues, confundir el proceso con el material con el que se realiza. La significatividad no está en el material en sí, sino que la atribuye el sujeto a través de la interacción que establece con los subsumidores o ideas de anclaje presentes en su mente, siempre que quiera hacerlo, o sea, siempre que tenga una actitud favorable o significativa.

El material no es significativo, sino que lo es sólo potencialmente. Esta condición, como se recordará, a su vez, supone: subsumidores adecuados y un material lógicamente significativo. Un material de estas características es intencionado (no arbitrario) y relacionable: ése es su significado lógico. Para que cumpla estos requisitos no puede ser vago, desorganizado, arbitrario. Por definición, las disciplinas académicas tienen significado lógico, si bien es cierto que pueden organizarse de maneras diversas, ya que hay más de una organización lógica posible. En cualquier caso, estamos ante un estudio de la naturaleza del contenido mismo, sus rasgos esenciales, lo que hace necesario que llevemos a cabo su análisis conceptual. «*El significado lógico [...] se refiere al significado inherente a ciertas clases de material simbólico, por la misma naturaleza de éste*» (Ausubel, 1976, pág. 63). Es un significado que depende sólo de la naturaleza del material y por eso hemos de conocerla si queremos enseñarla para que se aprenda significativamente. Cuando este aprendizaje se produce, el significado lógico se transforma en significado psicológico, real, fenomenológico, idiosincrásico, características que no tenía el material en sí como tal. Hemos de considerar que el significado está en las personas y no en las palabras (Moreira, 2000b).

Aun contando con material que tenga significatividad lógica, puede darse el caso de que planteemos tareas de aprendizaje en las que algunos elementos se perciban significativamente, pero ante los que no se reaccione actitudinalmente de manera significativa y que, por tanto, no generan aprendizaje significativo. En definitiva,

No debemos considerar que el aprendizaje significativo equivale simplemente al aprendizaje de material (lógicamente) significativo. Antes que nada, el aprendizaje significativo se refiere a un proceso de aprendizaje distintivo y a unas condiciones distintivas de aprendizaje, y no básicamente a la naturaleza o a las características del material que se aprende. (Ausubel, 2002, pág. 132)

Tiempo: El aprendizaje significativo no se produce de manera súbita, sino que se trata de un proceso demorado que requiere su tiempo. Para que se realice, en primer lugar es necesario que estén disponibles en la estructura cognitiva los subsumidores relevantes con el suficiente grado de inclusividad, generalidad y abstracción. La interacción con la nueva información es un proceso complejo que ocupa tiempo para que ese nuevo contenido pueda ser diferenciado progresivamente y reconciliado de manera asimilativa con el conocimiento disponible. El aprendizaje significativo no se produce instantáneamente sino que requiere intercambio de significados (Ausubel, 2002) y ese proceso puede ser largo.

Ha de tenerse en cuenta no sólo que el aprendizaje significativo lleva su tiempo (en el sentido expuesto), sino también que se producirá más fácilmente si son frecuentes los encuentros y las ocasiones del alumnado con situaciones y contenidos similares de los que poder abstraer sus regularidades y atributos criterios definitorios. De este modo se hace posible la generalización.

El tiempo es, pues, un factor de gran importancia a la hora de planificar y desarrollar aprendizaje significativo. No puede pensarse que se produce de inmediato, sino que precisa reflexión y que sigue su propio ritmo. Tampoco puede creerse que se produce con un solo contacto con el contenido escolar objeto de su enseñanza. Ambos aspectos son habitualmente descuidados en los contextos escolares, dada su dinámica y hábitos, y contrarios a la adquisición y retención de un aprendizaje significativo. «*El proceso mismo de aprendizaje significativo es necesariamente complejo y, en consecuencia, su realización requiere un periodo de tiempo prolongado*» (Ausubel, 2002, págs. 14 y 15).

Corrección: Aprendizaje significativo no es necesariamente aprendizaje correcto. Los diseños curriculares presentados al profesorado en las distintas reformas educativas emprendidas en varios países de nuestro entorno nos plantean que debemos generar, garantizar, potenciar..., aprendizajes significativos, lo que distorsiona en cierta medida el significado del constructo, ya que parece equipararse aprendizaje significativo a aprendizaje correcto. Siempre que haya una co-

nexión no arbitraria y sustantiva entre la nueva información y los subsumidores relevantes se produce un aprendizaje significativo, pero éste puede ser erróneo desde el punto de vista de una comunidad de usuarios (como la científica, por ejemplo), esto es, contextualmente equivocado (Moreira, 2000a).

El nuevo contenido adquiere significado para el sujeto porque se internaliza de manera clara, estable y diferenciada anclándose prioritariamente en un subsumidor, pero no necesariamente ese significado es el que la comunidad científica acepta como conocimiento validado. El aprendizaje significativo como tal no se borra porque le resulta al individuo comprensible, plausible y fructífero; eso se debe a la forma en la que se produce. Así es como, por ejemplo, «aprendemos» que el Sol sale y se pone o que la fotosíntesis es la respiración en los vegetales. Estos aprendizajes adquiridos con anterioridad son realmente significativos para los estudiantes y resistentes al cambio, dada la significación que adquieren para el sujeto. Por eso resulta tan difícil modificarlos o cambiar ese aprendizaje por otro que sea científicamente más aceptado y lograr que esa modificación sea también significativa.

La investigación educativa ha dedicado buena parte de sus esfuerzos a analizar esta cuestión; no en vano podría hablarse incluso de una década (los años setenta) centrada en las concepciones alternativas (Moreira, 1997b). Sus conclusiones y resultados son, quizás, el mejor modo de demostrar que efectivamente no pueden confundirse aprendizaje significativo y aprendizaje correcto. En el proceso educativo, los estudiantes van diferenciando sus subsumidores para que sean más elaborados, más estables, más ricos. Los subsumidores no desaparecen, no se reemplazan, independientemente de que sean válidos o no desde un punto de vista académico o formal. Lo que sí puede ocurrir es que haya subsumidores en la estructura cognitiva que vayan siendo progresivamente menos utilizados como anclaje porque haya otros más relevantes que ejerzan de manera más funcional su papel de mediadores. Podríamos decir que generan significados residuales (Moreira, 2000a).

Facilitación: No se puede desarrollar aprendizaje significativo en el alumnado con una organización del contenido escolar lineal y simplista. Significado lógico es una cosa y significado psicológico es otra y no es suficiente la lógica propia de las disciplinas para que se interiorice el conocimiento de manera funcional.

Con la finalidad de que se favorezcan aprendizajes significativos en el alumnado, Ausubel (1973, 1976, 2002) propone su modelo de planificación de la enseñanza que atiende a cuatro principios fundamentales ya expuestos: diferenciación progresiva, reconciliación integradora, organización secuencial y consolidación. Sin ellos, según el autor, este aprendizaje no es posible.

Las críticas vertidas por Ausubel al modo en el que se organizan los libros de texto y las clases son contundentes. Su rechazo a una programación lineal es manifiesto porque la considera radicalmente contraria a la esencia misma de un

aprendizaje significativo. Para él, la relación temática habitual no tiene en cuenta el grado o nivel de abstracción, de generalización y de inclusividad de los distintos tópicos y conceptos, lo que resulta incompatible incluso con la propia lógica interna de las disciplinas e incongruente con el aprendizaje significativo. En estos materiales, que en definitiva son los que usa frecuentemente la mayoría del profesorado, no hay una organización jerárquica global (Ausubel, 2002) que explore relaciones e interconexiones entre diferentes temas e incluso se evita la reiteración como si fuera negativa. Se da por hecho que es el propio aprendiz quien tendrá que establecer individualmente y por su cuenta dichas relaciones. Estos modos de actuar en la docencia son totalmente contrapuestos a los postulados ausubelianos.

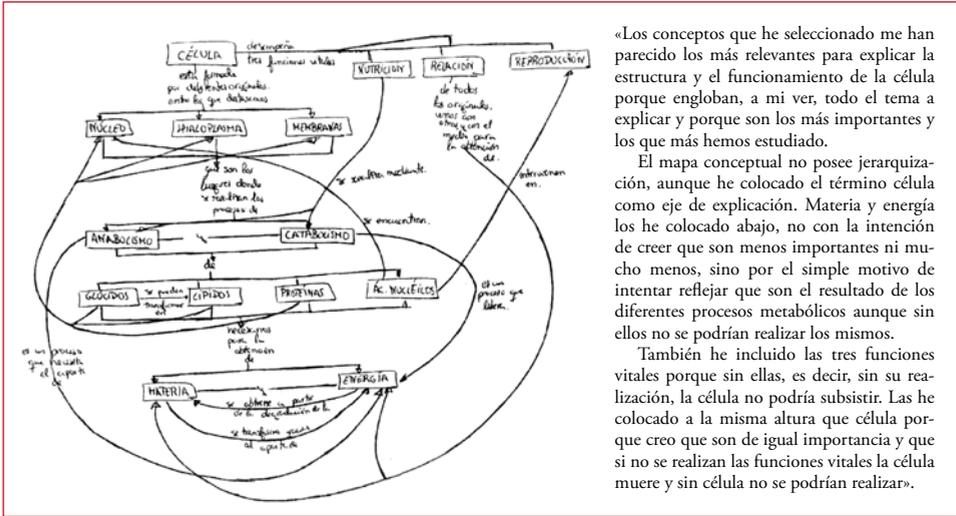
Realizar el análisis conceptual de los contenidos disciplinares que explore las relaciones entre distintos apartados y tópicos es una condición imprescindible desde esta perspectiva. Y en este sentido la organización secuencial es obligada si queremos que el alumno construya su aprendizaje significativamente. No se aprende de manera súbita y no se aprende con una única toma de contacto con el contenido objeto de estudio: se requiere reiteración, repetición, nuevas aproximaciones, sucesivas revisiones que hagan posible que el sujeto vaya discriminando progresivamente su conocimiento y lo vaya abstrayendo de manera eficaz. Por eso se hace necesario retomar los contenidos ya trabajados, rescatar significados ya adquiridos, aplicar aprendizajes ya desarrollados, lo que no es posible con una organización lineal del currículum.

De lo anterior se deriva la influencia que tiene para el aprendizaje significativo la consolidación, el último de los principios programáticos tratados. Lo que se aprende significativamente se transfiere, pero esto no es posible si antes no se ha consolidado. Se precisa sobreaprendizaje y nuevamente se apela a la repetición conveniente e intencional, a la práctica, a realimentaciones..., de manera que paulatinamente se vayan aclarando, corrigiendo, contrastando, negociando los significados atribuidos. La organización del contenido de Biología de 2º de Bachillerato mostrada en la figura 3 podría servir para ejemplificar la aplicación de los principios programáticos de Ausubel al análisis del contenido.

Instrumentos facilitadores: Aprendizaje significativo no es el uso de mapas conceptuales y/o diagramas V. En ningún caso el simple manejo de instrumentos facilitadores garantiza la significatividad de lo aprendido. No podemos confundir el proceso en sí –una transformación personal e idiosincrásica de significado lógico en significado psicológico– con herramientas que pueden facilitar o potenciarlo y ésta es una confusión bastante frecuente. Para muchos docentes y autores de libros de texto la simple elaboración y/o presentación de mapas conceptuales, por ejemplo, se considera erróneamente que da lugar a aprendizaje significativo.

Los mapas conceptuales y los diagramas V son instrumentos didácticos y metacognitivos que actúan como vehículos de negociación de significados, no

tienen finalidad en sí mismos, no son terminales, acabados, sino que reflejan un modo peculiar y distintivo de conceptualizar el contenido trabajado en un momento dado. En ningún caso son productos finales, de ninguna manera son autoexplicativos, ya que, como se ha dicho, deben ser manejados para negociar e intercambiar los significados asignados a la información manipulada. Esto hace que siempre deban ser explicados, de modo que se posibilite así el intercambio de sentidos atribuidos y la evaluación de la conceptualización realizada. La figura 4 muestra un ejemplo.⁶



«Los conceptos que he seleccionado me han parecido los más relevantes para explicar la estructura y el funcionamiento de la célula porque engloban, a mi ver, todo el tema a explicar y porque son los más importantes y los que más hemos estudiado.

El mapa conceptual no posee jerarquización, aunque he colocado el término célula como eje de explicación. Materia y energía los he colocado abajo, no con la intención de creer que son menos importantes ni mucho menos, sino por el simple motivo de intentar reflejar que son el resultado de los diferentes procesos metabólicos aunque sin ellos no se podrían realizar los mismos.

También he incluido las tres funciones vitales porque sin ellas, es decir, sin su realización, la célula no podría subsistir. Las he colocado a la misma altura que célula porque creo que son de igual importancia y que si no se realizan las funciones vitales la célula muere y sin célula no se podrían realizar».

Figura 4. Ejemplo de un mapa conceptual realizado por una alumna y la explicación que aporta sobre las decisiones que tomó al realizarlo.

No son instrumentos que deban utilizarse de manera mecánica e irreflexiva porque eso es contrario a su propia esencia: no son formularios. No pueden contemplarse desde un reduccionismo simplista que nos haga creer que por el solo hecho de «usarlos» (de cualquier manera) estamos facilitando aprendizajes significativos en el alumnado.

El valor de los mapas conceptuales está en su realización, esto es, en el proceso implicado, que es congruente con los principios de diferenciación progresiva y reconciliación integradora, lo que conduce a la conceptualización significativa. Frecuentemente estos principios se desconocen o se obvian en su uso, lo que hace que realmente éste sea muy poco eficaz. La justificación teórica que los sustenta es

6. La explicación que aporta la alumna es crucial para comprender el proceso que está siguiendo en la conceptualización del concepto célula, pues añade información que no está explicitada en el mapa conceptual, como, por ejemplo, su forma de reflejar los procesos metabólicos o el papel destacado de «materia» y «energía» como conceptos esenciales que, como ella misma explica, no ha situado en el primer nivel.

crucial si realmente queremos que actúen como herramienta metacognitiva tendente a la consecución de aprendizajes significativos. La realización de un mapa conceptual es una actividad que sirve para ayudar a transformar y manipular el conocimiento del que se dispone (sea hecho individualmente o en grupos), que actúa como mediador en el desarrollo cognitivo. Muchas veces los profesores explican sus propios mapas conceptuales para que sus alumnos los aprendan o usan los que vienen ya hechos en los libros de texto con los mismos fines. Ni en un caso ni en el otro se aportan las explicaciones relativas a cómo se han hecho y a por qué se han realizado de esta manera, sino que se presentan como productos. Este uso no ejerce funciones mediadoras en el curso del aprendizaje y muestra desconocimiento sobre su sustrato teórico.

Con respecto a la V heurística, se ha observado que su uso es minoritario en las aulas, al menos en comparación con los mapas conceptuales. Se entiende que esto se debe a que es un instrumento más abarcador que atiende no sólo a la estructura conceptual de un tópico o contenido dado, sino también a su estructura metodológica, es decir, el modo por el que se han generado estos conocimientos. Como ya se ha comentado, el análisis disciplinar en estos términos no es habitual en el profesorado, lo que hace que incluso para los docentes la elaboración de un diagrama V sea una tarea difícil. Lo habitual es que los docentes transmitamos un contenido conceptual acabado, sin prestar atención a estos aspectos y debe ser por eso por lo que nos sentimos más incómodos con este instrumento y, sin embargo, muy identificados con los mapas conceptuales. La V heurística no debe ser considerada como un formulario en el que se dé cuenta mecánicamente de cada uno de sus apartados, sino que debe ser trabajada para que realmente permita desentrañar el proceso de producción de conocimiento.

Hemos de insistir, pues, en la idea de que los mapas conceptuales y las V epistemológicas son medios para favorecer que el aprendizaje sea significativo y no fines en sí mismos. Son instrumentos facilitadores que tienen su razón de ser y su justificación en la propia concepción ausubeliana de aprendizaje y que derivan en su forma de realizarlos (más explícitamente los mapas) de cómo se entiende que este aprendizaje se desarrolla en la mente humana.

Lenguaje: Aprendizaje significativo no es lenguaje, no es simplemente un modo específico de comunicación aprendiz/profesor, si bien hemos de admitir que no es posible sin la intervención del lenguaje.

El lenguaje es un facilitador importante del aprendizaje significativo basado en la recepción y en el descubrimiento. Al aumentar la capacidad de manipulación de los conceptos y de las proposiciones por medio de las propiedades representacionales de las palabras y al refinar las comprensiones subverbales que surgen en el aprendizaje significativo basado en la recepción y en el descubrimiento, clarifica estos significados y los hace más precisos y transferibles. (Ausubel, 2002, págs. 31 y 32)

El aprendizaje significativo es un proceso que requiere predisposición para aprender y un material potencialmente significativo; es un proceso interno, mental. Es un acto que se realiza con un contenido específico: el que se tiene en la estructura cognitiva y el nuevo que se presenta para su aprehensión. La transmisión de éste último es verbal, comunicativa, y requiere, como es obvio, el concurso del lenguaje. Pero es más, el lenguaje también es interno, mental, consciente y éste también se requiere o se precisa en el proceso de aprendizaje, ya que determina la selección de los subsumidores, sin ir más lejos, o la predisposición para aprender (conciencia).

Los seres humanos vivimos en el lenguaje, estamos inmersos en él (Maturana, 1997). No podemos aprender si no es con la mediación del lenguaje. Pero no podemos confundirnos; adquisición y uso del lenguaje y adquisición del aprendizaje significativo son procesos íntimamente unidos (hasta el extremo de que el lenguaje se aprende significativamente) pero diferentes, ya que, una vez aprendido el lenguaje, éste no basta para manejar los contenidos de materia específicos. Necesitamos seguir aprendiendo de manera significativa esa nueva información que la escuela ofrece porque la sociedad la demanda y para ello no basta el lenguaje, entendido en su concepción general.

No obstante, el diálogo y la verbalización en el aula son fundamentales, pues es el único modo eficaz de generar intercambio y negociación de significados, pero no podemos desenfocar las cosas y engañarnos pensando que porque conversemos mucho con el alumnado, trabajamos en la línea expuesta por Ausubel, Novak, Gowin y Moreira. Esto requiere considerar y aplicar las condiciones, principios y presupuestos que ellos han postulado.

Interacción: no se produce aprendizaje significativo sin la interacción entre el que aprende y el que enseña. No existe aprendizaje significativo sin tener mediación.

La interacción personal está presente en todos y cada uno de los pilares esenciales que caracterizan al aprendizaje significativo y lo fundamentan, tanto en términos de proceso, como de producto. Aun considerando que es individual y de responsabilidad intransferible, de ningún modo podemos contemplarlo como algo que se produzca mágicamente en el aislamiento o soledad del sujeto.

Por definición, el aprendizaje significativo supone la interacción de una nueva información con la estructura cognitiva del sujeto. Intervienen, por tanto, por una parte, el sujeto mismo y por la otra, todas aquellas personas que construyen y generan socialmente esa información, en particular, quienes la transmiten.

Como premisa indispensable ya se ha considerado que un aprendizaje de esta naturaleza no se produce si el material no es lógicamente significativo. Se entiende que el contenido que configura las distintas disciplinas curriculares reúne este requisito (que constituye, junto con la presencia de subsumidores, una de

las condiciones determinantes del aprendizaje significativo). Esas disciplinas han ido construyendo y generando el conocimiento susceptible de ser aprendido a lo largo del tiempo, como producto de la interacción de personas que lo verifican, aceptan y amplían.

Los diferentes tipos de aprendizajes significativos que generamos (representacional, conceptual y proposicional, por una parte, y subordinado, superordenado y combinatorio, por otra, según el criterio que utilicemos) son resultados o respuestas distintas a demandas que se nos hacen desde el exterior. Surgen como aprendizajes significativos en un sistema de interacción entre nosotros mismos y aquellos que caracterizan el contexto o medio en el que nos encontramos.

En el aprendizaje de conceptos, por ejemplo, se delimitan dos modos de hacerlo de manera significativa:

- Formación de conceptos: tiene carácter representacional y, por tanto, su función es identificativa; ésta no es posible si no hay una interacción aprendiz/mediador que determine la palabra u otro signo correspondiente al objeto o evento en cuestión.
- Asimilación de conceptos: se realiza básicamente a partir de conceptos ya existentes y por recepción, lo que implica un receptor (no pasivo) - aprendiz - en interacción con un mediador - experto (profesor).

El aprendizaje significativo es un modo de aprender que puede ser facilitado intencionalmente en los contextos escolares. Podemos manipular tanto la estructura cognitiva de los estudiantes como la materia objeto de enseñanza para lograrlo. El aula como tal es un sistema o medio de interacción. El siguiente fragmento de un debate mantenido en una clase de Biología de COU (estudiantes de 17/18 años) es una buena muestra del papel que ejerce la interacción en los procesos de aprendizaje; responde a la discusión desarrollada al exponer a toda la clase un mapa conceptual sobre la célula, realizado por un grupo de estudiantes.

Adolfo: ¿El ATP que se obtiene en el catabolismo es el que se usa en la fotosíntesis?

Alejandro: (la fotosíntesis) es endergónica.

Pascual: ¿Y si pones ATP arriba?

Cecilia: Se obtiene ATP del catabolismo.

Pascual: Es más importante ATP arriba.

Profesora: Lo que plantea Adolfo tiene lógica. (Algunas aclaraciones).

Pascual: El eje es la energía.

Profesora: ¿Cómo ven eso? ¿Qué les parece el planteamiento de Pascual?

Adolfo: Es tan importante materia como energía. A lo mejor no pudieron ponerlo arriba.

Alejandro: El ATP se va obteniendo de los procesos. Lo más importante es el proceso.

Genoveva: No se puede poner en la jerarquía el ATP.

Serena: Para iniciar el proceso hace falta ATP.

Profesora: ¿Y entonces? ¿Podría estar la solución en lo que plantea Adolfo? Tan importante como la energía es la materia.

La interacción sólo es posible en el seno de la sociedad. Al analizar el aprendizaje significativo como constructo subyacente (Moreira, 1997a), se había llegado ya a la conclusión de que este aprendizaje tiene origen social (en una perspectiva vygotskyana). Para Vygotsky (1995; Wertsch, 1988), son los contextos sociales los que originan los procesos mentales superiores (pensamiento, lenguaje, conducta) a través de la mediación. Así, todo conocimiento pasa por dos fases: una primera que se desarrolla en el nivel social (interpsicológica) y una segunda que se lleva a cabo en el nivel individual (intrapsicológica), como ya se comentó. Esta interiorización del significado asignado a los instrumentos y signos que la cultura social maneja es lo que hemos equiparado a la transformación del significado lógico en psicológico explicada por Ausubel. Los instrumentos y signos podrían corresponderse con el material o contenido de aprendizaje.

Podría afirmarse, por lo tanto, que el aprendizaje significativo subyace a la internalización vygotskyana y a su modo de explicar el desarrollo cognitivo en función de la mediación social; pero es igualmente válido afirmar que la interacción social vygotskyana subyace al aprendizaje significativo y a la concepción ausubeliana del aprendizaje. Tanto para Vygotsky como para Ausubel «*la atribución de significados y la interacción social son inseparables*» (Moreira, 1997a, pág. 26). En este contexto social y en este proceso de atribución de significados, ejerce un papel crucial la contrastación entre iguales, o sea, la interacción entre individuos o pares que conduce a la negociación de significados; este aspecto es esencial y común a ambos planteamientos.

No cabe la menor duda, a juzgar por lo expuesto, de que «aprendizaje significativo» es el constructo central y definitorio de la teoría de Ausubel. Al explicar qué es y qué no es el aprendizaje significativo han quedado de manifiesto también otros conceptos y constructos que necesariamente deben ser considerados si realmente se quiere utilizar esta teoría como marco de referencia para la práctica docente y/o para la investigación educativa. Conceptos como subsumidor (o idea de anclaje) o constructos como diferenciación progresiva y reconciliación integradora constituyen también elementos esenciales de la teoría que nos ocupa. Como se ha expuesto, cuando Ausubel plantea el significado atribuido a «aprendizaje significativo» y cuando Novak, Gowin y Moreira lo reformulan, aportan también cuáles son sus elementos definitorios, su naturaleza, las condiciones en las que puede lograrse, las justificaciones psicológicas en las que este aprendizaje se apoya y la forma de facilitarlos. Por lo tanto, brindan toda una construcción teórica que da cuenta de qué es el aprendizaje significativo y de cómo debemos trabajar los docentes para alcanzarlo.

4. ¿Qué consecuencias se derivan de la consideración de la Teoría del Aprendizaje Significativo?

En este espacio podríamos considerar, básicamente, consecuencias o rasgos que tienen que ver con la labor docente, por un lado, y, por otro, algunas respuestas críticas que esta fundamentación teórica ha suscitado, así como posibles respuestas a las mismas.

4.1. Aspectos de naturaleza pedagógica

La Teoría del Aprendizaje Significativo es una teoría psicológica del aprendizaje que se produce en el aula, como ya se comentó, que parte del principio fundamental de que este aprendizaje se genera por la interacción del individuo con el contenido nuevo que la escuela le ofrece. Por tanto, es una teoría basada en la reestructuración que se lleva a cabo entre el sujeto que aprende y el objeto que se aprende, de manera que, efectivamente, se produzca una reorganización cognitiva de su bagaje conceptual. Se trata, pues, de una teoría constructivista dinámica, en la que es la propia persona la que determina si quiere aprender significativamente o no. En este contexto, y precisamente por lo expuesto, adquiere especial importancia el hecho de que como docentes seamos capaces de lograr una predisposición favorable, esto es, una actitud significativamente relevante en el alumnado.

Una consecuencia natural de la teoría que nos ocupa es su consideración del carácter progresivo que tiene un aprendizaje de esta naturaleza a través del tiempo.

Hay un aspecto evolutivo en el aprendizaje significativo. En las etapas sucesivas [...] el individuo es capaz de relacionar de manera significativa a su estructura cognoscitiva materiales cada vez más abstractos. En parte, esto es atribuible a los cambios evolutivos del contenido de la estructura cognoscitiva misma: cambios que o hacen al mismo material lógicamente significativo, desprovisto de significatividad potencial en una etapa previa, potencialmente significativo en esta última etapa, o lo capacitan además para generar proposiciones de solución de problemas más abstractas y complejas. Esto es atribuible también en parte a los procesos cognoscitivos que intervienen al relacionar, intencionada y sustancialmente, las tareas de aprendizaje a las ideas establecidas en la estructura cognoscitiva y al generar nuevas proposiciones de solución de problemas. (Ausubel, 1976, pág. 241)

Esto manifiesta un importante aspecto evolutivo del aprendizaje significativo a lo largo del desarrollo del individuo, justificado fundamentalmente por tres razones:

- La adquisición de un nuevo vocabulario y el aumento de la capacidad de articular nuevas proposiciones, así como de yuxtaponerlas (lo que se relaciona con el lenguaje).
- El aumento de la capacidad de relacionar estas nuevas proposiciones con su estructura cognitiva.
- Una independencia progresiva de los apoyos empírico-concretos.

Para Ausubel (1976, 2002), la estructura cognitiva se organiza jerárquicamente, respondiendo a los principios de diferenciación progresiva y reconciliación integradora ya explicados. Su consideración y su justificación psicológica tienen importantes consecuencias pedagógicas, algunas de las cuales ya se han expuesto al tratar la facilitación del aprendizaje significativo. Dado que éste parte necesariamente de lo que el alumno ya sabe o de lo que forma parte de su estructura cognitiva, adquiere especial relevancia disponer de esta información para que estos subsumidores o ideas de anclaje sirvan de soporte al nuevo aprendizaje. Cuando estas ideas-ancla no se encuentran disponibles, se hace necesaria la introducción de un organizador avanzado. *«La función principal del organizador es salvar el abismo que existe entre lo que el alumno ya sabe y lo que necesita saber antes de que aprenda con buenos resultados la tarea inmediata»* (Ausubel, 1976, pág. 179). Estamos, pues, ante la manipulación de la estructura cognitiva del sujeto, bien para conocerla o bien para introducir en ella elementos que le permitan dotar de significatividad al contenido que se le presente posteriormente.

Esta información diagnóstica y de preparación es necesaria pero no suficiente para lograr que los aprendizajes generados en el aula sean significativos. Se requiere, además, un profundo proceso de organización sustancial, por un lado, tendente a identificar los conceptos básicos que articulan una disciplina dada, y programática, por otro, cuyo propósito es trabajarlos adecuadamente para que resulten significativamente aprendidos. En este sentido, los principios programáticos de diferenciación progresiva, reconciliación integradora, organización secuencial y consolidación ya explicados se constituyen en una gran ayuda para planificar una enseñanza acorde con la Teoría del Aprendizaje Significativo. Hemos de tener en cuenta a este respecto que *«el trabajo de seleccionar, organizar, presentar y trasladar el contenido de la materia de estudio de manera que se adecue a la etapa de desarrollo de que se trate exige mucho más que una lista mecánica de hechos»* (op. cit., pág. 110).

Desde esta perspectiva teórica, la afirmación de que el aprendizaje de la ciencia debe organizarse en función de su complejidad fenomenológica, lo que supone empezar por los conceptos básicos de la Física y de la Química antes que los complejos procesos geobiológicos más próximos a la experiencia cotidiana del individuo, no se sostiene. Es una aseveración lógicamente defendible (y característica de muchos programas educativos y materiales curriculares), pero psicológicamente inadmisibles, dado que no responde al principio de diferencia-

ción progresiva que caracteriza a la estructura cognitiva y que, consecuentemente, debe tener su reflejo en la organización de la enseñanza.

4.2. Aspectos críticos y criticados de la Teoría

Para Ausubel (íbid.), «*la exposición verbal es en realidad la manera más eficiente de enseñar la materia de estudio y produce conocimientos más sólidos y menos triviales que cuando los alumnos son sus propios pedagogos*». Esta consideración guarda relación con la polémica relativa a la enseñanza receptiva versus por descubrimiento y resolución de problemas. Ausubel entiende que es desacertado afirmar que el aprendizaje sólo se produce cuando se plantean estrategias de este último tipo. Desde su punto de vista:

- Se ha generado una confusión entre las dimensiones recepción/descubrimiento y aprendizaje repetitivo/aprendizaje significativo, aspectos y continuos distintos del mismo proceso de aprender.
- Se ha producido una representación ficticia de lo que es el método de aprendizaje por recepción.
- Se ha llevado a cabo una generalización equivocada e injustificada de las condiciones de desarrollo del aprendizaje y del pensamiento a lo largo de la vida de las personas.

No puede concluirse, por tanto, que la enseñanza expositiva/receptiva no genere aprendizajes significativos sino memorísticos, como se ha asegurado frecuentemente. Cuando se alcanza la fase abstracta en el desarrollo cognitivo (lo que Piaget llama estadio formal), el individuo trabaja mentalmente en un plano verbal, aprehendiendo de manera directa el nuevo contenido sin la necesidad de apoyos empírico-concretos característicos de etapas anteriores. Adquiere así el significado de nuevos conceptos y proposiciones de forma verbal o simbólica (íbid.). Por eso es por lo que aumenta y amplía su bagaje cognitivo principalmente a través de la transmisión verbal expositiva del conocimiento.

Eliminada su dependencia de apoyos empírico-concretos, la única condición necesaria para la comprensión y la manipulación significativa de conceptos de orden más elevado y proposiciones abstractas consiste en que el valor sustancial de éstos sea relacionable intencionadamente a su estructura cognoscitiva particular, y que adopte la actitud debida para aprenderlos de este modo. (Op. cit., pág. 258)

Esto es, se puede aprender significativamente por transmisión verbal del conocimiento siempre que el contenido tenga significado lógico, que sea relacionable con la estructura cognitiva y que haya predisposición para aprenderlo de

manera significativa. La crítica a la enseñanza verbal expositiva es, pues, inconsistente. Este rechazo no se corresponde con la visión ausubeliana del desarrollo cognitivo. El problema fundamental se centra en el desconocimiento de cómo se producen los procesos de aprendizaje (articulados en torno a una estructura jerárquica de la mente) y en la aplicación de programas educativos y planes de enseñanza inadecuados, que no respetan los aspectos sustanciales y programáticos del contenido de las asignaturas objeto de estudio por parte de los estudiantes, tendentes a su adquisición y retención significativas (Ausubel, 1973, 1976). De hecho, partiendo de lo que se sabe sobre el desarrollo cognitivo, cabe preguntarse, junto con Ausubel (1976, pág. 259) *«por qué la escuela secundaria no ha puesto de relieve las técnicas más abstractas y verbales para realizar el aprendizaje verbal significativo»* y ha enfatizado la enseñanza por descubrimiento y resolución de problemas como única vía para que se construyan aprendizajes significativos, fundamentalmente en el ámbito de la enseñanza de la ciencia.

Como se desprende de lo anterior, la Teoría del Aprendizaje Significativo no está libre de críticas. Se trata de una construcción teórica que da cuenta de algunos «cómo» y de algunos «por qué» del aprendizaje, pero que tiene también elementos y aspectos que han sido cuestionados, como es el papel de la transmisión verbal en la producción significativa del conocimiento, que ya se ha tratado. Otras discrepancias son más profundas y afectan a su propia concepción.

Para Pozo (1989, págs. 220 y 221) *«la idea de que la mayor parte de los conceptos se adquiere por diferenciación de otros más generales es, cuando menos, discutible, tanto si nos referimos a los aprendizajes naturales o espontáneos como a los artificiales o científicos»*. Para este autor, la Teoría del Aprendizaje Significativo considera de manera insuficiente los procesos inductivos y su papel en la generación del conocimiento. Si bien acepta que efectivamente Ausubel trata la reconciliación integradora como mecanismo que da lugar al aprendizaje superordenado o, incluso, al combinatorio, considera que el papel de la inducción en la construcción de conceptos nuevos es más destacado de lo que la propia teoría postula. Si se considera la explicación ausubeliana de la formación de conceptos, básicamente inductiva, esta diferencia no parece tan irresoluble.

Pero Pozo (ibid.) sostiene una discrepancia aún más profunda. Para él, Ausubel desarrolla insuficientemente la función que tiene la toma de conciencia en la reestructuración del conocimiento, tanto en aprendizajes inductivos como deductivos. Este autor entiende que esta cuestión se pone claramente de manifiesto sobre todo en el planteamiento didáctico de su teoría, en el que se muestra una falta de atención a la naturaleza y a la persistencia de los conceptos previos del estudiante cuando se aplican estrategias expositivas. Esta crítica guarda relación con lo ya expresado relativo al papel de la transmisión verbal del conocimiento y, sobre todo, con una aplicación inconsistente y vaga de los presupuestos ausubelianos. En cualquier caso, Ausubel plantea como condición imprescindible para que se produzca aprendizaje significativo la predisposición para aprender signifi-

cativamente, o sea, una actitud significativa de aprendizaje, que se corresponde con la toma de conciencia, aspecto que Novak (1998) y Gowin (1981) desarrollan con mayor profundidad.

Recientemente, Galagovsky (2004) cuestiona algunas significaciones asignadas a la Teoría del Aprendizaje Significativo y lleva a cabo una revisión crítica de las mismas. Algunas de estas confusiones se corresponden con la equiparación errónea del adjetivo «significativo» con motivación, o sea, con el interés que muestra el que aprende en el proceso de generación de conocimiento. Éste no es el sentido que le ha atribuido Ausubel a este adjetivo, como ha quedado de manifiesto con anterioridad. El aprendizaje significativo supone una interacción sustantiva y no arbitraria que requiere, eso sí, una actitud significativa de aprendizaje, pero que es mucho más que motivación. También cuestiona la correlación aprendizaje significativo ↔ aprendizaje correcto, que ya se ha tratado. Así mismo, esta autora comenta que es usual en el profesorado equiparar aprendizaje significativo con contenido significativo o lo que desde la perspectiva ausubeliana sería contenido o material potencialmente significativo o, incluso, material lógicamente significativo. Ausubel (1973, 1976, 2002) es explícito a este respecto, por lo que esa interpretación no se corresponde con la teoría que él ha postulado.

Galagovsky (ibid.) propone el modelo de aprendizaje cognitivo consciente sustentable, estableciendo diferenciaciones entre subsumidor y concepto-sostén, y destaca el papel de la conciencia porque considera que no está valorada en la Teoría del Aprendizaje Significativo. La toma de conciencia de la persona que aprende acerca de sus subsumidores, así como el papel del docente en el proceso de aprendizaje están tratados extensamente en la Teoría de Educación de Gowin (1981), que desarrolla, complementa y refuerza la construcción ausubeliana. Los argumentos utilizados como crítica a la Teoría del Aprendizaje Significativo no parecen ser lo suficientemente consistentes como para descartar este referente y proponer otro nuevo que, en el fondo, no supone novedad o manifiesta ciertos olvidos con respecto a la teoría que nos ocupa.

No cabe duda, como Pozo (1989) apunta, de que estamos ante una teoría psicológica cognitiva del aprendizaje que adquiere sentido y carta de naturaleza en su aplicación a la enseñanza. Ello requiere, como es lógico, un conocimiento suficiente de la misma que nos permita ciertas garantías de éxito en su aplicación, un éxito que en este caso será la producción de aprendizajes significativos contextualmente aceptados por parte del alumnado. Probablemente la ausencia de resultados positivos o su insuficiencia tengan relación con el desconocimiento de sus premisas fundamentales, como ya se comentó, y/o con equívocos en su puesta en práctica, como los ya reseñados al tratar en detalle el constructo «aprendizaje significativo». Son innegables sus consecuencias pedagógicas y, quizás, la más crucial sea la necesidad de tener un profundo conocimiento de la teoría como tal y de llevar a cabo un aprendizaje significativo de la misma que nos permita aplicarla en el aula correctamente.

5. Conclusiones

La Teoría del Aprendizaje Significativo es un referente teórico sólido y de plena vigencia, como muestra el simple hecho de que ha sido «lugar común» de docentes, investigadores y diseñadores del currículum durante más de cuarenta años. Se trata de una teoría aparentemente simple, pero de una gran densidad y fuerza, hasta el extremo de que aporta todos y cada uno de los ingredientes que realmente hacen posible que el alumnado atribuya significatividad a lo que aprende. Pero es también una gran desconocida, en el sentido de que muchos de esos elementos no han sido captados, comprendidos o «aprendidos significativamente» por parte de los que nos dedicamos a la enseñanza. Sólo nos hemos quedado con su etiqueta o título: «aprendizaje significativo».

Hablar de aprendizaje significativo es hablar de un constructo que tiene una larga trayectoria. Para comprenderla, se ha analizado en una primera parte el estado actual de los conocimientos sobre el mismo. En aras de la fidelidad con su origen, se ha comenzado por los significados y explicaciones propios de Ausubel, para valorar después algunas de las contribuciones más destacadas que lo han enriquecido significativamente, hasta llegar a la consideración actual de «aprendizaje significativo crítico relevante».

De la revisión hecha en los términos expuestos se deriva que aprendizaje significativo sigue siendo un constructo de una gran potencia explicativa, tanto en términos psicológicos como pedagógicos. Ese gran poder y capacidad de convicción es lo que justifica su vigencia.

Pero haciendo gala del sentido crítico que le atribuye Moreira (2000b), hemos de cuestionarnos el uso que se está haciendo del mismo: eso es lo que ha constituido la segunda parte de este capítulo. El aprendizaje significativo no es posible sin la predisposición para aprender o una actitud de aprendizaje significativa. No puede desarrollarse si no se dispone de los subsumidores adecuados en la estructura cognitiva. No es factible si el material no es lógicamente significativo, lo que no podemos confundir con el proceso en sí mismo. No es súbito ni surge instantáneamente. No es necesariamente aprendizaje correcto. No se facilita con cualquier organización o tratamiento del contenido curricular. No es el uso de instrumentos facilitadores (como, por ejemplo, mapas conceptuales y V epistemológicas). No se produce sin la intervención del lenguaje. No es un proceso independiente que se produzca al margen de la interacción personal.

Es evidente, como se ha expresado, que la Teoría del Aprendizaje Significativo tiene importantes implicaciones psicológicas y pedagógicas. Considera que el aprendizaje se construye y que eso se desarrolla de manera evolutiva. Porque se ocupa de lo que ocurre en el aula, postula los principios programáticos como mecanismo para organizar la docencia y, en este sentido, adquiere un valor especial su consideración de la necesidad de llevar a cabo un análisis conceptual del contenido que huya de planteamientos lineales y simplistas.

Es una teoría viva que no sólo se ha limitado a resistir durante tanto tiempo, sino que ha evolucionado considerablemente a lo largo de su dilatada historia, a través de las distintas contribuciones que ha recibido, algunas de las cuales se han mostrado. La aplicación de sus principios a la investigación en educación y a la enseñanza ha permitido, no sólo validar su propio conocimiento, sino también ampliarlo con interesantes aportaciones que han enriquecido su aplicación y su potencialidad explicativa.

Efectivamente, puede concluirse, pues, que la Teoría del Aprendizaje Significativo sigue siendo un referente explicativo obligado, de gran potencialidad y vigencia que da cuenta de aspectos esenciales del desarrollo cognitivo generado en el aula.

Pero la teoría que Ausubel ha propuesto no lo explica todo. Como ya se ha expresado, da cuenta de algunos «cómo» y de algunos «por qué» de los procesos de atribución de significado, pero no aporta explicaciones convincentes relativas a los mecanismos o procedimientos implicados en la interacción, por ejemplo, o a la estabilidad de las interpretaciones erróneas. Hemos de tener en cuenta, por otra parte, que durante todos estos años en los que la Teoría del Aprendizaje Significativo ha sido un referente obligado, se ha producido un gran avance y un importante desarrollo de la Psicología Cognitiva, ciencia que nos ha aportado en este tiempo otros referentes, otras teorías que nos pueden permitir comprender aún de mejor modo cómo se produce la cognición humana, complementando la consideración ausubeliana del aprendizaje. Una de ellas es la Teoría de los Modelos Mentales, de Philip Johnson-Laird, que ocupará el capítulo siguiente.

6. Bibliografía

- Ausubel, D. P. (1973). «Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento». Elam, S. (comp.) *La educación y la estructura del conocimiento. Investigaciones sobre el proceso de aprendizaje y la naturaleza de las disciplinas que integran el currículum*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires, págs. 211-239.
- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Ed. Trillas, México.
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Ed. Paidós, Barcelona.
- Gowin, D. B. (1981). *Educating*. Cornell University Press, Ithaca, N.Y.
- Maturana, H. (1997). *La realidad, ¿Objetiva o construida? II Fundamentos biológicos del conocimiento*. Ed. Anthropos/Universidad Iberoamericana/Iteso, Barcelona.
- Moreira, M. A. (1997a). «Aprendizagem Significativa: um conceito subyacente». En M. A. Moreira; C. Caballero Sahelices y M. L. Rodríguez Palmero, *Actas del II Encuentro In-*

- ternacional sobre Aprendizaje Significativo*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos, págs. 19-44.
- Moreira, M. A. (1999). *Teorias de Aprendizagem*. Editora Pedagógica e Universitária, E.P.U., Brasil.
- Moreira, M. A. (2000a). *Aprendizaje Significativo: teoría y práctica*. Ed. Visor, Madrid.
- Moreira, M. A. (2000b). «Aprendizaje significativo crítico». *Atas do III Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa*. Peniche, Portugal, págs. 33-45. (Traducción de Ileana Greca).
- Moreira, M. A. y Buchweitz, B. (1993). *Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceptuais e o vé epistemológico*. Plátano Edições Técnicas, Lisboa.
- Novak, J. D. (1988a). *Teoría y práctica de la educación*. Ed. Alianza Universidad, Madrid.
- Novak, J. D. (1988b). «Constructivismo humano: un consenso emergente». *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), págs. 213-223.
- Novak, J. D. (1991). «Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. La opinión de un profesor-investigador». *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), págs. 215-228.
- Novak, J. D. y Gowin, D. B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Ed. Martínez Roca, Madrid.
- Novak, J. D. (1998). *Learning, Creating and Using Knowledge*, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey.
- Pérez Gómez, A. (2006). «A favor de la escuela educativa en la sociedad de la información y de la perplejidad». En Gimeno Sacristán, J. (comp.). *La reforma necesaria: entre la política educativa y la práctica escolar*. Ed. Morata/Gobierno de Cantabria, Madrid, págs. 95-108.
- Pozo, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Ed. Morata, Madrid.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2000). «Modelos mentales de célula: una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU». Universidad de La Laguna, Tesis Doctoral (2003), Servicio de Publicaciones.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2003). «Aprendizaje significativo e interacción personal». Ponencia presentada en el IV Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo. Maragogi, Alagoas, Brasil, 8-12 de septiembre.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2004). «La Teoría del Aprendizaje Significativo». Ponencia presentada en la First International Conference on Concept Mapping. Pamplona, 14-17 de septiembre, págs. 535-544.
- Rodríguez Palmero, M. L. y Marrero Acosta, J. (2003). «Un análisis y una organización del contenido de biología celular». *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, REEC, vol. 2, nº 1, Vigo. Disponible en <<http://www.saum.uvigo.es/reec>>.
- Vygotsky, L. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Ed. Paidós, Barcelona.
- Wertsch, J. W. (1988). *Vygotsky y la formación social de la mente*. Ed. Paidós, Barcelona.

La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird⁷

M^a LUZ RODRÍGUEZ PALMERO

Centro de Educación a Distancia (C.E.A.D.), Santa Cruz de Tenerife. España.

Como alternativa a la Psicología asociacionista dominante, a finales de los años 50 surgió la Psicología Cognitiva, un ámbito del conocimiento que centra su atención en la persona, en el sujeto, analizando cómo interpreta el mundo en el que vive. Su objeto de estudio está constituido por los procesos psicológicos superiores que caracterizan al organismo humano (como, por ejemplo, percepción, memoria, pensamiento, lenguaje, aprendizaje, etc.). Se ocupa, por tanto, de la cognición.

En la perspectiva de la Psicología Cognitiva, lo que da lugar a la acción humana se sistematiza y controla a través de símbolos y señales, dando sentido al concepto de representación,⁸ que adquiere carta de naturaleza y define procesos mentales. Las representaciones pueden ser externas e internas y, como es obvio, la Psicología Cognitiva se ocupa de estas últimas, esto es, de las mentales. El individuo ya no es pasivo frente al medio, sino que actúa a partir de sus propias estructuras de conocimiento, de manera intencionada, procesando y elaborando la información que recibe del exterior, así como buscando la que precisa para hacerle frente al mundo. La Teoría del Aprendizaje Significativo se incluiría en este marco de referencia, en tanto que es una teoría psicológica del aprendizaje.

Podría admitirse, como señalan Zaccagnini y Delclaux (1982), que durante un tiempo la Psicología Cognitiva se ocupa de microcosmos o problemas acotados, pequeños, concretos, para los que propone distintos modelos y microteorías que no satisfacen las demandas ni las lagunas de quienes se ocupan de los pro-

7. Adaptado de Rodríguez Palmero, M. L. (2003). «Modelos mentales de célula: una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU». Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones, Universidad de La Laguna.

8. Se entiende por representación *«cualquier notación, signo o conjunto de símbolos que representa (vuelve a presentar) algún aspecto del mundo externo o de nuestra imaginación, en su ausencia»* (Eysenck y Keane, 1991, pág. 202).

cesos cognitivos desde una perspectiva más heurística. Se va definiendo en este contexto una nueva Psicología Cognitiva que supone la mente como un sistema representacional computacional. De hecho, es un largo periodo de la historia de la Psicología en el que se producen muy pocas aportaciones directas al ámbito escolar, si exceptuamos a Ausubel, pues ni tan siquiera Piaget se ocupó del aula, aunque su trabajo haya tenido tanta trascendencia en la pedagogía. Digamos que han sido por mucho tiempo campos de investigación y de aplicación diferentes con pocas conexiones entre ellos. Llega, pues, un momento en el que se reclaman explicaciones más consistentes, más globales, teorías que actúen como marcos de referencia para dar cuenta de cómo y de por qué se produce la cognición humana.

En este proceso surge en la década de los años 60 la Ciencia Cognitiva, un ámbito interdisciplinar del conocimiento que reúne a distintos especialistas y materias, como la propia Psicología, la Inteligencia Artificial, la Informática, la Neurociencia, la Filosofía, la Cibernética, la Lingüística y otras. Su premisa básica es la equiparación de la mente con un ordenador para explicar el procesamiento de la información. Éste es el contexto en el que se enmarca la Teoría de los Modelos Mentales de Philip Johnson-Laird, que se presenta en 1983. Su estudio merece especial atención si tenemos en cuenta que *«en la investigación en la enseñanza de las ciencias, la década de los setenta fue la de las concepciones alternativas y la de los ochenta, la del cambio conceptual. Es muy posible que estemos hoy, en los años noventa, viviendo la década de las representaciones mentales, en particular de los modelos mentales»* (Moreira, 1997a, pág. 37). Como se podrá comprobar, los presupuestos que Johnson-Laird nos ofrece tienen importantes consecuencias en la comprensión y en la consecución de un aprendizaje significativo.

1. Introducción

Las siguientes páginas tienen por objeto caracterizar la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird explicitando el «modelo mental» que de la misma se ha construido al analizar los documentos originales de este autor como referencia teórica. Y precisamente por eso, se trata de un modelo mental realizado a partir de su propio discurso, del discurso, apartado éste que tiene una gran importancia en su teoría y al que le dedica un espacio también importante. La razón de ello está en la respuesta que se le dé a la siguiente pregunta: *«¿qué significa decir que un discurso es verdadero porque corresponde a la realidad? El núcleo del problema es mostrar cómo el lenguaje relata el mundo a través de la mediación de la mente»* (Johnson-Laird, 1983, pág. 438). La mente es el objeto de estudio de Johnson-Laird, así como los mecanismos que ésta utiliza para interpretar el mundo y para hacerle frente. Una explicación razonable es lo que este autor busca, una explicación que pretende dar respuestas al problema que plantea, como marcos explica-

tivos de una entidad, la mente, que, como él mismo reconoce, es mucho más que cualquier teoría que se formule sobre ella. Y eso es así porque, según él:

Nuestra experiencia fenomenológica del mundo es un triunfo de la selección natural. Parecemos percibir el mundo directamente, no una representación del mismo. Con todo, esta fenomenología es ilusoria: lo que percibimos depende de lo que hay en el mundo y de lo que está en nuestras cabezas –lo que la evolución ha instalado en nuestro sistema nervioso y lo que conocemos como un resultado de la experiencia–. Los límites de nuestros modelos son los límites de nuestro mundo. (Johnson-Laird, 1989, págs. 470 y 471)

Este capítulo se articula en torno a una primera consideración relativa a la necesidad de una teoría de la mente, así como a las características que ésta debería tener; un segundo punto centrado en la definición de los elementos fundamentales de la teoría que sirva para explicitar sus constructos básicos, y, por último, un espacio dedicado a posibilidades y limitaciones, lo que, en conjunto, nos permitirá determinar en qué medida la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird es una teoría adecuada explicativamente. Finalmente, se hacen algunas consideraciones relativas a algunas aportaciones de este enfoque a la Teoría del Aprendizaje Significativo.

2. ¿Por qué una teoría de la mente?

Johnson-Laird defiende la idea de que, si bien la mente humana es extraordinariamente compleja, los procesos cognitivos que en ella se desarrollan son procesos comprensibles en la medida en que los seres humanos son procesadores de información, lo que implica procesos de traducción/traslación, manejo/manipulación y retraslación/nueva traducción de símbolos. «*Los seres humanos parecen tener un acceso privilegiado a la mente porque para ellos es posible la introspección*» (Johnson-Laird, 1983, pág. 1). La forma en la que se procesa esa información, sus mecanismos intrínsecos, la manera, por tanto, según la cual se obtiene o de la que se deriva una respuesta como producto de ese proceso, lo que permite una adaptación del individuo a su medio, es lo que centra la atención de Johnson-Laird. Pero «*la mente debe ser más complicada que cualquier teoría propuesta para explicarla: por más complicada que sea la teoría, es más complicada la mente que pensó en ello, en primer lugar*» (íbid.), lo que muestra que el autor es consciente del poder y de los límites de su planteamiento. Un organismo, un instrumento, un sistema que es capaz de generar teorías evidentemente es más complicado que las teorías que genera, que los cuerpos teóricos que construye en aras de conocer y profundizar en la interpretación de su propia naturaleza y la de aquello que lo rodea. Pero un sistema así, precisamente por su propia naturaleza, quiere y debe conocer cómo

es eso posible, quiere hacer inferencias de cómo hace inferencias, quiere hacer aproximaciones que expliquen o den algunos indicios de cómo es esto factible.

Eso es construir una teoría, así es como la mente humana ha construido sus teorías científicas relativas a explicaciones sobre fenómenos físicos, explicaciones que, evidentemente, no se agotan en sí mismas, explicaciones que no son «teorías acabadas», perfectas, sino sólo eso, aproximaciones tentativas que se van superando y que, progresivamente, van ampliando un cuerpo teórico de conocimiento. Y así, también, es como debemos abordar el estudio de la mente, a través de una teoría que suponga intentos explicativos de su funcionamiento, aproximaciones no acabadas en sí mismas, que no den respuesta a todo ni todas las respuestas, pues eso sería imposible en la medida en que un sistema que construye esas teorías está por encima de aquéllos que son sus productos.

Una teoría, por tanto, para explicar la mente se hace necesaria y una teoría para explicar la mente es posible. Pero una teoría para explicar cómo es y cómo funciona la mente no es la mente en sí, es sólo eso, una aproximación que da cuenta del porqué de ese funcionamiento a través de una serie de principios que justifican el cómo del mismo. Para Johnson-Laird esta idea está clara; él ve la necesidad de articular una teoría general sobre la mente humana dejando claro que la mente es mucho más. Su propuesta al formular la teoría es una propuesta explicativa que se incardina en muy diferentes campos del conocimiento de los que se nutre y de los que aprovecha múltiples ejemplos, pero que va más allá, que los engloba, que los supera en la medida en que tiene un alto valor heurístico. No en vano, él explicita su compromiso metodológico con la Ciencia Cognitiva cuando expresa que una disciplina simple no podría dar cuenta de ello.

Desde estas «simples» disciplinas, sin ánimo de descalificación, se han hecho grandes avances, se han dado múltiples aproximaciones pero, en muchos casos, se hacen descansar las explicaciones sobre «ingredientes mágicos», sobre constructos que son propios del modelo que los define en sí mismos y que sólo son comprensibles por parte de la persona o personas que los proponen. Estos «ingredientes mágicos» son los que Johnson-Laird trata de eludir porque entiende que si se evita toda posibilidad a la intuición, a la subjetividad, a la magia, en definitiva, del investigador en lo que son sus procedimientos de indagación e interpretación, se estará evitando la posibilidad de que haya limitaciones debidas a los sesgos característicos de aquellas «cualidades». Su objetivo es que la responsabilidad de las previsiones sea lo más general y lo más aplicable posible.

¿Cómo conseguir que la teoría, aun teniendo ingredientes mágicos, no sea mágica? ¿Cómo garantizar que las conclusiones y las interpretaciones que se realicen utilizando esta teoría como marco de referencia no estén sujetas a la subjetividad o al «buen hacer» o habilidad del ejecutor? Johnson-Laird da a estas cuestiones una respuesta: procedimientos efectivos. «*Hay un criterio que evitaría este peligro. La teoría debería ser describible en la forma de un procedimiento efectivo*» (op. cit., pág. 6). Un procedimiento efectivo es un procedimiento capaz

de ser realizado por una máquina, un procedimiento que no responde más que a criterios objetivos de ejecución, una ejecución que no tiene nada que ver con elementos contextuales interpretables y que, por lo tanto, como él dice, evita el peligro de apoyar sus aseveraciones en ingredientes mágicos productos del interpretador. Cabría preguntarse si este constructo de procedimiento efectivo tiene su ámbito de acción en la propia teoría en sí, en su construcción teórica, o en nuestras construcciones teóricas personales, en nuestras teorías individuales, las teorías que Johnson-Laird pretende comprender. Podríamos entender y admitir que se refiere a este segundo aspecto en el sentido de que lo que se está etiquetando como procedimiento efectivo es el proceso según el cual yo como individuo soy capaz de interpretar el mundo manejando una serie de símbolos que son los mismos y se manejan, también, de la misma manera por parte de los otros individuos con los que interactúo. Claro está que tendrá que ser un procedimiento efectivo para todos los interlocutores; la mejor manera de garantizarlo, según Johnson-Laird, es aceptar que es un procedimiento capaz de ser implementado por una máquina.

Pero dejábamos la puerta abierta a otro matiz, a otro posible nivel de interpretación en el ámbito de la propia teoría. Si bien es cierto que las referencias a esta cuestión en los documentos originales se centran en el aspecto ya comentado, cabe la posibilidad, y a veces así parece veladamente expresarlo, de que Johnson-Laird se refiera a procedimientos efectivos de indagación en el marco de la teoría, procedimientos que deben ser, también, ejecutables por parte de una máquina, de manera que también en este sentido y en este contexto, se evite la tendencia natural a una interpretación subjetiva, tendencia a recurrir a elementos mágicos como, según él, puede desprenderse de los razonamientos piagetianos o vygotskianos. Susceptible es, por supuesto, este extremo de la misma crítica ya que podría concluirse que «procedimiento efectivo» es ese ingrediente mágico de la Teoría de los Modelos Mentales, pero esa crítica queda superada con la propia definición que se ha dado del constructo, en la medida en que, por ser ejecutable por una máquina, se elimina el riesgo a la subjetividad en la interpretación de los resultados que deriven de trabajar con esta teoría. Debe quedar claro, no obstante, que cuando se habla de procedimientos efectivos en el ámbito de la teoría, no se está haciendo referencia a cuestiones metodológicas que, lógicamente también, tendrían que dar cuenta de esos procedimientos efectivos, sino que solamente se está aplicando, por extensión, la misma idea a todo el cuerpo teórico que la teoría genera y representa como un elemento de coherencia y validez en sí misma.

Podríamos preguntarnos el porqué de las reflexiones anteriores. Su pertinencia nace de la consideración que Johnson-Laird hace de una teoría de la mente.

Las teorías generales acerca de la mente tendrían que ser expresadas en el lenguaje vernáculo de la ciencia cognitiva. Tales teorías tienden a ser vagas, en términos generales, en correspondencia a su comprensión. No importa. Los modelos explícitos

de partes de la teoría pueden y deben desarrollarse en la forma de programas de ordenador. Tales programas no serían pensados como estudios en simulación computacional o inteligencia artificial. Por el contrario, el punto de un programa sería desarrollar una teoría general. (Op. cit., pág. XII)

Ésa es su pretensión: formular una teoría general sobre la mente que sea explicativa, que responda adecuadamente a lo que hoy por hoy se sabe sobre la misma, articulado en torno a un funcionamiento efectivo producto de procedimientos efectivos.

¿Qué es lo que le pide Johnson-Laird a una teoría de la mente? Como hemos visto, no pretende explicarlo todo, no persigue agotar el conocimiento y, ni tan siquiera, la explicación sobre su modo de actuación. Le pide que sea fiable, que tenga coherencia y validez y hace descansar estas características en la idea de procedimiento efectivo. Con estos procedimientos y con aquellas características, considera que (Johnson-Laird, 1983):

1. La teoría debe adoptar tanto inferencias implícitas como explícitas.
2. Debe resolver la paradoja central de cómo los niños aprenden a razonar, a saber, cómo pueden adquirir reglas de inferencia antes de que sean capaces de razonar válidamente.
3. Debe ser compatible con el hecho de que los seres humanos son capaces de hacer inferencias válidas.
4. También debe ser compatible con los orígenes de la lógica.

La teoría propuesta responde a estos aspectos porque «*estos cuatro puntos corresponden a los criterios que cualquier teoría adecuada explicativamente para el razonamiento debe satisfacer*» (op. cit., pág. 145). Como ya se ha expresado, desde diferentes campos filosóficos, psicológicos, lógicos, etc., se ha abordado el tema. El estudio de la mente no es nuevo. ¿Qué es lo que ocurre, entonces? Se han formulado diferentes explicaciones, se han avanzado distintos modelos, se han entablado variadas controversias pero nada de eso ha atendido a estos cuatro criterios de los que la teoría que nos ocupa da cuenta, como Johnson-Laird demuestra. Su teoría, *a priori*, es una teoría adecuada explicativamente porque es fiel a estos criterios y porque lo es con el concurso de procedimientos efectivos que han permitido generar este cuerpo teórico de conocimiento. En términos schwabianos, podríamos decir que Johnson-Laird postula una teoría como producto de la construcción de un cuerpo coherente de conocimiento en torno a la mente y a su capacidad de razonamiento, un conocimiento que tiene un componente o estructura semántica propia, pues hay un contenido específico inherente, capaz de responder a los cuatro criterios anteriores, así como una vertiente o estructura sintáctica, es decir, una forma, también propia, de validar y de ampliar dicho contenido, forma que se articula en torno a los procedimientos efectivos.

Partiendo del supuesto teórico ya expresado de que los seres humanos son procesadores de información, la idea que subyace es una consideración computacional de la mente. Este sustrato teórico es el que permite al autor hilvanar toda una teoría que responde a lo expuesto pero que no pretende solucionar todos sus problemas. La Psicología Cognitiva se caracteriza y define por su consideración de la mente como un sistema de cómputo, lo que justifica su carácter representacional. «Quizás el aspecto más sorprendente de la ciencia cognitiva es que no hay necesidad de abandonar esta creencia: los sentimientos y el libre albedrío pueden explicarse desde dentro de un marco computacional [...] La ciencia cognitiva no amenaza nuestra libertad ni nuestra dignidad» (Johnson-Laird, 1990, pág. 365). Ciertamente Johnson-Laird es un gran provocador, pero al mismo tiempo es prudente porque deja claro cuáles son los límites de sus presupuestos y principios. Un planteamiento computacional de nuestra mente no es ninguna amenaza. El marco teórico que ofrece el autor del funcionamiento computacional de la mente, funcionamiento que, según él, da como resultado la construcción de modelos mentales, tampoco amenaza el conocimiento producido hasta el momento. En teoría no es más que eso, una teoría; una teoría que da cuenta de lo que él entiende que debe resolver una teoría de la mente. Es una aproximación que se sustenta y apoya en otras muchas y que las supera en la medida en que se articula en torno a una idea de globalidad de la mente humana y de su funcionamiento que da como resultado una manera más versátil y funcional del comportamiento de la mente y, al mismo tiempo, una manera más global y sencilla de explicar dicho comportamiento. ¿Cómo consigue esto Johnson-Laird? La respuesta se articula en torno a los tres ejes que considera: ¿qué se computa?, ¿cómo se llevan a cabo los cómputos?, ¿cuál es la neurofisiología subyacente? Consistentemente con lo anterior, se advierte la necesidad de diferenciar distintos niveles de explicación que nos llevarían a contemplar:

- Una subteoría general de lo que computa la mente.
- Una subteoría del programa que utiliza para llevar a cabo los cómputos.
- Una subteoría de cómo se materializa el programa dentro del sistema nervioso.

Éstos son los tres ejes o pilares que desarrollan la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird, teoría necesaria y, por lo expuesto hasta el momento, suficiente que da cuenta de que «el ordenador cognitivo es un dispositivo para convertir energía en símbolos, símbolos en símbolos y símbolos en acciones» (op. cit., pág. 366). Los riesgos y las limitaciones de la defensa de un planteamiento computacional, a pesar de constituir éste el eje de su teoría, no escapan a su propio discurso.

3. La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird

Para abordar una síntesis de la teoría se ha optado por atender en este espacio a dos apartados que se consideran básicos: los elementos fundamentales de la teoría, en primer lugar, es decir, sus conceptos clave, y, como consecuencia y producto de lo anterior, una explicación un tanto más detallada de los modelos mentales.

3.1. Elementos fundamentales de la teoría

Los elementos clave que nos permiten identificar la Teoría de los Modelos Mentales derivan, lógicamente, de los tres niveles de análisis que se han expuesto en el apartado anterior y, por lo tanto, de las subteorías que el autor delimita. Habitualmente se sigue esa secuencia para su presentación, secuencia que nos llevaría a comenzar por el análisis de las representaciones y sus tipos, pero no es la única válida. Obsérvese más adelante que hay más de una lógica posible, que podemos construir múltiples modelos y seleccionar uno dentro de los posibles o, incluso, que, como el propio Johnson-Laird argumenta, podemos razonar sin ninguna lógica.

Las tesis fundamentales de Johnson-Laird giran en torno a la idea de que los seres humanos construimos modelos mentales del mundo para poder aprehenderlo y para poder actuar y reaccionar frente al mismo, para poder responder, incluso en términos biológicos (es decir, según lo que se entiende por función vital de relación o respuesta). Eso lo hacemos por el uso de procesos mentales que son tácitos, que no necesariamente tienen que ser explícitos, ya que el hecho de que no lo sean no nos impide actuar y reaccionar frente a dicho mundo, no nos deja desprovistos de la capacidad de interpretación inherente al funcionamiento de la mente. Desde esta perspectiva, el primer elemento al que deberíamos atender es la propia mente, qué es lo que en este contexto responde a la etiqueta o símbolo «mente». ¿Qué modelo de mente defiende Johnson-Laird? La respuesta a esta cuestión nos lleva a lo que podría considerarse el primero de los elementos constitutivos de su teoría: la mente es computacional, es capaz de operar con un conjunto de símbolos que le permiten procesar la información. Pero la mente es limitada y se hace descansar sobre una estructura física, biológica (el cerebro) que también es limitada.

Si hay un número finito de diferentes símbolos, o un método de representación de algunos símbolos para términos finitos, entonces un símbolo puede traducirse en código binario y, por consiguiente, para cada operación en palabras o símbolos, hay una correspondiente función computable. (Johnson-Laird, 1983, pág. 7)

Éste es el sentido en el que se habla de una mente computacional, esto es lo que nos lleva a la metáfora del ordenador ya que *«el criterio implica que una*

teoría puede ser implementada en la forma de un programa de ordenador» (op. cit., pág. 8). El aspecto crucial de la metáfora es el funcionalismo porque los procesos mentales se caracterizan por su organización funcional. La cuestión de fondo no es que se tenga un modelo mental o no, no se trata de que se haya construido o no una representación, porque el modelo o la representación en sí sirven para muy poco si no tienen esa funcionalidad. El hecho de que adquieran este carácter funcional nos lleva a la forma en la que el modelo en sí se ha construido y lo que nos dice el autor es que esta forma puede ser computacional y debe ser computacional, dado que de este modo gana funcionalidad.

Esto nos lleva al segundo elemento destacable de la teoría, a saber: procedimientos efectivos. Un procedimiento efectivo, como se recordará, es un procedimiento susceptible de ser implementado por una máquina. Si partimos de una mente computacional que opera de forma que pueda reducir sus símbolos a un lenguaje binario, entenderemos fácilmente que ese modo de operar para enfrentarse al mundo es un procedimiento efectivo. Entenderemos también, y de mejor manera, la tan traída y llevada equiparación del funcionamiento de la mente con el funcionamiento del ordenador, porque, en el fondo, no es más que cuestión de programas codificados en un lenguaje propio, que necesitamos descodificar para asignar significados en el mundo del que dependemos y al que nos enfrentamos. La potencialidad que Johnson-Laird le ve a semejante planteamiento es que aumenta la validez, la fiabilidad y la consistencia de las explicaciones que se desarrollen, de las inferencias que se hagan sobre la estructura y el funcionamiento de la mente, así como sobre la propia mente. *«Abandonar este criterio es reconocer que las teorías científicas pueden ser vagas, confusas y parecer doctrinas místicas sólo convenientemente comprendidas por sus proponentes»* (íbid.). Desde su punto de vista, una teoría científica sobre la mente tiene que eludir caer en estas limitaciones; considerar que la mente es computacional y que opera a través de procedimientos efectivos capaces de ser simulados por una máquina lo evitaría. De ahí deriva su interés por buscar argumentos centrados en la máquina de Turing, por una parte, cuyos fundamentos giran en torno a lo que puede realizar y aprender una máquina universal que usa un código binario; y, por otra, la recursión primitiva que supone también composición y minimización, procesos estos que se utilizan en la confección de los programas de ordenador. Lo anterior no constituye otra cosa que ejemplos de lo que se está entendiendo por procedimientos efectivos, procedimientos que, convenientemente experimentados, han mostrado la factibilidad de su traducción al funcionamiento de la mente.

El tercer elemento clave de la Teoría de los Modelos Mentales es la revisión recursiva. ¿Y qué es esto? La revisión recursiva no es más que un procedimiento efectivo. El pensamiento deductivo opera extrayendo conclusiones de premisas. La mejor manera de ejemplificarlo es la especificación de la forma en la que procede el tratamiento axiomático, forma que se articula en función de la lógica formal:

1. Un vocabulario de símbolos.
2. Un grupo de reglas sintácticas que recursivamente define expresiones bien formadas.
3. Un grupo de expresiones bien formadas que se dan como axiomas.
4. Un grupo de reglas de inferencia que habilitan las expresiones bien formadas para ser derivadas de otras. (Op. cit., pág. 26)

Como vemos, emana de lo anterior una actuación recursiva de la mente que, según los postulados de la lógica mental, requiere axiomas y reglas de inferencia. Esto determina una doble vertiente:

- semántica, que se refiere al significado, al contenido, no considerado en el ámbito de la lógica. Es lo que, desde otros contextos, determina la validez de los axiomas.
- sintáctica, que se refiere a la forma, a cómo se produce y procesa, a cómo se genera, pudiendo, según los lógicos, actuar independientemente del contenido, extremo este que Johnson-Laird no comparte para su teoría de la mente. Esta vertiente determina la derivabilidad.

Es evidente que con lo anterior acabamos de entrar en un terreno difícil, escurridizo, en el que no hay procedimientos efectivos que nos garanticen la validez, en el más puro significado de la palabra, de lo que se pueda afirmar. De hecho, los seres humanos podemos razonar sin lógica, razonamos antes de la invención de la lógica, hacemos inferencias y las contrastamos por procedimientos recursivos sin que para ello tengamos que hacer uso de reglas de inferencia y, ni mucho menos, ser conscientes de ello. Sirva como ejemplo una anécdota: a un niño de tres años, Ramón, un determinado día su madre le dijo: «hoy viene a recogerte al colegio tu tío Álvaro, cuando venga a buscar a sus hijos». Al acabar la jornada escolar, Ramón ve a su tío Isidro y le pregunta: «¿cuándo viene tío Álvaro?». Isidro le responde: «No viene; vine yo». Éste le dice: «¡Ah! Entonces me tengo que ir contigo». Isidro no sabía que debía llevar también a Ramón a su casa, porque no se le había dicho, y se sorprendió de la rapidez en el razonamiento de Ramón. ¿Responde este ejemplo a las reglas de la lógica formal? ¿Razona un niño de tres años con esas reglas? ¿O responde, más bien, esta anécdota a un razonamiento infantil al margen de las reglas lógicas de inferencia?

Posiblemente la mayor aportación de la lógica a la Teoría de los Modelos Mentales sea la asunción de los componentes básicamente deductivos del funcionamiento de la mente y, consecuentemente con ello, el carácter recursivo de las inferencias que de ello se deriven en el más puro estilo popperiano. La gran limitación que este modelo lógico sustenta es la desvalorización total del contenido, su importancia para la comprensión y el entendimiento y, por lo tanto,

para articular una teoría sobre los procesos mentales. «*El contenido es crucial y esto sugiere que cualquier teoría general del razonamiento humano debe incluir un importante componente semántico*» (Wason y Johnson-Laird, 1980, pág. 318). Las reglas de contenido específico por sí solas tampoco resuelven este problema por ser eso, reglas. Johnson-Laird considera que para el entendimiento humano es fundamental la comprensión del contenido y, consecuentemente con ello, para que podamos captar e interpretar el funcionamiento de la mente tendremos que incorporar y dar valor al contenido, a la semántica.

Comprender una afirmación es, como mínimo, tener alguna idea de las circunstancias en las que será verdadera y en las que será falsa. La significación de un conectivo debe, pues, especificar su contribución a las condiciones de verdad de las afirmaciones. Así, las significaciones y las reglas formales de inferencia son entidades teóricas distintas: las significaciones se corresponden con las condiciones de verdad y surgen del dominio de la semántica, mientras que las reglas de inferencia especifican lo que resulta de ello y son un asunto de manipulaciones sintácticas. (Johnson-Laird, 1993, pág. 10)

La lógica mental da un número potencialmente infinito de deducciones posibles que responden adecuadamente a las leyes de esa lógica. Pero no todas se usan, ni siquiera habría una estructura capaz de sustentarlas físicamente. Está claro, entonces, que tiene que haber una selección de aquella o aquellas que responden a las necesidades del individuo, en función de las restricciones propias del sistema, y esto sería heurística. Volviendo a la anécdota de Ramón, la lógica lo hubiese llevado a esperar a su tío Álvaro, que era su referente, pero no fue ésa la deducción que utilizó, afortunadamente para él, porque su tío Álvaro no fue al colegio. Ramón recurrió sobre la marcha, en la hora, a otra deducción que le resultó más explicativa y, sobre todo, le permitió prever que su tío Álvaro no iría al colegio a buscarlo.

¿Cómo se produce la selección de las deducciones que dan respuesta a un problema concreto? Evidentemente estamos hablando de contenido. «*Las propiedades lógicas de las relaciones emergen de sus significados*» (Johnson-Laird, 1983, pág. 136). Lo que el autor está diciendo es que se trata de contenidos, de atribución de significados y no sólo del uso de reglas porque eso no nos permite razonar. «*El objeto del que razona es llegar a conclusiones verdaderas, o al menos plausibles, antes que a conclusiones simplemente válidas. Los conocimientos pueden facilitar este proceso suministrando informaciones pertinentes y un medio para estimar la verdad de las conclusiones*» (Johnson-Laird, 1993, pág. 11). No nos valen, pues, sólo las reglas. Las condiciones de verdad de las conclusiones a las que los sujetos llegan en sus procesos inferenciales guardan una estrecha relación con sus creencias, son verdaderas o falsas en función de las mismas y esto, como es fácilmente deducible, tiene una correlación directa con el conocimiento del que dis-

ponen. Las reglas formales de inferencia, por propia definición, están al margen de tales creencias (Johnson-Laird, 1993) y justificarían, por tanto, conclusiones que fueran formalmente lógicas pero totalmente independientes del contenido, falsas, erróneas, lo que se ve corroborado por los datos empíricos. El razonamiento no es sólo un proceso sintáctico, sino que se apoya en los significados que se atribuyen a las premisas y es esto lo que dota de comprensión, derivándose de ello conclusiones válidas, «personalmente» válidas, idiosincrásicamente válidas y no sólo conclusiones lógicas simplemente válidas.

Una expresión es verdadera con respecto a la percepción, memoria o imaginación si sus condiciones de verdad se satisfacen dentro del modelo derivado de esas fuentes. Un modelo mental representa la «referencia» de una sentencia —el particular estado de asuntos al que la sentencia refiere—, pero porque el modelo puede ser revisado como un resultado de información subsecuente, funciona como una muestra representativa del conjunto de todos los posibles modelos que deben construirse de una representación lingüística inicial de la sentencia. Así, esta representación lingüística capta las condiciones de verdad, o sentido, de la sentencia. (Johnson-Laird, 1988, pág. 58)

Sentido y referencia es lo que nos va a permitir atribuir significados. Asignando significado a través de los contenidos, podremos razonar de manera heurística y hacer la selección «correcta», digamos adecuada, en función de un procedimiento efectivo: la revisión recursiva, que podríamos admitir que opera deductivamente a través del pensamiento heurístico. ¿Por qué la revisión recursiva es un procedimiento efectivo decisivo en el ámbito de la Teoría de los Modelos Mentales? ¿En qué consiste esta revisión recursiva que, como procedimiento efectivo que es, da cuenta del funcionamiento computacional de la mente? La revisión recursiva es importante porque es el mecanismo según el cual la mente humana contrasta sus modos de enfrentarse a la realidad que vive y, en función de ello, permite la elección de aquella representación o modo de hacerle frente. Este mecanismo recursivo, lógicamente, tiene que ser versátil, funcional y rápido y, para ello, la mejor manera de explicarlo es hacerlo descansar en transformaciones computables. Lo que plantea Johnson-Laird en relación con la revisión recursiva podría corresponderse con lo que, en el contexto de la Teoría del Aprendizaje Significativo, se entiende por diferenciación progresiva en el sentido de que, dentro de los posibles, se establecen restricciones y, en función de su uso, se utilizan determinados conocimientos, determinadas construcciones («modelos mentales») para interpretar el mundo. Pero, precisamente para interpretarlo, se realiza mentalmente una reconciliación integradora entre ese mundo y los posibles (reconciliación que se articularía en torno a la revisión recursiva como procedimiento efectivo) que se han seleccionado dentro de todas las posibilidades. ¿Cómo se realiza esto? ¿Qué es lo que es objeto de revisión recursiva?

Llegamos a modelos mentales. El objeto de la revisión recursiva son precisamente los modelos mentales, que constituyen lo que podemos considerar el último concepto clave de la teoría. ¿Por qué es éste un concepto fundamental en los planteamientos de Johnson-Laird? Porque para él, los seres humanos construimos modelos mentales como análogos estructurales de la realidad que constituye nuestro mundo, construimos análogos estructurales del mundo. No nos representamos el mundo tal como es, sino que hacemos en nuestras mentes algo similar a ese mundo. Hasta ahora se ha mostrado la necesidad de una teoría de la mente, así como los criterios a los que debe atender, en primer lugar, y lo que podríamos considerar el núcleo duro de la teoría de Johnson-Laird, en segundo lugar, núcleo centrado en:

- mente computacional,
- procedimientos efectivos,
- revisión recursiva,
- modelos mentales.

Al hacerlo, y casi sin darnos cuenta, le hemos ido dando cuerpo a esta teoría y lo hemos hecho porque se han ido desgranando principios que dan razón de cómo funciona, según Johnson-Laird, la mente, aterrizando en lo que constituye el porqué de ese comportamiento, a saber: construimos modelos mentales, los modelos mentales que ocuparán el siguiente apartado para completar una visión global de la misma.

3.2. Modelos mentales

Como se ha expresado anteriormente, parece conveniente dedicarle un espacio propio a este constructo que exprese y muestre los rasgos más sobresalientes de su significado. No en vano, la teoría opera sobre modelos mentales, son los modelos mentales los que, en términos prácticos, la definen y son, también, los modelos mentales los que se supone que se pueden identificar y tipificar en los seres humanos.

a) Caracterización

Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo y lo son porque

los seres humanos, por supuesto, no aprehenden el mundo directamente; poseen sólo una representación interna del mismo porque la percepción es la construcción de un modelo del mundo. Son incapaces de comparar esta representación perceptual directamente con el mundo —es su mundo—. (Johnson-Laird, 1983, pág. 156)

Ésta es una de sus principales características: los modelos mentales son representaciones internas que actúan como puentes entre el sujeto (la mente) y ese mundo con el que interactúa. ¿Por qué es necesario un puente, un intermediario entre el sujeto y su realidad, entre la mente y el mundo? Porque es imposible aprehenderlo todo y de manera directa. Surge así la idea de representación como forma de captar aquellos elementos del mismo que nos resulten relevantes. La representación mental es un elemento esencial tanto en la Psicología Cognitiva como en la Ciencia Cognitiva, como ya se comentó. Supone el modo de vivir o experimentar la realidad, que es dependiente de nuestras estructuras cognitivas. «*Nuestra visión del mundo es causalmente dependiente de la manera en que el mundo es y la manera en que somos nosotros*» (op. cit., pág. 402). Mi concepción de la Navidad guarda relación con un periodo en el que el clima es frío, porque es lo que he vivido, pues habito en el hemisferio norte. Esta premisa forma parte, por tanto, de mi estructura cognitiva, esto es, de mi forma de interpretar mi realidad habitual, que es una Navidad con frío. La representación mental de una persona que vive en el hemisferio sur es, obviamente distinta, pues «su» Navidad se desarrolla en periodo estival. Si ocasionalmente una u otra viajamos a un hemisferio diferente en diciembre, «nuestros mundos» serán también distintos. Es poderosamente llamativo para mí, por ejemplo, ver muñecos de Papá Noel y trineos de nieve colgados en las ventanas, cuando la temperatura supera los 40 °C, porque mi estructura cognitiva asocia esos muñecos al frío.

Lo que construye nuestra mente son modelos mentales que se caracterizan por su funcionalidad. Son modelos del mundo que hemos percibido o concebido que resultan rápidos, eficaces, versátiles, funcionales, en una palabra. Y lo son porque nuestras respuestas frente a ese mundo tienen que ser así, incluso en términos biológicos, por una clara cuestión de supervivencia. Como el propio autor apunta, la selección natural debe haberse encargado de ello con objeto de proveernos de un modelo con el que operar, de un modelo de trabajo. Porque los modelos mentales son eso, modelos de trabajo (que se ejecutan en la memoria episódica), modelos para actuar en el mundo, de los que no necesitamos ser conscientes, del mismo modo que no lo somos del mecanismo intrínseco de un ordenador cuando lo usamos o de un coche cuando lo conducimos. Nos interesa el resultado, lo que hacemos con eso, del mismo modo que nos interesa, como resultado, el modelo, lo que hacemos con él frente al mundo, sin necesidad de recurrir a los mecanismos intrínsecos que lo han construido. ¿Qué dice Johnson-Laird que es un modelo mental?

Es ahora plausible suponer que los modelos mentales juegan un papel central y unificador en la representación de objetos, estados de los asuntos, secuencias de eventos, la manera de ser del mundo, y las acciones sociales y psicológicas de la vida diaria. Capacitan a los individuos para hacer inferencias y predicciones, comprender los fenómenos, decidir qué acción tomar y el control de su ejecución y sobre

todo para la experiencia de eventos por aproximación; reconocen el lenguaje que debe usarse para crear representaciones comparables con aquéllas de las que derivan por conocimiento directo con el mundo; y relacionan palabras del mundo a través de la concepción y de la percepción. (Op. cit., pág. 397)

Los modelos mentales son, de esta manera, extraordinariamente funcionales, de ahí su potencialidad. Pero, sobre todo y por encima de todo, son representaciones internas, son correlatos mentales de la realidad, de nuestro mundo. Si atendemos a su carácter representacional, el constructo de modelos mentales es muy fuerte y dotado de una profunda carga explicativa. Los modelos mentales, tal como los explica Johnson-Laird (1983), son entidades o estructuras psicológicas que nos permiten entender aquellos contextos o situaciones en las que los individuos interactúan permanentemente con la tarea y con el ambiente en el que están y en el que la realizan. Son representaciones adecuadas para hacerle frente a esas situaciones, en las que se requiere del sujeto que tome decisiones rápidas que puedan dar cuenta de los cambios que le surgen o que vive de manera imprevista.

Las representaciones mentales habitualmente se han estudiado en el ámbito de dos escuelas o planteamientos contrapuestos en el área de la Ciencia Cognitiva, representados por aquéllos que consideran que lo que la mente humana representa son proposiciones y aquéllos que defienden las imágenes como elementos representacionales que muestran rasgos característicos que las hacen distinguibles de las representaciones proposicionales.

Para Johnson-Laird (1983), las proposiciones son verdades o falsedades de estados de cosas del mundo. Son representaciones proposicionales verbalmente expresables; por tanto, están sujetas a una estructura sintáctica concreta. Las representaciones proposicionales son cadenas de símbolos que se corresponden con el lenguaje natural. La expresión gramatical «El vaso está sobre la mesa» puede ser representada por una persona que la oye, pero que no está viendo la escena, como un vaso que está en el centro de la mesa, en cualquiera de las cuatro esquinas, próximo a cualquiera de las esquinas; puede estar vacío, lleno, medio lleno, etc. Es decir, puede representar mentalmente una amplia gama de arreglos o disposiciones distintas. Son, por tanto, diferentes representaciones internas, mentales, que se pueden corresponder con una representación externa concreta.

Para los proposicionalistas, la información visual se transforma en un formato proposicional, que es abstracto, para que se pueda almacenar. Según esta posición, la información proposicional se puede utilizar en la simulación de procesos y comportamientos analógicos. Así, las imágenes son epifenómenos, ya que no introducen nada nuevo y sólo tienen alguna función en el sentido de que el proceso de almacenamiento de información sea más fácil. Lógicamente, un imagista entiende la imagen como algo más que un epifenómeno y le da un rango diferente, contemplándola como un modo de representación diferenciado, de alto nivel. Éste es el sentido que le da Johnson-Laird (1983, 1996) a las imágenes;

para él, éstas y los modelos mentales son esenciales en la cognición. Los distintos modos de representación (proposiciones, imágenes y modelos mentales) difieren no sólo en sus propiedades intrínsecas, como son estructura y contenido, sino también en la función que tienen y a la que atienden o para la que se generan (Rodríguez, 2003).

Como se ve, son planteamientos marcadamente contrapuestos que parecen excesivamente rígidos y que han suscitado una de las más airadas polémicas en relación con el funcionamiento de la mente, suficientemente profunda como para que el propio Johnson-Laird le dedique en la justificación de su teoría un espacio importante. Es evidente que son entidades distintas analógicas/no analógicas y que no parece posible equiparar ninguna de ellas a la otra. Cabe, por tanto, un replanteamiento relativo a las representaciones como entidades mentales y eso es lo que hace Johnson-Laird al considerar que representamos el mundo a través de proposiciones, modelos mentales e imágenes.

Desde esta perspectiva, las proposiciones son representaciones proposicionales verbalmente expresables, sentido éste que reivindica el papel del contenido, del significado en la representación, puesto que es difícilmente expresable, por no decir imposible, comunicar algo que no tenga significado. Los modelos mentales son representaciones mentales analógicas del mundo, son modelos de trabajo. Las imágenes son vistas concretas de esos modelos, de tal modo que, incluso, podríamos hablar de dos niveles: proposiciones –no analógicas– y modelos mentales –que incorporan imágenes– como representaciones analógicas. Se acepta la consideración de imagen como tipo de representación, consecuentemente con lo anterior, por la importancia que éstas tienen en la construcción del modelo mental.

¿Qué supone, entonces, el planteamiento de Johnson-Laird en este terreno? Nada más y nada menos que la superación de la polémica en la medida en que los modelos mentales son modos de representación que incorporan y que manejan tanto proposiciones como imágenes. Jerarquizar estos tres conceptos no resulta fácil porque nuevamente hay distintas interpretaciones, distintos modelos. Podríamos decir que proposiciones e imágenes estarían en el tope de la jerarquía, incluso por razones históricas, como hemos visto, que dan lugar a que, tratadas adecuadamente, deriven en modelos mentales. Pero podríamos también considerar a éstos como elementos jerárquicamente superiores, si tenemos en cuenta que lo que hacen es englobar aquellas representaciones en otra que es más explicativa y que tiene mayor valor heurístico. ¿Resuelve Johnson-Laird este dilema? *A priori* puede ser irrelevante porque de lo que se trata es de buscar una explicación consistente con el fundamento teórico ya expuesto para el funcionamiento de estas representaciones. La respuesta es simple: operamos con proposiciones, con modelos mentales y con imágenes y todas estas representaciones se codifican, según Johnson-Laird, de la misma manera. Pero antes de entrar en su codificación, parece conveniente determinar las diferencias entre ellas en aras de clarificar estos referentes teóricos manejados por el autor en sus explicaciones ya que «mi

tesis es que los diferentes tipos de representación son lógicamente distinguibles al menos a nivel de análisis y, además, que existen como diferentes opciones para codificar información» (op. cit., pág. 146). Empecemos por distinguir brevemente entre representación proposicional y modelo. En la medida en que una representación proposicional es verbalmente expresable, estará sujeta a una estructura sintáctica concreta. Las proposiciones, recuérdese, son verdades o falsedades de los estados de las cosas porque no son analógicas, no tienen carácter arbitrario, caracterizándose porque son discretas.

Al contrario de una representación proposicional, un modelo mental no tiene una estructura sintáctica elegida arbitrariamente, pero juega un papel representacional directo ya que es análogo de la estructura del correspondiente estado de cosas en el mundo –tal como es percibido o concebido–. (Johnson-Laird, 1983, pág. 156)

Como las representaciones proposicionales están sujetas a reglas más rígidas, determinadas arbitrariamente, es evidente que manejar modelos mentales, frente a aquéllas, tiene más ventajas pues tienen una estructura dimensional que facilita su manipulación. La estructura de las representaciones proposicionales vendrá definida por su sintaxis, esto es, por una relación entre un predicado y sus argumentos (Johnson-Laird, 1996). De este modo, la proposición no es situacional ya que es abstracta, no es analógica.

¿Y en qué se diferencian los modelos de las imágenes? *«Hay claramente una relación entre imágenes y modelos mentales, yo asumiría que las imágenes corresponden a vistas del modelo: como un resultado cualquiera de percepción o imaginación, representan rasgos perceptibles de los correspondientes objetos del mundo real»* (Johnson-Laird, 1983, pág. 157). Las imágenes y los modelos mentales son, como vemos, analógicos y, por lo tanto, altamente específicos a diferencia de las proposiciones que no responden a estas características. Precisamente así fue como definió en su momento estas representaciones, pero después de diez años de trabajo, Johnson-Laird (1996) ha atribuido nuevos significados a modelos mentales y a imágenes o, para ser más precisos, ha enriquecido los iniciales a la luz de los datos que la investigación en este referente teórico ha aportado. Veamos su reformulación.

Las imágenes son representaciones de aspectos perceptibles de una situación desde el punto de vista de un observador. Los modelos, como la evidencia experimental confirma, son diferentes a las imágenes. Los modelos contienen elementos abstractos que no pueden ser visualizados y que corresponden, no a una situación simple, sino a una clase de situaciones o, en algunos casos, a un conjunto de tales clases. Ambos, modelos e imágenes, pueden usarse para razonar en ciertas circunstancias y un estudio para contrastar diagramas con premisas verbales sugiere que las imágenes pueden conducir un razonamiento más eficaz. (Johnson-Laird, 1996, pág. 93)

Parecen haberse aclarado bastante los significados que se le atribuyen a las representaciones mentales que este autor considera en un triple código y, por lo que se ve, las estructuras de las mismas son nítidamente distintas. Las proposiciones tienen estructura sintáctica similar a una sentencia o frase, ya que se rigen por las normas de los predicados. Las imágenes tienen la estructura de la situación –son analógicas–, pero reflejan o representan aspectos perceptibles desde el punto de vista del observador y no «todos» los aspectos; a pesar de esta subjetividad, tendrán, en todo caso, la estructura de la situación que representan. La estructura de los modelos mentales se articula en torno a tres conjuntos de elementos: entidades, propiedades de esas entidades y relaciones; son por ello más abstractos y es por eso por lo que no se restringen a una sola situación. En la medida en que las imágenes representan situaciones, no incluyen en sí mismas condiciones de verdad que permitan deducir fases anteriores o posteriores, y tampoco admiten la negación. Los modelos mentales, por su capacidad para operar con la abstracción, van a permitir el establecimiento de deducciones y de inferencias que dotan de poder explicativo y predictivo a su usuario.

Antes de seguir profundizando en los entresijos de la teoría de Johnson-Laird, repasemos la estructura de su triple código representacional con sus propias palabras:

Las representaciones proposicionales tienen una estructura de argumentos de predicado exactamente relacionada con la estructura lingüística y pueden contener cuantificadores y variables. Su estructura sintáctica precisa es desconocida y se han encontrado en la literatura varias teorías recorriendo desde redes semánticas hasta representaciones análogas al cálculo de predicados. Los modelos pueden ser tridimensionales, cinemáticos y dinámicos. Pero el pensamiento cotidiano depende de algunos conceptos que no pueden visualizarse; los modelos pueden incorporar estos predicados abstractos y pueden captar clases de situaciones de manera parsimoniosa. Por lo tanto, pueden representar cualquier situación y las operaciones en la misma pueden ser puramente conceptuales. Finalmente, las imágenes representan cómo algo se mira desde un punto de vista particular y las operaciones en imágenes son reordenamientos visuales o espaciales. Estas operaciones, no obstante, pueden servir como función simbólica. (Op. cit., pág. 124)

Los modelos mentales que postula el autor son, pues, representaciones mentales, como las proposiciones e imágenes que tradicionalmente consideraba la Psicología Cognitiva, y atienden a los siguientes principios representacionales (Johnson-Laird, 1994):

- Cada entidad se representa por un elemento (*token*) individual en el modelo, sus propiedades por propiedades de los *tokens* y las relaciones de las entidades, por relaciones entre los *tokens*.

- Las posibilidades alternativas pueden representarse por modelos alternativos.
- La negación puede representarse por anotaciones proposicionales; así, la deducción puede hacerse sin necesidad de reglas formales de inferencia como las propuestas en los sistemas de deducción natural.
- La información puede representarse implícitamente en orden a reducir la carga de la memoria de trabajo.
- El estatus epistémico de un modelo puede representarse por una anotación proposicional.

Barquero (1995) resume las características y rasgos esenciales de los modelos mentales como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Esquema de las características definidoras de los modelos mentales. (Barquero, 1995)

CARACTERÍSTICAS	MODELOS MENTALES
Referenciales	Son representaciones simbólicas de los referentes del discurso.
Concretos	Generalmente representan fenómenos o estados de hechos específicos y finitos.
Simplificados e incompletos	Suponen una reducción de la información a los aspectos más relevantes de la situación referida.
Dinámicos y flexibles	Se transforman de manera progresiva con la aparición de nueva información relevante.
Análogos	Presentan una analogía estructural y funcional respecto al estado de hechos o el fenómeno que representan.
Limitados	Se atienen en su construcción y manipulación a los límites de la memoria de trabajo.

b) Niveles

Delimitadas brevemente las diferencias entre los tres tipos de representación (proposiciones, modelos mentales e imágenes), así como sus niveles de actuación (proposicional/analógico), y una vez mostrado el poder de los modelos mentales, tanto en términos de funcionamiento de la mente, como en la superación de la polémica comentada, deberíamos adentrarnos en la forma en la que esto se construye, en el mecanismo mental subyacente, en los procedimientos que lo hacen posible, en definitiva.

Johnson-Laird plantea que podemos diferenciar distintos niveles que se relacionan entre sí y que interactúan. Podríamos aceptar que el nivel más alto fuera el de estas representaciones como elementos funcionales para operar en el mundo, y, por lo tanto, nivel en el que podemos indagar y sobre el que podremos hacer in-

ferencias a partir de la introspección. Pero este nivel es dependiente de los niveles inferiores, que son los que lo codifican y que permiten esas proposiciones, modelos mentales e imágenes como resultado de procedimientos efectivos subyacentes a las mismas. Son procedimientos comunes y son procedimientos que no tienen por qué ser conscientes, es más, que no deben ser conscientes, no es necesario que lo sean, del mismo modo que no era necesario, como ya se comentó, conocer el mecanismo intrínseco de un ordenador, sus procedimientos específicos, para los usuarios o que no era necesaria la lógica para razonar. ¿Cómo se construye este nivel «más alto» en la mente? Johnson-Laird da a esto una respuesta cuando se refiere a modelos construidos a partir del discurso:

El modelo mental se construye en la base de las condiciones de verdad de las proposiciones expresadas por las sentencias en el discurso. El significado de una sentencia, consistentemente con el principio de composicionalidad, es una función del significado de sus palabras y de las relaciones sintácticas entre ellas. (Johnson-Laird, 1983, pág. 407)

O sea que, para entender un discurso, construimos un modelo mental y, para ello, previamente formamos proposiciones en función de las sentencias que oímos o leemos; si estas proposiciones que hacemos de esas sentencias tienen valor de verdad para nosotros, se van entrelazando, incardinando, relacionando, hasta dar un modelo mental que nos permite la interpretación del discurso. Si las proposiciones no se articularan, no se relacionaran, nuestra comprensión del discurso sería nula o muy baja porque sólo entenderíamos frases sueltas. Pero el significado de las sentencias y, consecuentemente, el significado de las proposiciones que construimos a partir de ellas, es función del significado de las palabras y de las relaciones que se establecen entre las mismas, de modo que de este razonamiento se sigue que hay una vertiente semántica y una vertiente sintáctica, como ya se ha apuntado, sin las cuales no se puede asignar significado, porque no se puede construir el modelo mental que lo atribuye. Pero surge otro problema: las palabras son símbolos para etiquetar regularidades a las que llamamos conceptos; son regularidades porque tienen una serie de atributos que los caracterizan y sobre los que hay un consenso de modo que se puedan compartir esos significados.

Esta cuestión es igualmente aplicable a las imágenes en la medida en que también tienen un componente semántico. Son analógicas porque representan los estados de las cosas, pero esas cosas también se etiquetan con palabras que simbolizan conceptos. Si los modelos mentales, en última instancia, al menos de momento, se construyen a partir de conceptos, de la percepción de los mismos como fuente primaria, si bien no sólo con eso pues podemos concebirlos y, en todo caso, se requieren una serie de reglas (aspectos) sintácticas, ¿cómo se construyen estos conceptos que están en su base? Johnson-Laird (op. cit., pág. 410) a este respecto comenta: *«Lo que nosotros podemos conocer del mundo, no obstante,*

depende de nuestro aparato conceptual y debe ser posible descubrir las restricciones con las que la mente puede concebir de este modo intentando llegar al final del problema ontológico». El autor apunta tres restricciones que tienen que ver con el hecho de que algunos conceptos sean naturales y susceptibles de representarse en modelos mentales, mientras otros son artificiales y habitualmente no representados en dichos modelos; con la naturaleza de los primitivos con los que se construyen los modelos y con la organización de los conceptos. En todo caso, ¿cómo se resuelve el problema?

Para dar una respuesta a lo anterior, necesariamente tenemos que descender un nivel, digamos, en la estructura operativa de la mente. Como ya se ha comentado, la teoría establece que la mente emplea diferentes niveles de organización, niveles que son autónomos y que definen su propio contexto de explicación. Pues bien, en el nivel que nos ocupa pretendemos, desde la teoría, dar respuesta al problema planteado con los conceptos. Johnson-Laird postula que la mente opera con primitivos conceptuales, conceptos simples y conceptos complejos.

Hay un conjunto finito de primitivos conceptuales que permiten el aumento al correspondiente conjunto de campos semánticos y hay un conjunto finito posterior de conceptos, o de «operadores semánticos», que suceden en todos los campos semánticos, sirviendo para construir conceptos más complejos más allá de los primitivos subyacentes. (Op. cit., pág. 413)

Lo que se propone es que el significado de las palabras semánticamente simples se articula en torno a, o sobre la base de, los primitivos conceptuales. El significado de las palabras semánticamente complejas se construirá sobre la base de los primitivos adquiridos por el significado de las palabras simples. De este modo podremos distinguir: primitivos conceptuales, conceptos simples y conceptos complejos, siendo definibles los elementos de los dos últimos y no los elementos del primero. Los primitivos conceptuales se organizan en la mente en torno a los campos semánticos propuestos por el autor como conjuntos de palabras que tienen un núcleo común en su significado. Sobre estos elementos de los campos semánticos actúan los operadores semánticos. Son ejemplos de operadores semánticos espacio, tiempo, causación, intención, etc. «*Los operadores semánticos suministran, precisamente, el armazón alrededor del que organizamos el conocimiento general subyacente a la plausibilidad del discurso*» (op. cit., pág. 414). Los operadores semánticos, por tanto, dan significado a las proposiciones que hacemos y a las imágenes que imaginamos, al establecer conexiones entre palabras (conceptos) de diferentes campos semánticos. De este modo y en este contexto se justifica el aprendizaje porque el conocimiento se construye a partir de una base, los modelos se construyen partiendo de un sustrato conceptual que se desarrolla semántica y sintácticamente con el concurso de los primitivos conceptuales, campos semánticos y operadores semánticos.

Pero de lo anterior no sólo se deriva una justificación cognitiva del aprendizaje, sino algo que es fundamental en la Teoría de los Modelos Mentales: el innatismo. Los primitivos conceptuales son innatos. Es, como vemos, un innatismo relativo ya que se defiende la capacidad humana de aprender. Estos primitivos conceptuales innatos, que definen campos semánticos delimitados, se manejan, como se ha expresado, con operadores semánticos. ¿Podríamos considerar a estos operadores o, más concretamente, el resultado de la función que realizan en términos de la obtención de la representación, como primitivos procedimentales? ¿Serían necesarios estos primitivos procedimentales o no es más que cuestión de procedimientos efectivos? La respuesta más plausible guarda relación con éstos últimos. «*Cualquier función computable puede construirse de un grupo de funciones primitivas (el 0, sucesor y funciones de identidad) usando tres clases de bloques constructivos (composición, recursión primitiva y minimización)*» (op. cit., pág. 411). Con estas tres funciones primitivas y con estos tres operadores construimos, en este nivel de análisis, los modelos mentales. Y, siguiendo la cita anterior «*si el aprendizaje conceptual sucede en un camino análogo, se sigue que un concepto no adquirido es primitivo, pero construido de primitivos o de conceptos previamente adquiridos. Por lo tanto, los primitivos no pueden ser adquiridos y deben ser innatos*» (íbid.).

Descendamos un escalón más; las últimas líneas nos dan pie para ello, ya que hemos recuperado con ellas dos elementos fundamentales de la teoría: procedimientos efectivos y carácter computacional de la mente y aún no hemos explicado su funcionamiento en estos términos. Lo que hemos visto hasta ahora es que la mente contiene procedimientos recursivos, representaciones proposicionales y modelos mentales. Pero, ¿de qué depende esto? ¿Cómo está funcionalmente organizado? Esta organización funcional depende del poder computacional y de la velocidad computacional, y para ello:

Lo que se necesita idealmente es un sistema que tenga flexibilidad, resistencia a la degradación y una respuesta rápida a las emergencias. Tal sistema necesita los beneficios de ambos, una organización centralizada y distribuida: un procesador de alto nivel que monitoriza y controla todas las metas de procesadores de nivel más bajo, que por turnos monitoriza y controla los procesadores hasta un nivel más bajo, y, por consiguiente, en una jerarquía de procesadores paralelos que al más bajo nivel gobiernan sensaciones e interacciones motoras con el mundo externo. (Op. cit., pág. 463)

Ahora sí que estamos hablando de la mente en términos computacionales y ahora sí le estamos asignando procedimientos efectivos. La mente requiere una serie de procesadores que son los que determinan o definen los primitivos conceptuales, los primitivos procedimentales, los conceptos simples, los conceptos complejos, los campos semánticos, los operadores semánticos, es decir, lo que constituye las entidades básicas del segundo nivel de análisis que ya se ha mos-

trado. Esos procedimientos operan computacionalmente, del mismo modo que lo hace un programa de ordenador y lo hacen en un código característico al que no tenemos acceso y al que no necesitamos tener acceso para que el sistema funcione y para actuar. Ese código tendrá una semántica y una sintáctica propias, su propio lenguaje, sus rasgos característicos, como lo tienen también los otros dos niveles de análisis ya comentados. Pero necesitamos poder y velocidad computacional porque nuestras respuestas son rápidas. Los procedimientos tienen que ser efectivos porque ellos son los que tienen que construir, a partir de bloques básicos, los edificios que nos permiten representar el mundo a través de los modelos. Esos procedimientos se articulan en torno a los procesadores. Pero, ¿cómo los organizamos para dar respuesta a las demandas que soportan? ¿Cómo confeccionamos el programa para que pueda atender a lo que son nuestras necesidades de representación de análogos del mundo? ¿Cómo articulamos funcionalmente estos procesadores para que den cuenta de lo que la teoría pide de ellos?

«El mundo» de la informática tiene una salida para estas cuestiones. Tendrá que haber procesadores en paralelo porque esto permite que se puedan dar múltiples respuestas y que sean independientes. Pero no puede ser sólo así porque no se podría explicar el funcionamiento de procesos que requieren pasos anteriores y suponen dependencia entre unos pasos y otros, de lo que se deduce que tendrá que haber, también, una organización distribuida a partir de un organizador central que coordine todas las acciones. De este modo, tendremos una organización funcional mixta centralizada y distribuida en paralelo que, con el conjunto de procesadores de los que dispone y con un lenguaje propio, es capaz de procesar información en este nivel más bajo, información que da como resultado los primitivos conceptuales que ya vimos a partir de los cuales se construyen las proposiciones, los modelos mentales y las imágenes que nos permiten representar el mundo en el que vivimos.

Pero queda pendiente una cuestión de vital importancia: ¿cuál es la estructura física sobre la que descansa este nivel computacional más bajo? Johnson-Laird considera que la organización funcional del cerebro y del sistema nervioso dan cumplida cuenta de estas demandas. Podemos considerar que el sistema nervioso tiene una organización jerárquica, que determina un control central, representado por el cerebro, funcionando al mismo tiempo que un conjunto de conexiones neuronales que representarían los múltiples procesadores. Los elementos o entidades computacionales, en este contexto, serían las propias moléculas (proteicas ya que la especificidad es una de sus características) y los procedimientos efectivos para «operar» con ellas estarían constituidos por las reacciones químicas que éstas siguen.

Por analogía con el código de máquina de ordenadores digitales, en los que todo el alto nivel en un código fuente de programador se compila en cadenas de símbolos binarios, así se puede argüir que todas las representaciones mentales están com-

piladas en última instancia en el «código de máquina» del cerebro –i.e., impulsos nerviosos y eventos sinápticos–. Esta versión de la hipótesis puede ser irrefutable en la asunción de que todos los fenómenos mentales finalmente dependen de acontecimientos físicos en el cerebro. (Johnson-Laird, 1996, pág. 91)

Por lo tanto, como se ve, la Teoría de los Modelos Mentales ha encontrado un sustrato biológico sobre el que apoyar los cimientos de la estructura cognitiva, de la mente y de su funcionamiento, un funcionamiento que explica, en síntesis, como sigue:

- La mente emplea diferentes niveles de organización.
- El proceso mental de cada nivel lleva el contexto en su explicación.
- El procedimiento seguido por cada uno de esos niveles no es autónomo sino que es interactivo.

c) Analogías

Como se ha observado, Johnson-Laird define los modelos mentales como análogos estructurales del mundo, recurre a la analogía del ordenador para explicar el funcionamiento de la mente, equipara análogamente el sistema nervioso a una máquina, etc. La analogía para el autor, por lo que se ve, juega un papel fundamental en el procesamiento de la información y por ello conviene aclarar cuál es el significado que le asigna.

Las analogías son herramientas para el pensamiento y la explicación. La realización de que un dominio problemático (el blanco) es análogo a otro dominio más familiar (la fuente) puede capacitar a un pensador para alcanzar una mejor comprensión del dominio blanco transportando conocimiento del dominio fuente. (Johnson-Laird, 1989, pág. 313)

Así se expresa en un documento que trata la analogía y el ejercicio de la creatividad. Se requiere un puente entre el mundo nuevo y lo conocido, un intermediario, y por eso recurrimos a representaciones analógicas que nos permiten explicar y predecir, que facilitan la tarea de la aprehensión de significados. Pero no se trata de una tarea fácil, pues hemos de correlacionar, interpretar, recuperar contenidos que posibiliten todo ello y por eso también las analogías, su generación y su comportamiento deben ser explicados en términos psicológicos.

Una teoría psicológica de las analogías debe, por tanto, considerar tres fenómenos principales: a) el descubrimiento o recuperación de analogías de varias clases desde lo profundo hasta lo superficial; b) el éxito o fracaso de las analogías en los procesos de pensamiento y aprendizaje; y c) la interpretación de las analogías que se han usado en las explicaciones. (Ibid.)

Los modelos mentales, construidos como hemos visto que se construyen contemplados con el significado que Johnson-Laird les atribuye, son análogos estructurales del mundo, son representaciones analógicas que posibilitan la comprensión del mismo precisamente por eso, porque trabajan con elementos conocidos para entender otros que son nuevos.

d) Principios

Ahora que sabemos cómo se construyen los modelos mentales como análogos estructurales del mundo, que sabemos cuál es la base que los sustenta, *a priori*, cuanto menos, estamos en condiciones de entender los principios que Johnson-Laird le asigna a los mismos:

1. Principio de la computabilidad: los modelos mentales y la maquinaria para construirlos e interpretarlos son computables. (Johnson-Laird, 1983, pág. 398)
2. Principio de lo finito: un modelo mental debe ser finito en tamaño y no puede representar directamente un dominio infinito. (Íbid.)
3. Principio del constructivismo: un modelo mental es construido por elementos (*tokens*) dispuestos en una estructura particular para representar un estado de cosas. (Íbid.)
4. Principio de economía en los modelos: una descripción de un estado simple de cosas se representa por un modelo mental simple, incluso si la descripción es incompleta o indeterminada. (Op. cit., pág. 408)
5. Los modelos mentales pueden representar directamente indeterminaciones si y sólo si su uso no es computacionalmente intratable, i.e., no hay un crecimiento exponencial en complejidad. (Op. cit., pág. 409)
6. Principio de predicabilidad: un predicado puede aplicarse a todos los términos a los que otro se aplica, pero no puede tener intersección en el alcance de la aplicación. (Op. cit., pág. 411)
7. Principio del innatismo: todos los primitivos conceptuales son innatos. (Íbid.)
8. Hay un conjunto finito de primitivos conceptuales que aumentan el correspondiente conjunto de campos semánticos, y hay un posterior conjunto finito de conceptos, u «operadores semánticos», que se encuentran en cualquier campo semántico sirviendo para construir conceptos más complejos más allá de los primitivos subyacentes. (Op. cit., pág. 413)
9. Principio de la identidad estructural: las estructuras de los modelos mentales son idénticas a las estructuras de los estados de cosas tanto percibidas como concebidas, que los modelos representan. (Op. cit., pág. 419)
10. Principio de la formación de conjuntos: si un conjunto ha sido formado de conjuntos, entonces los miembros de esos conjuntos deben especificarse primero. (Op. cit., pág. 429)

Estos principios nos permiten entender el constructo «modelo mental» y tienen su razón de ser en el sustrato teórico que constituye el fondo de la teoría. A voz de pronto y leídos como una mera relación es evidente que asustan y abruma, pero su comprensión resulta clara si volvemos atrás y analizamos las consecuencias de los elementos clave que parece manejar Johnson-Laird en sus tesis (carácter computacional, procedimientos efectivos, revisión recursiva, modelo mental), por una parte; y, por otra, si nos damos cuenta de que modelos mentales no es más que una consecuencia de todo ello. Estos principios constituyen la propia definición de lo que es un modelo mental en este marco teórico, así como la forma en la que actúa; también explicitan sus restricciones. Se recordará que se expresaba un doble nivel, muy sutil y discutible, por supuesto, de significación de procedimiento efectivo. Está claro que no en términos de ejecución por parte de una máquina, pero sí en términos prácticos, podríamos decir que estos principios constituyen, en su conjunto, un «procedimiento efectivo» para identificar lo que es un modelo mental y lo que no lo es, en esta teoría, en función de que los principios se atiendan o no.

e) Tipificación

Definido claramente, desde esta perspectiva, el concepto de modelo mental que da nombre a la teoría, conviene y procede pasar a su tipificación. Johnson-Laird (1983) hace una primera aproximación que, desde su punto de vista, no es más que tentativa diferenciando modelos físicos, que representan el mundo físico, y modelos conceptuales que representan entidades más abstractas. Dentro de los modelos físicos se distinguen:

- **Modelo relacional simple:** es un modelo en el que se representan tres conjuntos finitos: un primer conjunto de elementos de entidades físicas que también son finitas; un segundo conjunto de propiedades físicas de esas entidades, también finitas; y un tercer conjunto de relaciones entre los elementos que guardan relación con las interacciones físicas entre aquellas entidades. Representamos, en este modelo, tres conjuntos finitos que se corresponden con otros tres conjuntos, también finitos, de entidades que son reales, que están en el mundo.
- **Modelo espacial:** se establecen relaciones espaciales entre los elementos que constituyen los conjuntos del modelo anterior; por lo tanto, es un modelo más avanzado ya que el anterior sólo representa los conjuntos.
- **Modelo temporal:** no sólo se establecen relaciones espaciales entre elementos de aquellos tres conjuntos, sino que hay una interacción temporal entre ellos, en la medida en que no es solamente una representación estática, sino que tiene un antes y un después en función del tiempo.
- **Modelo cinemático:** es un modelo temporal psicológicamente continuo ya que representa cambios que dan cuenta de los cambios observados en el mundo, cambios que no se producen a saltos, bruscamente.

- **Modelo dinámico:** representa relaciones causales en el modelo anterior; un modelo como éste permite diferenciar causa/efecto a través de una combinación de más alto nivel –más estructurada jerárquicamente– de los elementos de los conjuntos definidos en el modelo relacional.
- **Imagen:** su fuente es la imaginación visual. Representa elementos de aquellos conjuntos relacionados de una manera concreta, espacial, que responde a un punto de vista particular.

Como ha quedado de manifiesto, se observa un marcado carácter evolutivo en esta clasificación de los modelos físicos. Todos ellos operan con tres conjuntos (entidades, propiedades de esas entidades y relaciones entre las mismas), estableciendo operaciones distintas entre sus elementos que, progresivamente, dotan a los individuos que los posean de un mayor poder explicativo y predictivo de su mundo, en la medida en que les permiten representarlo como análogos más o menos consistentes con el mismo. Esta tendencia debería tener un correlato en los procesos de enseñanza y aprendizaje, consistentemente con lo que se ha expuesto relativo a los procesos de procesamiento de la información. Pero es un mundo físico, es decir, se ha categorizado la representación de entidades físicas. Veamos cómo diferenciar los modelos conceptuales⁹ que, recuérdese, representan entidades abstractas de ese mundo.

- **Modelo monádico:** representa, también, tres conjuntos finitos: un primer conjunto de elementos que representan entidades individuales y propiedades; un segundo conjunto de dos relaciones binarias (identidad y no identidad) capaces de operar sobre cualquier par de elementos de conjuntos diferentes; y un tercer conjunto de elementos notacionales para representar la certeza de la relación establecida.
- **Modelo relacional:** introduce un número finito de relaciones, que pueden ser abstractas, en el modelo anterior, por lo que, a diferencia de aquél, permite representar más predicados y más complejos.
- **Modelo metalingüístico:** contiene elementos que se corresponden con expresiones lingüísticas y relaciones abstractas entre ellas y elementos en un modelo mental de algún tipo. Las expresiones lingüísticas permiten operar sobre elementos que son, incluso, de otros modelos.
- **Modelo conjunto teórico:** se representan elementos, también de un conjunto finito, que directamente representan conjuntos. Pueden también representar elementos provenientes de conjuntos finitos de propiedades abstractas.

9. Conviene aclarar que «modelos conceptuales» como constructo tiene otras significaciones desde enfoques teóricos distintos; muchas referencias a este constructo lo caracterizan como los modelos construidos por la ciencia y no como entidades mentales, como hace Johnson-Laird.

También aquí se observa una evolución tendente a la representación de un mayor grado de abstracción. En ambos casos resulta fácil ver la aplicación de los principios asignados a los modelos mentales a esta tipificación, aunque quizás el ejemplo más claro sea el principio de lo finito. El propio Johnson-Laird en un trabajo más reciente que ya se ha comentado (1996), al hacer una revisión retrospectiva, repasa el concepto de imagen y reconoce el carácter provisional de su clasificación original que, en todo caso, como se ha dicho, no era más que una aproximación. En dicha revisión plantea como tipos: modelo tridimensional, modelo cinemático y modelo dinámico. En todo caso, y a pesar de ser originalmente tentativa,

La tipología ha revelado un carácter esencial de los modelos mentales: derivan de un conjunto relativamente pequeño de elementos y operaciones recursivas en esos elementos; su poder representacional depende del posterior conjunto de procedimientos para construirlos y evaluarlos. Las mayores restricciones de los modelos mentales derivan de la estructura percibida o concebida del mundo, de las relaciones conceptuales que gobiernan la ontología y de la necesidad de mantener un sistema libre de contradicciones. (Johnson-Laird, 1983, pág. 429-430)

Construimos modelos mentales que son analógicos pero que no lo representan todo y parece desprenderse de la categorización presentada, fundamentalmente en los modelos conceptuales, que se relacionan hasta los propios modelos. Los modelos mentales son análogos estructurales del mundo, tal como lo percibimos o lo concebimos. Si lo percibimos, podemos entender que tenemos un núcleo central como modelo que nos va permitiendo construir modelos sucesivos cada vez más amplios.

Hay modelos dentro de modelos y esto es relevante. Hemos construido modelos dentro de modelos para representar un mundo percibido. Si queremos representar una información concebida a partir del discurso, y siguiendo el mismo esquema, representamos un gran modelo del mundo que progresivamente, a medida que se produce el discurso, incorpora nueva información que va entrelazando, relacionando, incardinando las sentencias, modelo global que nos permite, de este modo y en función de ello, interpretarla.

Si bien se pueden establecer estas diferencias en función de que el mundo sea percibido o concebido, diferencias que no se explicitan tan claramente en el discurso de Johnson-Laird, la verdad es que el resultado final es el mismo y eso es lo que resulta extraordinariamente importante y potente en términos de nuestra capacidad representacional y explicativa: hay modelos dentro de modelos. Construimos modelos incardinados, incrustados, dentro de modelos, activamos unos modelos que están dentro de otros modelos y mantenemos opacos unos modelos que están dentro de otros. ¿Cómo hacemos esto? ¿Cómo y por qué activamos unos, incrustamos otros, ampliamos otros, los manejamos como si de un zoom se tratara? ¿Por qué podemos activar varias ventanas, en lenguaje informático, traba-

jar con varios programas y archivos al mismo tiempo, y mantener otros ocultos? ¿Cuál es el procedimiento efectivo que nos permite hacer esto? Los modelos mentales son funcionales, se construyen «en función de», de manera que activarán todo aquello que dé las respuestas deseadas al individuo que los construye para que respondan a aquello por lo que los construye. Y el procedimiento que lo permite es la revisión recursiva que, como se recordará, se define como un procedimiento efectivo, ¿pero efectivo para qué? Precisamente para realizar esa selección, esa «introspección» que permite activar los modelos necesarios y suficientes a ese individuo para interpretar ese mundo al que se enfrenta y sobre el que actúa. Esta revisión recursiva es lo que nos permite establecer diferencias entre los modelos físicos y los modelos conceptuales.

En la figura 1 se muestran dos dibujos de alumnos a los que se les solicitó que representaran gráficamente el funcionamiento y la estructura de una célula. Son estudiantes de 17/18 años, que cursaron Biología de COU (Curso escolar 1996/1997). Observando esos dibujos, ¿se podría decir que han construido el mismo modelo mental sobre la célula? ¿Son semejantes sus modelos mentales de célula, ante esta tarea, en términos explicativos y predictivos? ¿En ambas representaciones externas se muestran diferencias en la revisión recursiva que han realizado mentalmente ambas personas?

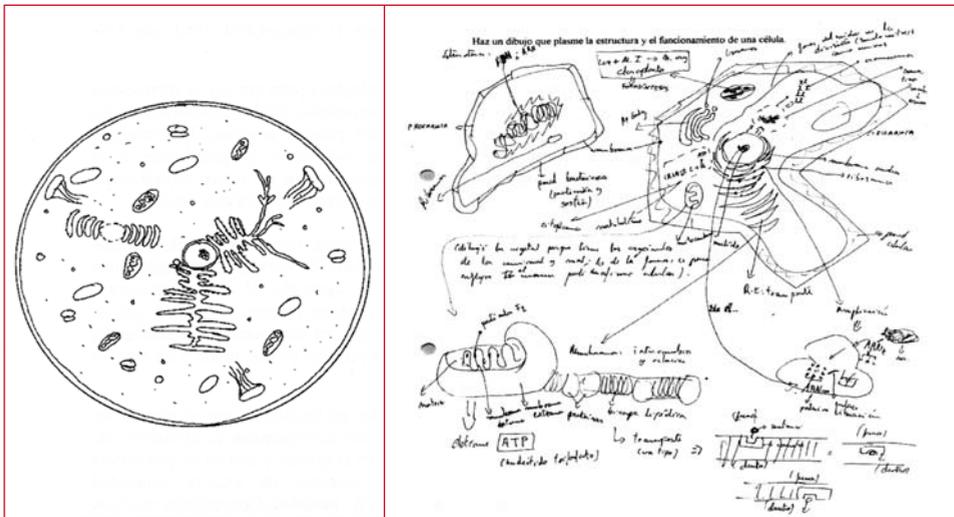


Figura 1. Dibujos elaborados por dos alumnos para representar su forma de entender la célula.

La revisión recursiva es, probablemente, lo que da el mayor poder, la mayor potencialidad a los modelos mentales como procedimiento efectivo productivo y muy eficaz para representar análogos estructurales del mundo, que es lo que en definitiva son esos modelos mentales.

f) Revisión recursiva y razonamiento/deducción

Desde esta perspectiva, con esos modelos mentales y con esa revisión recursiva es como podemos explicar los procesos de razonamiento y de deducción e inferencia que la mente lleva a cabo y, consecuentemente, la adquisición de conocimiento.

La teoría de modelos postula un mecanismo para hacer conocimiento progresivamente disponible. Los razonadores empiezan probando la formación de un modelo de la situación corriente y la recuperación de conocimiento relevante es más fácil si pueden formar un modelo simple que contenga todas las entidades relevantes. Una vez que han formado un modelo inicial, el conocimiento empieza a ser disponible para ellos de manera sistemática. (Johnson-Laird, 1994, pág. 202)

Johnson-Laird pretende de su teoría que sea también una teoría psicológica del razonamiento y de la deducción, porque entiende que ni las reglas formales de inferencia ni las reglas de contenido específico dan cuenta de ello, al no dar explicaciones completas de sus mecanismos psicológicos subyacentes, como ya se comentó. Las reglas formales de inferencia desvalorizan el contenido obviando, por ejemplo, el conocimiento general y las creencias, así como su papel fundamental en esos procesos de razonamiento. Las reglas de contenido específico por sí solas tampoco satisfacen la capacidad humana de desarrollar deducciones válidas que suponen alguna competencia lógica. El razonamiento es considerado por Johnson-Laird como una habilidad que se adquiere y con la que se puede operar, es decir, que se puede ejecutar de diversas maneras más o menos exitosas para el individuo.

Los modelos mentales como representaciones constituyen también desde esta perspectiva una tercera vía. Disponemos de un constructo que nos permite explicar en términos psicológicos los procesos de razonamiento inherentes a la mente humana, su capacidad de establecer deducciones e inferencias, puesto que «*deducir es mantener información semántica, simplificar y dar una nueva conclusión*» (Johnson-Laird y Byrne, 1998, pág. 35), y eso se consigue a través de la construcción de modelos mentales. Son éstos los que, por medio de manipulaciones físicas y espaciales, manipulaciones conceptuales y pensamiento analógico, como procesos, nos dotan de aquellas capacidades deductivas y de razonamiento. ¿Y cómo se explica, entonces, todo ello? Usemos nuevamente referencias originales.

De acuerdo con esta teoría, el proceso de deducción depende de tres estados de pensamiento [...]. En el primer estado, comprensión, los razonadores usan su conocimiento del lenguaje y su conocimiento general para comprender las premisas; construyen un modelo interno del estado de asuntos que las premisas describen. Una deducción puede también depender de la percepción y, así, de un modelo del mundo perceptualmente basado. [...]. En el segundo estado, los razonadores prueban la formulación de una descripción parsimoniosa de los modelos que han construido. Esta descripción afirmará algo que no está indicado explícitamente en

las premisas. Donde no hay una conclusión, responden que no se sigue nada de las premisas. En el tercer estado, los razonadores buscan modelos alternativos de las premisas en los que su supuesta conclusión es falsa. Si no hay un modelo tal, entonces, la conclusión es válida. Si hay tal modelo, entonces, los razonadores prudentes volverán a la segunda fase probando describir si hay alguna conclusión verdadera en todos los modelos construidos. (Op. cit., págs. 48 y 49)

Lo que se plantea, tal como ya se comentó, son procedimientos semánticos, o sea, determinados procesos lógicos de manipulación, pero en los que el contenido ejerce un papel crucial, pues es lo que va a determinar la relevancia asignada por el sujeto y, por tanto, sus posibilidades de manejo sobre el mismo, ya que es ese contenido el que adquiere significado. La mente humana, así, lo que hace es construir algunos modelos que den cuenta de las tareas de razonamiento y deducción a las que tiene que hacerle frente, prueba con ellos haciéndolos trabajar, o sea, poniéndolos en acción y sólo opera con ese simple conjunto de posibles modelos mientras le sean suficientes y útiles. No construirá otros mientras no se vea forzada a tener en cuenta otras alternativas por insuficiencia de las anteriores o por consideración de nuevos elementos relevantes. Así, el razonamiento se contempla como una simulación mental de la realidad del individuo, de sus hipótesis, que comprueba para ver su grado de verdad, y no como la simple aplicación de reglas sintácticas vacías de contenido o semántica.

De este modo, disponemos ahora de una explicación para las deducciones erróneas o inconsistentes como función del análisis de todos los modelos posibles de las premisas (Johnson-Laird y Byrne, 1998). Atendiendo a lo expuesto, ¿tiene alguna ventaja explicar los procesos de razonamiento e inferencia por intermedio de los modelos mentales? Parece ser que sí, si tenemos en cuenta, en primer lugar, que trabajar con modelos mentales supone y permite conjuntos de posibilidades, incluso de manera comprimida, y además pueden ser conjuntos dentro de conjuntos (modelos dentro de modelos). De este modo, se justifica al mismo tiempo inducción, deducción y pensamiento probabilístico por estimación de posibles estados de asuntos. Y, en segundo lugar, se hacen predicciones basadas en la distinción entre información explícita e implícita y en las limitaciones de procesamiento de la memoria de trabajo (Johnson-Laird, 1994). Podemos explicar, pues, la estructura y el comportamiento de la mente humana, su complejidad, su versatilidad, etc. y no sólo el razonamiento y la deducción recurriendo a modelos mentales como sus elementos articuladores, podemos, en definitiva, o Johnson-Laird puede explicar cómo es y cómo funciona la mente, como hemos tenido ocasión de comprobar en las páginas precedentes, a través de la construcción y manipulación de los modelos mentales que dan cuenta de todos y cada uno de sus procesos y mecanismos característicos.

Una vez expuestos los presupuestos esenciales de la Teoría de los Modelos Mentales, la figura 2 muestra un mapa conceptual elaborado con sus conceptos

clave. Ocupan una posición central «mente» y «mundo», que constituyen el eje fundamental de la explicación de Johnson-Laird. En un segundo nivel se sitúan: mente computacional, procedimientos efectivos, revisión recursiva y representaciones, que son los conceptos que, según él, explican el funcionamiento de la mente para aprehender el mundo. Finalmente, se explicitan las tres representaciones mentales que este autor considera: proposiciones, imágenes y modelos mentales.

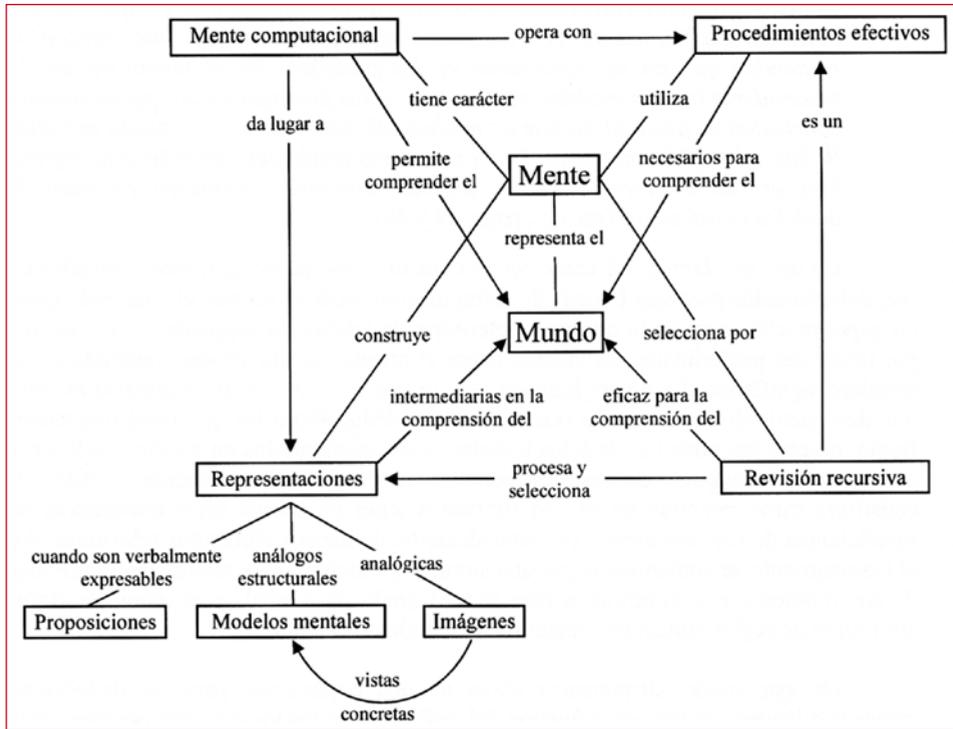


Figura 2. Mapa conceptual elaborado para los conceptos clave de la Teoría de los Modelos Mentales (Rodríguez, 2000)

4. ¿Es una teoría de la mente adecuada explicativamente la Teoría de los Modelos Mentales?

Parece conveniente en este momento, una vez presentada la teoría, sus elementos fundamentales y la caracterización del constructo que le da nombre, hacer una «revisión recursiva», una reconciliación integradora en términos ausubelianos, y volver atrás para ver en qué medida la construcción teórica que Johnson-Laird propone da cuenta de los problemas que él quiere resolver y, por ende, de los criterios que asegura que tienen que contemplar las teorías científicas de la mente.

La teoría de los modelos mentales se ha pensado para explicar los procesos superiores de la cognición y, en particular, la comprensión y la inferencia. Sugiere un inventario simple de tres partes para el contenido de la mente: hay procedimientos recursivos, representaciones proposicionales y modelos. Los procedimientos son indecibles. Llevan a cabo tareas como el mapeamiento de las representaciones proposicionales dentro de los modelos. También proyectan un modelo subyacente dentro de otras formas especiales de modelos –una visión bidimensional o imagen–. Hay presumiblemente algunas otras formas de procedimiento que juegan una parte en el pensamiento. Prototipos y otros esquemas, por ejemplo, son procedimientos que especifican por defecto valores de ciertas variables en modelos mentales. (Johnson-Laird, 1983, págs. 446 y 447)

La cita precedente parece acertada para definir la teoría de Johnson-Laird ya que incorpora su pretensión y los elementos fundamentales de la misma de una forma muy sintética. Pero la teoría pretendía atender a qué es lo que se computa, a cómo se llevan a cabo esos cómputos, y a cuál es la neurofisiología subyacente, lo que traducíamos en tres subteorías para dar respuesta a estos problemas: una subteoría general de lo que computa la mente, una subteoría del programa que utiliza para llevar cabo los cómputos y una subteoría de cómo se materializa el programa dentro del sistema nervioso. Es difícil resumir eso en una sola frase. ¿Da respuesta este documento a las posibles respuestas del autor al respecto? A juzgar por lo expuesto, sí en la medida en que se muestra que la mente opera computacionalmente con proposiciones, modelos mentales e imágenes (primera subteoría); que lo hace trabajando a distintos niveles a través de una organización funcional que también se ha explicado (segunda subteoría); y que se sustenta físicamente en una estructura real cuyo conocimiento actual, cuanto menos, puede soportar un funcionamiento semejante (tercera subteoría). En este contexto y desde esta perspectiva, hemos de concluir que Johnson-Laird llena de contenido explicativo los problemas que aborda y, consecuentemente, llena de contenido la Teoría de los Modelos Mentales.

Justo es reconocer lo expuesto porque, si bien existe todo un cuerpo teórico, como acabamos de ver, que atiende a sus distintos niveles de alcance, y que se justifica con profusión de investigaciones y experiencias en los documentos originales del autor, lo que ha trascendido es, lógicamente, su premisa básica: «La principal asunción de la teoría que yo estoy desarrollando es que la semántica del lenguaje mental traza el mapa de las representaciones proposicionales dentro de modelos mentales de mundos reales o imaginarios: las representaciones proposicionales se representan con respecto a modelos mentales» (Johnson-Laird, 1985, pág. 90), y esto no es más que la punta de un iceberg, la superficie de todo un entramado teórico que justifica que esto sea así. Su pretensión era construir una teoría que no contuviera ingredientes mágicos y por eso y para eso ha procurado explicaciones para

cerrar todas las puertas que él consideraba abiertas, para satisfacer todas las lagunas que había encontrado, para superar todos los escollos con los que había tropezado. Otra cosa es que se esté de acuerdo con esas explicaciones y argumentos, pero de lo que no cabe la menor duda es de que los aporta y lo hace en forma de un cuerpo teórico coherente y consistente. Pero Johnson-Laird, como se mostró al principio de este capítulo, atribuía a cuatro criterios la consideración de una teoría de la mente como una teoría científica. Veamos si su teoría los cumple.

La teoría adopta inferencias tanto implícitas como explícitas. Las inferencias implícitas dependen de la construcción de un modelo mental simple; las inferencias explícitas dependen de la búsqueda de modelos alternativos que pueden falsificar conclusiones aceptadas. (Johnson-Laird, 1983, pág. 144)

Este criterio se cumple ya que la teoría justifica el comportamiento de la mente en función de modelos mentales que son extraordinariamente versátiles, entre otras razones, por su posibilidad de revisión recursiva frente a esas inferencias, sean del tipo que sean.

La teoría resuelve la paradoja central de cómo los niños aprenden a razonar, a saber, cómo podrían adquirir reglas de inferencia antes de que fueran capaces de razonar válidamente. La paradoja se resuelve porque descansa en una falsa asunción: los niños no necesitan ni adquirir reglas de inferencia ni procesos innatamente en orden a hacer deducciones válidas. Es posible razonar válidamente sin lógica. (Op. cit., pág. 145)

Y es posible hacerlo porque se construyen modelos mentales para ello que, en la base, y articulados a partir de procesadores, poseen una serie de primitivos conceptuales que son innatos pero no todo el conocimiento innato. Y lo que es evidente es que no esperan a desarrollar reglas de inferencia para razonar, que lo hacen antes porque los modelos que construyen se lo permite. Por lo tanto, este criterio también se ve satisfecho.

La teoría es enteramente compatible con el hecho de que los seres humanos son capaces de hacer deducciones válidas. (Íbid.)

Son capaces de hacerlo ya que pueden desarrollar, construir modelos dentro de modelos y aplicarles el procedimiento efectivo de la revisión recursiva que les da como resultado deducciones válidas. La teoría aporta una explicación razonable para satisfacer este criterio.

Es también compatible con los orígenes de la lógica. Asume que las personas hacen inferencias sin recurrir a la lógica mental. (Íbid.)

Las personas hacen inferencias sin recurrir a la lógica mental porque la construcción de un modelo mental resulta más eficaz y éste es, quizás, su mayor poder. Este modelo tiene componentes lógicos que permiten verificar modelos mentales, siendo, por lo tanto, compatible con los orígenes de la lógica. Este criterio también está presente en el marco de la teoría.

Johnson-Laird nos ha ofrecido un marco teórico de referencia que responde a lo que él entiende, como se ha dicho, que debe ser una teoría científica de la mente, una teoría adecuada explicativamente.

Su objetivo es simplemente establecer la viabilidad de una teoría basada en el supuesto de que los significados de las palabras son procedimientos de descomposición que relacionan los modelos mentales con el mundo y, en particular, en el uso de procedimientos léxicos que interactúan con procedimientos generales para construir, manipular y evaluar modelos mentales. (Johnson-Laird, 1987, pág. 202)

Esta pretensión de la teoría se ha alcanzado.

5. Posibilidades y limitaciones de la Teoría de los Modelos Mentales

Se concluía en el apartado anterior que la teoría reúne los requisitos necesarios para su consideración como tal (explica los «cómo» y los «porqué» del funcionamiento de la mente), es una teoría científica del razonamiento humano y es una teoría adecuada explicativamente. Pero, también se ha dicho, es una teoría provocadora, incitante, discutible. Explicitar dudas y problemas surgidos a lo largo de su estudio, así como aspectos discutibles de la misma parece conveniente en aras de comunicar y compartir los significados que las reflexiones al respecto generen; su discusión en este nivel y en este contexto reforzaría su validez como teoría. En todo caso, como el autor afirma, una práctica semejante, un «procedimiento efectivo» como éste, a buen seguro generará aprendizaje, un aprendizaje que la propia teoría postula, defiende, argumenta y explica.

¿Cuáles son los elementos más controvertidos y conflictivos de la Teoría de los Modelos Mentales? No se pretende hacer un catálogo o inventario exhaustivo de todo aquello que suponga un problema en el ámbito de la teoría que, desde el punto de vista formal, es coherente y completa. Lo que sigue no es más que un conjunto de reflexiones sobre aspectos que, *a priori*, podrían generar los mayores rechazos y ser el centro de las más numerosas críticas.

Obligado es comenzar por la consideración de una mente computacional. Reducir el funcionamiento de la mente a un lenguaje de códigos binarios para muchos es una aberración que supone un rechazo tajante a la teoría; no en vano,

éste es el primer concepto clave que se ha considerado. Ya hemos visto que una mente computacional no amenaza nada, como Johnson-Laird argumenta, pero la crítica está servida.

Y unida a la anterior, hay otra discrepancia que abanderan muchos psicólogos y pedagogos relacionada con la metáfora del ordenador, metáfora que, según ellos, está trasnochada. La teoría, como todas las teorías, es una aproximación para comprender el funcionamiento de aquello que nos permite comprender. No se discute que somos bastante más que un ordenador, lo mismo que nuestra mente es, también, bastante más que cualquier teoría que intente o que pretenda explicarla, pero ahí hay otra polémica para el debate.

El innatismo es otro elemento controvertido. Es cierto que no se plantea un innatismo radical, pero es cierto también que hacer descansar determinadas explicaciones sobre su base puede parecer una forma de eludir la responsabilidad de otras explicaciones o su ausencia. Johnson-Laird argumenta el sentido y el origen de los primitivos conceptuales y justifica su consideración de los mismos como innatos de manera convincente. Pero, ¿satisface a todos esta explicación? Habría que oír y ver las teorías de la mente adecuadas explicativamente que proponen aquéllos a quienes estos argumentos no les satisfacen. La discusión podría ser interesante.

La tipificación de los modelos mentales, si bien se propone como tentativa, es otro de los asuntos discutibles. No parece clara ni fácilmente aplicable, incluso, no parece aplicable de la misma manera en diferentes campos del conocimiento y disciplinas. Más inmediato parece solventarse el problema de considerar a los modelos conceptuales como «supramodelos» pues relacionarían modelos, si atendemos al hecho de que operamos con modelos dentro de modelos por revisión recursiva. Pero la distinción entre modelos físicos y conceptuales, así como los distintos tipos en cada uno de ellos, parece que debe explicitarse y trabajarse más. Sería esto, por lo tanto, más una sugerencia que una diferencia de criterio y, de hecho, el mismo Johnson-Laird continúa su trabajo, entre otras, también en esta línea a la luz de la revisión que ha hecho de su teoría.

Hay también una cuestión metodológica sujeta a crítica. El propio autor reflexiona al respecto cuando analiza las vías o las formas de llevar a cabo la experimentación. Y efectivamente hablaba de procedimiento efectivo en un doble sentido. La teoría tendrá que disponer de un mecanismo propio para validar su conocimiento, para contrastarlo. Se combinan procedimientos provenientes de múltiples campos y, fundamentalmente, se apoyan en «experiencias de laboratorio» y en programas de ordenador. Desde esta perspectiva, ¿a qué es aplicable la Teoría de los Modelos Mentales? ¿A quiénes es aplicable? ¿Sostiene su aplicación a entornos naturales de aula, a personas en condiciones naturales, en mundos naturales? Johnson-Laird no responde a estas cuestiones. ¿Y con qué protocolos es aplicable la teoría para su investigación, para su contrastación? ¿Qué pautas metodológicas requiere? La definición de una metodología de investigación consistente con la teoría parece ser, también, un asunto pendiente.

Y al hilo de lo anterior, surge el último de los contrapuntos: ¿cuál es la evidencia empírica que tiene la teoría? Difícil es de aceptar la crítica de que Johnson-Laird no justifica sus argumentos y no los ejemplifica; la profusión de referencias en sus documentos es importante. Pero se trata, en muchos casos, de resultados y de ejemplos que provienen de estrategias de investigación psicologicistas propias, para muchos, de otro tiempo y de otros referentes teóricos. No son pocos los que consideran que la teoría como tal es potente, es una teoría de la mente adecuada explicativamente, pero que debe ser contrastada, como antes se expresaba, al comentar los aspectos metodológicos, en aras de validar el sustrato teórico que la constituye. Y en este sentido, lógicamente, se demanda investigación, validación empírica en el seno de la teoría, una investigación en educación, que ha tardado mucho en usar este marco teórico como referencia. Es curioso, en todo caso, que «*Cuando Craik (1943) argumentó que las personas razonan por desarrollo de experimentos de pensamiento en modelos internos, la idea pareció peligrosamente heterodoxa. Ahora el rango de fenómenos en los que se usan modelos mentales para explicar es rápidamente creciente*» (Johnson-Laird, 1989, pág. 491).

Pero ¿qué ha supuesto, entonces, la Teoría de los Modelos Mentales? ¿Qué ha hecho Johnson-Laird al plantearla? Ha supuesto un enorme esfuerzo de síntesis, de integración de campos muy distintos del conocimiento que han dado consistencia a la Ciencia Cognitiva, ciencia con la que el autor explicita su compromiso personal. Los modelos mentales son heurísticos y la teoría que los define también en el sentido de que ofrece una forma de abordar la producción de conocimiento en nuestras mentes y la producción de conocimiento sobre la mente. Desde esta perspectiva, ha supuesto la superación de polémicas y de teorías anteriores, léase imagistas/proposicionalistas, leyes de la lógica formal, reglas de postulados de significados, leyes de inferencia, etc., etc. Fundamentalmente y por encima de todo, la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird supone una teoría de la mente, como ya se ha expresado, adecuada explicativamente porque atiende tanto a la forma de la representación (proposiciones, modelos mentales e imágenes) como a los procedimientos que permiten construirla y manipularla: mente computacional, procedimientos efectivos, revisión recursiva y modelos mentales, y todo ello construido sobre la base de un lenguaje mental propio, que da cuenta tanto de la forma de esa representación como de los procesos que con ella se producen, representación que trabaja sobre un contenido al que de este modo se dota de significado.

¿Qué es lo que aporta Johnson-Laird? Aporta una teoría, una base para la reflexión y para la discusión en el ámbito de la psicología cognitiva. Nos brinda un referente que permite entender las representaciones mentales producidas en el momento, en la hora, frente a nuevas situaciones. Nos ofrece un cuerpo teórico coherente y consistente con la misma, que hace gala de una estructura semántica y de una estructura sintáctica que les son propias y características y aporta, sobre todo, un marco teórico de referencia para la investigación, para la interpretación

no mágica de lo que son las producciones mentales, que permita generar conocimiento acerca de los procesos mentales que los seres humanos ponemos en juego para comprender el mundo en el que nos movemos, nuestro propio mundo, nuestra propia magia, nuestra propia mente.

6. ¿Qué contribución hace la Teoría de los Modelos Mentales a la Teoría del Aprendizaje Significativo?¹⁰

La teoría de Johnson-Laird nos habla de los modelos mentales como representaciones mentales, internas. Son muy distintos a los modelos conceptuales, que son construcciones teóricas proyectadas como instrumentos para el entendimiento y/o para la enseñanza de los sistemas naturales (Norman, 1983). Los modelos conceptuales son construcciones inventadas, diseñadas y planificadas por ingenieros, científicos, profesores, etc. con la intención de que faciliten la comprensión o el aprendizaje de sistemas y de fenómenos físicos. Los modelos conceptuales son representaciones externas compartidas por una comunidad de usuarios y congruentes con el conocimiento socialmente validado, que esa comunidad acepta. Son simplificaciones de la realidad y se caracterizan por ser precisos, completos y consistentes con ese conocimiento aceptado. Algunos ejemplos nos pueden servir para aclarar su significado: las leyes probabilísticas en genética, el modelo de doble hélice del ADN, la formulación matemática en la Física, los modelos moleculares en Química, etc. (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002).

Los modelos mentales, como se recordará, son incompletos, imprecisos, limitados y no necesariamente correctos desde el punto de vista científico. Se caracterizan fundamentalmente por su funcionalidad, esto es, son representaciones que permiten al sujeto explicar y predecir ante una nueva situación, aunque no siempre desde una perspectiva científicamente aceptada. Los modelos mentales son modelos de trabajo, que funcionan en el momento de su construcción, como representación que permite aprehender el mundo.

Los modelos conceptuales son elaborados por personas –la comunidad científica– que funcionan mentalmente con modelos mentales y son enseñados por personas –los docentes– que operan también con modelos mentales. Es importante destacar que los modelos conceptuales son instrumentos de enseñanza,¹¹ pero el instrumento de aprendizaje es el modelo mental, pues es la representación

10. Extraído y adaptado de Moreira, M. A., Greca, I. M. y Rodríguez Palmero, M. L. (2002). «Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias». *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Porto Alegre, Brasil, Vol. 2, nº 3, con el permiso de los autores.

11. Una enseñanza que reclama la necesidad de que el profesorado lleve a cabo tareas de análisis conceptual de la materia que enseña, así como de su planificación –requisito que Ausubel considera esencial para lograr aprendizaje significativo en el alumnado–.

que permite al estudiante la atribución de significados a los modelos conceptuales que el profesor le presenta.

Cuando los estudiantes intentan comprender un modelo conceptual –si es que lo consideran necesario¹² toman de él los elementos que evalúan como importantes, los relacionan, si es que esto es posible, con aquello que ya conocen¹³ y generan, o no, modelos mentales que no son necesariamente coincidentes con los modelos conceptuales presentados. Cabe destacar que muchos de nuestros alumnos ni siquiera consiguen ver que aquello que se les presenta en clase conforma un modelo conceptual. Esto se debe básicamente a dos factores: en primer lugar, no tienen el conocimiento de dominio necesario para interpretarlos como modelos conceptuales. En segundo lugar, muchas veces los alumnos no comprenden que el modelo conceptual es una representación simplificada e idealizada de fenómenos o situaciones, y no el fenómeno o la situación en sí. La práctica docente, en muchos casos, no considera estos aspectos de la construcción del conocimiento científico, lo que tiene consecuencias en los procesos de aprendizaje que, de este modo, generan representaciones alejadas de aquéllas que se pretende que se construyan en las mentes de los estudiantes.

Muchas veces, lo que ocurre en el aula es que los jóvenes no construyen modelos mentales para interpretar las proposiciones externas, o sea, el discurso que el docente les trasmite, que conforman el modelo conceptual y, mucho menos, representaciones mentales más potentes, que serían las que les permitirían articular dichas proposiciones externas, que corresponden a los modelos conceptuales subyacentes.

Desafortunadamente, lo que se ve en las clases de Ciencias es que el alumnado tiende a trabajar con proposiciones aisladas, memorizadas de manera literal y arbitraria. Las ecuaciones, las leyes y las definiciones de la Física, la Química o la Biología, son representaciones proposicionales, que están articuladas en modelos conceptuales y que exigen, por parte de quienes quieren comprenderlas, la construcción de modelos mentales. Sin este proceso, esas representaciones proposicionales carecen de significado, ya que sólo pueden adquirirlo a luz de modelos mentales.

En un estudio hecho por Greca y Moreira (1997) se obtuvieron evidencias de que los alumnos de mejor desempeño en electricidad y magnetismo fueron los que aparentemente habían formado un modelo mental de campo electromagnético que se aproximaba al modelo conceptual usado por los expertos. Los que trabajaron sólo con proposiciones aisladas (fórmulas, definiciones, enunciados), limitándose a intentar aplicarlas mecánicamente, tuvieron el peor desempeño. La

12. Recordemos en este contexto lo que considera Gowin con respecto a la responsabilidad del que aprende y a su toma de decisiones en ese proceso. Retomemos también la aportación de aprendizaje relevante para el individuo, para su vida, que hace Pérez Gómez.

13. Ese conocimiento del que disponen los estudiantes configuraría sus subsumidores o ideas de anclaje, desde la perspectiva de la Teoría del Aprendizaje Significativo.

atribución de significado biológico, de vida, a la entidad «célula» se demoró dos siglos en los que básicamente se trabajaba con su imagen. Ese sentido vivo, ese conjunto de procesos que lo permiten supone un conocimiento altamente estructurado en términos conceptuales de difícil aprehensión por parte del alumnado, cuya comprensión exige la construcción de un modelo mental explicativo y predictivo que le dé sentido a ese funcionamiento característico de la materia viva. Una investigación realizada por Rodríguez (2000, 2001) ha mostrado evidencias de la necesidad de construir esos modelos mentales para dicha comprensión, observándose que algunos sujetos operan mentalmente con aquella simple y estática imagen (como la que se muestra en el lado izquierdo de la figura 1) repitiendo sin sentido frases (proposiciones) que «representan» o dan significado a los procesos que realmente caracterizan y definen a la célula como concepto y que, como es lógico, con la representación parcial generada, es decir, con un modelo insuficiente, no comprenden.

Si estas ideas respecto a modelos mentales y modelos conceptuales tienen sentido desde el punto de vista de las Ciencias y de la enseñanza y aprendizaje de las Ciencias, parecería útil saber cuál es la relación entre modelos mentales y modelos conceptuales para facilitar, en la enseñanza, la adquisición significativa de modelos conceptuales, es decir, facilitar la construcción de modelos mentales que permitieran el uso significativo (no mecánico, no automático, no arbitrario, no sin significado) de los modelos conceptuales de las Ciencias por parte del alumnado. Esto daría como resultado la modificación y reestructuración de las estructuras cognitivas de los estudiantes y, como consecuencia, un aprendizaje significativo del contenido que esos modelos conceptuales transmiten.

La comprensión de los complejos conceptos científicos que la escuela enseña reclama la necesidad de que el alumnado pueda generar procesos de modelización mental de los mismos. El aprendizaje significativo de esos contenidos científicos parece indicar que se requiere también el aprendizaje de las reglas de modelaje. Es bien posible que el aprendizaje del contenido científico (léase el contenido socialmente validado, independientemente de la disciplina que se trate –Física, Biología, Geografía, Economía, etc.–) sea tanto más significativo cuanto mayor sea la capacidad de modelar del alumno de una manera similar a como se modela en las distintas ciencias.

Los modelos mentales son las representaciones que dotan a los individuos de poder explicativo y predictivo, dado que se caracterizan por su funcionalidad. Si no se generan modelos mentales suficientemente explicativos y predictivos, lo que es frecuente en la escuela, es poco probable que pueda atribuirse significado a ese contenido, de tal manera que puede deducirse que el aprendizaje será tanto más significativo cuanto mayor sea la capacidad de los sujetos de generar modelos mentales relativos a la materia objeto de estudio. Esto, por otra parte, supone que este contenido se planifique y se trabaje de manera tal que favorezca la construcción de dichos modelos mentales: deberá tener significatividad lógica.

Como Moreira (1997b) apunta, se puede, pues, seguir manejando el constructo aprendizaje significativo bajo la óptica de la Psicología Cognitiva, en general, y de la Teoría de los Modelos Mentales, en particular, ya que desde su perspectiva, aprendizaje significativo es un constructo subyacente.

Como resumen, podemos concluir que la Teoría de los Modelos Mentales aporta una explicación consistente para comprender los mecanismos de representación que genera la mente humana. Permite entender la necesidad de aproximar los modelos conceptuales –los conocimientos formalmente construidos– a los modelos mentales, de manera que llevemos al estudiante de sus modelos mentales iniciales a otros que se aproximen más al conocimiento social y científicamente validado, esto es, a los modelos conceptuales, de modo tal que los aprenda significativamente.

Esta vía ha abierto, por tanto, un camino que tiene consecuencias pedagógicas, si bien Johnson-Laird no se ocupa del aprendizaje ni del aula (aunque explica cognitivamente el conocimiento humano). La Teoría de los Modelos Mentales aporta consideraciones pertinentes para lograr el aprendizaje significativo.

Pero los modelos mentales operan en la memoria de trabajo. No nos dan cuenta, por tanto, de la estabilidad en las explicaciones que tienen los estudiantes, sus resistencias a modificar esas explicaciones, la reiteración en modos equivocados de interpretar los fenómenos, etc. Necesitamos alguna explicación que, desde este marco cognitivo, responda a esa persistencia. Una posibilidad nos la ofrece la Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud.

7. Bibliografía

- Barquero, B. (1995). «La representación de estados mentales en la comprensión de textos desde el enfoque teórico de los modelos mentales». Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid.
- Eisenck, M. y Keane, M. (1991). *Cognitive Psychology: a student's handbook*. London: Erlbaum.
- Greca, I. M. y Moreira, M. A. (1997). «The kinds of mental representations –models, propositions and images– used by college physics students regarding the concept of field». *International Journal of Science Education*, Londres, 19 (6), págs. 711-724.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press, Cambridge.
- Johnson-Laird, P. N. (1985). «Mental Models». Aitkenhead, A. M. y J. M. Slack (eds.). *Issues in cognitive Modelling*. Open University Press, págs. 81-99.
- Johnson-Laird, P. N. (1987). «Modelos mentales en ciencia cognitiva». En Norman, D. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Paidós, col. Cognición y desarrollo humano, Barcelona, págs. 179-232.
- Johnson-Laird, P. N. (1990). *El Ordenador y la Mente. Introducción a la Ciencia Cognitiva*. Paidós, col. Cognición y desarrollo humano, Barcelona.

- Johnson-Laird, P. N. (1988). «How is meaning mentally represented?». *International Social Science Journal*, 40 (1), págs. 45-61.
- Johnson-Laird, P. N. (1989). «Analogy and the exercise of creativity». En Vosniadou, S. y Ortony, A. *Similarity and Analogical Reasoning*. Cambridge University Press, págs. 313-331.
- Johnson-Laird, P. N. (1989). «Mental Models». En Posner, M. (ed.). *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, Mass, MIT Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1993). «La théorie des modèles mentaux». En Ehrlich, M. F.; Tardieu, H. y Cavazza, M. (eds). *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations*. Masson, París, págs. 1-22.
- Johnson-Laird, P. N. (1994). «Mental models and probabilistic thinking». *Cognition*, 50, págs. 189-209.
- Johnson-Laird, P. N. (1996). «Images, Models and Propositional Representations». En De Vega, M.; Intons-Peterson, M. J.; Johnson-Laird, P. N.; Denis, M. y Marschark, M. *Models of Visuospatial Cognition*. Oxford. University Press, págs. 90-127.
- Johnson-Laird, P. N. y Byrne, R. (1998). «The Cognitive Science of Deduction». En Thagard, P. (ed.). *Mind Reading*. MIT Press, págs. 29-58.
- Moreira, M. A. (1997a). *Modelos Mentais. Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 1, nº 3. Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.
- Moreira, M. A. (1997b). «Aprendizagem Significativa: um conceito subyacente». En M. A. Moreira, C. Caballero Sahelices y M. L. Rodríguez Palmero, (eds.). *Actas del II Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Burgos, págs. 19-44.
- Moreira, M. A.; Greca, I. M. y Rodríguez Palmero, M. L. (2002). «Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias». *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, Porto Alegre, Brasil, Vol. 2, nº 3.
- Norman, D. A. (1983). «Some Observations en Mental Models». En Gentner, D. y Stevens, A. L. *Mental Models*. LEA. New Jersey, págs. 7-14.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2000). «Modelos mentales de célula: una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU». Tesis Doctoral, (2003) Servicio de Publicaciones. Universidad de La Laguna.
- Rodríguez Palmero, M. L.; Marrero Acosta, J. y Moreira, M. A. (2001). «La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del Curso de Orientación Universitaria». *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 6, nº 3. Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.
- Wason, P.C. y Johnson-Laird, P. N. (1980). *Psicología del razonamiento*. Debate, Madrid.
- Zaccagnini, J. L. y Delclaux, I. (1982). «Psicología cognitiva y procesamiento de la información». En Delclaux, I. y Seoane, J. *Psicología cognitiva y procesamiento de la información*. Ed. Pirámide, Madrid.

La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud¹⁴

M^a LUZ RODRÍGUEZ PALMERO

Centro de Educación a Distancia (C.E.A.D.), Santa Cruz de Tenerife, España.

MARCO ANTONIO MOREIRA

Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Como hemos visto, Johnson-Laird se ocupa de las representaciones mentales que se generan en la memoria episódica. Admite que nuestro modo de vivir la realidad es dependiente del mundo que experimentamos, por una parte, y de nuestras estructuras cognitivas, por otra. «*La naturaleza de la mente y su sistema perceptual ejercen un decisivo efecto en el mundo que percibimos*» (Johnson-Laird, 1983, pág. 402). Recordemos el ejemplo de la Navidad del capítulo anterior. Pero esa interacción no es explicada por este autor; sus mecanismos intrínsecos siguen siendo, hasta ahora, una incógnita. La reconstrucción de esa estructura cognitiva puesta en juego ante un nuevo mundo, o sea, de los conocimientos del sujeto cuando actúa frente al mismo, por el momento constituye un problema en la Psicología Cognitiva, un asunto pendiente que las teorías expuestas en los capítulos precedentes no han resuelto.

Desde la década de los años 80, Gérard Vergnaud trabaja la adquisición de las estructuras aditivas y multiplicativas en los individuos, fundamentalmente niños. Por eso, analiza su forma de actuar frente a situaciones que las requieran. Para Vergnaud (1996b, pág. 14), «*Uno de los problemas de la Psicología es el de reconstruir los conocimientos implícitos en la acción*». Por eso se ocupa de los procesos de conceptualización de lo real. De este modo, va configurando un cuerpo teórico que da cuenta de esa reconstrucción del conocimiento implícito ante nuevas situaciones, que termina por constituir la Teoría de los Campos Conceptuales.

14. Adaptado de Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2002a). «La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud». Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (PIDEC). Universidad de Burgos, España/Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil. Texto de Apoyo nº 15. Publicado en Actas del PIDEDEC, vol. 4.

1. Introducción

La cognición humana es un proceso lo suficientemente complejo como para ocupar a una gran cantidad de investigadores en diferentes áreas y ámbitos del saber. La construcción del conocimiento ha sido objeto de múltiples indagaciones realizadas desde diferentes enfoques y perspectivas teóricas (filosóficas, psicológicas, pedagógicas, específicas de las diferentes disciplinas, etc.).

La finalidad del presente capítulo es dar a conocer una de esas teorías, la Teoría de los Campos Conceptuales, construcción teórica que se centra en el análisis de la conceptualización de lo real y que tiene importantes implicaciones para conocer y comprender esos procesos cognitivos que nos caracterizan como especie. Su presentación y explicación se articula en torno a una serie de preguntas cuyas respuestas pretenden dar cuenta de su potencialidad explicativa y, con ello, ponen el énfasis en los aspectos más destacados y de mayor interés de la teoría. Éstos son: ¿qué es esta teoría?, ¿de dónde surge y cómo nace?, ¿cuál es su ámbito de aplicación?, ¿cuáles son sus conceptos clave?, ¿qué se investiga desde esta perspectiva y cómo se hace?, ¿qué consecuencias se derivan de su consideración? y ¿qué se puede extraer de esta teoría para la enseñanza y el aprendizaje? Se espera con ello poder dar cuenta de una teoría que es tan compleja como el proceso que pretende explicar, pero que, aun así, ofrece un referente muy potente para comprender la cognición humana; una teoría que, además, muestra importantes implicaciones pedagógicas para el trabajo diario en el aula y para la mejora de la profesionalización docente. Se dedicará, por último, un espacio para analizar qué aporta la Teoría de los Campos Conceptuales a la comprensión del proceso que conduce al aprendizaje significativo.

2. ¿Qué es?

Son muchos los aspectos implicados en el aprendizaje, son muchos, también, los factores y matices que deben tenerse en cuenta para comprender cómo se produce la conceptualización de lo real y, por tanto, qué es lo que hace que se desarrolle la cognición humana. El conocimiento en sí es ya una idea compleja y como tal ha sido objeto de múltiples consideraciones filosóficas, epistemológicas y educativas a lo largo de la historia. En un intento por dar cuenta de esa complejidad, Gérard Vergnaud articula sus presupuestos y explicaciones sobre este tema formulando la Teoría de los Campos Conceptuales. Se trata de una teoría psicológica cognitivista que se ocupa del estudio del desarrollo y del aprendizaje de conceptos y competencias complejas, lo que permite explicar en ese marco el modo en el que se genera el conocimiento (independientemente de que sean niños, adolescentes o adultos), entendiendo por conocimiento tanto los saberes que se expresan como los procedimientos como categoría de contenidos, o sea, el saber decir y el saber hacer (Vergnaud, 1990a, 1993).

El objeto de la teoría de los campos conceptuales es propiciar una estructura a las investigaciones sobre actividades cognitivas complejas, en especial, con referencia a los aprendizajes científicos y técnicos. Se trata de una teoría psicológica del concepto, o mejor, de la conceptualización de lo real, porque permite situar y estudiar las filiaciones y rupturas entre conocimientos desde el punto de vista de su contenido conceptual. (Vergnaud, 1993, pág. 1)

Lo que persigue Vergnaud (1996b) con su teoría es entender de mejor manera cuáles son los problemas de desarrollo específicos de un campo de conocimiento. Ese conocimiento lo aprehende el sujeto formando parte de sus estructuras cognitivas por un proceso de integración adaptativa con las situaciones que vive, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo (Franchi, 1999). No se trata simplemente de una teoría didáctica, sino que va más allá. Sin embargo, subyace a la misma la consideración de que un buen evento didáctico debe apoyarse en el conocimiento de las dificultades relativas de las tareas cognitivas, así como de los obstáculos, de los procedimientos y de las representaciones disponibles por parte de ese sujeto (ibid.). Su objeto es otro; el propio Vergnaud aclara en este sentido qué es y qué no es su teoría:

Porque contiene una referencia explícita a la idea de concepto, algunos investigadores consideran que la teoría del campo conceptual concierne al aprendizaje y a la enseñanza de conceptos explícitos y formalizados. Esto no es cierto. Su primera reclamación es antes, dar cuenta del conocimiento contenido en la mayoría de las acciones ordinarias, las ejecutadas en casa, en el trabajo, en la escuela o en un juego de niños y adultos. También se refiere al conocimiento implicado en la resolución de problemas. Específicamente, el significado completo de la teoría requiere varias clases de aclaraciones. (Vergnaud, 1994, pág. 44)

La Teoría de los Campos Conceptuales como tal sirve, pues, para analizar cómo se organizan las ideas que están interconectadas y cómo todo eso genera conceptos y representaciones a través del tiempo, lo que nos permite «*hacer una aproximación psicogenética significativa*» (Vergnaud, 1983a, pág. 128). Considerando que los problemas con los que se enfrentan tanto los niños y adolescentes como los adultos, son al mismo tiempo teóricos y prácticos, esta teoría trata de delimitar algunos principios que articulen competencias y concepciones ante determinadas situaciones, así como los problemas que surgen en las mismas. Como se ve, estamos ante una teoría compleja, una construcción teórica heurística que defiende, como perspectiva más fructífera, una aproximación al desarrollo cognitivo que parta de la consideración de los contenidos del conocimiento en sí mismos y de su análisis conceptual (Vergnaud, 1994).

La teoría de los campos conceptuales también enfatiza que la adquisición del conocimiento se forma por situaciones y problemas dominados previamente y que el conocimiento tiene, por tanto, algunos rasgos locales. Todos los conceptos tienen un dominio restringido de validez que varía con la experiencia y el desarrollo cognitivo. La teoría de los campos conceptuales es una teoría pragmática, aunque esto no significa que sea empírica. Un problema no es un problema para un individuo a menos que el individuo tenga conceptos que lo capaciten para considerarlo como un problema; el proceso de simulación de un problema va más allá de la abstracción de regularidades del mundo observable. (Op. cit., pág. 42)

Esta teoría destaca el papel del conocimiento previo en la construcción del conocimiento, de modo que se articula bajo el paradigma del constructivismo. En ese proceso generador de conocimiento, el cuestionamiento y, por tanto, la posibilidad de reconocer un problema como tal, es fundamental. Son los problemas los que articulan la vertiente teórica y los aspectos prácticos de todo conocimiento.

Los problemas son prácticos y teóricos, y no simplemente empíricos, incluso para niños jóvenes. Cuando una clase de problemas es resuelta por un individuo (esto significa que ha desarrollado un esquema eficiente para tratar con todos o «casi todos» los problemas de la clase) el carácter problemático de su clase específica desapareció. Este nuevo poder capacita para emprender nuevas situaciones y objetos y para intentar comprender nuevas propiedades y relaciones y, por tanto, plantear y reconocer o considerar nuevos problemas por uno mismo. Así, el proceso es un ciclo continuo. (Íbid.)

Desde esta teoría, el objeto del desarrollo cognitivo es la conceptualización y de ahí se deriva la gran importancia atribuida al contenido, así como la necesidad de llevar a cabo un análisis epistemológico del mismo.

Todas las formas de reduccionismo son peligrosas en la medida, precisamente, en la que la conceptualización de lo real es específica del contenido y no puede ser reducida ni a operaciones lógicas generales, ni a operaciones puramente lingüísticas ni a la reproducción social, ni a la emergencia de estructuras innatas, ni, en fin, al modelo del procesamiento de la información. (Vergnaud, 1998, pág. 392)

La idea de campo conceptual pretende dar cuenta de esos sesgos, sesgos y matices, advirtiéndolo y haciéndonos caer en la cuenta de su enorme complejidad. Al abordar los procesos de aprendizaje y de desarrollo cognitivo desde esta perspectiva, estamos tratando con el contenido que se aprende en sí mismo; con lo que nos lleva a que se aprenda; con la forma en la que eso se representa en la mente humana; con el camino que lleva a que eso se interiorice y se construya un

esquema; con los mecanismos que conducen, tanto a que ello sea posible como al uso que pueda hacerse de la representación, por una parte, y del esquema, por otra. En suma, se trata de una teoría integradora ya que «*El campo conceptual es una unidad de estudios interesante para dar sentido a los problemas de adquisición estudiados y a las observaciones hechas*» (op. cit., pág. 393).

Hablamos de conocimiento y de cómo se produce eso cognitivamente. Esta teoría pretende dar respuestas considerando como principio que ese conocimiento se elabora de manera pragmática; para ello es imprescindible dar importancia a lo que la persona hace y a cómo organiza su comportamiento ante determinadas situaciones (Vergnaud, 1993). De ahí deriva su potencialidad como teoría psicológica de la cognición. La Teoría de los Campos Conceptuales surge, además de lo expuesto, de la consideración de que (Vergnaud, 1998):

- Un concepto no se forma en un solo tipo de situaciones.
- Una situación no se analiza con un solo concepto.
- La construcción y la apropiación de todas las propiedades de un concepto o todos los aspectos de una situación es un proceso de larga duración.

Las situaciones son las que hacen posibles los conceptos, las que nos obligan a que los construyamos, ya que los demandan; y hacerle frente a una situación requiere más de un concepto. Por eso la idea de campo conceptual como conjunto de conceptos, que nos permiten dar cuenta de las situaciones que vivimos, es una idea plausible y fructífera. Esas situaciones van determinando una automatización progresiva de nuestra conducta, cuando son semejantes, por dominio paulatino. Esa forma operatoria de responder es lo que constituye un esquema.

La teoría de los campos conceptuales ofrece una manera de comprender cómo el conocimiento intuitivo contenido en la conducta trabaja. El conocimiento intuitivo está hecho esencialmente de invariantes operatorios, esto es, conceptos-en-acción y teoremas-en-acción. Son la parte conceptual de los esquemas, ya sea implícitos o explícitos, conscientes o inconscientes. (Vergnaud, 1994, pág. 53 y 54)

Observada, como ha podido advertirse en los párrafos precedente, la complejidad de la propia teoría, veamos cuál es su origen.

3. ¿De dónde surge? ¿Cómo nace?

La Teoría de los Campos Conceptuales surge en el ámbito de las Matemáticas y nace de la consideración que hace Vergnaud de que un concepto no se forma en un solo tipo de situaciones, sino que para hacerle frente a las mismas se requiere de varios que, además, se construyen y se apropian plenamente a lo largo del

tiempo (Vergnaud, 1998). Para este autor, «*uno de los problemas de la psicología cognitiva es el de reconstruir los conocimientos implícitos en la acción*» (Vergnaud, 1996b, pág. 14) y en ese sentido, las investigaciones realizadas tienen como objeto de estudio las situaciones que involucran las estructuras aditivas y multiplicativas, ya que su meta es el análisis de los conocimientos implícitos activados en las mismas. De este modo, Vergnaud pone el énfasis en la psicogénesis a corto y a largo plazo, lo que remite a su reclamación de procesos a lo largo del tiempo, de manera que lo que analiza es la evolución de concepciones y prácticas de los individuos y de los grupos en esas situaciones (Vergnaud, 1983a, 1983b, 1995). Para este autor, (Vergnaud y col., 1990), los conceptos matemáticos extraen su significado de la variedad de situaciones en las que tenemos que utilizarlos o que nos reclaman su uso. Por eso es por lo que un solo concepto no es suficiente para hacerle frente a las mismas y de ahí deriva la complejidad del proceso de construcción de dicho conocimiento.

La cultura en la que se vive es compleja y cambia rápidamente. Apropiarse de la misma es el problema más importante que tienen los seres humanos. Se trata fundamentalmente de un problema de adaptación (Vergnaud, 1996a). El conocimiento es lo que permite hacerle frente a esa complejidad y a esos cambios; se articula en torno a conceptos. Por eso es por lo que «*el corazón del desarrollo cognitivo es la conceptualización*» (op. cit., pág. 18). En este sentido, hemos de considerar prioritariamente la función adaptativa que tiene el conocimiento y evaluarlo de manera correcta y precisa. Para eso, hemos de prestar atención a su expresión en la acción, lo que dará pistas para comprender correctamente el papel de los significantes en este proceso (Vergnaud, 1996c). Para este autor, la realidad no se aprehende directamente, sino que se produce una mediación simbólica en forma de representación (consideración similar a la expuesta por Johnson-Laird en su Teoría de los Modelos Mentales).

Como ya ha podido adivinarse, la Teoría de los Campos Conceptuales tiene una clara influencia de Piaget. Para Vergnaud (1996a), el conocimiento humano proviene de la adaptación, lo que ya se ha expresado, y esta idea tiene su origen en los planteamientos piagetianos que dan cuenta de su formación biológica, ya que, como se sabe, Piaget aplica dicha idea a su concepción epistemológica del desarrollo cognitivo. Para Piaget, ese conocimiento que supone adaptación es un caso concreto del proceso de asimilación y acomodación que define a los seres vivos (Vergnaud y col., 1990).

El papel que juegan las concepciones previas en los procesos de conceptualización y, consecuentemente, de aprendizaje es bien sabido.¹⁵ La investigación desarrollada al respecto ha sido ardua. Se ha generado mucha documentación sobre el tema. Una de sus consideraciones ha sido contemplarlas como catálogo de errores y en ese sentido:

15. Conviene recordar el papel atribuido por Ausubel al conocimiento previo del que aprende, si quiere hacerlo de manera significativa.

Esta visión de las concepciones equivale a concebir al niño, al estudiante o al aprendiz adulto como no terminado, imperfecto o deficiente en comparación con los expertos adultos. En nuestra mente, este marco es inadecuado para una aproximación de resultados en desarrollo cognitivo y de aprendizaje que son de interés para nosotros aquí. Parecería más fructífero considerar al sujeto, como Piaget hizo, como un sistema dinámico dotado con mecanismos reguladores capaces de asegurar su progreso. En este marco, las concepciones de los sujetos pueden verse como estructuras asimiladoras con las que otras concepciones (tales como las enseñadas en la escuela) pueden entrar en conflicto. Las últimas son responsables de crear desequilibrio en las estructuras cognitivas, así como provocar procesos de acomodación. (Barais y Vergnaud, 1990, págs. 69-79)

Desde el punto de vista filosófico, puede advertirse que Vergnaud destaca el papel de la vivencia y de la experimentación, lo que recuerda a Hume, si bien considera necesario algo más. El sujeto tiene algo que aportar y en estos planteamientos se observan presupuestos propios de Kant, influencia que se volverá a poner de manifiesto más adelante.

Piaget ha demostrado que el conocimiento y la inteligencia se desarrollan a lo largo de un largo periodo de tiempo, pero él ha hecho esto analizando el desarrollo de los niños en términos de capacidades generales de la inteligencia, principalmente lógicas, sin prestar la suficiente atención a los contenidos específicos del conocimiento. La necesidad de comprender mejor la adquisición y el desarrollo de conocimiento específico y habilidades, en relación con situaciones y problemas, es lo que me ha permitido introducir el marco de campo conceptual. (Vergnaud, 1983a, pág. 127)

Pero aun teniendo un origen piagetiano, Vergnaud desarrolla su Teoría de los Campos Conceptuales de forma más amplia, abarcando aspectos que Piaget no consideraba y mostrando algunos desacuerdos y discrepancias con respecto a sus presupuestos. Son precisamente estas discrepancias y las lagunas detectadas por él en la Epistemología Genética las que lo llevan a dar consistencia a un cuerpo teórico de más amplia base que explica de mejor manera los mecanismos intrínsecos a la producción de conocimiento.

La investigación educativa ha ido derivando a lo largo del tiempo hacia la consideración de los contenidos específicos. Los didactas en la actualidad consideran el significado de los conceptos y su papel en la comprensión al usarlos en situaciones concretas (Vergnaud, 1996a). Tratamos de una realidad que es compleja y de un proceso que se caracteriza también por su complejidad y por eso se necesita un marco teórico coherente que articule los problemas que se resuelven y el conocimiento adecuado para ello, es decir, una conexión entre los conceptos, los esquemas y los símbolos (Vergnaud y col., 1990). De hecho, es frecuente que

encontremos dicotomías entre el tratamiento de los saberes expresados y el saber-hacer, lo que se pone claramente de manifiesto cuando se aborda la investigación educativa en lo que a resolución de problemas se refiere. Es habitual que observemos la consideración de que resolver un problema es combinar acciones y reglas que dan por hecho el conocimiento necesario, mientras que cuando se habla de la formación de conceptos, los procesos son otros: categorías, nuevos objetos, propiedades, atributos. Se distingue claramente conocimiento procedimental y declarativo y desde esta perspectiva se subestima, por una parte, el papel de representación y conceptos en la resolución y, por otra, el papel de resolución en la formación de conceptos. Sería más productivo, pues, considerar la resolución de problemas como fuente y como criterio de conocimiento, «*ya que el conocimiento conceptual está inmerso en la resolución de problemas*» (Vergnaud, 1987, pág. 12).

La acción es considerada por Piaget y por Vergnaud como el principal elemento generador de conocimiento en el sujeto. Pero Piaget restringe la adaptación que lo produce a estructuras lógicas, lo que lo lleva a la definición de los estadios generales de desarrollo, reduciendo así los procesos cognitivos (Vergnaud, 1996a) a procesos que se articulan en torno a los esquemas (Vergnaud, 1993).

Las reglas lógicas no tienen validez general.¹⁶ Cuando éstas se han aplicado al análisis de la construcción del conocimiento, se ha obviado la importancia que tiene el estudio epistemológico del campo específico de ese contenido objeto de apropiación. Así, ese análisis cognitivo no da cuenta de las competencias de los sujetos, ya que es incompleto (Vergnaud, 1987).

Cada vez que la conducta consta de una secuencia de elecciones entre un rango limitado de posibilidades identificadas no ambiguamente, el paradigma de las «reglas de producción» puede trabajar limpia y fácilmente. Cuando la elección cuenta con la conceptualización de un nuevo objeto, o una nueva relación, el paradigma de las reglas de producción fracasa. (Vergnaud y col., 1990, pág. 22)

Lo que el individuo quiere lograr es el dominio de las situaciones y para ello debe coordinar conceptos y principios coherentemente, de manera que le permitan actuar. Por lo tanto, esos conceptos no son sólo regularidades empíricas, sino que se derivan de las razones que los hacen necesarios, por una parte; de las relaciones con los eventos pasados, presentes y futuros, por otra y, por último, de su posibilidad de predicción (Vergnaud, 1997).

Dado que no valen sólo las reglas lógicas para justificar la acción y la conceptualización «*Yo no (me) he referido al estadio formal piagetiano de desarrollo porque yo no puedo ver dónde se trazaría el límite entre un estadio concreto y un estadio formal en el desarrollo de un campo conceptual tan diverso*» (Vergnaud, 1983a, pág. 172).

16. Recuérdese a este respecto la crítica que Johnson-Laird hace de Piaget.

Como vemos, para Vergnaud fue insuficiente la construcción teórica de Piaget de la que, sin duda, recupera muchos elementos y conceptos. Aun siendo la acción el principal factor articulador del proceso adaptativo de conocer, la asimilación y la acomodación que nos llevan al mismo no pueden ser suficientemente explicadas en términos de reglas lógicas. El lenguaje en ese proceso ejerce también un papel fundamental, como Vygotsky destaca y Piaget obvia. En la figura 1 se esquematiza la consideración que hace Vergnaud de los postulados de Piaget, en el contexto de su preocupación por la reconstrucción de los conocimientos implícitos en la acción, así como las diferencias que mantiene con los mismos, ya que los considera insuficientes en esa reconstrucción. Partiendo de esas diferencias, Vergnaud retoma los principios vygotksyanos. Tanto Piaget como Vygotsky constituyen una fuente fundamental de la Teoría de los Campos Conceptuales.

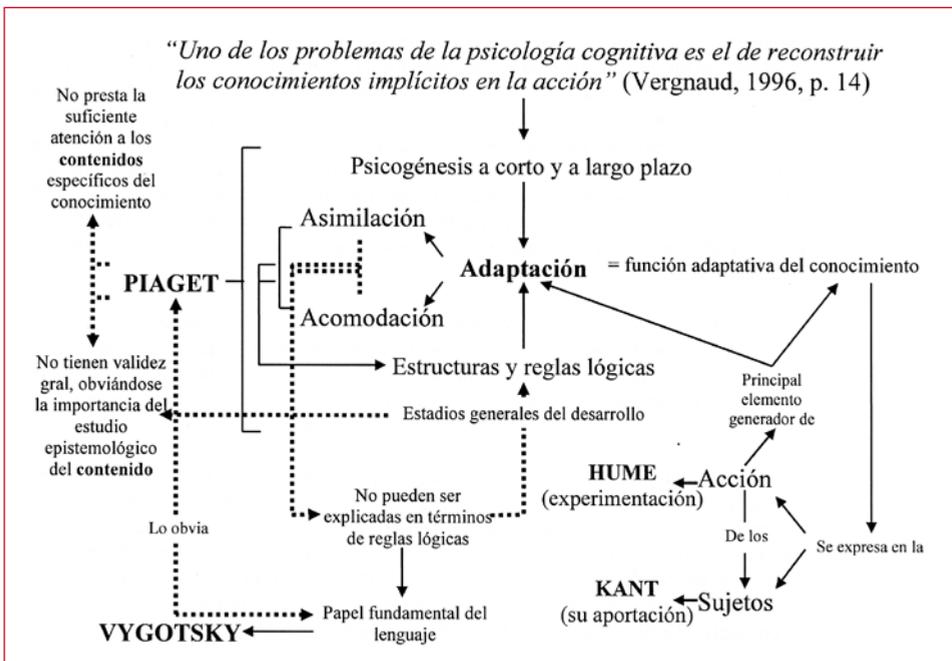


Figura 1. Relación entre la teoría de Vergnaud y los postulados de Piaget y Vygotsky en los que se apoya.

Estamos ante una teoría que amplía el foco del análisis dado hasta el momento desde la perspectiva de Piaget, reorientándolo en dos direcciones que resultan complementarias y que deben ser tenidas en cuenta: en primer lugar, se reivindica la especificidad del contenido como referencia, lo que Piaget ni tan siquiera consideraba; y, en segundo lugar, dirige su atención y el centro de interés de las estructuras generales de pensamiento hacia la observación del funcionamiento cognitivo de los sujetos en situación, considerando de este modo también

las variables que afectan a la misma. En esos procesos, el lenguaje que articula la comunicación es un factor esencial sin el que no es posible que se produzca la conceptualización.

Ni Piaget ni Vygotsky se dieron cuenta de cuánto depende el desarrollo cognitivo de las situaciones y de las conceptualizaciones que se requieren para tratar con ellas. La teoría de los estadios no es por sí misma útil para los profesores porque no les ofrece directrices concretas para la enseñanza. Ésta es la razón principal por la que he desarrollado la Teoría de los Campos Conceptuales basada en los legados de Piaget y Vygotsky. (Vergnaud, 1998, pág. 181)

4. ¿Cuál es su ámbito de aplicación?

El objeto de estudio que ha ocupado el mayor número de investigaciones al amparo de la Teoría de los Campos Conceptuales como marco de referencia está centrado en el análisis de las estructuras aditivas y multiplicativas, como ya se ha comentado. Para sendas estructuras matemáticas Vergnaud y sus colaboradores han estudiado y definido los correspondientes campos conceptuales que están suficientemente documentados y justificados. Es, por lo tanto, en el ámbito de conocimiento de las Matemáticas en donde su aplicación ha sido mayor. «*La Teoría de los Campos Conceptuales privilegia [...] los modelos que dan un papel esencial a los conceptos matemáticos en sí mismos*» (Vergnaud, 1990, pág. 146). El autor considera que en la multiplicidad de situaciones que conforman la vida diaria hay una gran cantidad de conocimiento matemático en juego y que ese conocimiento se desarrolla desde edades tempranas. Se dan, según él, modos de razonamiento y conductas que determinan una manera matemática de pensar y que requieren conceptos y principios matemáticos.

La tesis de que la definición psicológica de un concepto no puede ser reducida a su definición científica no es específica de conceptos matemáticos, pero es en matemáticas en donde se encuentra el mayor vacío entre el conocimiento expresado por los científicos y el conocimiento subyacente a las competencias ordinarias de niños y adulto. (Vergnaud, 1997, pág. 6)

Pero tal y como se ha expresado, la aplicación de la Teoría de los Campos Conceptuales no se restringe al dominio de las Matemáticas sino que, como marco de referencia, es aplicable a todos aquellos ámbitos que requieran actividades cognitivas complejas, como son, de modo especial, las que se refieren a los aprendizajes de la ciencia y de la técnica (Vergnaud, 1996c). Utilizando esta teoría se han realizado algunas investigaciones en disciplinas no matemáticas, como la Física, la Biología o la Tecnología. Historia, Geografía, Ética, Educación Física o

Música son también áreas de conocimiento en las que se pueden encontrar una variedad de dominios y de situaciones para las que no son válidas sólo las reglas lógicas. En estos ámbitos del saber tampoco pueden reducirse los procesos de asimilación/acomodación a dichas reglas y, por lo tanto, no nos vale este modelo lógico para dar cuenta de la adaptación que su conceptualización requiere (Vergnaud, 1996a). Pero en todas estas disciplinas las aportaciones son pocas y para poder llegar a resultados generalizables, como los obtenidos para la suma y la multiplicación, se requiere investigación específica al respecto. Para ello, y dada la densidad de esta teoría, se precisa previamente su difusión y comprensión.

La utilidad de este enfoque no sólo se restringe, pues, al conocimiento matemático. Los límites en la aplicación de la teoría como tal se amplían considerablemente y ello se debe a que «*En el aprendizaje de la racionalidad científica, lo metacognitivo forma parte de lo cognitivo*» (Vergnaud, 1993, pág. 5). Desde esta perspectiva se configura un cuerpo de conocimiento que permite comprender los procesos de construcción de contenido específico que caracterizan a las distintas disciplinas del currículum antes citadas. Su aplicabilidad y sus posibilidades para comprender cómo se generan los conceptos característicos de cuerpos organizados y estructurados de conocimiento es grande, ya que puede dar cuenta de la abstracción que los caracteriza, similar a la propia del ámbito de las Matemáticas.

5. ¿Cuáles son los conceptos clave?

Como una consecuencia lógica de la complejidad de la Teoría de los Campos Conceptuales, puesta de manifiesto en las páginas precedentes, y como una consecuencia lógica, también, de la complejidad de los procesos cognitivos de los que pretende dar cuenta, nos encontramos ante un abundante número de conceptos constitutivos de la teoría que son igualmente complejos y que exigen reflexión; como el propio Vergnaud postula, requieren tiempo¹⁷ para su aprehensión (Vergnaud, 1982, 1994).

El objeto de estudio que ocupa a este investigador es el sujeto en situación (Vergnaud, 1966b), su forma de organizar la conducta y su modo de conceptuar ante esa situación y para ello utiliza el concepto de **esquema** de Piaget. Haciendo gala de su herencia piagetiana, Vergnaud (1990, 1993) considera que los esquemas constituyen piezas esenciales de las estructuras cognitivas. Se trata de una concepción de esquema diferente a la considerada por Rumelhart y Ortony (1982), en la que el esquema actúa como un prototipo, de tal manera que se fija y reestructura la cognición organizando las señales y los estímulos; es ésta una consideración de esquema que no da cuenta de cómo funciona, de los modos según

17. Como se recordará, Ausubel hace una apelación al tiempo, como elemento esencial para que se genere aprendizaje significativo, expuesta en el capítulo 1.

los cuales cambia y se transforma, lo que lo diferencia claramente de la concepción piagetiana del mismo que Vergnaud asume.

El esquema, totalidad dinámica organizadora de la acción del sujeto para una clase de situaciones específica, es, por lo tanto, un concepto fundamental de la psicología cognitiva y de la didáctica. No siempre es reconocido como tal. Por otro lado, carece de análisis. Incluso percibiendo fácilmente que un esquema está compuesto por reglas de acción y por anticipaciones, dado que genera una serie de acciones para alcanzar un objetivo, no siempre se reconoce que está también compuesto, de modo esencial, por invariantes operatorios (conceptos-en-acción y conocimientos-en-acción) y por inferencias. Las inferencias son indispensables en el funcionamiento del esquema en cada situación particular. (Vergnaud, 1993, pág. 5)

Podría considerarse que un esquema es aquello que se aplica del mismo modo ante situaciones similares, es decir, aquello que posee la mente humana como fondo o sustrato y que aplica o ejecuta de manera similar; de este modo, esquema es la forma estructural de la actividad, esto es, aquella pauta invariante en el modo de actuar del individuo frente a una clase de situaciones dada, no considerándose invariantes ni los elementos formales ni las acciones en sí mismas (Franchi, 1999). No se trata de un estereotipo, sino de una función temporalizada de argumentos.

Un esquema es [...] una totalidad organizada que permite generar una clase de conductas diferentes en función de las características particulares de cada una de las situaciones de la clase a la que se dirige. Esto sólo es posible porque un esquema comporta:

- Invariantes operatorios (teorema-en-acción y conceptos-en-acción) que pilotan el reconocimiento por el sujeto de los elementos pertinentes de la situación y la aprehensión de la información sobre la situación que se va a tratar.
- Anticipaciones del objetivo que se pretende alcanzar, de los efectos que se van a considerar y de las etapas intermedias eventuales.
- Reglas de acción del tipo «si... entonces», que permiten generar la secuencia de acciones del sujeto.
- Inferencias que permiten calcular las reglas y las anticipaciones a partir de las informaciones y del sistema de invariantes operatorios de los que dispone el sujeto. (Vergnaud, 1990, pág. 159)

El esquema se ha constituido desde esta perspectiva en un concepto central, en el eje de toda la teoría y resulta altamente fructífero por cuanto da cuenta de los registros propios de la actividad humana ante distintas situaciones. Se convierte así en una piedra angular de la teoría piagetiana, ya que permite articular aspectos observables de la actividad y elementos mentales de la representación y, también, de la Teoría de los Campos Conceptuales que lo incorpora como propio

(Vergnaud, 1996c). ¿Qué es para Vergnaud un esquema y por qué tiene tanta importancia?

Un esquema se define como una organización invariante de la acción para cierta clase de situaciones. Esta totalidad dinámica introducida por Piaget (después de Kant) representa conjuntamente las habilidades sensoriomotoras y las habilidades intelectuales, requiere un estricto y profundo análisis si se desea comprender las relaciones entre competencias y concepciones. (Vergnaud, 1994, pág. 53)

Ya habíamos planteado la herencia kantiana mostrada por Piaget y, consecuentemente, por Vergnaud. En el proceso que lleva a desarrollar conocimiento, hay algo que pone el sujeto y es ese algo lo que posibilita la interpretación y la interiorización. Ese algo para estos autores es el esquema, una organización cognitiva que está lejos de operar como un patrón fijo y rígido, dotando al individuo de funcionalidad.

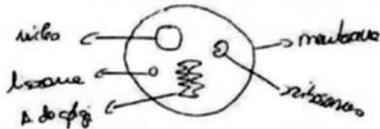
Un esquema está finalizado; las metas implican expectativas. Un esquema genera acciones, debe contener reglas. Un esquema no es un estereotipo, como la secuencia de acciones que depende de los parámetros de la situación: su aplicación implica [...] computaciones. Un esquema también implica invariantes operatorios: categorías para recoger información relevante (conceptos-en-acción) y proposiciones de las que se hacen las inferencias (teoremas-en-acción). (Íbid.)

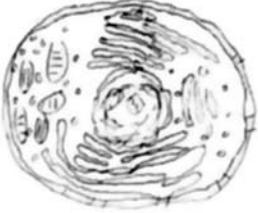
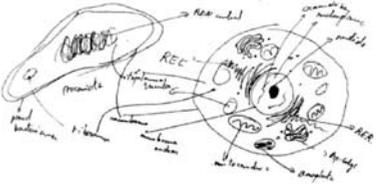
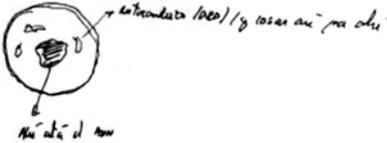
Los esquemas son las estructuras cognitivas que generan las acciones, entendiendo como tales también las operaciones intelectuales, y eso es posible porque cuentan con invariantes operatorios, de tal manera que hay una relación biunívoca entre esquema y representación (íbid.). Como la Teoría de los Campos Conceptuales considera el conocimiento como competencia que capacita la adaptación, se ocupa de la conceptualización como modo de lograrlo, ya que es la base sobre la que se articula el desarrollo cognitivo. Por eso, resulta imprescindible prestar atención a los aspectos y elementos conceptuales de los esquemas, así como al análisis conceptual de las situaciones a las que se enfrenta la persona, de manera que esos esquemas puedan desarrollarse y evolucionar adecuadamente. Los esquemas son, pues, las herramientas de adaptación y, por tanto, hacen frente a situaciones y no sólo a objetos (Vergnaud, 1996a).

De este modo, nuevamente vemos el papel fundamental del contenido en los esquemas de Vergnaud, una función que Piaget no le asignaba. El esquema se consideró en un primer momento como la actividad sensoriomotora y posteriormente como aquello que está detrás de actividades más intelectuales, como la lógica. Para Vergnaud son, como vemos, mucho más, proponiendo que se denominen como esquemas perceptivo-gestuales, ya que determinan la conducta frente a las situaciones que vive el individuo.

Según se nos plantea, el esquema es lo que nos permite adaptarnos. Pero ese esquema no trabaja con objetos sino con situaciones en las que están esos objetos. Son esas situaciones las que le dan sentido a los objetos que caracterizamos como conceptos y, por lo tanto, son las situaciones las que generan la construcción de conceptos –cosas que etiquetan, por ejemplo, los objetos–. En las mismas podemos encontrar rasgos similares que son los que hacen que la persona, una vez adaptada a ellas, (ya que tiene el esquema construido), actúe de un modo similar –previsible, tal vez–. Ese esquema, por tanto, genera una respuesta similar ante situaciones similares porque está constituido por una organización invariante –un núcleo duro–, por así decirlo. Por eso es por lo que se define «*esquema como la organización invariante de la actividad para una cierta clase de situaciones dada*» (Vergnaud, 1996c, págs. 113-114). En la tabla 1 se muestran las respuestas de cuatro personas a las mismas cuestiones, pero en dos ocasiones distintas separadas en el tiempo cinco años. Ninguna de ellas ha tenido contacto académico alguno con el contenido por el que se les pregunta en este periodo.

Tabla 1. Respuestas emitidas a la pregunta: ¿Cómo podemos representar una célula? ¿Cómo haríamos un dibujo de la misma?

	1997	2002
Verónica	<p>Una célula la podemos representar como una de las partes más complejas, y también le representaríamos todo el funcionamiento y la estructura de los orgánulos de la célula.</p> <p>Yo dibujaría la célula redonda (pero en tres dimensiones) con su membrana, los ribosomas, lisosomas, aparato de Golgi, retículo endoplasmático y el núcleo.</p> 	<p>Podemos representar una célula dibujando un círculo, que es como casi siempre se dibuja, y poner en su interior por todo lo que está compuesto.</p>
Yamila	<p>Sin una forma determinada. Rodeada por una membrana que la protege del medio externo. En su interior orgánulos inmersos en una sustancia llamada citoplasma y con una red de filamentos proteicos que le proporcionan estabilidad: el citoesqueleto.</p> 	<p>Para representar una célula hay que tener en cuenta las características estructurales y funcionales que la hacen funcionar como tal. Sin embargo, hay muchos tipos de células, con lo que no hay una única representación o un único modelo de célula que sea aplicable para poder explicar su funcionamiento.</p> 

	1997	2002
Amadeo	<p>Una célula es polimorfa, puede ser de diferentes formas, porque no todas las células realizan la misma función, para ello están los mecanismos de diferenciación celular.</p> 	<p>Una buena representación de una célula no sería una foto plana porque en la célula hay mucho movimiento y, además, una mejor representación sería tridimensional.</p> 
Adelto	<p>De mil maneras. La célula puede tomar millones de formas según el tipo, función... Es una de sus características más importantes. El dibujo sería el típico: la procariota sin núcleo ni sistema de endomembranas, y la eucariota, con todos los orgánulos y «redonda».</p> 	<p>La forma «típica» es circular, más o menos, aunque realmente haya gran diversidad; la representamos con sus partes: núcleo, corteza y lo de en medio.</p> 

No parece suficientemente explicativo aceptar que esta similitud en el modo de hacerle frente a las preguntas y de contestarlas sea cuestión de mera casualidad, cuando son tantas las coincidencias apreciadas. Se detecta un alto grado de identidad y uniformidad, por ejemplo, en los dibujos plasmados por Yamila, Amadeo y Adelto. También se observa una pauta invariante en la insistencia del aspecto redondo y circular de Verónica o la imposibilidad de representar una forma determinada porque hay muchos tipos, según comenta Adelto, joven éste que entiende que hay mil maneras de hacerlo, dada su diversidad, pero que usa una forma «típica». Son modos de actuar semejantes en ambos registros que dan cuenta de algo subyacente que condiciona su respuesta (Rodríguez y Moreira, 2002b y c).

La organización de la actividad de un niño en la enumeración es otro ejemplo de esquema (Vergnaud, 2006). Es relativamente fácil describir la conducta del niño: uno, dos, tres, cuatro. La organización de su actividad descansa sobre dos conceptos matemáticos que quedan totalmente implícitos:

- El concepto de correspondencia biunívoca entre los objetos que el niño está enumerando, los gestos que realiza con el brazo y con la mano, los

gestos vocales y las expresiones de los ojos; todos ellos aseguran el carácter exhaustivo y exclusivo del proceso de enumeración.

- El concepto de cardinal, que adquiere la forma de repetición del último número que se cita.

Los invariantes operatorios constitutivos de los esquemas pueden describirse en términos de objetos, de propiedades y de relaciones. Cuando se habla de invariante, se hace referencia no sólo a la organización invariante de una cierta clase de conductas, sino también a los invariantes que hacen que esa conducta sea eficaz (Vergnaud, 1987) ante esas situaciones.

El esquema se define por su carácter dinámico y funcional; no podía ser de otro modo si tiene que dar cuenta de la adaptación. Muestra también estabilidad, lo que se manifiesta a través del sentido invariante de esa conducta. Es una totalidad ya que la organización de la conducta debe ser considerada como un todo. Como es reclamado para la ejecución, necesita como elementos los ya mencionados en páginas precedentes (invariantes operatorios, anticipaciones, reglas de acción e inferencias) (Vergnaud, 1997).

El concepto de esquema es esencial para cualquier teoría de la cognición porque articula en una unidad rasgos conductuales y representacionales: reglas de acción e invariantes operatorios. Los esquemas están en el corazón de la cognición y en el corazón de los procesos de asimilación-acomodación. [...]. La importancia teórica de los esquemas viene del hecho de que los invariantes operatorios son más o menos adecuados: la relevancia de los conceptos-en-acción y la verdad de los teoremas-en-acción son condiciones esenciales de la eficacia de los esquemas. (Op. cit., pág. 27)

El concepto de esquema es mucho más general y relevante para la actividad humana. Está claro que tenemos interiorizados en nuestras estructuras cognitivas «modos» de actuar, una organización de nuestros comportamientos que no sólo es verbal (y/o gestual) sino también social. Hay una forma de organizar nuestras actuaciones que hace que respondamos de una manera diferente cuando estamos seduciendo a nuestra pareja o cuando hablamos con un policía que nos pone una multa; cuando explicamos como profesores algún tema o cuando estamos ante un juez. Hay mucho de social también en los esquemas cognitivos.

Esos esquemas perceptivo-gestuales no son estereotipos: no es la conducta lo que es invariante, sino la organización de la conducta. En otras palabras, un esquema es un universal que es eficaz para un amplio rango de situaciones y puede generar diferentes secuencias de acción, información recogida o control, dependiendo de las características específicas de cada situación particular. (Vergnaud, 1998, pág. 172)

Si aceptamos como premisa que la psicología está interesada en comprender la acción y la actividad humana y en teorizar acerca de ella, el concepto vergnaudiano de esquema es, pues, esencial para los teóricos de la cognición.

Dado que un **concepto** implica una serie de invariantes utilizables en la acción y, por tanto, constitutivo de los esquemas, y considerando el principio de que un concepto no se aprende sólo sino en relación con otros, corresponde ahora prestar atención a lo que Vergnaud considera como tal. El primer rasgo destacable es que se entiende que un concepto no puede considerarse de manera trivial y no debe reducirse a su definición. Los conceptos no son sólo etiquetas sino que adquieren su significado para el sujeto a través de su uso y aplicación a diferentes situaciones y problemas (Vergnaud, 1993), de lo que se deduce la necesidad de abordar su aprendizaje a largo plazo y en más de una ocasión.¹⁸

Una aproximación psicológica y didáctica de la formación de conceptos matemáticos conduce a considerar un concepto como un conjunto de invariantes utilizables en la acción. La definición pragmática de un concepto apela al conjunto de situaciones que constituyen la referencia de sus diferentes propiedades y al conjunto de esquemas puestos en juego por los sujetos en esas situaciones. (Vergnaud, 1990, pág. 145)

Ésa es la razón por la que un concepto no puede ser reducido a su definición, sobre todo si nos ocupamos de su aprendizaje y de su enseñanza. Las prácticas educativas tienden a poner el énfasis en las definiciones conceptuales. En todo caso, el proceso de definir es la mayor abstracción que se hace del conocimiento, pero aun así no se tiene en cuenta en la escuela, ya que se exagera el uso del conocimiento explícito, subestimando o no tratando de manera adecuada el conocimiento implícito que tiene una influencia decisiva en la aprehensión de los conceptos (Vergnaud, 1994).

Un concepto se hace significativo a través de una variedad de situaciones y diferentes aspectos de los mismos conceptos y operaciones están implicados en distintas situaciones. Al mismo tiempo, una situación no puede ser analizada con la ayuda sólo de un concepto; al menos son necesarios varios conceptos. Ésta es la principal razón por la que los investigadores deben estudiar campos conceptuales y no situaciones aisladas o conceptos aislados. (Op. cit., pág. 46)

¿Cuáles son, entonces, las condiciones adecuadas para que se lleve a cabo el aprendizaje de conceptos? Vergnaud (1983a) considera que deben tenerse en cuenta las siguientes:

18. Nuevamente se observa una similitud con los planteamientos ausubelianos: por una parte, la atribución de significados requiere tiempo, ya comentada. Y, por otra, la pertinencia de una organización secuencial y de la consolidación.

- Debe darse el desarrollo de conceptos por resolución de problemas.
- Las situaciones de resolución de problemas hacen los conceptos significativos.
- No hay razón para que no se desarrollen conceptos complejos si no se dan situaciones complejas.
- Es una falacia considerar el desarrollo natural.

Los conceptos adquieren carta de naturaleza como integrantes de los esquemas, puesto que forman parte del conocimiento del sujeto, que le van a permitir la acción. Pero para aprehender la realidad no sólo hacemos uso de la acción operatoria. Para dar cuenta de las condiciones de verdad o falsedad de los enunciados (proposiciones, argumentos...) necesitamos palabras, sentencias, símbolos y signos, es decir, hemos de ser capaces de expresar y para ello es necesario nominalizar. Por tanto, requerimos significantes que actúen de intermediarios en la conceptualización (Vergnaud, 1990). Desde esta perspectiva teórica, el concepto está constituido como tal por tres conjuntos distintos (Vergnaud, 1993):

- Conjunto de las situaciones que dan sentido al concepto (referente).
- Conjunto de invariantes en los que se basa la operatividad de los conceptos (significado).
- Conjunto de las formas de lenguaje (o no) que permiten representar simbólicamente el concepto, sus propiedades, las situaciones y los procedimientos de tratamiento (significante).

En los tres conjuntos anteriores nos encontramos con algunos conceptos-clave de la teoría que nos ocupa y aún no hemos tratado. Analicemos el concepto de **situación** que tanto ha salido ya y al que tanta relevancia le da Vergnaud.

El concepto de situación no tiene aquí el sentido de situación didáctica sino sobre todo el de tarea, la idea es que toda situación compleja puede ser analizada como una combinación de tareas en las que es importante conocer la naturaleza y la dificultad propias. (Vergnaud, 1990, pág. 146)

Cuando Vergnaud habla de situación se refiere a eventos y ocasiones complejas de la realidad –externa o personal– que suponen acción, sea ésta procedimental o declarativa. En cualquiera de esos casos, lo que es evidente es que el sujeto actúa para hacerle frente a esa situación y en ella se encuentra con objetos, propiedades y relaciones¹⁹ que interactúan de manera compleja, en un espacio y en un tiempo dados (Vergnaud, 1993). De un modo general, hay cierta causalidad

19. Objetos, propiedades y relaciones son los elementos (*tokens*) que considera Johnson-Laird en los modelos mentales.

dad en los comportamientos y en las interpretaciones humanas y ello se debe a que ante determinada situación actuamos procurando delimitar los elementos que la caracterizan en términos, precisamente, de esos objetos, propiedades y relaciones (Barais y Vergnaud, 1990). Por eso es por lo que no se trata de situaciones didácticas, ya que no hacen referencia a eventos que tengan por objeto procesos de aprendizaje, sino que son situaciones cognitivas –producidas en la escuela o en la vida diaria– que activan en el sujeto la acción, si bien esto tiene claras connotaciones en la enseñanza. «*Los procesos cognitivos y las respuestas de los sujetos son función de las situaciones a las que se enfrentan*» (Vergnaud, 1990, pág. 150). La figura 2 refleja sintéticamente la relación entre algunos de los conceptos explicados hasta el momento.

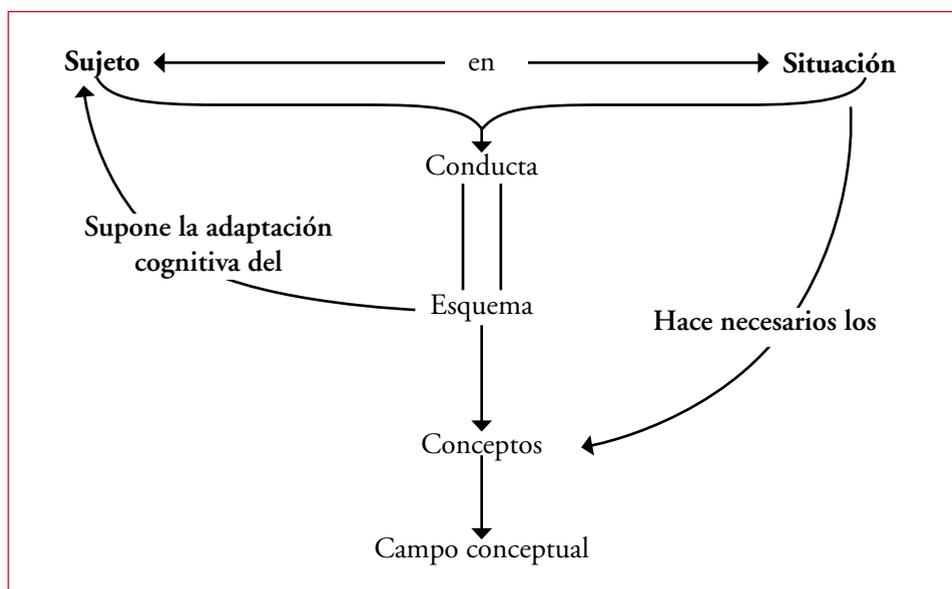
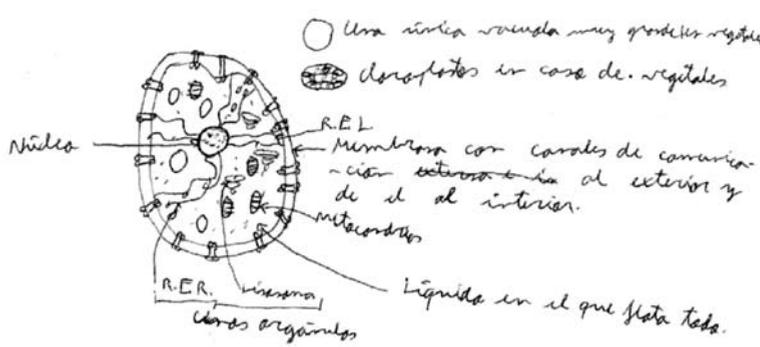
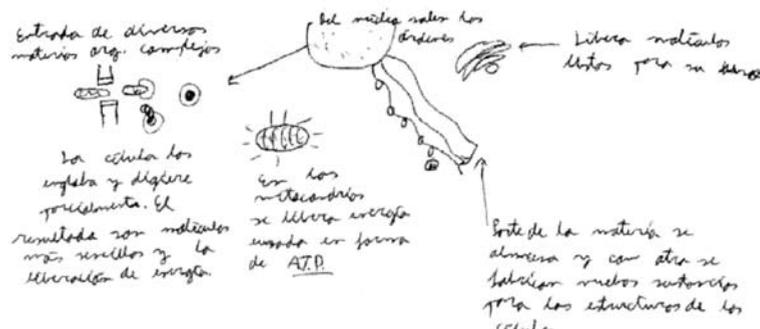


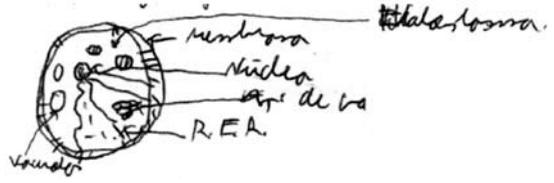
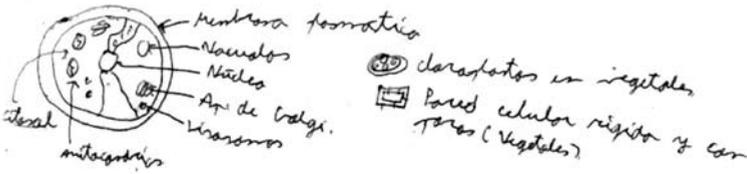
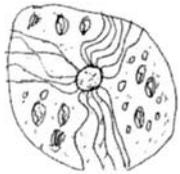
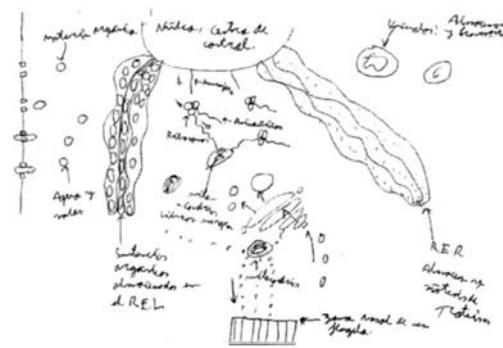
Figura 2. Relaciones entre algunos conceptos fundamentales de la Teoría de los Campos Conceptuales.

Pero ¿qué es lo que hace operatoria la acción del individuo en esas situaciones? Será un conjunto de elementos cognitivos que posean sus estructuras mentales que se denominan como **conocimiento-en-acción**. Ese conocimiento determina la activación de nuestros esquemas y por ello esta respuesta tiene siempre una parte de decisión consciente y una parte de automatismo; es este automatismo lo que constituye los **invariantes operatorios** de los esquemas. Con éstos hacemos frente a determinadas situaciones y en éstas establecemos varios registros de la actividad que estamos realizando. Las formas de organización de esa actividad son las que constituyen los invariantes operatorios. Hablamos, pues, de un conocimiento que está en la mente, que es implícito, un

conocimiento que aun teniendo elementos simbólicos, no lo es. Un concepto que forme parte de esa estructura cognitiva no lo será del todo si el sujeto no es capaz de explicitarlo y, desde esa perspectiva, la ayuda y el análisis de la explicitación permitirá determinar cuáles son los invariantes puestos en juego en el proceso, así como construir progresivamente objetos y predicados más explicativos y de mayor nivel (Vergnaud, 1994, 1998). Ese conocimiento-en-acción es lo que permite la adaptación y, por tanto, la capacidad de enfrentar nuevos problemas, nuevas situaciones, nuevas tareas, nuevos desafíos (Vergnaud, 1998). La tabla 2 muestra las respuestas de un estudiante a distintas cuestiones sobre la célula en diferentes ocasiones y frente a distintas situaciones, a lo largo de un curso escolar. Puede observarse la extrema regularidad con la que actúa y responde, detectándose un modo invariante de organizar sus ideas y de plasmarlas ante esas distintas situaciones y demandas.

Tabla 2. Respuestas de un estudiante ante distintas demandas relativas a la célula.

Fuentes de datos/fecha	
<p>Preg. Nº 2: ¿Cómo podemos representar una célula? ¿Cómo haríamos un dibujo de la misma?</p>	 <p>Una célula redonda muy grande y orgánica Cloroplastos en caso de vegetales</p> <p>Núcleo R.E.L. Membrana con canales de comunicación exterior con el exterior y de él al interior. Mitochondrion R.E.R. citosol Líquida en el que flota todo. y otros orgánulos</p>
<p>Questionario inicial. 22/10/96</p> <p>Preg. Nº 3: ¿Y si tuviéramos que dibujar cómo funciona?</p>	 <p>entrada de diversos nutrientes org. complejos</p> <p>los orgánulos se liberan nutrientes para su uso</p> <p>la célula los engloba y digiere por sí misma. El resultado son nutrientes más sencillos y la liberación de energía</p> <p>en los mitochondrios se libera energía usada en forma de <u>ATP</u></p> <p>Parte de la materia se elimina y con otra se hacen nuevos nutrientes para las estructuras de la célula.</p>

<p>Ex. de Origen Vida. 18/11/96</p>	<p>Explica: célula. «Es la unidad morfológica de la vida, la unidad constituyente de todos los seres vivos (ex(c)epto los virus). Se trata de un sistema formado por orgánulos en medio acuoso y un aislamiento del medio, y que además realiza todas las funciones vitales propias de la vida (nutrición, relación, reproducción). Siendo además la unidad que va localmente contra la entropía degradando materia y tomando la energía liberada».</p> 
<p>Ex. de Lípidos. 26/2/97</p>	<p>Explica: célula. «Es la unidad básica de la vida, la estructura más pequeña con capacidad para ir, por sí misma y con sus medios, localmente contra el caos, reduciendo los niveles de entropía (localmente). Compuesta por moléculas orgánicas, en organización, que poseen un lugar determinado en la célula y unas funciones que realizan gracias a sus propiedades físicoquímicas particulares; teniendo, además, la capacidad de mantener y renovar estas estructuras realizando procesos de degradación de materia para obtener energía y síntesis de materia propia, ya que si van localmente contra el caos es porque utilizan energía contenida en moléculas complejas. Realizan todas las funciones que se le atribuyen a los seres vivos: nutrición, relación, reproducción, nacimiento y muerte –sólo lo vivo nace y muere».</p> 
	<p>Preg. Nº 2: ¿Cómo podemos representar una célula? ¿Cómo haríamos un dibujo de la misma? «Un cuerpo con volumen, de aspecto semiesférico o amorfo, con corpúsculos flotando en su interior, destacando una parte esférica central y unas especies de bolsas plegadas desde el centro a los límites exteriores».</p> 
<p>Cuestionario final. 29/5/97</p>	<p>Preg. Nº 3: ¿Y si tuviéramos que dibujar cómo funciona?</p> 

Entrevista. 19/6/97	<p>Frag. A: ML: ¿célula? ¡ya, ya! ya te entiendo. ¿Célula? Orlando: . . . , lo primero que se pasó por la mente. . . . ML: esa imagen es la que tienes; descríbeme todo lo que ves. Orlando: siempre se ve una mancha oscura, una mancha oscura por un lado, otras más pequeñas y como unas bandas finas que se mueven y parecen, y como e, y parece que hay, como cuando coges una bolsa de agua. . . . ML: ¿qué elementos distingues en esa imagen que me estás describiendo? Orlando: a una estructura exterior finita. ML: finita. Orlando: bastante delimitada, un líquido, se veennn como estructuras que parecen transparentes, longitudinales o enrolladas. . . muchos puntitos pequeños, otros mayores. . . un, uno grande que tiene comooo, como si fuera unas, unas estrellas. ML: ¡mj! Orlando: como si le salierannn, radios, radios.</p>
	<p>Frag. B: ML: [. . .] ¿por qué identificas esas cosas como las has identificado? Orlando: . . . por la posición en la que se encuentran porque siempree pues también tengo un modelo en la cabeza acerca de los lugares en los que está cada cosa, siempre se ve la célula. ML: ¡ahij! ¿cómo? explícame eso, que tú tienes un modelo en la cabeza. Orlando: a ver, a ver, siempre que se piensa en célula. ML: sí. Orlando: se piensa un núcleo, se piensa unos, unos elementos característicos colocados más o menos siempre en una posición determinada y entonces por la distribución, la membrana al exterior, el núcleo más o menos al centro, no está exactamente al centro pero siempre separado por una membrana y luego unas estructuras externas. . .</p>
	<p>Frag. C: Orlando: sí, siempre hay una repetición, todas las células siguen un patrón, me parece a mí.</p>

El conocimiento-en-acción está constituido por los **conceptos-en-acción** y los **teoremas-en-acción**; son éstos los conocimientos que están contenidos en los esquemas. «*Un concepto-en-acción es un objeto, un predicado o una categoría que se considera relevante y un teorema-en-acción es una proposición que se da como verdadera*» (op. cit., 168). Pero un concepto-en-acción no es un concepto científico ni un teorema-en-acción es un principio científico. Se trata de conceptos y teoremas (psicológicos vs científicos) que mantienen un estatus diferente.

Un concepto-en-acción no es enteramente un concepto, ni un teorema-en-acción un teorema. En la ciencia, los conceptos y teoremas son explícitos y se puede discutir su pertinencia y su validez. No es necesariamente el caso para los invariantes operatorios. Conceptos y teoremas explícitos no forman más que la parte visible del iceberg de la conceptualización: sin la parte escondida formada por los invariantes operatorios, esta parte visible no sería nada. (Vergnaud, 1990, págs. 144 y 145)

Por eso es importante que analicemos cómo son y cómo se generan los conceptos-en-acción y los teoremas-en-acción para poder llevar al individuo desde su conocimiento implícito hacia el conocimiento científico explícito que la enseñanza pretende. De hecho, construir esos conceptos es un proceso progresivo que

se lleva a cabo a largo plazo; tiene carácter evolutivo. Conceptos-en-acción y teoremas-en-acción están íntimamente relacionados, pero no pueden confundirse.

Los conceptos-en-acción son ingredientes necesarios de los teoremas-en-acción, de la misma manera que las funciones proposicionales y argumentos son ingredientes necesarios de las proposiciones. Pero los conceptos no son teoremas. No permiten derivación (o inferencia o computación); una derivación requiere proposiciones. Las proposiciones pueden ser verdaderas o falsas; los conceptos pueden ser sólo relevantes o irrelevantes. Aun, no hay proposiciones sin conceptos. Recíprocamente, no hay conceptos sin proposiciones, como es la necesidad de derivar de la representación del mundo y tener verdaderas (o al menos más verdaderas) concepciones del mundo que hagan los conceptos necesarios. Un modelo computable de conocimiento intuitivo debe comprender conceptos-en-acción y teoremas-en-acción como ingredientes esenciales de los esquemas. (Vergnaud, 1994, pág. 55)²⁰

El concepto-en-acción puede estar constituido bien por un concepto en sentido estricto, bien por un objeto o por un predicado que se considera relevante o pertinente por parte del sujeto y que es implícito (Vergnaud, 1995). «*Los conceptos-en-acción son relevantes o no relevantes, o más o menos relevantes, para identificar y seleccionar información*» (Vergnaud, 1998, pág. 173). Un concepto-en-acción no necesariamente es un concepto específico de la disciplina en la que se trata; «independencia de las informaciones», por ejemplo, no es un concepto matemático. Un concepto-en-acción es un concepto clave para resolver una cuestión o un problema, para poder interpretarlo. Son los conceptos-en-acción los que nos llevan a buscar la información necesaria para resolver eso, pero no nos permiten razonar. Para eso disponemos de teoremas-en-acción, de tal manera que si el razonamiento no tiene la forma de un teorema-en-acción, no nos capacita para resolver el problema o la situación y, de cualquier manera, para ello se requieren conceptos-en-acción. Los teoremas-en-acción se construyen con conceptos-en-acción. Por eso, un concepto no es verdadero o falso, sino pertinente o no pertinente, pero un teorema sí que puede ser verdadero o falso, constituyendo una construcción mental más compleja. Si nos referimos nuevamente a las Matemáticas, un teorema-en-acción sería la relación matemática que usan los estudiantes y que cuentan cuando eligen operaciones y caminos para resolver problemas. Son relaciones que no es fácil expresar verbalmente y por ello se constituyen en maneras de analizar sus estrategias intuitivas, pudiendo, de este modo, ayudarlos a transformar su conocimiento (Vergnaud, 1988).

En el ejemplo de la tabla 2 podemos detectar algunos invariantes en las explicaciones de Orlando. Para él, lo que es relevante guarda relación básicamente con estructuras celulares –en términos de conceptos utilizados– expresando y

20. ¿No se observa en esta cita alguna similitud entre lo que plantea Johson-Laird y los planteamientos de Vergnaud?

usando tanto en discurso como gráficamente pocos conceptos que tengan que ver con el dinamismo que caracteriza a una célula. Para ello incluso recurre a conceptos generales antes que conceptos científicos específicos del funcionamiento celular, así como a la relación estructura/función, a pesar de haber sido trabajado intensamente ese contenido en las clases, lo que muestra que para este joven no fueron relevantes. Dado que los conceptos que usó este alumno en las cinco situaciones son marcadamente semejantes, que son los que determinan la búsqueda de la información pertinente y que son los considerados relevantes, frente a todos los que obvió, podría admitirse que esos conceptos operan en su mente como conceptos-en-acción que, consecuentemente, forman parte invariante de su esquema, puesto que generan o provocan una conducta similar. Pero los conceptos-en-acción no permiten el razonamiento; para eso se dispone de los teoremas-en-acción. Orlando opera mentalmente con los que se exponen a continuación:

- La célula es la unidad morfológica de la vida.
- Los componentes de la célula ocupan siempre un lugar determinado.
- Todas las células siguen un patrón común.
- La célula tiene una parte esférica en posición central y elementos desde el centro hacia los bordes externos.
- Todas las células realizan nutrición, relación y reproducción.
- El núcleo ejerce el control y ordena.
- La célula usa materia orgánica que rompe para liberar energía.
- La célula almacena.

Como puede observarse, no todos estos teoremas-en-acción son científicamente admitidos o correctos, lo que da muestras de su limitada capacidad explicativa y predictiva; esto se evidencia sobre todo en sus últimos dibujos o en su expresión (Rodríguez y Moreira, 2003). Sólo aceptando que dispone de esos invariantes operatorios en su estructura cognitiva, podemos entender que las respuestas de Orlando sean tan llamativamente similares ante distintas situaciones, en diferentes contextos y en distintos momentos.

El concepto de teorema-en-acción es la principal herramienta para describir el razonamiento a largo plazo de las competencias de los estudiantes en un campo conceptual dado y trazar filiaciones y rupturas. Es también la mejor herramienta para analizar las relaciones entre conocimiento intuitivo implícito y teoremas [...] explícitos y simbolismos. (Op. cit., pág. 160)

Los conceptos-en-acción y los teoremas-en-acción, como invariantes operatorios de los esquemas que son, ejercen una influencia directa en la acción del sujeto. Pero, como se recordará, los esquemas tienen, además, como elementos

constituyentes las reglas de acción. El propio Vergnaud (1997, pág. 14) relaciona ambos componentes:

Está claro que tales reglas de acción no son teoremas, así como su función no es que sean verdaderas sino apropiadas y eficientes; pero cuentan con teoremas implícitos que yo llamo teoremas-en-acción. Los teoremas-en-acción están dados para ser verdaderas proposiciones, incluso aunque puedan ser totalmente implícitos, parcialmente verdaderos o incluso falsos. Dicen algo acerca del mundo de objetos y acerca de la realidad, mientras que las reglas de acción no. Las reglas de acción son también proposiciones muy a menudo implícitas, e inevitablemente lacónicas. Dicen algo acerca de la conveniencia de las acciones del sujeto, no directamente acerca del mundo de objetos.

Los esquemas contienen elementos conceptuales y procedimentales, como ya se ha expuesto, dado su carácter de mediadores entre el sujeto y su acción. Estos elementos se representan en la mente. Queda por ver, pues, el papel de la **representación** desde esta perspectiva. Si bien el conocimiento no es esencialmente simbólico, se representa mentalmente a través de símbolos, signos y otros modos.²¹

La representación a través de palabras y sentencias cambia el estatus de los conceptos y teoremas. El proceso de explicitación es difícil pero los conceptos explícitos y los teoremas capacitan a los estudiantes para objetivar su conocimiento y discutir su idoneidad y validez. La ciencia está hecha de textos (conocimiento explícito); los esquemas no. (Op. cit., pág. 28)

Se requiere, pues, un puente que medie en ese proceso de explicitación, ya que lo que se procura es aprendizaje; ese papel lo ejercen generalmente las palabras y el discurso. De este modo, se cae en la cuenta de que en el proceso de representación, la posibilidad de determinar e identificar los objetos, las propiedades, las relaciones e interacciones y las reglas la brindan esas palabras y ese discurso (Vergnaud, 1996a). Como es sabido, el lenguaje refleja relaciones que son no sólo lingüísticas sino también conceptuales. Para adquirir comprensión de las mismas es necesario construir una representación mental que lo permita y cuando eso ocurre, la relación establecida ya no es lingüística sino que se refiere al dominio conceptual sobre el que versa (Vergnaud, 1996b), sea éste matemático, científico, geográfico o social. Por eso es por lo que pensamiento, gesto y expresión están estrechamente interconectados. Por eso también, la representación generada a lo largo de la escolaridad es cada vez más compleja.

21. La Teoría de los Campos Conceptuales es una teoría psicológica que se enmarca en el paradigma de la Psicología Cognitiva. Como se recordará, el concepto de representación mental es central en la misma.

Sin embargo, la acción operatoria no es el todo de la conceptualización de lo real, lejos de eso. No se debate la verdad o la falsedad de un enunciado totalmente implícito, y no se identifican los aspectos de lo real a los que es necesario prestar atención sin la ayuda de palabras, de enunciados, de símbolos y de signos. El uso de significantes explícitos es indispensable para la conceptualización. (Vergnaud, 1990, pág. 145)

Si bien es cierto que son los conceptos los que requieren referencia, significante y significado, parece adecuado atribuir los mismos elementos a las propias representaciones, ya que estamos viendo que para que doten de comprensión a los individuos, deben dar cuenta de todo ello. La representación de las situaciones a las que se enfrentan es lo que va a activar el esquema o los esquemas ya construidos y en éstos se dispone de determinados invariantes operatorios que posibilitan ciertas reglas de acción. Todo ello es lo que dota de sentido a las situaciones y este sentido se define como el conjunto de esquemas que se pueden activar. De hecho, podemos evocar varios esquemas sucesiva o, incluso, simultáneamente. En este proceso, la nominalización ejerce un papel fundamental ya que es importante la distinción concepto-herramienta y concepto-objeto, porque se supone que la mente empieza por operar con los conceptos como si fueran instrumentos que le permiten entender la realidad, los usa como vía para comprender y luego, a base de situaciones en las que los utiliza, los transforma en conceptos-objeto, como objetos de su conocimiento. Es un paso imprescindible en su apropiación. En esa línea y en ese mismo sentido se hace necesario el proceso o la operación de nominalización porque, de no ser así, no podemos manejar ni entender qué significa el concepto-herramienta ni el concepto-objeto.

La representación ejerce así un papel crucial, ya que permite aprehender situaciones de modo esquemático, a través de los significantes que tienen elementos similares o invariantes; esto facilita la captación del significado y su transformación en objeto de pensamiento.²²

Parece así que todas las piezas encajan y tienen coherencia. Progresivamente, de un concepto se va derivando otro, de la consideración de uno, se extrae la pertinencia del otro y, de este modo, se ha definido un núcleo de conceptos clave denso y complejo, como ya se expresó, de la Teoría de los Campos Conceptuales. El **esquema** reclamó la necesidad del **concepto** como tal. Como esquemas y conceptos se construyen en momentos y eventos concretos, hemos tenido que abordar el papel de la **situación** en la que eso ocurre. Eso condujo a la consideración de los **invariantes operatorios** como elementos de los esquemas, lo que dirigió nuestros pasos a **conceptos-en-acción** y **teoremas-en-acción**. Como todo ello se refleja mentalmente se llegó a la **representación**.

22. ¿Podríamos hacer corresponder estas dos fases con la captación de significados de Gowin, como paso previo para su aprendizaje significativo posterior, si así lo decide el sujeto?

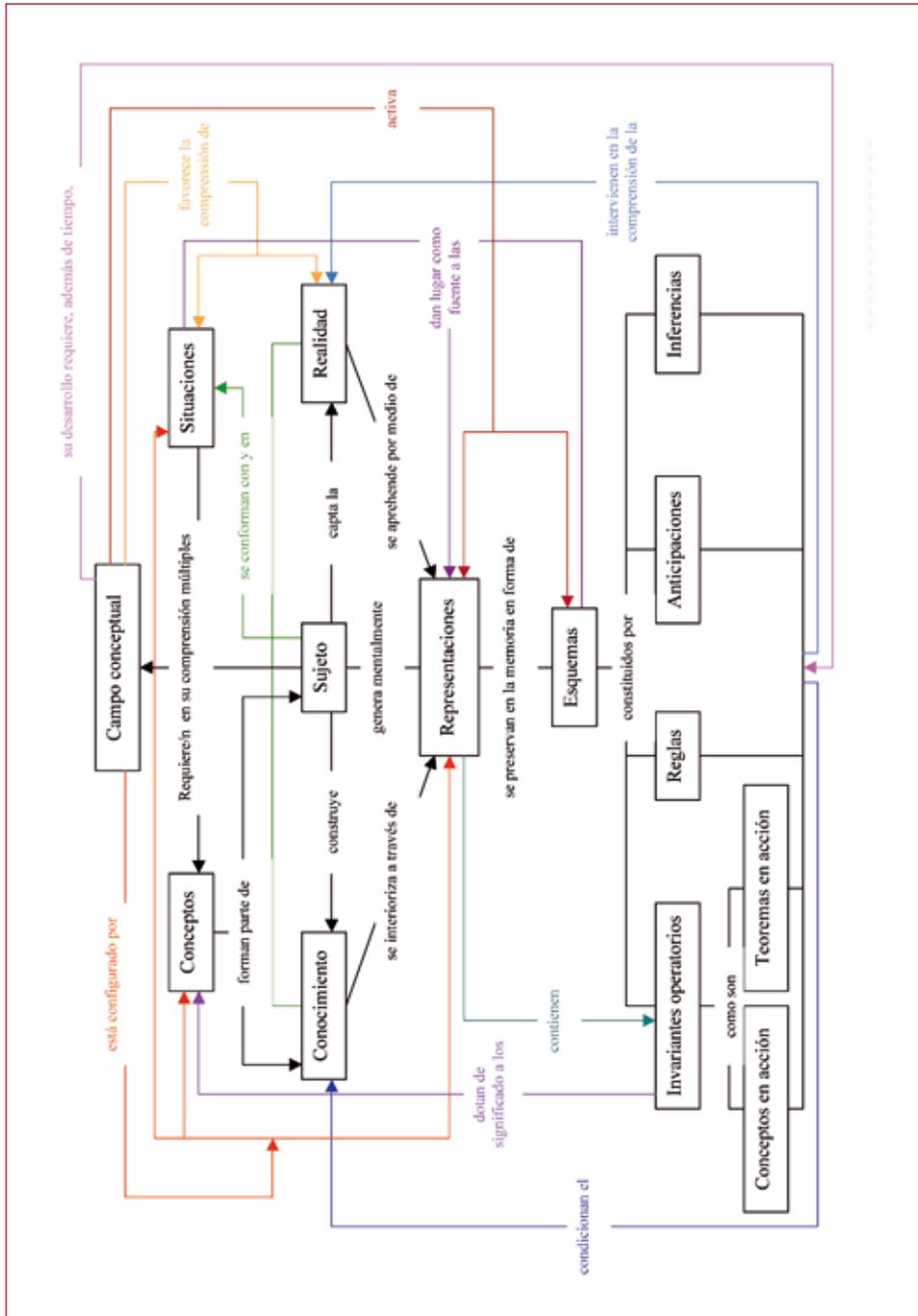
¿Y todo eso para qué? Para llegar al último de los conceptos clave y aquél que define a la teoría como tal: **campo conceptual**. A la idea de campo conceptual se llega, como se recordará, porque se entiende que es absurdo abordar por separado el estudio de conceptos que están interconectados. Del mismo modo, se ha considerado que esos conceptos, que no tienen sentido aisladamente, se construyen y operan en el conocimiento humano en función de las situaciones a las que el sujeto se enfrenta y en ese proceso entran en juego procedimientos, concepciones y representaciones simbólicas con el objeto de dominar esas situaciones (Vergnaud, 1983a). Un campo conceptual es, entonces, un conjunto de situaciones en las que el manejo, el análisis y el tratamiento que realiza la persona requieren una variedad de conceptos, procedimientos y representaciones estrechamente interconectadas (Vergnaud, 1995, Vergnaud y col., 1990). El campo conceptual se relaciona, pues, directamente con las situaciones que lo reclaman y eso guarda relación con las tareas. Son situaciones las que demandan conceptos relacionados y no conceptos aislados que no tienen, así, ni utilidad ni significado. Esto facilita una forma de clasificar las situaciones en función del análisis de las tareas cognitivas requeridas y de los procedimientos utilizados o que puedan ser puestos en juego en esos campos conceptuales (Vergnaud, 1990). Todo ello se relaciona con la consideración ya expuesta de que la lógica ya no se considera como un buen referente para dar cuenta de la complejidad de esas tareas, así como de los procedimientos y de las representaciones que se usan y generan (ibid.) y por eso es por lo que se plantea una explicación alternativa.

Por campo conceptual yo entiendo un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones de pensamiento conectadas unas con otras y susceptibles de ser entretrejidas durante el proceso de adquisición. [...]. La comprensión progresiva de este campo (la referencia es al campo conceptual de las estructuras aditivas) se desarrolla durante un largo periodo de tiempo desde la edad de 3 ó 4 años hasta al menos la edad de 15 o 16. El estudio psicogenético de la adquisición de este campo requiere el análisis de las diferentes relaciones implicadas y el estudio jerárquico de las distintas clases de problemas que se pueden ofrecer a los estudiantes. Requiere también el estudio de los diferentes procedimientos y las distintas representaciones simbólicas que los estudiantes deben usar. (Vergnaud, 1982, pág. 40)

Colateralmente, otros conceptos son también importantes en el marco de la teoría, como, por ejemplo, conocimiento entendido como competencia o los conceptos piagetianos de adaptación, acomodación y asimilación. De su significado y de la consideración que tienen para el autor se han dado, en todo caso, referentes a lo largo de lo ya expuesto. La figura 3 muestra un mapa conceptual elaborado con los conceptos y constructos que se han considerado claves de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud. En su parte central se han

situado sujeto, conocimiento, realidad, representaciones y esquemas como un triángulo que se considera fundamental en los procesos de cognición humana. Ésta se articula en torno a conceptos que se construyen frente a las situaciones en las que los necesitamos; para dar cuenta de las mismas, se requiere más de uno, lo que constituye el campo conceptual. En la parte inferior del mapa conceptual se exponen los componentes de los esquemas. Los conceptos considerados admiten una gran cantidad de conexiones entre ellos, lo que se ha expresado en diferentes colores.

Figura 3. Mapa conceptual desarrollado para los conceptos y constructos fundamentales de la Teoría de los Campos Conceptuales (Rodríguez, 2002).



6. ¿Qué se investiga y cómo?

El ámbito de las Matemáticas ha sido el terreno en el que se ha abonado esta construcción teórica y donde se ha desarrollado y crecido, si bien, como ya se ha comentado, lo que de ahí ha salido es extrapolable *a priori* a otros dominios del conocimiento, especialmente cuando son complejos. Recordemos que un campo conceptual reúne el conjunto de situaciones, el conjunto de conceptos y el conjunto de teoremas implicados en las mismas.

La aproximación canónica al estudio de un campo conceptual implica identificar y clasificar situaciones y luego recoger datos acerca de procedimientos y otros modos en los que los estudiantes expresen su razonamiento. Un ciclo de investigación comienza con la identificación de los niveles de objetos, relaciones y teoremas-en-acción. El ciclo, entonces, se mueve hacia el diseño de situaciones y materiales y su experimentación con los estudiantes. Luego, construye representaciones simbólicas por observación y análisis de diferentes fenómenos que ocurren. Después comienza otra vez, para ampliar el primer ciclo. (Vergnaud, 1988, pág. 149)

Nos encontramos de nuevo con situaciones, procedimientos y razonamiento. Desde el punto de vista de su investigación, nos ocupamos de objetos, relaciones, conceptos y teoremas-en-acción o, también, de representaciones simbólicas.

Dado que un concepto cobra sentido cuando se maneja a través de situaciones variadas, su operatividad debería verificarse observando las conductas y los esquemas de los sujetos, de manera que pueda determinarse en qué consisten esos conceptos para los mismos desde el punto de vista cognitivo. Hacer un estudio del desarrollo y de la funcionalidad de un concepto en su aprendizaje o en su uso requiere prestar atención, por tanto, a las situaciones (referente), a los invariantes (significado) y a las representaciones (significantes) y esos tres aspectos deben ir siempre juntos en la indagación (Vergnaud, 1990). Son, pues, los propios esquemas los que constituyen el objeto de la investigación.

Es un fascinante problema de investigación para los cognitivistas y desarrollistas comprender cómo los esquemas y las concepciones nacen en muy particulares situaciones, emigran y cambian en orden a enfrentar y comprender nuevas situaciones algunas veces lejos de las situaciones inicialmente dominadas. Nuevos conceptos y teoremas se necesitan, que raramente se hacen explícitos: la mayoría de ellos son conceptos-en-acción y teoremas-en-acción [...]. Esto me ha llevado a la conclusión de que la investigación no debería dirigirse a la formación de conceptos aislados y esquemas sino, antes, al campo conceptual completo. (Vergnaud, 1996a, pág. 116)

Quienes se ocupan de los procesos de aprendizaje y de enseñanza, tanto desde un punto de vista específico de la disciplina como psicológico, deberían poner más atención a la caracterización y clasificación de las situaciones en las que se usan los conceptos y operaciones. Esto conduce a prestar más atención, también, a los invariantes utilizados para dominar las situaciones y, por último, al papel mediador del lenguaje, que es fundamental. Como es obvio, todo ello debe ser investigado (Vergnaud, 1997).

Vergnaud recurre como método al análisis de la tarea. Es un método utilizado en la psicología del trabajo y que debe ser usado con precaución en el ámbito de la investigación en enseñanza de las ciencias. Se destaca que no se puede llevar a cabo sin un análisis profundo de la materia, «*de los tipos de relación puestos en juego y de los posibles problemas*» (Vergnaud, 1983b, pág. 392).

¿Cómo podemos plantear todo esto en pautas concretas que faciliten la tarea y nos ayuden a investigar? El mejor modo de responder nos lo ofrece el propio Vergnaud (1997, pág. 9). Su interés es llevar a cabo en la indagación una aproximación de naturaleza psicológica, ya que lo que procura es comprensión sobre los modos de razonamiento de las personas. Por lo tanto, está proponiendo un enfoque basado en el desarrollo de esos modos, que tiene carácter cognitivo y social y cuya base o punto de partida es eminentemente epistemológico. Así es como puede establecerse una agenda que procure dar respuestas a cuestiones como las que él mismo nos propone, lo que determina distintas líneas de investigación. Algunas consecuencias extraíbles desde esta perspectiva son:

- ¿Qué clases o categorías de situaciones son las que potencialmente ofrecen a los estudiantes ocasiones para que formen conceptos científicos, tanto en el aula como fuera de ella?
- ¿Qué pautas deben seguirse para estudiar jerárquicamente la complejidad de esas situaciones y de qué manera debemos clasificarlas?
- ¿Cómo son los esquemas que usan los jóvenes frente a esas situaciones? ¿Cuáles tienen éxito o fracasan y en qué condiciones? ¿Qué conceptos y teoremas implícitos se advierten en los mismos?
- ¿Cuáles son los procedimientos que desarrollan de manera espontánea? ¿Cuáles son los que se enseñan o deben ser enseñados? ¿Qué papel juegan en ese proceso los profesores, los padres y los compañeros?
- ¿De qué manera comunican los sujetos lo que hacen y lo que comprenden? ¿Cómo utilizan el discurso y los modos simbólicos en sus formas de pensar y razonar? ¿De qué modo se representa en sus mentes todo esto?
- ¿Qué situaciones no habituales en el entorno externo a la escuela deben trabajarse en el aula para incorporar y hacer significativos los conceptos científicos que sólo la enseñanza formal considera?

Estamos ante una teoría cognitivista, una teoría que se articula en torno a la idea de que el núcleo del desarrollo cognitivo lo constituye la conceptualización de lo real. Desde esta perspectiva, a diferencia de Piaget, Vergnaud (1994) pone el acento en el análisis conceptual, tanto de los esquemas como de las situaciones, ya que es así como considera que los estudiantes desarrollan sus esquemas en la vida diaria y en la escuela.²³ De este modo, hemos de admitir que adquiere un papel preponderante el estudio y el análisis del contenido específico objeto de trabajo para su enseñanza. «Una dificultad para los investigadores es que un simple concepto no refiere sólo un tipo de situación y una simple situación no puede ser analizada sólo con un concepto. Por tanto, debemos estudiar los campos conceptuales» (Vergnaud, 1988, pág. 141). Los conceptos no se desarrollan solos, de manera aislada, sino que adquieren significado por las relaciones que establecen con otros conceptos. Por eso es por lo que expresar estas relaciones a través de mapas conceptuales (Novak y Gowin, 1988) es un buen ejercicio cognitivo. Los mapas conceptuales serán herramientas útiles para expresar «campos conceptuales», o sea, relaciones conceptuales que establecen los individuos, aunque los campos conceptuales reúnen no sólo conceptos y sus relaciones, sino también las situaciones, los procedimientos, etc.

Pero se solicita y se demanda investigación relativa a campos conceptuales y, como vemos, aunque requieran análisis conceptual, son mucho más que los conceptos que los constituyen. Es importante dar cuenta de lo que el sujeto piensa, dentro de lo posible, utilizando para ello lo que expresa y cómo actúa, para intentar establecer inferencias y deducciones sobre cómo razona y determinar sus invariantes operatorios. Pero eso es harto difícil porque esa relación, efectivamente, es muy compleja. Aun así, las observaciones sobre las acciones en situaciones son muy productivas ya que resultan altamente informativas, dando cierta medida del grado de comprensión y de conceptualización.

Para una investigación cognitivista-desarrollista como la que se exige y reclama desde este marco teórico, como puede comprenderse fácilmente, no son suficientes los planteamientos articulados en torno a la conducta solamente o a los patrones derivados de los estadios de pensamiento. Se trata de un paradigma diferente de experimentación que requiere una formación distinta en la que se estudian y se preparan con detalle las situaciones y los medios de observación, un bagaje que va más allá de lo que Piaget o Vygotsky pudieran sospechar (Vergnaud, 1996c). Para Vergnaud (Vergnaud y col, 1990, págs. 23 y 24), un programa de investigación desde esta perspectiva se resume en las siguientes acciones derivadas, consecuentemente, de las preguntas antes expresadas:

- Analizar las variadas situaciones definitorias de cada campo conceptual y clasificarlas.

23. Vergnaud reclama, como Ausubel, la necesidad de un análisis conceptual que posibilite el aprendizaje del contenido por parte del alumnado.

- En cada una de esas clases de situaciones, describir las conductas, procedimientos y razonamientos que los estudiantes muestran.
- Analizar las competencias científicas exhibidas por los jóvenes como esquemas organizados; así mismo, debe prestarse atención a la identificación de los invariantes operatorios de los esquemas activados.
- Estudiar el papel del lenguaje y de otras expresiones simbólicas en los esquemas y en su comunicación o exteriorización; conviene también, observar el papel mediador del profesorado.
- Delimitar la transformación de los invariantes que la docencia genera, de modo que se pueda calibrar la manera de comprender el conocimiento científico que lleva a la aprehensión de la realidad, así como los modos de actuar frente a la misma.
- Analizar el proceso por el que el alumnado se hace consciente de la relación necesaria entre metas que se deben alcanzar (aprendizaje) y procedimientos que deben ponerse en juego para ello, lo que deriva en el estudio de los teoremas que deben verificar.

Y como ha podido observarse, la teoría cuenta con abundante documentación que la avala en el dominio de las Matemáticas, pero es más limitada en otros. Los protocolos desarrollados hasta el momento funcionan bien y permiten extraer conclusiones relevantes para esta disciplina, pero para su extrapolación a otras sería preciso llevar a cabo su «adaptación». Las herramientas y los procedimientos utilizados en las investigaciones mencionadas no parecen directamente aplicables a otros campos del conocimiento y, de hecho, pensar, por ejemplo, en teoremas-en-acción tal y como se muestran para las Matemáticas o puedan advertirse en la Física, no resulta tan evidente en Ética o en Biología, y, en todo caso, no parece tarea fácil determinarlos. Nuevamente, ello exige un profundo análisis de su contenido en aras de poder delimitarlos. Esto nos conduce a la necesidad de definir claramente qué es lo que queremos investigar en las diferentes disciplinas (esquemas, invariantes operatorios, representaciones, relaciones, grados o niveles de conceptualización, etc.) para, posteriormente, delimitar esos elementos en los procedimientos que determinemos para lograrlo.

De cualquier manera, y teniendo como referente los trabajos ya desarrollados, los aspectos destacados de la Teoría de los Campos Conceptuales muestran serios indicios y rasgos de sus posibilidades para la investigación en enseñanza de las ciencias, al combinar aspectos que hasta este momento se indagaban sin conexión.

7. ¿Qué consecuencias se derivan de su consideración?

Son muchas las posibles derivaciones que pueden obtenerse de la consideración de la Teoría de los Campos Conceptuales; algunas ya se han puesto de manifiesto y otras se intuyen. Tanto niños como adultos permanentemente estamos desarrollando aprendizajes como modos de adaptarnos a la realidad y éstos requieren tres procesos generales: transposición (del contenido proveniente de la ciencia, de la técnica y del ámbito profesional), mediación y conceptualización (Vergnaud, 1996a). Es eso lo que nos permite generalizar el conocimiento construido y para ello es importante que seamos capaces de reconocer la misma estructura ante distintas situaciones (Vergnaud, 1994). Piaget explicaba estos procesos en términos de lógica, procesamiento de la información y lingüística y esto no es suficiente para dar cuenta del desarrollo cognitivo, porque el conocimiento previo ejerce un papel esencial²⁴ y porque los referentes libres de contenido no son muy fructíferos. Consecuentemente, se requiere un cambio de perspectiva y la teoría que nos ocupa parece ser un marco teórico más eficaz, explicativo y prometedor.

Considerando el conocimiento como competencia, parece absurdo pensar en la oposición entre conocimiento declarativo y procedimental. Vergnaud (1998) lo considera incluso un error porque no se puede pretender conocimiento procedimental vacío de conceptos y teoremas. El saber hacer implica manejo y aplicación de contenido conceptual y reglas en la acción, de manera que ambos aspectos van indisolublemente unidos. Esta reflexión es clara en este marco teórico y no parece haberse visto así ni desde otros referentes, ni en la investigación ni en la docencia. De hecho, si observamos a los estudiantes cuando resuelven un problema, su comportamiento se rige por hipótesis, contrastaciones, analogías, metáforas, ampliaciones o reducciones de su conocimiento que no responden sólo a conceptos o sólo a protocolos o procedimientos. «*La consecuencia teórica es que se necesita considerar el problema de la conceptualización como la piedra angular de la cognición*» (op. cit., pág. 173).

Y en ese proceso,

Algunos errores frecuentemente observados proceden del hecho de que los estudiantes atribuyen el mismo significado tanto a las palabras usadas en física como a lo que hacen en la vida diaria. Si el sesgo cognitivo existe en este caso, está causado por un proceso de pensamiento extremadamente general, consistente en la conservación de las uniones asociativas que pertenecen a un elemento dado percibido como un invariante. (Barais y Vergnaud, 1990, pág. 72)

24. Recuérdese nuevamente la importancia que le atribuye Ausubel en el aprendizaje, cuando es significativo.

Tener en cuenta esta perspectiva permite ofrecer un modo distinto de contemplar los errores. La aprehensión de los significados va unida estrechamente a sus significantes y a las situaciones en las que se manejan. Muchas veces se utilizan esos significados sin tener en cuenta que pueden haberse «incorporado» en la vida diaria o en la escuela con anterioridad, de modo que pueden llegar a adquirir significados distintos en situaciones diversas, aun usándose los mismos significantes. Los significados científicos/no científicos en los diferentes contextos ciencia/vida diaria pueden expresarse con los mismos significantes y eso debe tenerse en cuenta porque, desde este enfoque, las situaciones son las que ejercen un papel esencial en la atribución de significado al concepto y, por ello, deben elegirse con sumo cuidado. Un nuevo invariante, así, podría ser la fuente que dé como resultado un nuevo concepto (Vergnaud, 1987). Esto advierte de la necesidad de considerar los pasos previos pertinentes para la generalización, proceso que debe ser mediado. La activación de precursores se hace notar y en ese proceso quizás podría establecerse alguna relación entre este aspecto y lo que desde la Teoría del Aprendizaje Significativo (Ausubel, 1978) se denomina subsumidores, así como el uso de los organizadores avanzados.

La conceptualización no se desarrolla de modo inmediato sino que requiere periodos largos. Otra derivación importante, por tanto, es la reivindicación que se hace del factor tiempo en los mismos. «*El dominio de un campo conceptual no se hace en algunos meses ni incluso en algunos años*» (Vergnaud, 1983b, pág. 401).

Las situaciones en sí mismas no tienen sentido y los sujetos tampoco. El sentido está conformado por el conjunto de esquemas que se pueden accionar; éstos pueden incluso ser evocados sucesiva o simultáneamente. Los esquemas reclamados en el sujeto pueden haberse activado bien por el significante o bien por la situación y es eso lo que justifica el comportamiento y su forma de organizarse (Vergnaud, 1993). Como el lenguaje tiene la doble función de comunicación y de representación, otra conclusión derivada de la teoría es considerar que:

Esclarecer la función del lenguaje y de los otros significantes es, pues, un trabajo teórico y empírico indispensable. En la teoría de los campos conceptuales ésta es una función triple:

- Ayuda a la designación y, por tanto, a la identificación de los invariantes: objetos, propiedades, relaciones y teoremas.
- Ayuda al razonamiento y a la inferencia.
- Ayuda a la anticipación de los efectos y metas, a la planificación y al control de la acción. (Op. cit., pág. 18)

Muchas veces, y Vergnaud lo ha comprobado (1996b), ni siquiera los profesores tienen una idea clara de lo que piensan o de cómo razonan, no tienen la capacidad de explicitarlo. No hay conciencia de la concepción que se tiene de educación, de enseñanza y de aprendizaje; tampoco tenemos conciencia de lo

que hacemos y de la relación que hay entre lo que pensamos y lo que hacemos. En muchas ocasiones creemos que hemos hecho algo que realmente no hemos llevado a cabo en el aula y cosas que hacemos afirmamos incluso con rotundidad que no las hemos realizado. Esto nos conduce, pues, a otra reflexión relativa a la profesionalización docente. El pensamiento implícito del profesorado es un factor que debe ser considerado. Si la explicitación del conocimiento-en-acción del alumnado, implícito, es esencial y pieza clave en su proceso de conceptualización, y si eso es difícil pero fundamental en este proceso, igualmente lo será que como docentes hagamos lo mismo que pedimos y debemos potenciar en el alumnado.

Cabe aún una última consideración:

Uno de los problemas es generalizar el conocimiento, pero en ese momento es preciso dar al niño la oportunidad de construir el conocimiento. Eso quiere decir que el proceso de conceptualización no se hace sólo por simple generalización. La generalización sólo es posible porque vamos a pagar el precio de ciertas operaciones de pensamiento. (Vergnaud, 1996b, pág. 14)

La conceptualización y la generalización del conocimiento suponen el alto precio que paga la mente humana de desarrollar operaciones de pensamiento. La conceptualización y la generalización de la propia teoría, su aprehensión, comprensión y atribución de significados, consecuentemente, también.

8. ¿Qué se puede extraer de esta teoría para la enseñanza y el aprendizaje?

Aunque relacionado de manera muy directa con el apartado anterior, podemos prestar atención en éste a aquellos aspectos que tienen que ver, no tanto con consecuencias y consideraciones globales de naturaleza psicológica, sino con lo que es su aplicación última a los procesos de enseñanza/aprendizaje y, por tanto, con derivaciones o consecuencias pedagógicas.

A diferencia de Piaget, que no se ocupó de los procesos que se dan en el aula y no se preocupó por la enseñanza, Vergnaud (1996c) tiene como uno de sus puntos de mira el aprendizaje escolar; como él dice, ni Piaget ni Vygotsky le prestaron la atención debida a la didáctica. La Teoría de los Campos Conceptuales sí que se ocupa de la enseñanza, dado que define dificultades detectadas en la misma, consistentes con su consideración de aprendizaje y, sin embargo, no es una teoría de enseñanza. En este sentido, la enseñanza debe resolver el problema de que el alumno sea capaz de desenvolverse en sus competencias, ya que competencia es conocimiento. Otro problema añadido y contemplado por Vergnaud (1996b) es la coordinación entre los aprendizajes predicativos o declarativos, con-

ceptuales, y los relativos a procedimientos, problema que el profesor y su práctica deben resolver.

Así es como de nuevo se apela al tiempo y a destacar su importancia, pero esta vez desde el punto de vista docente, así como la necesidad de experimentar cognitivamente distintas situaciones, de las que el alumno se debe apropiarse como condición indispensable para que exista aprendizaje (Vergnaud, 1983a, 1983b, 1995).

Uno de los objetos más importantes de la enseñanza es la construcción de conceptos por parte del alumnado, lo que requiere que tengamos en consideración aspectos psicológicos, así como los procesos de aprendizaje y de enseñanza en sí. Si no se tienen en cuenta todos ellos, como es lógico, la forma en la que se aborda tiene sesgos. Por eso, la necesidad de plantear la docencia como mediación parece desprenderse de esta teoría como un aspecto fundamental, sobre todo, si se tiene en cuenta que de lo que se trata es de aumentar la complejidad cognitiva. Las explicaciones y el uso de analogías, esquemas, símbolos juegan un papel esencial en ese proceso ayudando a dar los pasos y ofreciendo las ayudas necesarias en el desarrollo de la conceptualización.

No sólo es importante que los estudiantes se enfrenten con una variedad de ocasiones para extender o restringir el alcance de validez y disponibilidad de sus esquemas y desarrollar nuevos esquemas, sino que también deben ser ayudados por significados externos, como significantes lingüísticos y extralingüísticos en el reconocimiento de la estructura invariante de diferentes problemas y, por tanto, la posibilidad de usar los mismos esquemas u otros similares. (Vergnaud, 1994, pág. 55)

Para que los estudiantes puedan comprender y dominar la complejidad de los conocimientos que las disciplinas escolares quieren transmitir, es necesario que los profesores puedan presentarles los elementos adecuados. Su responsabilidad es mostrarles un conjunto de situaciones pertinentes y darles las explicaciones adecuadas. De este modo es como ellos podrán generar y activar el conjunto de esquemas con los que las puedan tratar, echando mano del conjunto de conceptos y teoremas-en-acción que les permitan analizarlas y del conjunto de símbolos y formas de representarlas en sus estructuras cognitivas, así como externamente. El profesor, de este modo, efectivamente está ejerciendo la función de mediación que conduce a la conceptualización de lo real en el alumno, siendo un auténtico facilitador del proceso (Vergnaud, 1994).

Otra consecuencia pedagógica destacable tiene que ver con la organización del contenido, tarea que compete al docente. Por lo que se desprende de lo analizado, secuenciar y estructurar el contenido objeto de enseñanza de manera lineal no parece ser el mejor modo de atender a la complejidad de ese contenido y, sobre todo, a la complejidad de su aprendizaje. Parece más apropiado, a juzgar por lo que se expone desde esta teoría, atender a la complejidad comentada procurando

múltiples situaciones y proporcionando sucesivas reutilizaciones de los contenidos trabajados. Como se recordará, desde la Teoría de los Campos Conceptuales se reivindica el importante papel que tiene el análisis conceptual de la disciplina y de las propias situaciones, lo que Piaget despreciaba, y aun teniendo claro que un campo conceptual es mucho más que eso, desde la perspectiva del profesor resultará útil, como ya se apuntó, llevar a cabo esa tarea a través del uso de los mapas conceptuales (Novak y Gowin, 1988; Moreira y Buchweitz, 1993) en la perspectiva ausubeliana (1976, 2002), ya que relacionan conceptos mostrándose así su significado, dado que los conceptos solos o aislados no tienen utilidad ni se aprenden, sino que adquieren significación en interacción con otros. Estos conceptos son los que hacen comprensibles las situaciones en las que se construyen. La importancia que atribuye Vergnaud a la multiplicidad de situaciones en las que se manejen esos conceptos evoca la organización secuencial ausubeliana (Ausubel, 1976, 2002).

En la misma línea con lo anterior, un esquema tal y como se ha explicado es un heurístico. Se nos plantea que dispone de un conocimiento y de unas reglas de acción, pues no hay acción sin referente teórico y en ese sentido operan también los diagramas V de Gowin (Novak y Gowin, 1988) ya que se trata de un instrumento heurístico que hace interactuar el pensar con el hacer. Analizar los contenidos escolares también desde esta perspectiva dotará, por tanto, al docente de una visión global que es coherente con los presupuestos vergnaudnianos y le facilita la tarea de ese estudio conceptual y procedimental que se reclama para la mejora de los procesos de aprendizaje.

El mejor modo de cerrar este apartado de las consecuencias pedagógicas de la Teoría de los Campos Conceptuales es observar lo que el propio Vergnaud (1998) considera como el papel del profesor; una síntesis de sus consideraciones se puede expresar como sigue:

- Los profesores son mediadores; deben ayudar a los estudiantes a desarrollar sus esquemas y representaciones.
- Los alumnos se vuelven capaces de hacerle frente a situaciones cada vez más complejas desarrollando sus esquemas.
- No se pueden generar esquemas nuevos sin nuevos invariantes operatorios (conceptos-en-acción y teoremas-en-acción).
- Los profesores usan palabras y frases para explicar, preguntar, seleccionar información, proponer metas, reglas, etc.; el lenguaje y los símbolos son importantes en ese proceso.
- La acción mediadora más importante de un docente es la de suministrar a los estudiantes situaciones fructíferas para su aprendizaje.
- La elección de las situaciones y su secuenciación es esencial para que el alumnado desarrolle sus esquemas potenciales en su zona de desarrollo proximal.

Y dos últimas consideraciones que apelan al origen de Vergnaud al plantear su teoría:

- Piaget y Vygotsky no se dieron cuenta de la medida en la que el desarrollo cognitivo depende de las situaciones y de las conceptualizaciones específicas necesarias para tratarlas.
- La Teoría de los Campos Conceptuales se desarrolló a partir de sus legados, ampliando así sus explicaciones y posibilidades, ya que:

La teoría del campo conceptual suministra un esqueleto para la comprensión de las relaciones entre situaciones ofrecidas a los estudiantes y las diferentes tareas cognitivas con las que ellos deben tratar, los conceptos-en-acción que son relevantes para seleccionar la información, los teoremas-en-acción que son necesarios para computar las reglas adecuadas de acción y expectativas y los diferentes términos y representaciones simbólicas que puedan usarse provechosamente para hacer las estructuras y los procedimientos explícitos en diferentes fases del proceso de aprendizaje de los estudiantes. (Vergnaud, 1997, pág. 24)

9. Algunas consideraciones finales a modo de resumen de la teoría

La intención de las páginas precedentes no ha sido otra que la de presentar la Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud, un referente teórico conocido desde hace años en el ámbito del conocimiento matemático, pero no en otros igualmente abstractos y complejos, como la Física, la Historia o la Biología, por poner algunos ejemplos. Para ello hemos comenzado por intentar averiguar qué es la teoría y cómo surgió, así como el ámbito en el que se ha aplicado, para ver si admite su uso como justificación teórica en otros. Posteriormente, hemos tratado los conceptos y constructos que definen y caracterizan a la teoría, con objeto de delimitar a continuación lo que es susceptible de ser investigado, así como el modo de hacerlo, en términos generales. Dado que se trata de una teoría psicológica, y teniendo en cuenta que nuestro propósito es comprender la cognición humana, se ha dedicado también un espacio a observar algunas de las consecuencias psicológicas que se derivan de los planteamientos de Vergnaud. Por último, se han extraído algunas consideraciones relativas a su aplicación a la enseñanza y el aprendizaje.

De forma muy sintética, podemos definir la construcción teórica de Vergnaud como una teoría psicológica que atiende a la complejidad cognitiva. Se ocupa de los mecanismos que conducen a la conceptualización de lo real. El objeto que persigue Vergnaud (1996) es entender cuáles son los problemas de desarrollo

específicos de un campo de conocimiento. Ese conocimiento lo aprehende el sujeto formando parte de sus estructuras cognitivas por un proceso de integración adaptativa con las situaciones que vive, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo. Se trata de una teoría psicológica cognitiva que se ocupa del estudio del desarrollo y del aprendizaje de conceptos y competencias complejas, lo que permite explicar el modo en el que se genera el conocimiento, entendiendo como tal tanto los saberes que se expresan como los procedimientos, o sea, el saber decir y el saber hacer (Vergnaud, 1990, 1996).

El constructo que da nombre a la teoría es «campo conceptual», idea a la que se llega porque se entiende que es absurdo abordar por separado el estudio de conceptos que están interconectados. Se considera que esos conceptos, que no tienen sentido aisladamente, se construyen y operan en el conocimiento humano en función de las situaciones a las que el sujeto se enfrenta y en ese proceso entran en juego procedimientos, concepciones y representaciones simbólicas, con el objeto de dominar esas situaciones (Vergnaud, 1983). Un campo conceptual es un conjunto de situaciones en las que el manejo, el análisis y el tratamiento que realiza la persona requieren una variedad de conceptos, procedimientos y representaciones estrechamente interconectadas. El campo conceptual se relaciona directamente con las situaciones que lo reclaman y eso guarda relación con las tareas. Vergnaud (1996) pone el acento en el sujeto en situación, su forma de organizar la conducta y su modo de conceptuar ante esa situación y para ello utiliza el concepto de esquema de Piaget. Considera que éstos constituyen el centro de la adaptación de las estructuras cognitivas, jugando un papel esencial en la asimilación y en la acomodación, ya que un esquema se apoya en una conceptualización implícita.

La Teoría de los Campos Conceptuales tiene múltiples posibilidades en distintas áreas del conocimiento. Se trata de una teoría de la que se derivan diversas consideraciones de interés, tanto de carácter psicológico como pedagógico, destacándose, fundamentalmente, su concepción de esquema como representación mental estable que opera en la memoria a largo plazo. Es una teoría cognitiva que permite comprender y explicar aspectos cruciales del proceso de la cognición.

10. ¿Qué aporta la Teoría de los Campos Conceptuales al aprendizaje significativo?

Dice Vergnaud (2006) que Piaget, Vygotsky o Ausubel estaban interesados en observar cómo y en qué condiciones el sujeto intenta comprender los objetos y los fenómenos nuevos. Pero, según él, ninguno de ellos ha sabido destacar con suficiente fuerza la interacción que se produce entre el esquema y la situación. Esta relación teórica esquema/situación es, desde su perspectiva, la piedra angular de la psicología de las competencias complejas y de la didáctica. Quizás sea ésta

una de las mayores aportaciones de la Teoría de los Campos Conceptuales a la comprensión del proceso que conduce al aprendizaje significativo, si no la que más, porque nos permite entender que ese aprendizaje se desarrolla en situaciones concretas que reclaman la activación de esquemas de asimilación por parte del sujeto que aprende. Ausubel desestimó el papel de las situaciones en la adquisición significativa del conocimiento; se ocupó de la comprensión de textos científicos porque para él, el conocimiento es sobre todo eso. Pero desde la perspectiva de Vergnaud, este planteamiento sería erróneo, ya que la conceptualización de lo real se produce a través de las situaciones que vive el sujeto y por eso, aun no postulando una teoría didáctica, enfatiza el papel esencial de la experimentación en el aula, como medio que favorece situaciones tendentes a la consecución de un aprendizaje significativo.

Desde la Teoría de los Campos Conceptuales se destaca que la adquisición de conocimientos está moldeada por las situaciones y los problemas que el individuo ha dominado previamente; ese conocimiento tiene, por tanto, un marcado carácter contextual. Así, el origen de muchas de nuestras concepciones proviene de las primeras situaciones que fuimos capaces de dominar o de nuestra experiencia tratando de modificarlas (1996a) Esas interpretaciones de la realidad son formas de aprehender el mundo y de actuar en él, por lo que no tienen status o naturaleza de conocimiento científico, produciéndose una laguna considerable entre ese conocimiento validado socialmente y los invariantes que los sujetos construyen al interactuar con el medio (Moreira, 2004).

El conocimiento del que disponen los estudiantes se ha caracterizado a lo largo de la investigación educativa de diversas maneras: errores conceptuales, concepciones, representaciones, ideas intuitivas, ideas espontáneas, teorías infantiles, teorías implícitas, etc. que, si bien tienen connotaciones y matices que las diferencian, comparten un núcleo común que es constituir el punto de partida del que el docente dispone para construir conocimiento científico a partir del mismo. Y esto es así desde que se asume en la enseñanza que *«El factor aislado que más influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe; averígüese esto y enséñese en consecuencia»* (Ausubel, 1976, pág. IV). Es, en definitiva, desde que admitimos el constructivismo como caracterización filosófica de los procesos de aprendizaje. Pero para Vergnaud (1990), esta manera de concebir el conocimiento previo supone que la persona que aprende es incompleta, imperfecta o deficiente, si la comparamos con los adultos especialistas. Esta perspectiva, esta interpretación del conocimiento que aporta el sujeto al proceso de enseñanza/aprendizaje, es inadecuada para analizar y comprender las cuestiones de desarrollo cognitivo involucradas en ese proceso. Sería mucho más fructífero, nos dice Vergnaud (íbid.), considerar al individuo como un sistema dinámico con mecanismos reguladores capaces de asegurar su progreso cognitivo (Moreira, 2004).

Ya hemos visto en el capítulo 1 el papel que le asigna Ausubel al conocimiento previo en la adquisición significativa de un nuevo conocimiento. Esa conside-

ración es similar a la contemplada por Vergnaud en relación con la influencia que le atribuye a ese conocimiento previo como precursor de los nuevos que se van a adquirir. Vergnaud aporta, en todo caso, un aspecto de sumo interés: explica la construcción del conocimiento como un proceso no lineal, que se caracteriza por las continuidades y rupturas que el individuo establece cuando aprende.

Podría concluirse, pues, que la Teoría del Aprendizaje Significativo y la Teoría de los Campos Conceptuales son complementarias. ¿Por qué?

Lo que ha propuesto Ausubel es una teoría del aprendizaje que se genera en el aula, que da cuenta de la adquisición de cuerpos organizados de conocimiento en el ámbito de la enseñanza formal. Ausubel pretende explicar cómo se construyen conceptos explícitos y formalizados, para lo que propone, como se recordará, los principios programáticos para organizar la enseñanza: diferenciación progresiva, reconciliación integradora, organización secuencial, consolidación.

Vergnaud plantea una teoría psicológica de conceptualización de lo real,²⁵ cuyo objetivo es determinar y analizar cuáles son las continuidades y rupturas que establecen los sujetos entre conocimientos previos y nuevos, desde la perspectiva de su contenido conceptual; esto es, estudia la evolución cognitiva de los conceptos. Aun no siendo una teoría de enseñanza de conceptos explícitos y formalizados, como lo es la Teoría del Aprendizaje Significativo, puede concluirse que en la Teoría de los Campos Conceptuales subyace la concepción de que los conocimientos-en-acción (que son ampliamente implícitos) sufren un proceso de evolución progresiva, que los va transformando en conocimientos científicos (que son explícitos) (Moreira, 2004).

Cabe admitir, por tanto, que la mayor contribución de Vergnaud a la Teoría del Aprendizaje Significativo es su consideración de que la conceptualización es un proceso paulatino que, desde nuestra perspectiva, conduce al aprendizaje significativo. También aporta algo que es esencial, pues nos dice cómo lograr el proceso de conceptualización y, por tanto, la consecución de ese aprendizaje significativo: a través del dominio progresivo de las situaciones que requieren el uso de los conceptos cuyo aprendizaje se pretende. Estas dos ideas clave son de tal importancia que merecen un espacio propio, desarrollado en el capítulo 5.

Podría establecerse una correlación entre lo que para Ausubel son cuerpos organizados de conocimiento y para Vergnaud son campos conceptuales. Pero la Teoría de los Campos Conceptuales nos ofrece elementos que nos permiten analizar y comprender el proceso íntimo que conduce a la adquisición significativa del aprendizaje, su estructura, que están ausentes en la Teoría del Aprendizaje Significativo o que son insuficientemente explicativos.

Al rescatar y enriquecer el concepto del esquema introduciendo los constructos de teorema-en-acción y concepto-en-acción, al considerar concepto como un triplete, al situar la conceptualización en el núcleo del desarrollo cognitivo, al

25. La escuela es el contexto en el que podríamos admitir que se produce de manera mayoritaria la conceptualización de la realidad.

destacar la interacción sujeto-situación, enfatizando el papel que las situaciones tienen en el proceso, y al definir campo conceptual, Vergnaud suministra un referente muy rico para comprender, explicar e investigar el mecanismo cognitivo que da como resultado un aprendizaje significativo (Moreira, 2004).

11. Bibliografía

- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Ed. Trillas, México.
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Ed. Paidós, Barcelona.
- Barais, A. y Vergnaud, G. (1990). «Students' conceptions in physics and mathematics: biases and hepls». Caverni, J. P., Fabre, J. M. and Gonzalez, M. (eds.). *Cognitive biases*. North Holland, Elsevier Science Publishers, págs. 69-84.
- Franchi, A. (1999). «Considerações sobre a teoria dos campos conceituais». Alcântara Machado, Silvia Dias et al. *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo, EDUC, págs. 155-195.
- Moreira, M. A. (2004). «La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área». Moreira, M. A. (org.). *La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área*. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, págs. 41-66.
- Moreira, M. A. y Buchweitz, B. (1993). *Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Novak, J. D. y Gowin, D. B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Ed. Martínez Roca, Barcelona.
- Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2002a). «La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud». *Actas del PIDEC*, vol. 4. Programa Internacional de Doctorado Universidad de Burgos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Texto de apoyo nº 15.
- Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2002b). «La célula, cinco años después». Elortegui Escartín, N.; Medina Pérez, M.; Fernández González, F.; Varela Calvo, C. y Jarabo Friedrich, F. *XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. La Laguna, págs. 213-221.
- Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2002c). «Modelos mentales vs esquemas de célula». *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 7, nº 1. Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.
- Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2003). «Una aproximación cognitiva al aprendizaje del concepto 'célula': un estudio de caso». Moreira, M. A. y Caballero Sahelices, C., (coords.). *I Encuentro Iberoamericano sobre Investigación Básica en Enseñanza de las Ciencias*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Burgos.

- Rumelhart, D. E. y Ortony, A. (1982). «La representación del conocimiento en la memoria». *Infancia y Aprendizaje*, nº 19-20, págs. 115-158.
- Vergnaud, G. (1982). «A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems». En Carpenter, T.; Moser, J. y Romberg, T. (1982). *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N. J., Lawrence Erlbaum, págs. 39-59.
- Vergnaud, G. (1983a). «Multiplicative structures». Lesh, R. y Landau, M. (eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. Academic Press Inc., Nueva York, págs. 127-174.
- Vergnaud, G. (1983b). «Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives». *Atelier International d'Été: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, Francia, 26 de junio-13 de julio.
- Vergnaud, G. (1987). *Problem solving and concept development in the learning of mathematics*. E.A.R.L.I., Second Meeting, Tübingen.
- Vergnaud, G. (1988). «Multiplicative structures». Hiebert, H. y Behr, M. (eds.). *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum, págs. 141-161.
- Vergnaud, G. (1993). «Teoria dos campos conceituais». Nasser, L. (ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, págs. 1-26.
- Vergnaud, G. (1994). «Multiplicative conceptual field: what and why?». Guershon, H. y Confrey, J. (eds.) (1994). *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. State University of New York Press, Albany, págs. 41-59.
- Vergnaud, G. (1995). *Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation. Actes de L'école d'Été*. IREM de Clermont Ferrand.
- Vergnaud, G. (1996a). «Education: the best part of Piaget's heritage». *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3), págs. 112-118.
- Vergnaud, G. (1996b). «A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos». *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, Nº 4: 9-19.
- Vergnaud, G. (1996c). «Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica». *Perspectivas*, 26 (10), págs. 195-207.
- Vergnaud, G. (1997). «The nature of mathematical concepts». Nunes, T. y Bryant, P. (eds.). *Learning and teaching mathematics, an international perspective*. Hove (East Sussex), Psychology Press Ltd.
- Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), págs. 167-181.
- Vergnaud, G. (2006). «In what sense the framework of conceptual fields can help us facilitate meaningful learning?». Ojeda Ortiz, J. A.; Moreira, M. A. y Rodríguez Palmero, M. L. (orgs.) *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación*, monografía VIII. La Salle/Ed. SM: Madrid. Págs. 47-64.

- Vergnaud, G. et al. (1990). «Epistemology and psychology of mathematics education». Neshier, P. y Kilpatrick, J. (eds.). *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Vergnaud, G. (1990). «La théorie des champs conceptuels». *Recherches en Didactique des Mathématiques*. 10 (23), págs. 133-170.

La integración de modelos mentales y esquemas de asimilación para la comprensión de procesos de aprendizaje significativo²⁶

ILEANA MARÍA GRECA

MARCO ANTONIO MOREIRA

Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Una vez analizadas y descritas con cierta profundidad las tres teorías expuestas en los capítulos anteriores, en este espacio discutimos inicialmente algunas limitaciones del referencial de los modelos mentales, expuesto en el segundo capítulo, para la investigación en enseñanza de las ciencias. Posteriormente, después de realizar un breve análisis de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, con objeto de retomar algunos de sus elementos para los fines que nos interesan, proponemos un enfoque que, integrando elementos de ambos referenciales teóricos, pueda ofrecer una mejor comprensión de algunos de los procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje significativo de conceptos científicos. A partir de esta propuesta, sugerimos algunas posibles implicaciones didácticas de la misma para la enseñanza de las ciencias así como para la investigación en el área.

1. Introducción

Las intuiciones sin conceptos son ciegas y los conceptos sin intuiciones son vacíos.

I. Kant, *Crítica de la razón pura*, 1999, Alfaguara, Madrid.

26. Modificado de Greca, I. M., y Moreira, M. A. (2002). «Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora», *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1), <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>> y presentado durante el I Encuentro Iberoamericano sobre Investigación Básica en Educación en Ciencias, Burgos, España, 18-21 de septiembre de 2002. Revisado en 2006.

En la última década hemos asistido a un considerable aumento de las investigaciones sobre cómo los estudiantes representan internamente, o sea, en sus mentes, conceptos de la mayoría de las áreas curriculares. Este interés resulta de la necesidad de entender los procesos que subyacen a la cognición, con el objetivo de elaborar estrategias instruccionales más eficientes (Brown, 1995; Vosniadou, 1995). Como señala Caravita (2001), una teoría sobre el aprendizaje conceptual solamente puede ser justificada en la medida en que se encuadre dentro de teorías de la mente y de la cognición, donde las representaciones mentales tienen un papel explicativo para estos procesos.

De los diferentes constructos sobre las representaciones internas, el de modelo mental ha alcanzado una gran importancia en la investigación en enseñanza de las ciencias a partir de la segunda mitad de los años noventa (Greca y Moreira, 2000). Como anticipaban Pintó et al. (1996), la potencialidad de este constructo radicaría, fundamentalmente, en la posibilidad de servir de referencial teórico para interpretar las concepciones de los estudiantes y, de esta forma, abordar con una fundamentación más sólida la didáctica de las ciencias, aspecto no siempre presente, o por lo menos no de forma clara, en las investigaciones sobre las concepciones alternativas y sobre el cambio conceptual (Moreira, 1994; Marín, 1999; Di Sessa y Sherin, 1998).

Además de esta potencialidad intrínseca, la propia idea de hablar de modelos, aunque con el calificativo de «mentales», ha resultado particularmente atractiva en la investigación en la enseñanza de las ciencias. Es más, es común encontrar propuestas didácticas que consideran indispensable propiciar el aprendizaje por «modelización» desde los primeros años de escolarización. En este contexto parece que se plantea la reflexión siguiente: si el quehacer científico está básicamente constituido por la elaboración y uso de modelos, y la modelización es el objetivo final de la enseñanza en ciencias (Hestenes, 1987; Halloun, 1996), parece natural establecer analogías entre los modelos científicos (representaciones externas) y los modelos mentales (representaciones internas, mentales) (Tiberghien, 1994; Gilbert y Boulter, 1998; Galawosky y Adúriz-Bravo, 2001). Así, por ejemplo, se habla de «una enseñanza de las ciencias basada en modelos –de los mentales a los científicos» (Pozo, 1999, pág. 518). El establecimiento de estas analogías, sin embargo, puede ser peligroso, por ejemplo, cuando se presupone que existe un isomorfismo entre los modelos científicos acabados y los que las personas tienen o construyen en sus cabezas (Greca y Moreira, 2000).

A pesar de ser generalizado su uso, no existe una definición general o única de lo que puede ser entendido como modelo mental; más aún, su utilización en la investigación en ciencias ha sido caracterizada por la vaguedad y diversificación de sentidos (Krapas et al. 1997; Greca y Moreira, 2000; Rodríguez, 2000), así como por la ausencia de definiciones explícitas. Esto no es una exclusividad del área, dado que un panorama semejante también puede ser rastreado en el propio ámbito de conocimiento de origen, la Ciencia Cognitiva (Rouse y Morris, 1986).

Si tomamos sólo algunos ejemplos publicados recientemente, y sin la intención de ser exhaustivos, Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001, pág. 232) consideran que *«la apropiación de cualquier aspecto de la realidad supone que este aspecto sea representado, o sea, supone la construcción de un modelo mental de la realidad»*; para Bao y Redish (2001, pág. 46), los modelos mentales son esquemas particularmente robustos y coherentes, que *«sustentados en un conjunto de ideas consistentes y coherentes acerca de los objetos físicos y sus propiedades son considerados como un modelo físico»*. Pozo (1999, pág. 514) opone los modelos mentales *«a las representaciones esquemáticas, explícitamente presentes en la memoria del sujeto»*.

Esta vaguedad y diversificación de sentidos ha llevado a que prácticamente todo, es decir, cualquier tipo de representación, sea actualmente considerado como modelo mental en la investigación en enseñanza de las ciencias, lo que, en nuestra opinión, puede conducirnos a que los resultados de nuestras investigaciones puedan ser resumidos, parafraseando a Rouse y Morris (1986, pág. 350), como: *«los estudiantes tienen que representar alguna cosa para poder realizar sus tareas»*. Dicho de otro modo, si no es posible distinguir la funcionalidad y la estructura de ese constructo para los procesos de cognición con relación a otros tipos de representaciones internas –dado que los modelos mentales pueden ser tanto estructuras dinámicas, inestables, generadas frente a una situación concreta, como pueden ser estructuras estables localizadas (presumiblemente) en la memoria de largo plazo (convirtiéndose en este caso apenas en sustitutos poco felices del «conocimiento» en general)– podemos perder gran parte de la potencialidad del constructo.

En este trabajo adoptaremos la visión de los modelos mentales como estructuras cognitivas idiosincrásicas, determinadas y concretas, que suceden en la memoria de trabajo del sujeto que quiere comprender, explicar o predecir una situación o proceso específico, actuando como análogos estructurales de esa situación o proceso. Podemos entenderlos como «simuladores» de esas situaciones, de forma semejante a como un programa computadorizado de conducción simula situaciones en una carretera. Se caracterizan por ser estructuras dinámicas, generadas para resolver una situación particular (muchas veces nueva). Son representaciones incompletas y que modificamos o actualizamos recursivamente cuando detectamos una falta de correspondencia entre las predicciones generadas por el modelo y los eventos externos, o cuando precisamos incorporar nuevas informaciones al modelo, como resultado del uso que queramos darle al mismo. Así, por ejemplo, si solamente somos usuarios del servicio de envío de correspondencia podemos tener un modelo mental muy simple de cómo funciona para poder enviar eficientemente nuestras cartas, pero si debemos trabajar en una empresa de correos, nuestro modelo de funcionamiento deberá ser enriquecido. Ése es el sentido de llamar a esos modelos mentales «modelos de trabajo»: son representaciones «descartables» cuyo principal compromiso es la funcionalidad.

Para Johnson-Laird (1983) el **proceso** que aparecería cuando el modelo mental es ejecutado en la mente del sujeto –traducción de fenómenos externos

en representaciones internas, derivación de otros símbolos a partir de un proceso inferencial y re-traducción de esos símbolos en acciones, de manera que se pueda verificar si existe una correspondencia entre esas acciones y los eventos externos— puede dar cuenta del razonamiento, sin que haya necesidad de invocar reglas inferenciales lógicas. Esta definición de modelo mental tiene por objetivo separar este tipo de representación de otras representaciones desde el punto de vista de sus funciones y de su estructura: de las imágenes y representaciones proposicionales (Johnson-Laird, 1983), y de las estructuras más estables de la memoria de largo plazo, como los scripts (Markmann, 1999).

Supongamos que para comprender, explicar y predecir los conceptos y problemas que son presentados a los alumnos en clase, éstos precisan construir representaciones internas que pueden ser caracterizadas como modelos mentales, de acuerdo con la definición adoptada anteriormente. En la medida en que se quiera avanzar con relación a la detección, simplemente, de modelos mentales de los estudiantes para diferentes áreas de conocimiento (detección que, aunque necesaria, no parece diferenciarse mucho del programa de las concepciones alternativas) las propuestas existentes en el área hacen surgir otras cuestiones. Veamos algunos ejemplos.

En un trabajo bastante conocido, Vosniadou (1994; Vosniadou y Brewer, 1994) utiliza el constructo modelo mental para caracterizar las representaciones dinámicas que son generadas por los sujetos en sus mentes cuando se enfrentan a situaciones específicas. Estas representaciones serían determinadas por las teorías de dominio que los sujetos tienen sobre un determinado conjunto de fenómenos,²⁷ que, a su vez, adoptarían, de forma implícita, la estructura de ciertos principios o presupuestos epistemológicos y ontológicos impuestos por las «teorías-marco» o teorías implícitas (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Estos presupuestos implícitos se formarían en los primeros años de vida del sujeto y no serían compatibles con los presupuestos de las teorías científicas, convirtiéndose, de esta forma, en el principal obstáculo para el aprendizaje significativo de conceptos científicos. Así, los niños formarían desde los primeros años de su vida ciertas concepciones sobre el mundo físico (solidez, gravedad, continuidad, etc.) que aplicarían posteriormente a todos los objetos. En el caso de la investigación de Vosniadou, ella observó que estos presupuestos llevan a considerar a la Tierra como sólida, plana y que los objetos no sustentados caen sobre ella. Estos presupuestos se mantienen a lo largo de los años e impiden que los niños comprendan que la Tierra es esférica y que gira en el espacio, generando modelos mentales híbridos sobre ella (redonda como una galleta, esfera hueca, esfera aplanada, etc.) para poder dar sentido a la información que reciben en la escuela.

27. La noción de «dominio» varía de un autor a otro. En el trabajo de Vosniadou, ella parece identificar los dominios relacionados con determinados conceptos (por ejemplo, el dominio del concepto de fuerza, de calor, de ciclo día/noche). Los presupuestos epistemológicos de todos estos dominios formarían parte de una teoría-marco sobre la física ingenua (Vosniadou, 1994).

Uno de los problemas de esta perspectiva es la falta de definición con relación a la estructura, tanto de las teorías de dominio como de las teorías marco, así como de las implicaciones teóricas de la diferenciación entre las distintas representaciones (Caravita, 2001). Este problema es común en los enfoques que presuponen analogías entre los procesos psicológicos cognitivos y los procesos de cambio en las teorías científicas que, en los últimos años, ha sido bastante criticado tanto en la psicología como en la enseñanza de las ciencias (Fodor, 1998; Marín, 1999; Caravita, 2001). Otra de las cuestiones que pueden plantearse con relación a esta visión es la ausencia de definición de los mecanismos y relaciones entre las diferentes representaciones; así mismo, conviene destacar que tampoco son especificadas las relaciones entre estas representaciones y las variables externas que supuestamente las influyen.

Greca y Moreira (2002), a partir del referencial de los modelos mentales de Johnson-Laird, encontraron en sus investigaciones que los modelos mentales generados por los estudiantes para la explicación y predicción de situaciones físicas concretas y para la comprensión de conceptos físicos, dentro del ámbito escolar, son determinados tanto por el conocimiento general de los estudiantes, como por ciertos conceptos o presupuestos más fundamentales, que funcionarían como núcleos de esos modelos mentales. Esos núcleos serían entidades estables de la estructura cognitiva, la mayoría de las veces implícitas y determinantes del conjunto de situaciones percibidas como semejantes. Tales núcleos podrían estar formados, en el caso del conocimiento físico, tanto por elementos relacionados con los modelos físicos como por otros vinculados a los modelos matemáticos. El proceso de adquisición del conocimiento estaría dado por sucesivas reformulaciones de los modelos mentales dentro de una misma familia de modelos mentales (que tendrían el mismo núcleo), o por la generación de nuevas familias de modelos que permitirían el establecimiento o aceptación de nuevos núcleos. Tomemos un ejemplo de la vida cotidiana. Si poseo el presupuesto de que la vida es una selva y sólo sobrevive el más fuerte, este presupuesto estará en el núcleo de todos los modelos mentales que genere para comprender las conductas de los otros y para orientar mi propia conducta. Es posible que, desde estos modelos, me cueste comprender ciertos comportamientos altruistas, porque no pueden explicarse desde modelos mentales con núcleos «egoístas».

Según esta perspectiva, si la información a la que el estudiante debe dar significado no le permite la elaboración de modelos mentales adecuados para su comprensión (que no sean contradictorios con aquello que ya sabe, ya sea por la reformulación de sus modelos o a través de la generación de otros nuevos), el alumno no construirá modelos mentales y la información pasará a ser memorizada en forma de representaciones proposicionales aisladas no significativas, esto es, arbitrariamente.

Esta propuesta permite explicar un hecho bastante conocido en las clases de ciencias, como es el rápido olvido experimentado por los estudiantes de las

ideas enseñadas en clase y aparentemente aprendidas. Los estudiantes aprenderían fórmulas, algoritmos de resolución y definiciones no vinculadas a modelos mentales y, por tanto, no aprendidas significativamente, por lo que serían más fácilmente olvidadas. En este enfoque, sin embargo, tampoco aparece claramente definida ni diferenciada la estructura del conocimiento general de los estudiantes (representaciones proposicionales, imágenes, núcleos, fórmulas...), así como no son explicados los mecanismos y relaciones entre ese conocimiento general y los modelos mentales.

Además de los problemas relacionados con los diferentes niveles representacionales, casi nunca se define lo que se está entendiendo por concepto, lo que es un problema bastante difundido (Di Sessa y Sherin, 1998). Este punto es muy relevante cuando queremos pensar la enseñanza de la ciencia, pues, aunque haya autores para los cuales la finalidad de la enseñanza no necesariamente es el aprendizaje de conceptos (Pozo, 1999), el cambio de actitudes, procedimientos, principios epistemológicos y ontológicos se produce a partir de un aprendizaje conceptual.

Por eso, teniendo en cuenta las limitaciones expuestas, os proponemos discutir la posibilidad de avanzar en relación con las propuestas sobre modelos mentales elaboradas hasta ahora en la investigación en enseñanza de las ciencias, integrándolas dentro de un referencial más amplio para intentar responder algunas de las preguntas que antes planteamos. Nuestro modelo tomará elementos de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, teoría expuesta en el capítulo 3, de la que retomamos algunos elementos y aspectos pertinentes en la discusión que nos ocupa.

2. La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud

Para Vergnaud (1983, 1987, 1990, 1996, 1998), como se recordará, el problema central de la cognición es la conceptualización y su teoría aporta justamente elementos en este sentido. Oponiéndose a la separación entre conocimiento procedimental y conocimiento declarativo, Vergnaud considera que el factor esencial de la dificultad de los estudiantes en la resolución de problemas en Matemáticas (que creemos puede ser extendido a la resolución de problemas en las diferentes áreas) no se encuentra vinculado al tipo de operación particular que un determinado problema requiere poner en práctica, sino a las «operaciones de pensamiento» (Franchi, 1999) que los estudiantes deben realizar para establecer relaciones pertinentes entre los datos del problema. Dicho de otro modo, el comportamiento de los estudiantes en la resolución de problemas está guiado por hipótesis, analogías, metáforas, que dependen de la conceptualización. De esta forma, aunque la resolución de problemas sea considerada muchas veces como una nueva combinación de acciones y reglas a partir del conocimien-

to que se posee, y la formación de conceptos como la emergencia de nuevas formas de conceptualizar el mundo, nuevos objetos y nuevas propiedades de esos objetos, estos dos elementos forman parte, para Vergnaud, de una misma cosa, son dos caras de una misma moneda (Vergnaud, 1987). Según Vergnaud (1987, pág. 1) no considerarlos así «*subestima la parte de representación simbólica y de conceptos presentes en la resolución de problemas y la parte de resolución de problemas esencial en la formación de conceptos*». Esta idea es central en la Teoría de los Campos Conceptuales (Moreira, 2002).

Para Vergnaud, el conocimiento se encuentra organizado en campos conceptuales, de los cuales el sujeto se apropia a lo largo del tiempo. Un campo conceptual da como resultado una unidad de estudio cuyos componentes –situaciones, conceptos, procedimientos, etc.– pueden ser tratados de forma independiente con relación a otros conjuntos y es definida desde la perspectiva del investigador, que la utiliza para dar sentido a las dificultades observadas en la conceptualización de lo real. Esto no significa que los diferentes campos conceptuales sean conjuntos disjuntos y que unos no puedan ser importantes en la comprensión de otros, sino que en la medida en que puedan ser descritos en forma consistente, pueden ser considerados diferentes. En Física, podríamos hablar de los campos conceptuales de la Mecánica, de la Electricidad, de la Termología, de la Relatividad. En la comprensión del movimiento de los cuerpos, propio de la Mecánica, la comprensión del concepto de calor, del campo conceptual de la Termología, no es relevante. Aunque algunos elementos en común se mantengan (principios y teoremas más generales), la comprensión de uno de esos campos no es condición suficiente, ni siquiera necesaria, para la comprensión del otro. Es decir, los tipos de situaciones, problemas, procedimientos, conceptos y teoremas envueltos en estos campos pueden ser tratados independientemente, de forma consistente.

El dominio de un campo conceptual se lleva a cabo durante largos períodos de tiempo, de forma que nuevos problemas y nuevas propiedades relacionadas con él deben ser estudiados a lo largo de varios años, si queremos que los estudiantes los dominen progresivamente. Es decir, las dificultades conceptuales enfrentadas por los estudiantes en relación con un determinado campo conceptual no pueden ser tratadas de golpe sino que serían superadas progresiva y lentamente.

En el proceso de aprehensión de esos campos conceptuales, los estudiantes van adquiriendo concepciones y competencias. De hecho, «*la mayor parte de nuestros conocimientos son competencias (el saber hacer) que se forman, desarrollan, diferencian, mejoran o empeoran a lo largo de nuestras vidas*» (Vergnaud, 1996c, pág. 200). Con relación al conocimiento científico, las competencias parecen estar más vinculadas a la resolución de problemas y las concepciones, a las expresiones verbales o escritas de los sujetos (Vergnaud, 1985). Esta tendencia a resaltar las competencias es lo que llevaría a enfatizar en Física la resolución de problemas como la principal forma de medida del proceso de aprendizaje. De hecho, numerosas investigaciones constatan que los estudiantes pueden resolver adecuada-

mente los problemas, pero son incapaces de expresar verbalmente el razonamiento que los llevó hasta el resultado o expresan concepciones que se contradicen con la resolución obtenida (Greca, 2000; Costa y Moreira, 1998). De esta forma, la siguiente frase, proveniente de un estudiante avanzado de un curso de licenciatura en Física ilustra bien este énfasis en la competencia:

A veces yo me hago algunas preguntas... y veo que no sé responder unas cuestiones básicas. Sé hacer la cuenta, pero no sé por qué lo estoy haciendo, sólo lo sé operacionalmente. (Greca, 2000, pág. 111)

Sin embargo, como ya se indicó, en la Teoría de los Campos Conceptuales estos dos aspectos –el procedimental y el declarativo– son considerados como dos caras de una misma moneda. De esta forma, las competencias y las concepciones deben ser contempladas como herramientas esenciales para la descripción y análisis de la lenta conquista por parte de los estudiantes de la complejidad de los campos conceptuales.

En la definición de campo conceptual entra en juego un concepto que es muy importante para la Teoría de los Campos Conceptuales (y que también es un concepto central en nuestra propuesta): el concepto de **situación**. Para Vergnaud (1990, pág. 146), «una situación es entendida como una tarea, por lo que toda situación compleja puede ser analizada como una combinación de tareas». Es decir, «los procesos cognitivos y las respuestas del sujeto son función de las situaciones con las cuales se enfrenta» (op. cit., pág. 150) y es a partir de la confrontación con ellas y del dominio que progresivamente alcanza sobre las mismas como el sujeto moldea los campos conceptuales que constituyen su conocimiento.²⁸ Por eso es importante la clasificación de las situaciones desde el punto de vista del análisis de las tareas cognitivas y de los procedimientos puestos en juego en cada una de ellas. Un niño pequeño puede resolver bastante fácilmente la siguiente situación: «Juan tiene tres monedas y Pedro dos, ¿cuántas monedas tienen en total?» Sin embargo, la situación: «Pedro tiene dos monedas y Juan una más que Pedro, ¿cuántas monedas tienen en total?», sólo podrá ser resuelta más adelante, a pesar de que las operaciones que deban realizarse en ambos casos son las mismas. Tomando otro ejemplo del campo conceptual de la Mecánica:

- **SITUACIÓN 1:** Dos bloques están ligados por una cuerda y uno de estos bloques es empujado en un plano horizontal. ¿Qué ocurre con los bloques?

28. Éste es uno de los puntos en los que se puede ver una separación de Vergnaud con relación a Piaget. Al enfatizar la construcción del conocimiento matemático a partir de situaciones, se opone a la idea piagetiana de que el conocimiento matemático resulta de un proceso de abstracción de propiedades y relaciones de operaciones. Para Vergnaud, el conocimiento matemático, por lo menos en los primeros estadios, es una forma de conceptualizar lo real.

- SITUACIÓN 2: Dos bloques ligados por una cuerda se sueltan en la parte superior de un plano inclinado. ¿Qué ocurre con los bloques?
- SITUACIÓN 3: En la situación 2, se aumenta el ángulo de inclinación hasta llegar a los 90°. ¿Qué sucede con los bloques?
- SITUACIÓN 4: Dos bloques son lanzados en caída libre desde una cierta altura. ¿Qué sucederá con ambos bloques?

En estas cuatro situaciones, los conceptos y las operaciones que deben ser efectuadas, desde el punto de vista de la Mecánica Clásica, son muy semejantes, mientras que para los estudiantes presentan diferentes grados de dificultad: el problema 4 es considerado más fácil que el problema 3 y el problema 1 más fácil que el problema 2 y éstos, más difíciles que el 3 y el 4.

Aunque el dominio de las situaciones modele el conocimiento que alcanza el estudiante, el sentido atribuido por el sujeto a la situación no está en la situación en sí misma, sino que resulta de una relación entre la situación y la representación que haga el individuo de dicha situación. Según Vergnaud, el vínculo entre la conducta y la representación está dado por el concepto piagetiano de *esquema*. Recuerdese que Vergnaud llama esquema a «*la organización invariante del comportamiento para una determinada clase de situaciones*» (1990, pág. 136). Según esta teoría, es en los esquemas en donde se deben investigar los **conocimientos-en-acción** del individuo, o sea, los elementos cognitivos que permiten al sujeto realizar una determinada acción. Un esquema es un universal que es eficiente para enfrentar todo un abanico de situaciones y puede también generar secuencias de acción, de recogida de información y de control, dependiendo de las características de cada situación particular. Es decir, no es el comportamiento frente a situaciones semejantes lo que no varía, lo que es universal, sino la secuencia de las actividades que el sujeto desarrolla para enfrentar las situaciones.

Veamos un ejemplo de un posible esquema en Física.²⁹ Se refiere a cómo algunos estudiantes universitarios resuelven situaciones (problemas) de cuerpos en colisión.

SITUACIÓN: Considere dos péndulos, ambos fijados en el mismo punto, que choquen entre sí, de tal manera que uno de ellos está inicialmente en reposo. Indique qué sucederá con los mismos, considerando el caso en el que ambos tienen la misma masa y el caso en el que las masas son diferentes.

[...] esta bolita va a chocar con esta otra; la energía mecánica se conservará, entonces la energía cinética de esta otra aquí, que es el producto de la masa por la velo-

29. Todos los ejemplos en Física que utilizaremos en este trabajo son re-interpretaciones de resultados de investigaciones a partir de otro referencial teórico. Este ejemplo en particular fue tomado de una investigación sobre modelos mentales en el área de la Mecánica (Lagrec, 1997; Greca y Mallmann, 1997).

cidad al cuadrado sobre dos, va a ser igual a la energía mecánica del sistema aquí, o mejor, si ésta está en reposo tengo mgh ... La bola que chocó con la que estaba parada se mueve porque ... porque... transferencia de energía. (Sandra, Lagreca, 1997, pág. 57)

La energía de esta bolita que está bajando va a ser transferida toda para esta de aquí, entonces la que baja choca y queda parada y ésa otra sube. (Elias, íbid.)

En el segundo caso, como la masa de ella es menor, ella va a volver para acá y no va a mover esta bola grande aquí. ¿Por qué ocurre esto? ... Bueno, ocurre una transferencia de energía. Quiero decir, que la energía cinética que tiene ésta aquí va a pasar para ésta aquí y la energía potencial que tenía ésta aquí va a quedar con esta otra; de modo que ésta queda parada y ésta continúa aquí. (Gabriela, íbid.)

Independientemente del origen de la colisión, existe un comportamiento, una organización de la actividad que es invariante en varios estudiantes: la identificación de los cuerpos en situación de colisión, la evaluación de su estado de movimiento (si los dos están en movimiento, o si uno de ellos está en reposo, por ejemplo) y la evaluación posterior del tipo de movimiento después de la colisión. En ese proceso, son identificadas algunas variables consideradas relevantes (masa, ángulos, velocidades), determinadas por el conocimiento-en-acción del sujeto (los **invariantes operatorios**, **conceptos-en-acción** y **teoremas-en-acción**) y con estos elementos se lleva a cabo la resolución del problema. El esquema recurre a actividades perceptivomotoras y a construcciones conceptuales. Los conocimientos-en-acción articulados en los esquemas no precisan ser verdaderos, desde el punto de vista científico, sino eficientes. En este esquema en particular, los conocimientos-en-acción que estaban detrás de los razonamientos y actividades de estos estudiantes no lo eran. Por ejemplo, identificaban la energía como alguna cosa que podía ser transferida, una especie de sustancia que pasando de un cuerpo a otro provocaba el movimiento de aquél que estaba en reposo. Otros estudiantes, frente a situaciones semejantes, parecían activar otros esquemas, donde la «operación» fundamental era la identificación de fuerzas (Lagreca y Moreira, 1999).

«Los esquemas evocados por el sujeto en una situación dada, o frente a representaciones simbólicas, son los que constituyen el sentido de esa situación o la representación para ese individuo» (Vergnaud, 1990, pág. 158). Para dar significado a una situación nueva, varios esquemas pueden ser evocados sucesiva o simultáneamente. El sentido inicial y, en consecuencia, la conducta del sujeto, en una situación dada se basan en el abanico de esquemas iniciales que posee. Por eso, para Vergnaud el desarrollo cognitivo consta, sobretodo y principalmente, del desarrollo de un vasto repertorio de esquemas (1996c, pág. 203) que permite a los sujetos enfrentar y dominar la gama de situaciones que se les presenten.

Vergnaud (1993) distingue dos clases de situaciones, dependiendo de cómo «funciona» el esquema: la clase de situaciones «conocidas» por la persona, o sea, las situaciones para las cuales, en un determinado momento, ésta dispone de las competencias necesarias para resolverla rápidamente y la clase de situaciones «nuevas». En la primera clase entran en juego las conductas ampliamente automatizadas, mientras que en la segunda el sujeto debe poner en juego varios esquemas de su repertorio para intentar resolver la situación, que deberán ser acomodados, des-combinados o recombinados hasta conseguir el objetivo.

Son cuatro los ingredientes de un esquema: objetivo del esquema o las metas y anticipaciones, las reglas de acción y de control, los invariantes operatorios (teoremas-en-acción y conceptos-en-acción) y las posibilidades de inferencia (o razonamientos). De estos cuatro elementos que constituyen los esquemas, solamente los invariantes operatorios son indispensables en la articulación entre la práctica y la teoría (Vergnaud, 1998), o sea, entre una situación que un sujeto enfrenta y el conocimiento-en-acción que posee para resolverla. Éste justamente será el punto de articulación entre esta teoría y los modelos mentales que usaremos más adelante.

Nos centraremos ahora en los invariantes operatorios, el conocimiento-en-acción que se encuentra en los esquemas. Estos invariantes operatorios forman la articulación esencial entre la práctica y la teoría, dado que la percepción, la búsqueda y la selección de información se basan por entero en el sistema de conceptos-en-acción de que dispone el sujeto y en los teoremas-en-acción subyacentes a su conducta. Existe una relación dialéctica entre conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, dado que los conceptos son ingredientes de los teoremas y los teoremas son propiedades que dan contenidos a los conceptos. Los conceptos-en-acción que poseemos nos permiten identificar elementos conocidos en las situaciones que enfrentamos y los teoremas-en-acción nos dan las reglas que vinculan esos elementos y que nos permiten resolver una determinada situación y actuar en consecuencia. Estos teoremas pueden ser verdaderos o falsos, mientras que los conceptos pueden ser apenas relevantes o irrelevantes. Los dos son indispensables para guiar la acción del sujeto, porque para que actúe, este individuo debe hacer inferencias sobre la representación interna que genera de la situación y estas representaciones dependen de las concepciones que se tengan sobre la situación. Veamos un caso de un campo conceptual de la Física:

SITUACIÓN: Describa el movimiento de dos bloques cúbicos de diferentes masas unidos por una cuerda, colocados inicialmente en reposo sobre un plano inclinado.

Respuesta de un alumno: «Para que la velocidad sea constante, la aceleración tiene que ser cero, ¿no es? Entonces la fuerza también tiene que ser cero; no puede haber fuerzas externas al sistema, la fuerza mg tendría que ser contrabalanceada con la

fuerza del rozamiento y la sumatoria de las dos debe ser cero, ahí tengo velocidad constante. (Gabriela –referente al problema 2, Greca y Mallman, 1997)

Para comprender este razonamiento, tenemos que suponer varios teoremas-en-acción implícitos. Uno de ellos, posiblemente uno de los más potentes en el establecimiento de relaciones entre eventos en el mundo, resulta del principio de causalidad:

Para que un cuerpo esté en movimiento, debe existir un agente responsable.

Otro teorema-en-acción podría ser expresado a través de la tríada:

velocidad constante = aceleración nula = fuerza nula.

Este ejemplo sirve también para establecer una cierta «clasificación» de los esquemas. Como ya indicamos, la mayoría de los esquemas son eficientes, aunque no necesariamente efectivos. Los algoritmos resultan ser casos especiales de esquemas que muestran su efectividad para que el sujeto resuelva ciertas clases de situaciones, efectividad que deriva de la relación establecida entre las características de los problemas que van a ser resueltos y el conjunto de reglas establecidas para resolverlos (Vergnaud, 1998). Los esquemas pueden convertirse en algoritmos cuando el sujeto se da cuenta de que el uso de ciertas reglas, para determinados tipos de problemas, es efectivo. En el ejemplo anterior, la tríada pasa a ser un algoritmo de resolución que los estudiantes utilizan para ciertos problemas en Mecánica. Los alumnos parecen ser bastante hábiles para establecer algoritmos de resolución para las clases de situaciones (ejercicios) que se les presentan en clase. Esos algoritmos «*son utilizados repetidamente para tratar las mismas situaciones, convirtiéndose en hábitos*» (Vergnaud 1998, pág. 176).

Es bueno destacar que ser efectivos no necesariamente significa que sean completamente correctos desde el punto de vista científico, ni que sean «eficientes» siempre. Cuando los niños que tienen como lengua principal el castellano comienzan a aprender las palabras de otro idioma, viéndolas escritas, tienden a pronunciarlas de la misma manera que las ven escritas, pues en su lengua este algoritmo es efectivo. Lleva un tiempo hasta que se dan cuenta de que, en el nuevo idioma, ese hábito ya no es efectivo.

El conocimiento contenido en los esquemas, el conocimiento para la acción, permanece en general totalmente implícito, porque se orienta al desarrollo de las competencias, al saber hacer, y no al desarrollo de conceptualizaciones. Por eso, los conceptos-en-acción y los teoremas-en-acción no son ni verdaderos conceptos ni verdaderos teoremas, pues «*en la ciencia, los conceptos y teoremas son explícitos y se puede discutir su pertinencia y su veracidad, pero no es ése necesariamente el caso*»

de los invariantes operatorios» (1990, pág. 144). O sea, nuestro conocimiento-en-acción nos permite actuar frente a una situación dada, independientemente de que sea verdadero o apropiado de acuerdo a algún criterio científico. Por ejemplo, cuando movíamos la antena de nuestra televisión para «sintonizar» mejor, difícilmente lo hacíamos basándonos en un conocimiento sobre el electromagnetismo. «Sabíamos» que de esa forma conseguíamos muchas veces estabilizar la imagen, siendo muy difícil que consiguiésemos explicar, desde un punto de vista científico o técnico, la razón por la cual conseguíamos el resultado deseado.

Sin embargo, sin esos invariantes operatorios, la conceptualización no sería posible. Vergnaud (1990) compara los conocimientos explícitos con la punta del *iceberg* de la conceptualización: sin la parte oculta de los invariantes operatorios ésta nada sería. Y, por otra parte, sin la ayuda del conocimiento explícito, demostrado en el uso de proposiciones y funciones proposicionales, no podríamos conocer los invariantes operatorios asociados a los esquemas.

Esta imposibilidad de explicitar el conocimiento-en-acción es muy clara en los comportamientos de los estudiantes. En general, los alumnos no son capaces de explicar, ni siquiera expresar en el lenguaje natural, los teoremas y conceptos-en-acción que utilizan para identificar los elementos pertinentes en los ejercicios y problemas y para establecer las secuencias de cálculos que deben ser efectuadas para resolverlos. Por ello, uno de los objetivos de la enseñanza debería ser proporcionar a los estudiantes herramientas para la construcción de conceptos y teoremas explícitos. Sin embargo, esta transformación de invariantes operatorios en palabras y texto o en cualquier otro sistema semiótico (gráficos, diagramas, notación algebraica, etc.) no es directa ni simple: existen lagunas importantes entre aquello que es representado en la mente del individuo y el significado usual de los signos. Como se sabe, es probable que, inicialmente, los estudiantes asocien a determinadas expresiones lingüísticas o gráficas significados diferentes de los que son aceptados en el contexto de la materia de enseñanza (significados que resultan de su conocimiento-en-acción). El tener que explicitar en diferentes ocasiones este conocimiento les permitiría refinar los significados atribuidos.

Ahora bien, esta relación entre conocimiento implícito y explícito no es vista, en esta teoría, como una relación dicotómica. Aunque el conocimiento científico sea fundamentalmente un conocimiento explícito y formalizado y el no científico, un conocimiento implícito y difuso, el conocimiento implícito sirve de sustentación y da sentido al conocimiento explícito. El conocimiento implícito no sólo constituye el punto de partida para nuestra construcción del conocimiento científico, sino que el propio conocimiento explícito, científicamente apropiado, tiene componentes implícitos. Como dice Polanyi (1973), filósofo de las matemáticas, como cualquier habilidad –nadar, andar en bicicleta, etc.– las premisas de las ciencias no pueden ser comprendidas o descubiertas, sin haberlas practicado y solamente pueden ser explicitadas a posteriori. Así, el proceso de adquisición de las competencias necesarias para ser químicos –por ejemplo, el

proceso de montaje de los diferentes análisis, la forma de analizar los resultados de los mismos, la creación de nuevos compuestos— es básicamente un proceso implícito: aprendemos a hacerlo, aunque muchas veces no sepamos decir lo que estamos haciendo.

Para Vergnaud, los conceptos-en-acción del sujeto no son verdaderos conceptos, adhiriendo a la visión de que «*los conceptos son básicamente relacionales y se refieren a un conjunto de situaciones, invariantes operatorios y sus propiedades, que pueden expresarse por medio de diferentes representaciones lingüísticas y simbólicas*» (1998, pág. 177). De esta forma, los conceptos pueden ser definidos como un conjunto triple $C = (S, I, R)$, donde **S** es un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto, **I** es un conjunto de invariantes operatorios asociados al concepto y constituyen el significado del concepto y **R** es un conjunto de representaciones simbólicas (lenguaje natural, gráficos y diagramas, sentencias formales, etc.) que sirven para representar de forma explícita los invariantes operatorios. Según Vergnaud, a través de las situaciones y de los problemas es como un concepto va, paulatinamente, adquiriendo sentido para el sujeto, pues a partir de esas situaciones y problemas, éste va abstrayendo las propiedades que formarán sus conceptos-en-acción y teoremas-en-acción. En la medida en que esos invariantes sean expresados en forma explícita, mediante sus significantes, esos invariantes pasan a conformar los conceptos.

Cuando los estudiantes operan con determinados conceptos, por ejemplo, cuando saben calcular el movimiento de un cierto cuerpo, muchas veces lo que utilizan son solamente los invariantes operatorios. Dicho de otro modo, los conceptos necesarios para resolver esas situaciones son instrumentos de la acción del sujeto. Sin embargo, saber decir lo que se está haciendo, explicar cualitativamente el problema o expresar el concepto de fuerza, que tanto les cuesta a los estudiantes, implica pasar del concepto como instrumento al concepto como objeto del pensamiento. Nuevamente vemos aquí esa relación dialéctica entre lo implícito y lo explícito, entre el desarrollo de la forma **operatoria** del conocimiento, que es básicamente un proceso implícito, y la forma **predicativa** de ese conocimiento, que se corresponde con el saber explicitar los objetos, los conceptos y sus propiedades, siendo ambos procesos necesarios para la conceptualización. Sin embargo, es de destacar que el énfasis preponderante en la enseñanza tradicional privilegia la forma operacional (solución de largas listas de ejercicios), sea cual fuere el área, en detrimento de la parte conceptual del mismo, de la expresión de ese conocimiento. Y, como ya hemos repetido antes, si no están presentes ambos procesos, la conceptualización no es posible. La figura 1 expresa sintéticamente esta diferenciación.

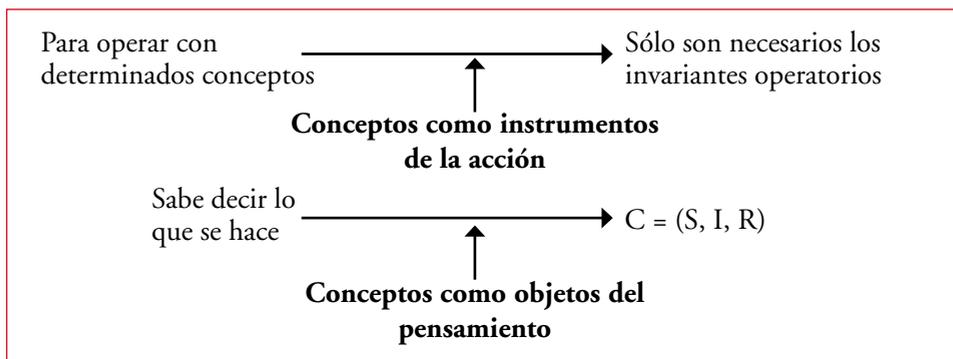


Figura 1. Distinción entre conceptos como instrumentos y como objetos de pensamiento.

3. Una nueva propuesta

Los elementos de los esquemas contienen la información que la persona tiene sobre el mundo; pero, ¿cómo este conocimiento podría convertirse en una representación suficientemente dinámica, de modo que le permita formar modelos del mundo para poder actuar frente a cada situación? La solución que Vergnaud ofrece a este problema es incluir procesos de inferencia dentro de los esquemas, idea en que, nuevamente, aparecen mezclados elementos de una representación más estable con elementos de representaciones dinámicas dentro de un mismo tipo de presentación.

Consideramos que una salida viable es articular los esquemas de Vergnaud con los modelos mentales de Johnson-Laird. Proponemos que, mientras que los esquemas se mantienen como estructuras en la memoria de largo plazo, con los teoremas y conceptos-en-acción, los sujetos, cuando se enfrentan con una situación nueva, generan representaciones en la memoria de corto plazo, los modelos mentales de la situación en pauta, modelos de trabajo para la solución de la tarea.

Los conceptos-en-acción y los teoremas-en-acción guían el proceso de construcción de los modelos mentales, en la medida en que determinan los elementos de la situación que resultan relevantes para el sujeto —o sea, los elementos de la situación que deben ser representados— y las propiedades que pueden ser aplicadas sobre ellos. Es decir, el conocimiento-en-acción del sujeto determina aquello que puede ser percibido de la situación. Es importante observar que el modelo mental puede ser resultante de invariantes operatorios de diferentes esquemas que, al mismo tiempo, pueden ser usados por el sujeto para la comprensión de una situación y su acción sobre ella. Los teoremas-en-acción de nuestra propuesta determinan las relaciones fundamentales establecidas en el momento de ejecutar los modelos mentales. Pensemos, por ejemplo, que una persona posee un esquema

sobre los seres vivos, que incluye los teoremas-en-acción: «los seres vivos nacen y crecen», «los seres vivos se mueven», «todo ser vivo se alimenta», «todo ser vivo responde a su medio». Presentada frente a una serie de situaciones –tales como una cría de mamífero, un coral, un volcán, un virus, un cristal mineral– generará modelos mentales de las situaciones para poder explicar si cada uno de esos ejemplos es un ser vivo y podrá predecir la acción de los mismos, así como organizar la suya propia. Los teoremas-en-acción se corresponden con las representaciones proposicionales del modelo de Johnson-Laird. Como éstas, sólo pueden ser verdaderos o falsos. Una vez que los modelos mentales son generados, manipulados y ejecutados, fortalecen las reglas de acción y control que determinan la secuencia de acciones del sujeto.

Considerando los esquemas como estructuras en la memoria de largo plazo, estamos colocando fuera del esquema las inferencias que se realizan frente a cada situación nueva y que, por lo tanto, no tiene sentido que sean guardadas. Esas inferencias se producen en los modelos mentales, siendo justamente la función fundamental de los modelos mentales la de hacer inferencias y predicciones frente a cada situación nueva particular. Esto es, los modelos mentales resultan del espacio en el que los esquemas operatorios del individuo manipulan las representaciones de la realidad con el objetivo de actuar sobre ella.

La relación entre modelos mentales y esquemas es, nuevamente, una relación dialéctica. Por una parte, la lectura de la realidad a partir del conocimiento-en-acción del sujeto determina los modelos mentales, pero por otra, el proceso de comparación entre los resultados de esos modelos (explicaciones, predicciones) y la solución, el resultado efectivo de la situación en sí, puede llevar a modificaciones en los invariantes del sujeto a causa de la existencia de inconsistencias entre su pensamiento y los datos del mundo exterior. Es decir, cuando el sujeto se enfrenta con una situación nueva, la discordancia entre las inferencias resultantes del modelo mental que construye a partir de los invariantes existentes en sus esquemas y la situación en sí, pueden llevarlo a modificar los modelos mentales. La detección de invariantes en esos modelos mentales puede llevar a construir esquemas apropiados para la solución de esas clases de situaciones, que entonces dejarán de ser nuevas. El diagrama que sigue (figura 2) presenta esquemáticamente estas ideas.

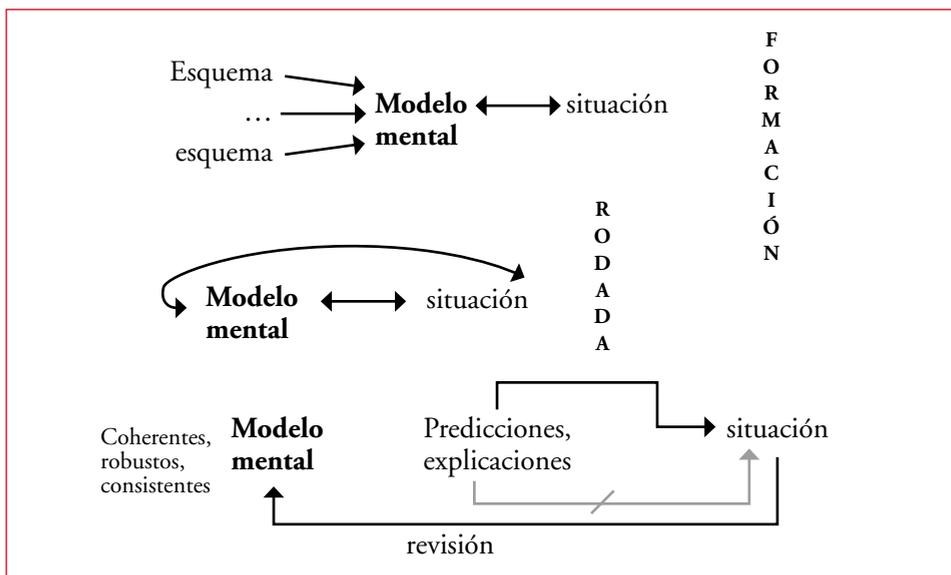


Figura 2. Relación entre modelos mentales y esquemas.

En la detección de discordancias que posibilitan mejorar recursivamente los modelos mentales y, eventualmente, los esquemas subyacentes, la interacción entre sujetos-pares o profesor tiene un papel fundamental. La necesidad de compartir significantes y significados con esos «otros» permitiría detectar estas discordancias, actuando de esta forma como apoyos «metacognitivos» para la apropiación significativa de los significados necesarios en el proceso de formación de los verdaderos conceptos.

Una forma de pensar nuestra propuesta es compararla con lo que sucede con los ordenadores analógicos.³⁰ Éstos son dispositivos que dependen de las relaciones analógicas existentes entre una magnitud física asociada a un ordenador y las magnitudes físicas asociadas al problema particular que se quiere estudiar, pudiendo ser pensados como «simuladores» del sistema físico del que trata el problema. Ésta es una herramienta muy valiosa cuando los sistemas que se desea estudiar son tan complejos y no lineales que es muy difícil la formulación de modelos matemáticos para describirlos. Los ordenadores analógicos se han creado para resolver problemas semejantes, de tal manera que cada clase establece un determinado isomorfismo con el dispositivo que la resuelve. Estos ordenadores son construidos a partir de los modelos físicos que, en una primera aproximación, sirven para describir una situación particular, utilizando para ello isomorfismos

30. En realidad, la comparación que vamos a utilizar es válida para cualquier tipo de modelos de sistemas físicos, no sólo para los analógicos. Sin embargo, usamos ésta en particular por su analogía con los modelos mentales (Greca, 2000).

entre aquello que efectivamente mide y las variables físicas que simulan. Puede pensarse en el predictor de mareas de Kelvin, que utiliza un sistema de engranajes, contrapesos y poleas para modelar las fuerzas gravitacionales que afectan a la altura de las olas y las horas de las mareas. El ordenador analógico simula el comportamiento del sistema y permite la lectura de las variables. Si los resultados obtenidos con el modelo analógico en una situación particular no coinciden con los conocidos para el sistema que simulan, el modelo es modificado. Si estas discrepancias se producen de forma sistemática, pueden llevar a modificaciones también en el modelo físico que está por detrás de la simulación. Nuestro «simulador analógico» son los modelos mentales que construimos para resolver una situación dada, a partir de los invariantes operatorios –el «modelo físico»– y los datos percibidos –«leídos»– de la situación. De la coincidencia o no en la comparación entre las inferencias resultantes del modelo mental y los acontecimientos del mundo exterior puede derivarse que los modelos puedan ser cambiados. Si ese cambio sucede de forma sistemática, llevará a que los propios esquemas sean modificados, siempre que nuevos invariantes puedan derivarse de las situaciones enfrentadas.

En esta propuesta, las situaciones pueden ser divididas en dos clases. Por una parte, las situaciones ya conocidas, que exigen una acción automatizada (algorítmica) por parte del sujeto y que, por lo tanto, no le demandan nuevas inferencias, no requieren la formación de modelos mentales. Es posible en estos casos directamente aplicar las reglas «si... entonces...» que están en los esquemas. Por otro lado están las situaciones nuevas, desconocidas, cuya conducta no está automatizada y que envuelven inferencias nuevas y, por ende, la formación de modelos mentales; y también las conocidas, siempre que sea necesario realizar nuevas inferencias y, por lo tanto, la elaboración de nuevas reglas de acción.

Estamos de esta forma proponiendo la existencia de, por lo menos, dos grandes tipos de representaciones, necesarias para la aprehensión del mundo por parte del sujeto: los esquemas y los modelos mentales. Los mecanismos de construcción de los modelos mentales resultarían, en buena medida, de la aplicación del conocimiento-en-acción contenido en los esquemas. Los mecanismos de modificación de los esquemas –cómo el mundo externo influye en las representaciones internas del sujeto– estarán dados por la búsqueda de consistencia y coherencia de los resultados de los modelos mentales (predicciones, inferencias, explicaciones) con relación a los acontecimientos del mundo. Además de estas dos representaciones, el sujeto dispondría de los algoritmos, de los hábitos y de las reglas «si... entonces...» como representaciones aún más estables que los esquemas y características de las conductas total o parcialmente automatizadas. De esta forma, proponemos la articulación de diferentes clases de representaciones internas que el sujeto utilizaría para la comprensión del mundo: esquemas, modelos mentales, scripts, representaciones proposicionales, reglas «si... entonces...», cada una de las cuales

tendría una función y una génesis particulares. En la figura 3 se refleja gráficamente lo expuesto.

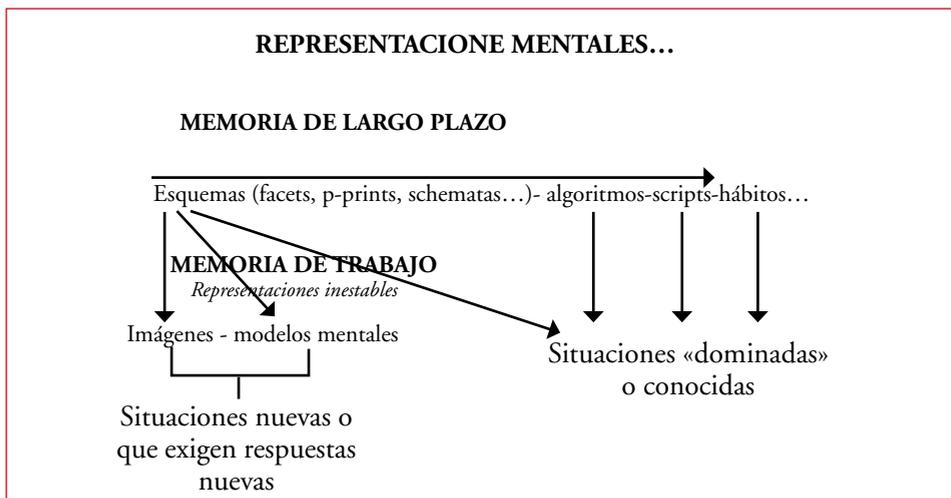


Figura 3. Relaciones posibles entre distintas representaciones mentales.

En resumen, el conocimiento se encuentra organizado en campos conceptuales, cuyo dominio por parte del aprendiz se lleva a cabo a lo largo del tiempo. Este dominio está vinculado en parte al repertorio de esquemas operatorios que el sujeto puede construir para resolver diferentes situaciones; estas situaciones forman, en buena medida, el campo conceptual. La explicitación de los invariantes operatorios del sujeto, en algún lenguaje simbólico, determina lo que se define como concepto, por lo que el concepto adquiere significación a partir de las situaciones que el sujeto enfrenta y que le permiten detectar los invariantes. Este proceso de detección y cambio de los invariantes sucede en el ámbito de los modelos mentales, que son el espacio en el que los esquemas operatorios de los individuos manipulan las representaciones de la realidad con el objetivo de actuar sobre ella.

4. ¿Qué puede ser explicado con esta propuesta?

En esta sección vamos, rápidamente, a indicar lo que, a nuestro entender, se puede ganar con esta propuesta (campos conceptuales + modelos mentales). En primer lugar, la propuesta identifica, de forma clara, distintos niveles de representación y diferentes clases de representaciones, estableciendo los mecanismos que guiarían el uso y el cambio de las mismas. Esta identificación permite distinguir entre diferentes comportamientos detectados en las explicaciones de los estudiantes y en las formas de resolución de problemas, permitiéndonos de esta forma

entender, con mayor claridad, algunas características del conocimiento implicado en estos procesos como, por ejemplo, los diferentes grados de dificultad para aplicar o aprender significativamente ciertos conceptos científicos.

Además, nuestro planteamiento consigue compatibilizar dos resultados de investigaciones aparentemente contradictorios, al establecer una separación entre estructuras dinámicas y estructuras más fijas. Algunos autores –entre ellos, Chi et al. (1994)– consideran el cambio conceptual como algo difícil, dada la dificultad de cambiar los presupuestos ontológicos de los sujetos, mientras que otros encuentran evidencias de que este cambio parece ser relativamente sencillo bajo ciertas condiciones (Gutiérrez, 2001). Ciertamente, los modelos mentales pueden ser modificados de forma relativamente fácil, tendiendo a eliminar las diferencias entre las predicciones que el sujeto realiza a partir de ellos y los acontecimientos del mundo. No obstante, ése no es un proceso que modifique automáticamente los conceptos y teoremas-en-acción de los sujetos. Es posible que los estudiantes que muestren evidencias de modificar frente a algunas situaciones esos presupuestos ontológicos, vuelvan a retomar los antiguos frente a nuevas situaciones en las que aplican los mismos esquemas. Dependiendo de la estabilidad de esos conocimientos-en-acción, podrán ser modificados de forma más o menos rápida. Por ello, las dos evidencias no son contradictorias, sino que se refieren a procesos de cambio en clases diferentes de representaciones.

Esta relación permite también entender por qué el aprendizaje de nuevos esquemas, originarios de la reestructuración, es una tarea difícil. Como indicamos antes, cambios en los modelos mentales, destinados a compatibilizar las predicciones y explicaciones de los sujetos con relación a ciertas circunstancias, no llevan necesariamente a una reestructuración de esquemas. Para que esto ocurra, los modelos generados deben ser repetidamente no satisfactorios para que puedan ser detectados invariantes en los mismos y, con eso, posibilitar el cambio de esquemas. Probablemente esto exigiría el desarrollo de herramientas metacognitivas que monitoricen las inconsistencias e incoherencias de los modelos mentales y asocien las mismas a determinados teoremas o conceptos-en-acción. A esto se suma la dificultad de verificación de inconsistencias de los modelos mentales en Ciencia en general, pues este proceso supone, además de la verificación de la representación de las entidades y relaciones entre ellas, la de elementos conceptuales como sistema, estado, interacción, transferencia. La percepción en Ciencias es mediada por estos elementos conceptuales, que escapan a nuestra forma intuitiva de percepción. La detección de inconsistencias entre los modelos mentales formados por el sujeto para dar una explicación sobre una situación y la explicación de la misma desde los modelos científicamente aceptados pasa por el reconocimiento de estos elementos conceptuales, lo que no es una tarea sencilla.

El hecho de que situaciones semejantes desde el punto de vista científico puedan ser vistas a partir de diferentes esquemas por el individuo y, en consecuencia, llevarlo a construir diferentes modelos mentales y a realizar diferentes

inferencias, puede explicar la falta de coherencia encontrada en las respuestas de los alumnos frente a situaciones aparentemente semejantes propuestas por los investigadores.

Nos parece también que esta propuesta define mejor lo que es un concepto científico. Aparece de forma explícita lo que se está entendiendo por concepto, separando el saber lo que significa un concepto (mediante la expresión en algún lenguaje simbólico) de la competencia que se pueda tener para aplicarlo. Así mismo, también son explicitados algunos de los mecanismos de aprendizaje significativo de estos conceptos y el cambio de los mismos. En investigaciones que desarrollamos junto al referencial de los modelos mentales en diferentes ámbitos de la Física (Greca y Moreira, 1997, 1998; Greca, 2000) encontramos estudiantes que, aunque aparentemente conseguían comprender los conceptos en el sentido de aplicarlos a las situaciones, o dicho de otro modo, teniendo la competencia necesaria para usarlos adecuadamente, sólo conseguían explicitarlos siempre que estuvieran vinculados a situaciones concretas. El saber lo que significaban los conceptos estaba «preso» a ciertas situaciones particulares: estos conceptos son aún conceptos y propiedades-en-acción, que les permiten dar sentido a diferentes situaciones. Sin embargo, los estudiantes no consiguen aún, en el proceso de explicitación, desvincularse del concepto como instrumento para considerarlo como objeto de pensamiento, restringiendo así la aplicabilidad del concepto. Otros estudiantes, por el contrario, sí conseguían una explicitación aparentemente independiente del problema.

Esta propuesta rescata además el papel fundamental que tienen los esquemas intuitivos de los alumnos –aquello que, como dice Ausubel, el alumno ya sabe–, como base para posteriores desarrollos conceptuales y no necesariamente como impedimento para el aprendizaje de conceptos científicos. Así, como Di Sessa (1993) consideramos, en contraposición a una gran tendencia en la enseñanza de las ciencias, que ciertos conocimientos intuitivos de los estudiantes sirven de base para nuevos desarrollos y, por lo tanto, se debería insistir en la evolución de los mismos y no en su cambio. Di Sessa encuentra rastros de algunos de estos *p-prims* en especialistas en Física.

5. Implicaciones didácticas y para investigación en enseñanza de Ciencias

Como hemos indicado en la introducción, la cuestión de la enseñanza basada en modelos es hoy una estrategia muy discutida en el área de enseñanza de las ciencias y, en particular, en la enseñanza de la Física. Dentro del enfoque que aquí presentamos, el aprendizaje de modelos físicos y matemáticos podría ser entendido de la siguiente forma: un determinado modelo físico es útil para resolver una cierta clase de situaciones a las que se refiere. Si estas situaciones se presentan a los

estudiantes en una secuencia que les permita extraer los invariantes que hacen de la explicación de las mismas derivar ese modelo físico, los teoremas y conceptos-en-acción que el estudiante abstraiga de esas situaciones deberían corresponderse con las propiedades del modelo que se pretende enseñar. Es decir, para que el estudiante aprenda un determinado modelo, no basta con que éste le sea presentado, sino que deberían presentársele una serie de situaciones que le permitiesen percibir los conceptos, relaciones y propiedades de los modelos físicos que corresponden a los invariantes operatorios. En el mismo sentido camina el aprendizaje de los modelos matemáticos. Como indica Vergnaud, los campos conceptuales de la Matemática sólo pueden ser apropiados mediante un proceso de conceptualización de lo real. Esto coincide con los resultados (pocos) de la comprensión de las ecuaciones en Física. Los estudiantes exitosos adquirirían una comprensión conceptual en relación con lo que éstos refieren, comprensión basada en ciertas relaciones cualitativas que son vistas a través de las ecuaciones (Sherin, 2001).

Esto es aplicable además a cualquier área del conocimiento y para cualquier edad de las personas. El proceso de aprendizaje significativo de conceptos y de las relaciones entre los mismos requiere que le sean presentadas al estudiante una serie de situaciones en donde el concepto que se desea que aprenda deba aparecer. A partir de sus sucesivos intentos de resolución de las mismas, el sujeto podrá extraer las regularidades que le permitan construir nuevos esquemas con los que comience a adquirir los conocimientos-en-acción apropiados que sean la base de la adquisición de los verdaderos conceptos. Recordando la definición ausubeliana de aprendizaje significativo como aquel en el que una nueva información o conocimiento se relaciona de forma sustantiva con la estructura cognitiva del sujeto que aprende, esta propuesta establece que este proceso de relación sustantiva es lento y progresivo, al irse modificando sucesivamente su estructura cognitiva, a partir de la resolución de las situaciones. Obviamente, habrá conceptos más simples, más sencillos, que no requieran todo este proceso y para los que baste, como indica Ausubel, su aprendizaje por recepción.

Debe tenerse en cuenta que, en el caso de las ciencias en general, los modelos que sirven para explicar los fenómenos y cuya comprensión es uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias, son simplificaciones extremas de la realidad a la luz de los principios de una teoría dada. Poder detectar invariantes en las situaciones que se aplican es un proceso muy complejo porque el repertorio de esquemas que el estudiante posee, y que es la base para la construcción de los modelos mentales iniciales, se deriva de su acción sobre el mundo desde su nacimiento y, por lo tanto, es muy rico. Esto puede llevar a que cada situación, explicada desde un determinado modelo, sea una situación diferente y, así, apliquen a las mismas esquemas diferentes. De hecho, éste es uno de los resultados en la investigación en resolución de problemas en Física (Costa y Moreira, 2001). ¿Cómo detectar regularidades en las situaciones o en las inconsistencias entre los modelos mentales generados y el mundo, si cada caso es un caso? Cuanto más

cercanas a la vida cotidiana sean las situaciones presentadas a los estudiantes, más esquemas y hábitos debe tener, siendo en estos casos más difícil aún que lleguen a formar un concepto científico, que sea «contraintuitivo» con ese conocimiento.

Aunque no dentro de esta propuesta, se ha elaborado una estrategia didáctica para el aprendizaje de contenidos de Mecánica Cuántica, cuya característica principal residía en la presentación secuenciada de diferentes situaciones que podían ser resueltas con el mismo conjunto de conceptos clave, teniendo por objetivo enseñarles a visualizar los fenómenos microscópicos desde el modelo científicamente aceptado. Ex profeso, la unidad didáctica no intentaba establecer analogías con el mundo clásico. Esta estrategia, que denominamos fenomenológica-conceptual, fue exitosa de acuerdo con la evaluación que realizamos (Greca, Moreira y Herscovitz, 2001; Greca y Freire, Jr., 2003).

Dentro de esta perspectiva, la modelización, que se está describiendo como la estrategia didáctica por excelencia (entre otros, Halloun, 1996; Pozo, 1999; Greca y Moreira, 2002), puede ser entendida como uno de los posibles mecanismos de explicitación de los conceptos y teoremas-en-acción, etapa indispensable para la adquisición de los verdaderos conceptos científicos. Para modelizar una situación, los estudiantes deben escoger las entidades que formarán parte del modelo y establecer las relaciones entre ellos, que serán la base para las ecuaciones que describen. En ese proceso necesariamente deben explicitar los conceptos y teoremas-en-acción que posean. En este sentido, el uso de simulaciones en la enseñanza de las ciencias, por lo menos al nivel de graduación, con programas que permitan a los estudiantes escribir las ecuaciones que describen, puede ser una herramienta eficiente en la construcción de los conceptos científicos como modelo pedagógico. Estas simulaciones exigen del estudiante la explicitación de las relaciones entre los elementos escogidos para describir un fenómeno. A partir de la simulación obtenida, que expresa de forma explícita cómo percibe el estudiante el fenómeno y lo entiende, podrían detectarse inconsistencias entre su modelo y el modelo científicamente compartido.

Otra estrategia bastante difundida en la enseñanza de la Física es la utilización de problemas abiertos en oposición a los problemas tradicionales. Nos parece que las dos estrategias pueden ser complementarias, en tiempos diferentes, pues sus objetivos son distintos. Mientras que las situaciones de los problemas tradicionales estarían dirigidas a la detección de invariantes por parte de los estudiantes, y en ese sentido serían esenciales para el proceso de significación, los problemas abiertos, en realidad, se corresponderían con el proceso de explicitación. De esta forma, los problemas abiertos pueden promover estrategias de modelización (Hestenes, 1987).

En relación con la investigación, parece interesante, en el ámbito de los campos conceptuales, la detección de los conocimientos-en-acción que los estudiantes desarrollarían, así como la observación de los procesos de explicitación de los mismos –recordando que el proceso de adquisición de los campos conceptuales

es un proceso complejo, largo y demorado—. Una consideración a tener en cuenta en esta búsqueda es que frente a una determinada situación nueva, propuesta por el investigador, el estudiante puede utilizar elementos de diferentes esquemas para «componer» su modelo mental.

Otra cuestión de investigación importante es la que se refiere al papel de las ecuaciones en la enseñanza de las ciencias, en particular de la Física. Si los conceptos y teoremas-en-acción están fuertemente vinculados a la percepción, ¿cómo perciben los estudiantes los problemas desde el punto de vista de la Matemática?

6. Conclusión

La idea de que la comprensión significativa de situaciones nuevas implica la construcción de modelos mentales nos parece apropiada como premisa de una visión representacional computacional funcionalista de la mente. Este presupuesto tiene fuertes implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de cualquier área del conocimiento.

Sin embargo, no nos parece apropiado pensar que el constructo modelo mental dé cuenta de mucho más de lo que sucede, de inmediato, cuando el sujeto se enfrenta con una situación problemática nueva. La idea de modelo mental que nos parece adecuada es la de modelo de trabajo, algo construido en la memoria de trabajo: una representación interna generada, recursivamente, a partir de conocimientos previos y nuevas percepciones, cuyo único compromiso es la funcionalidad, según los criterios de su constructor. Una vez que se alcanza este objetivo de la comprensión conceptual (obviamente como profesores queremos que esa comprensión sea científicamente correcta, pero desde la perspectiva del sujeto, la funcionalidad del modelo no exige esto —el modelo mental se torna descartable, pues ya cumplió su papel—). Esta concepción de modelo mental, que es la de Johnson-Laird (1983), tiene la gran ventaja de evitar confusiones, encontradas con frecuencia en la literatura, con otros constructos representacionales como los scripts o las redes semánticas, propuestos en la Psicología Cognitiva, con los esquemas de asimilación de Piaget, o con las llamadas concepciones alternativas. Los scripts, las redes semánticas, los esquemas de asimilación tienen un cierto grado de estabilidad cognitiva, no siendo, por lo tanto, comparables con los modelos mentales. Llamar modelos mentales a lo que antes se llamaba concepción alternativa, o lo que los psicólogos cognitivos llaman *scripts* o, aun, lo que Piaget llamó esquema de asimilación, no contribuye nada al avance de la investigación en enseñanza de las ciencias y a las consecuencias didácticas de esa investigación. Es apenas modismo inconsecuente.

Pero si los modelos mentales sólo existen en la memoria de trabajo, seguramente nos faltan otros constructos y, sobre todo, articulaciones entre los modelos mentales y esos otros constructos, para una visión más comprensiva, aunque siempre incompleta, del funcionamiento cognitivo, en particular, para el apren-

dizaje de conceptos científicos. Es decir que, aunque hoy se use mucho el constructo modelo mental, y se haya mostrado útil como instrumento heurístico para explicar la comprensión de una determinada situación problemática nueva, no se puede prescindir de otros constructos como los scripts, las concepciones alternativas y los esquemas de asimilación como instrumentos heurísticos adicionales, diferenciándolos, articulándolos e integrándolos teóricamente.

Esta articulación e integración teórica es fundamental si queremos ir más allá de una detección de modelos mentales de los estudiantes. Por tanto, no basta quedarse intentando identificar modelos mentales, así como no fue suficiente en el pasado limitarse a la detección de concepciones alternativas de los alumnos.

Nuestra propuesta articula los esquemas de asimilación de Piaget, tal como están definidos en la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, con los modelos mentales de Johnson-Laird. Creemos que los invariantes operatorios (teoremas y conceptos-en-acción) de Vergnaud, componentes esenciales de los esquemas, son también componentes de los modelos mentales de Johnson-Laird. Sin embargo, esto no significa que estemos, inadvertidamente, confundiendo esquemas y modelos mentales, o sugiriendo que sean la misma cosa. No, nuestra propuesta distingue claramente modelos mentales y esquemas, pero los integra y articula a través de los invariantes operatorios y de la idea de que son constructos representacionales con distinto grado de estabilidad cognitiva. Consideramos que los esquemas son estructuras representacionales con un cierto grado de estabilidad en la memoria de largo plazo, mientras que los modelos mentales son análogos estructurales de estados de cosas del mundo construidos en la memoria de trabajo y, por definición, inestables y funcionales.

Para Vergnaud, un esquema es una organización invariante de la conducta para una cierta clase de situaciones. Esto significa que cuando el sujeto se encuentra con situaciones de esa clase, ya dispone de patrones de conducta que pueden ser evocados. En caso contrario, es preciso acomodar (en el sentido piagetiano), pero esa acomodación no sucede instantáneamente, ni en forma automática. Debe haber algún mecanismo mediador entre el mundo y el nuevo esquema de asimilación que resulta de la acomodación. Creemos que este mecanismo es la construcción de modelos de trabajo en la memoria de trabajo. Cuando una situación es nueva, el sujeto construye modelos mentales para hacer inferencias y predicciones, para comprender y dominar la situación.

Cuando ésta forma parte de una clase de situaciones ya conocidas (dominadas), el sujeto evoca esquemas de asimilación existentes en la memoria de trabajo. En esta línea de razonamiento, diríamos que frente a una situación similar a la que era nueva, el sujeto construirá un modelo mental semejante al que construyó para la situación nueva, pero en la medida en que situaciones similares pasan a constituir una clase de situaciones, el individuo no sigue construyendo más «modelos mentales semejantes», sino que evoca un esquema (estable) de asimilación, construido a partir de modelos mentales (inestables) iniciales.

Parecería existir, pues, un continuo cognitivo entre modelos mentales y esquemas de asimilación, lo que no significa que todo modelo mental dé origen a un esquema de asimilación ni que la construcción de esquemas y modelos sean procesos simples, o que la evolución de modelo hacia esquema sea trivial. Por el contrario, como dice Vergnaud, el problema central de la cognición es la conceptualización y ésta se caracteriza por la complejidad.

Nuestra propuesta no tiene la pretensión de resolver tal complejidad, pero sí de dar un referencial teórico, potencialmente útil, para entrar en esa complejidad, dejando claro que la investigación en enseñanza de las ciencias no puede limitarse a la detección de aquello que está de moda, como los modelos mentales, ni al uso de nuevas terminologías para antiguos constructos, como es el caso de llamar modelos mentales a las conocidas concepciones alternativas.

7. Bibliografía

- Bao, L. y Redish, E. R. (2001). «Concentration analysis: a quantitative assessment of student states». *Physical Education Resources, American Journal of Physics Supplement*, 69 (7), págs. S45-S53.
- Brown, A. (1995). «Advances in learning and instruction», *Educational Researcher*, 23(8), págs. 4-12.
- Caravita, S. (2001). «Commentary: a re-framed conceptual change theory?» *Learning and Instruction*, 11 (4-5), págs. 421-429.
- Chi, M.; Slotta, J. y Leeuw, N. (1994). «From things to processes: the theory of conceptual change goes learning science concepts». *Learning and Instruction*, 4, págs. 27-43.
- Costa, S. S. C. y Moreira, M. A. (1998). «Modelagem em resolução de problemas: estudo preliminar». *Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis (CD-ROM), del 26 al 30 de octubre.
- Costa, S. S. C. y Moreira, M. A. (2001) «A resolução de problemas como um tipo especial de aprendizagem significativa». *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18 (3), págs. 263-277.
- Costa, S. S. C. y Moreira, M. A. (2002). «O papel da modelagem mental dos enunciados na resolução de problemas em Física». Pendiente de publicación en *Revista Brasileira de Ensino de Física*.
- Di Sessa, A. (1993) «Towards an epistemology of physics». *Cognition and Instruction*, 10 (2 y 3), págs. 105-225.
- Di Sessa, A. y Sherin, B. L. (1998). «What changes in conceptual change?». *International Journal of Science Education*, 20 (10), págs.1155-1191.

- Franchi, A. (1999). «Considerações sobre a teoria dos campos conceituais». Alcântara Machado, S. D. et al. *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo, EDUC, págs. 155-195.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). «Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico». *Enseñanza de las ciencias*, 19 (2), págs. 231-242.
- Gilbert, J. y Boulter, C. (1998). «Aprendendo ciências através de modelos e modelagem». D. Colinvau (org.), *Modelos e educação em ciências*. Ravel, Rio de Janeiro, págs.12-34.
- Greca, I. M. y Freire Jr., O. (2003). «Does the emphases in the concept of quantum states enhance students understanding of quantum mechanics?». *Science & Education*, v. 12 (5 y 6), págs. 541-557.
- Greca, I. M. y Mallmann, L. (1997). «Modelos mentais do conceito de força». *Encontro nacional de pesquisa em ensino da ciências*, Águas de Lindóia. Moreira, M. A. et al. (orgs.) Atas, Instituto de Física/UFRGS, Porto Alegre, págs. 280-293.
- Greca, I. M. y Moreira, M.A. (1997). The kinds of mental representations – models, propositions and images – used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), págs. 711-724.
- Greca, I. M. y Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22 (1), págs. 1-11.
- Greca, I. M. y Moreira, M. A (2002) Mental, physical and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86, págs. 106-121.
- Greca, I. M., Moreira, M. A. y Herscovitz, V. E. (2001). «Uma proposta para o ensino de Mecânica Quântica». *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 1(23), págs. 444-457.
- Gutiérrez, R. (2000) «Mental models and the fine structure of conceptual change». *Proceedings of the International Conference Physics Teacher Educatio Beyond 2000*, Pints & S. Suriqach, Barcelona, Cd-Rom.
- Fodor, J. (1998). *Concepts. Where cognitive science went wrong*. Oxford University Press, Nueva York.
- Halloun, I. (1996). «Schematic modelling for meaningful learning of physics». *Journal of Research in Science Teaching*, 14(2), págs. 1019-1041.
- Hestenes, D. (1987). «Towards a modeling theory of physics instruction». *American Journal of physics*, 55 (5), págs. 440-454.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models*. Harvard University Press, Cambridge, M. A.
- Krapas, S.; Queiróz, G.; Colinvau, D. y Franco, C. (1997). «Modelos: Uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências». *Investigações em Ensino de Ciências*, 2 (3). Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>>.

- Lagreca, M. (1997). *Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na área de Mecânica Clássica e possíveis modelos mentais nessa área*. Dissertação de Mestrado. IF-UFRGS.
- Lagreca, M. y Moreira, M. A. (1999). «Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de física geral na área de mecânica clássica e possíveis modelos mentais nessa área». *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21 (1), págs. 202-215.
- Marín, N. (1999). «Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual». *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), págs. 80-92.
- Markman, A. (1999). *Knowledge representation*. Mahwah, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Moreira, M. A. (1994). «Cambio conceptual: crítica a modelos y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo» *Science & Mathematics Education for the 21st. Century: Towards innovatory approaches*. Concepción, Chile, págs. 81-92.
- Moreira, M. A. (2002). «A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área». *Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (1). Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino>>.
- Pintó, R., Aliberas, J., y Gómez, R. (1996) Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), págs. 221-232.
- Pozo, J. I. (1999). «Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional». *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), págs. 513-520.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Morata, Madrid.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2000). «Modelos mentales de célula. Una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU». Tesis Doctoral. Departamento de Didáctica e Investigación Educativa y del Comportamiento. Universidad de La Laguna.
- Rouse, W. B. y Morris, N. M. (1986). «On looking into the black box: prospects and limits in the search for mental models». *Psychological Bulletin*, 100 (3), págs. 349-363.
- Sherin, B. L. (1996). «The symbolic basis of physical intuition: a study of two symbol systems in physics instruction». Doctoral Dissertation, University of California, Berkeley.
- Sherin, B. L. (2001). «How students understand physics equations». *Cognition and Instruction*, 19 (4), págs. 479-541.
- Tiberghien, A. (1994). «Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations». *Learning and Instruction*, 4 (1), págs. 71-87.
- Vergnaud, G. (1983). «Quelques problèmes théoriques de la didactique à propos d'un exemple: les structures additives». *Atelier International d'Été: Recherche en*

- Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, França, 26 de junio-13 de julio.
- Vergnaud, G. (1987). *Problem solving and concept development in the learning of mathematics*. E.A.R.L.I. Second Meeting. Tübingen.
- Vergnaud, G. (1990). «La théorie des champs conceptuels». *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23), págs.133-170.
- Vergnaud, G. (1993). «Teoria dos campos conceituais». Nasser, L. (ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, págs. 1-26.
- Vergnaud, G. (1994). «Multiplicative conceptual field: what and why?». Guershon, H. y Confrey, J. (eds.). *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. State University of New York Press, Albany, págs. 41-59.
- Vergnaud, G. (1996b). «A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos». *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, nº 4, págs. 9-19.
- Vergnaud, G. (1996c). «Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica». *Perspectivas*, 26 (10), págs. 195-207.
- Vergnaud, G. (1998). «A comprehensive theory of representation for mathematics education». *Journal of Mathematical Behavior*, 17 (2), págs. 167-181.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), págs. 45-69.
- Vosniadou, S. y Brewer, W. (1994). «Mental models of the day/night cycle». *Cognitive Science*, 18, págs. 123-183.

La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos³¹

M^a CONCESA CABALLERO SAHELICES

Facultad de Ciencias, Universidad de Burgos, España.

Quienquiera que se detenga lo suficiente para concederle al problema algún pensamiento serio no podrá eludir la conclusión de que el hombre vive en un mundo de conceptos en lugar de objetos, acontecimientos y situaciones. (Ausubel, 1976, pág. 577)

En este capítulo se presentan algunos aspectos y características relevantes que permiten identificar los procesos cognitivos mediante los cuales las personas atribuyen significado a los nuevos conceptos. Según Ausubel (2002), el aprendizaje significativo es un proceso necesariamente complejo y dilatado en el tiempo; es progresivo. Por eso, la evolución paulatina, como característica del aprendizaje significativo, es la idea estructurante de este capítulo. La transformación de los conceptos, una vez captados y aprehendidos, como instrumentos de comprensión de la realidad en objetos de pensamiento requiere un periodo de tiempo prolongado. Es un proceso complejo, una progresión que lleva a que los conceptos lleguen a actuar en la mente de los individuos como objetos de su conocimiento, como hemos tenido ocasión de comentar en los capítulos anteriores. El soporte teórico en el que se apoya esa progresión y complejidad es la Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud, porque nos permite describir y analizar la evolución del aprendizaje significativo, pues aporta elementos complementarios y enriquecedores a la propuesta original de David Ausubel sobre el aprendizaje significativo de conceptos. La conceptualización de la realidad y el progresivo dominio de un campo de conocimiento presentan rasgos singulares desde esos referentes teóricos, que se describen en el presente capítulo. Finalmente, se concluye con algunas consideraciones de interés para la enseñanza y la investigación en educación en ciencias desde estas perspectivas teóricas.

31. Ampliado y adaptado de la ponencia presentada en el IV Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo, Maragogi, AL, Brasil, 8 a 12 de septiembre de 2003.

1. Introducción

En este capítulo se hace una somera revisión del proceso de aprendizaje significativo conceptual, así como de sus implicaciones didácticas y para la investigación en enseñanza de las ciencias. Los interrogantes que surgen, tanto desde las experiencias de las prácticas docentes como desde las investigaciones en enseñanza, en relación con los procesos cognitivos que conducen a un aprendizaje significativo, provocan la necesidad de volver a los orígenes de la teoría del aprendizaje verbal significativo desarrollada por David Ausubel (1976), para recuperar los factores esenciales que influyen en el proceso de aprendizaje conceptual y analizar comparativamente este proceso desde la perspectiva de otras teorías psicológicas cognitivas, como es, por ejemplo, la de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud (1990; Moreira, 2002).

Se percibe una generalización del término *aprendizaje significativo* en la literatura, convirtiéndose en lugar común de los intereses de docentes e investigadores en enseñanza. Sin embargo, está extendida también la percepción de que en estas referencias comunes, no siempre encontramos la misma coincidencia en cuanto al significado que se atribuye a este término en la propuesta ausubeliana. Por el contrario, se aprecia una pérdida de sentido con respecto a su significado original, como se ha expuesto en el capítulo 1. Por ello es crucial rescatar el significado original del término *aprendizaje significativo* y analizarlo desde perspectivas cognitivas más recientes.

El interés de este capítulo, por lo tanto, es recuperar el significado inicial del término *aprendizaje significativo* y resaltar el hecho de que los procesos cognitivos que influyen en el aprendizaje significativo de conceptos son progresivos y dilatados en el tiempo. Desde el objetivo que se persigue, no se hacen referencias explícitas a los aprendizajes de tipo representacional y proposicional, sino únicamente al aprendizaje significativo conceptual (Ausubel, 1976). Con esta finalidad se describe, en primer lugar, cómo es nuestra percepción conceptual de la realidad, así como las características de los procesos cognitivos a través de los que adquieren significado psicológico las nuevas informaciones que se presentan, en general, por recepción y a través de la expresión verbal.

La naturaleza y adquisición de conceptos, a la luz de los diferentes enfoques teóricos, tampoco será tratada en este capítulo. Se puede encontrar información a este respecto en el estudio sobre naturaleza y adquisición de conceptos, realizado por Greca y Moreira (2000). Los enfoques conceptuales subyacentes en las teorías de D. Ausubel y G. Vergnaud, serán referentes obligados para comprender y describir los aprendizajes de los estudiantes. Sin embargo, el proceso y desarrollo cognitivo durante la construcción de conocimiento, tiene ciertas semejanzas y a la vez discrepancias desde la perspectiva de esas teorías, como se expresa a lo largo del capítulo. Con la pretensión de contribuir en la búsqueda de alternativas a las dificultades de aprendizaje, se muestran algunos resultados de experiencias edu-

cativas en aprendizaje conceptual en Física. Por último, se hacen algunas sugerencias de interés en la práctica educativa y para la investigación en enseñanza.

2. Percepción conceptual de la realidad desde los enfoques teóricos de David Ausubel y Gérard Vergnaud

En un primer momento, el interés de esta reflexión se centra en la importancia que se atribuye a los conceptos que configuran la estructura cognoscitiva y cómo posibilitan que los sujetos experimenten una representación consciente de la realidad vivida. La representación de los hechos reales del mundo físico a través de este filtro conceptual o de categorías es simplificada, esquemática, selectiva y generalizada, en lugar de una representación completa y sensorialmente fidedigna. La función de los conceptos en el desarrollo cognoscitivo humano y su influencia en la percepción de la realidad física, plantea cuestiones relacionadas con el modo de adquirir los conceptos y también con los procesos psicológicos que intervienen en esa adquisición. Desde diferentes posturas teóricas, se intenta buscar respuestas y aportar visiones sobre cómo se forman los conceptos y qué tipos de procesos psicológicos acontecen. En la figura 1, se muestran algunas características sobre la adquisición de conceptos desde diferentes posturas, y se destacan especialmente, desde las pretensiones de este trabajo, las aportaciones de la Teoría del Aprendizaje Verbal Significativo de David Ausubel y la de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud. Se puede apreciar que, mientras desde la Teoría del Aprendizaje Verbal Significativo, la adquisición de conceptos es resultado de distintos procesos cognitivos tales como abstracción, diferenciación o generalización, sin embargo, la Teoría de los Campos Conceptuales sugiere que los significados de los conceptos se adquieren en la interacción de los sujetos con situaciones, mediadas por procesos mentales.

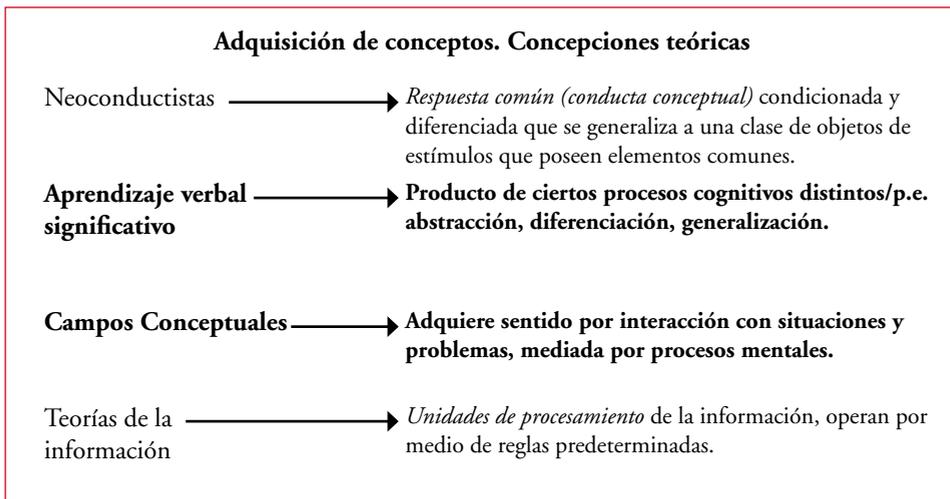


Figura 1. Diferentes concepciones teóricas relativas a la adquisición de conceptos.

2.1. Concepción de Ausubel

Ya en el primer capítulo se ha expuesto lo que Ausubel entiende como concepto, así como los procesos que conducen a su formación, que repasaremos con más detalle más adelante. Percibimos la realidad *a través de un filtro conceptual o de categorías; esto es, del contenido cognoscitivo que un agregado de palabras habladas o escritas provoca en el receptor de un mensaje*. Por tanto, los conceptos son los elementos que configuran la estructura cognitiva humana, pues nos permiten tener una experiencia consciente de la realidad. Pero esta experiencia, desde la perspectiva ausubeliana, no es una representación completa o sensorialmente fiel y fiable de la realidad física, sino más bien una versión de la misma, simplificada, abstracta y generalizada. El contenido cognoscitivo está además modelado por la naturaleza de los conceptos existentes en la estructura cognitiva de quien transmite información sobre algún fenómeno de la realidad (Ausubel, 1976). Es decir, que la percepción del fenómeno real está mediatizada por:

- La experiencia, particular e idiosincrásica, que tiene el transmisor de la información sobre el fenómeno real concreto.
- El contenido cognoscitivo que produce en el receptor humano la descripción, verbal o escrita, sobre el fenómeno real.

Otra característica que identifica la influencia de los conceptos en la estructura cognitiva humana, es lo que Ausubel denomina su *carácter diferencial*. Éste posibilita a la persona reconocer ciertas propiedades y/o atributos de eventos,

objetos o situaciones y eliminar otras no identificativas y, en consecuencia, este carácter diferencial de los conceptos, posibilita interpretar la experiencia sensorial en referencia a los criterios de identidad del fenómeno observado. Señala además, el carácter *particularista e idiosincrásico* de la percepción de la realidad, *en sus aspectos denotativo y connotativo*, frente a los significados estandarizados en un contexto cultural, que son genéricos y utilizados en la adquisición de nuevos conocimientos, mediante aprendizaje por recepción, en la resolución de problemas y en la comunicación interpersonal (ibid.).

Es evidente, que la realidad conceptual ausubeliana, es la que percibimos a través de la experiencia consciente, mediante los conceptos que configuran la estructura cognitiva humana. Sin embargo, esta percepción conceptual no guarda semejanza con el mundo real. Una apreciación sobre el tipo de relación entre ambas realidades, conceptual y fenomenológica, sería «*caracterizar a la primera como una versión esquemática y selectiva de la segunda*» (Ausubel, 1976, pág. 279). ¿En qué medida podemos hablar, entonces, de la veracidad de un concepto? ¿Cuál es su utilidad en la estructura de conocimiento humano y en los procesos de aprendizaje? Al referirse a la generación de conceptos, Ausubel (op. cit., pág. 580) explicita lo que entiende como grado de veracidad de un concepto: «*el grado en que éste identifica aspectos relevantes e importantes de la experiencia con la realidad objetiva*». La veracidad de un concepto para él determina en gran medida su «*utilidad tanto en la estructura del conocimiento como en actividades de aprendizaje, solución de problemas y de comunicación*» (ibid.).

Los significados, como abstracciones de la realidad ¿tienen existencia real en el mundo físico? En términos psicológicos los conceptos son reales, en el sentido de que (Ausubel, 1976, pág. 580):

- Son adquiridos, se perciben, entienden y manipulan como si tuvieran existencia independiente, con derecho propio.
- Se perciben y entienden tanto en sentido denotativo como en razón de sus funciones sintácticas, de manera casi semejante, en culturas diferentes. Por ejemplo, el término cultura es un concepto que no posee en sí una existencia independiente sino que caracteriza actitudes, formas singulares de pensar y maneras características de institucionalizar las relaciones interpersonales dentro de una sociedad en particular. No obstante, como entidad, la cultura es psicológicamente real.

Por lo tanto, los elementos distintivos de un contexto cultural constituyen entidades conceptuales y pueden influir en la vida de las personas. Esto indica que los significados de los conceptos se representan en un lenguaje concreto y por consiguiente, pueden «*pensarse como productos o reflejos de la cultura y como factores modeladores o limitantes en el desarrollo cognoscitivo de los portadores individuales de esa cultura*» (Ausubel, 1976, pág. 581). Este rasgo conceptual, evidencia la importancia del *lenguaje* en la percepción de la realidad física:

Así, pues, los patrones de pensamiento, características de una cultura dada, afectan a la naturaleza del lenguaje en evolución; y recíprocamente, el lenguaje modela y limita las experiencias perceptual y cognoscitiva así como los tipos de pensamiento en que se empeñan los individuos de una cultura determinada. (Íbid.)

Desde la idea central conductora de este capítulo, es obligada una referencia al carácter progresivo que identifica los procesos de construcción de nuevos significados conceptuales. Para Ausubel, es evidente que, a lo largo del desarrollo del individuo, el aprendizaje de conceptos sigue un proceso evolutivo, hecho que atribuye tanto a posibles evoluciones en la propia estructura cognitiva, como a la ocurrencia de procesos cognoscitivos durante la interacción de las tareas de aprendizaje con ideas relevantes de su estructura personal. Ya se expresó en el capítulo 1 que son tres las razones que justifican esta progresión: la adquisición de un vocabulario nuevo, junto con la posibilidad de articular esas palabras en proposiciones; la creciente capacidad de relación entre proposiciones nuevas y otras presentes en la estructura cognitiva; y, por último, una mayor independencia, también creciente, de los apoyos empírico-concretos. El aprendizaje de significados conceptuales tiene, desde esta perspectiva, un carácter esencialmente progresivo, es decir, el individuo es capaz de relacionar significativamente a su estructura cognitiva materiales potencialmente significativos con un nivel mayor de abstracción en un periodo dilatado de tiempo.

2.2. Concepción de Vergnaud

La Teoría de los Campos Conceptuales describe también algunos rasgos y elementos de estos procesos complejos que conducen a la conceptualización de lo real y, en consecuencia, al desarrollo de la cognición humana. Los planteamientos y propuestas de este referente teórico permiten conocer y describir actividades cognitivas complejas, como las que caracterizan el aprendizaje conceptual científico. Vergnaud comparte con Piaget la idea de que el conocimiento es un proceso de adaptación. Sin embargo, para Vergnaud, como hemos visto en el capítulo 3, el problema central de la cognición es la conceptualización y, a partir de esta premisa, desarrolla una teoría psicológica que postula que el conocimiento está organizado en campos conceptuales, de los cuales, las personas se apropian a lo largo del tiempo. Se trata, como él mismo señala, de «*una teoría psicológica del concepto, o mejor, de la conceptualización de lo real, porque permite situar y estudiar las filiaciones y rupturas entre conocimientos desde el punto de vista de su contenido conceptual*» (Vergnaud, 1993, pág. 1).

Vergnaud sugiere que en la definición de un concepto se considere no sólo su estructura, sino también las propiedades, las situaciones en las cuales los

conceptos se usan y los sistemas de representación simbólica que los estudiantes emplean para pensar y escribir acerca de un concepto. En definitiva, la conceptualización para Vergnaud está regulada por la interacción entre la información contenida en las situaciones y la estructura conceptual del sujeto. En consecuencia, el interés de esta teoría se centra en el aprendizaje de los conceptos científicos y, por esto, se estima un referencial teórico especialmente idóneo para comprender la estructura final de la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (Moreira, 2002).

Recordemos que la Teoría de los Campos Conceptuales supone que *el centro del desarrollo cognitivo es la conceptualización*. Para Vergnaud ese desarrollo cognitivo depende de situaciones y de las conceptualizaciones necesarias para enfrentarlas. Adopta como premisa que el conocimiento está organizado en campos conceptuales, cuyo dominio por parte del sujeto ocurre a lo largo del tiempo, a través de la experiencia, maduración y aprendizaje. Define el campo conceptual como «*un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones de pensamiento, conectadas entre sí y entrelazadas durante el proceso de adquisición*» (Vergnaud, 1982, pág. 40). Los argumentos esenciales en que basa su propuesta del constructo de campo conceptual son: a) un concepto no se forma dentro de un solo tipo de situaciones; b) una situación no se analiza con un solo concepto; c) la construcción y apropiación de todas las propiedades de un concepto o todos los aspectos de una situación, es un proceso muy lento que se realiza a lo largo de los años.

Es, por consiguiente, una teoría de la complejidad ya que implica abordar en una única perspectiva teórica todo el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas, de los conceptos y teoremas necesarios para operar eficientemente en esas situaciones y de las palabras y símbolos que pueden representar eficazmente esos conceptos y operaciones para los estudiantes, de acuerdo con sus niveles cognitivos.

Para Vergnaud, el campo conceptual es una unidad de estudio para dar sentido a los problemas y las observaciones hechas en relación con la conceptualización de lo real. Resalta especialmente los aspectos conceptuales de los esquemas y el análisis conceptual de las situaciones en las que el sujeto desarrolla sus esquemas en un contexto escolar o en la vida real (Vergnaud, 1998).

El vínculo que articula el comportamiento y la representación de lo real es lo que Vergnaud llama, desde la influencia piagetiana en su teoría, el concepto de *esquema* y que define como «*la organización invariante del comportamiento para una determinada clase de situaciones*» (Vergnaud, 1994, pág. 53).

Es preciso destacar que también para Vergnaud los conceptos adquieren significado a través de las situaciones y, por lo tanto, son éstas y no los conceptos las que constituyen la fuente principal de un campo conceptual. Un concepto, como se ha descrito en capítulos anteriores, está formado por un triplete (S, I, R) de situaciones, invariantes y representaciones.

Esta teoría permite analizar la relación entre los conceptos científicos en su dimensión de conocimientos explícitos y los *invariantes operatorios* implícitos del comportamiento de las personas en determinadas *situaciones* así como profundizar en el análisis de las relaciones entre los significados y significantes de un concepto o campo conceptual (Vergnaud, 1993). En este sentido, Vergnaud señala la importancia de considerar las concepciones de los estudiantes como precursoras de los conceptos científicos adquiridos. Para este autor, las concepciones previas de los sujetos contienen teoremas y conceptos-en-acción que no son verdaderos teoremas y conceptos científicos, pero que pueden evolucionar hacia ellos. Sin embargo, la distancia entre los invariantes operatorios y los del conocimiento científico es muy grande, y el proceso hacia la adquisición de conceptos significativos científicamente aceptados puede producirse a lo largo del tiempo. El conocimiento previo es determinante para el dominio de un campo conceptual, pero en algunos casos puede ser un impedimento; en este sentido Vergnaud se expresa cuando alude al hecho de que las continuidades y rupturas no son excluyentes.

Desde la perspectiva teórica de Vergnaud, la construcción del conocimiento por parte del sujeto no es un proceso lineal, fácilmente identificable; por el contrario, es complejo, tortuoso, dilatado en el tiempo, con avances y retrocesos, presentando continuidades y rupturas. El proceso de evolución de los conceptos y teoremas-en-acción hacia otros progresivamente más próximos de aquellos científicamente compartidos, es demorado en el tiempo.

En la tabla 1, se presentan comparativamente algunas de las características de la percepción de la realidad desde las aportaciones de la Teoría del Aprendizaje Significativo de D. Ausubel y la Teoría de los Campos Conceptuales (teoría psicológica de la conceptualización) de G. Vergnaud.

Tabla 1. Percepción conceptual de la realidad: algunos rasgos característicos desde los enfoques teóricos de Ausubel y Vergnaud.

TEORÍA de AUSUBEL	TEORÍA de VERGNAUD
<p><i>Concepto:</i> regularidades empíricas, atributos, criterios, que identifican objetos, eventos, situaciones.</p>	<p><i>Concepto:</i> formado por situaciones, invariantes y representaciones. Los conceptos derivan de las razones que los hacen necesarios para enfrentar situaciones o problemas. $C = \{S, I, R\}$ donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S: situaciones que dan sentido al concepto (son el referente del concepto) • I: invariantes que basan la operacionalidad de los esquemas (son el significado del concepto) • R: conjunto de expresiones semióticas que representan simbólicamente un concepto (los invariantes y sus propiedades, las situaciones y procedimientos); son el significante del concepto.
<p>Percibimos la realidad a través de un filtro conceptual o de categorías. En esta experiencia consciente de la realidad influyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El contenido cognoscitivo que un agregado de palabras habladas o escritas provoca en el receptor. • La experiencia singular e idiosincrásica del emisor. 	<p>La realidad es compleja. La conceptualización de lo real está regulada por la interacción entre la información contenida en las situaciones y la estructura conceptual del sujeto.</p>
<p>La conceptualización tiene consecuencias en el desarrollo cognitivo.</p>	<p>La representación de lo real y la conducta del sujeto al enfrentarse y resolver situaciones están articuladas por el concepto de <i>esquema</i>.</p>
<p>Algunas características de esta percepción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es una versión simplificada, abstracta y generalizada de la realidad. • Hay relación, aunque no semejanza entre la percepción conceptual y fenomenológica. • Son más particulares que los significados estandarizados culturalmente y que usamos en la realidad. • Los significados de los conceptos, como abstracciones no tienen existencia en el mundo físico. • Los patrones de pensamiento afectan a la naturaleza del lenguaje y a la vez éste limita las experiencias perceptual y cognoscitiva. 	<p>La conceptualización es, para Vergnaud, el núcleo del desarrollo cognitivo.</p> <p>La conceptualización tiene consecuencias en el desarrollo cognitivo y permite explorar vínculos entre la estructura cognitiva humana y la estructura de los conceptos y así describir niveles de conceptualización del concepto.</p>
<p>Grado de veracidad de un concepto.</p>	<p>Un concepto adquiere sentido por interacción con situaciones y problemas, asimilándose las propiedades que formarán los conocimientos-en-acción; en la medida en que éstos se expresen explícitamente mediante sus significantes, esos invariantes conforman un concepto.</p> <p>«Verdadero» concepto.</p>

En la figura 2, se refleja de manera sintética, la consideración que Ausubel y Vergnaud atribuyen a los conceptos. Mientras que la teoría de Ausubel se ocupa de la adquisición de conceptos explícitos y formalizados, identificando el grado de veracidad de su significado, en la teoría de Vergnaud subyace la idea de que los conocimientos-en-acción (fuertemente implícitos) pueden evolucionar a lo largo del tiempo hacia los conocimientos científicos (explícitos).

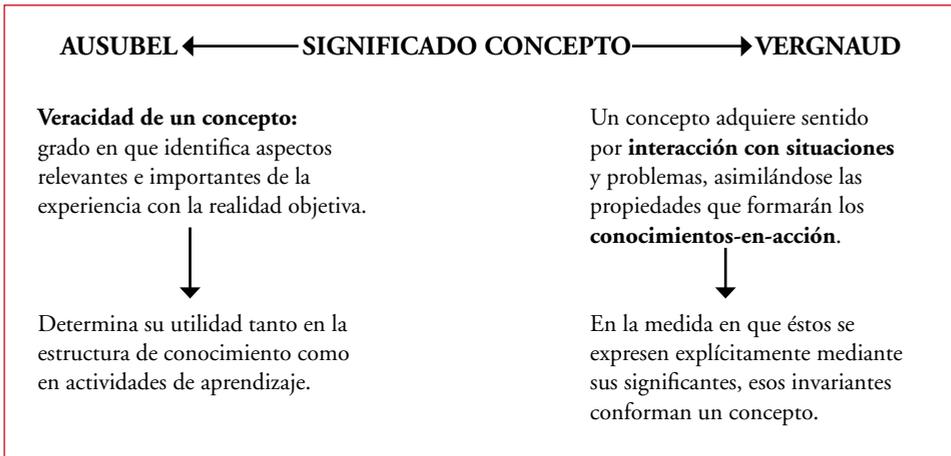


Figura 2. Significado de los conceptos desde la teoría de Ausubel y Vergnaud.

3. Aprendizaje significativo de conceptos y desarrollo cognitivo: un proceso progresivo. Aportaciones desde los paradigmas constructivistas de D. Ausubel y G. Vergnaud

A continuación, se revisan algunas características relevantes que identifican los procesos de aprendizaje significativo de conceptos, tanto desde una perspectiva ausubeliana como en referencia a las contribuciones de la teoría cognitiva de los campos conceptuales. No se pretende un análisis profundo de estos referentes teóricos, sino únicamente poner de relieve los elementos afines o bien aquellos en los que se complementan, en relación al aprendizaje significativo conceptual humano. Por tanto, la reflexión que se presenta está dirigida hacia cómo ocurre en los sujetos el aprendizaje significativo de conceptos y el carácter progresivo de ese proceso.

3.1. Perspectiva de Ausubel

El aprendizaje significativo supone, en cuanto a su naturaleza, la adquisición de nuevos significados. A su vez, éstos son el producto final del proceso de aprendizaje significativo. Por lo tanto, la aparición de nuevos significados en el sujeto refleja la ejecución y la finalización previas de un proceso de aprendizaje significativo. La esencia de este proceso está en la relación *no arbitraria y no literal* entre las nuevas ideas expresadas de manera simbólica (la tarea de aprendizaje) y aquello que el individuo ya sabe (su estructura cognitiva en relación con un campo particular). El resultado de esta interacción activa e integradora es la adquisición de un nuevo significado.

Procede ahora que repasemos las condiciones necesarias para que suceda dicho proceso de aprendizaje significativo (Ausubel, 2002), que son:

- 1) Que el sujeto manifieste una *actitud* de aprendizaje significativa (es decir, una predisposición a relacionar el nuevo material que se va a aprender de una manera no arbitraria y no literal con su estructura de conocimiento).
- 2) Que el material de instrucción sea *potencialmente significativo* para él, o sea, que sea enlazable con sus estructuras particulares de conocimiento de una manera no arbitraria y no literal.

La tabla 2, expresa las relaciones entre aprendizaje significativo, grado de significado potencial, grado de significado lógico y significado psicológico que se reflejan en las condiciones de aprendizaje.

Tabla 2. Condiciones de aprendizaje significativo. Significado lógico y psicológico.

En el proceso de aprendizaje significativo (adquisición de significados)	Condiciones necesarias	1. Un material potencialmente significativo 2. Una actitud de aprendizaje significativa
Grado de significado potencial	Depende →	a) De la naturaleza del material de instrucción. Se denomina grado de significado lógico y hace referencia al hecho de que el material debe ser suficientemente no arbitrario, es decir, no aleatorio, plausible y razonable para que se pueda enlazar de manera no arbitraria y no literal con las ideas correspondientes pertinentes que se encuentran en el ámbito de la capacidad de aprendizaje del ser humano. b) De la estructura cognitiva humana. La disponibilidad de las ideas pertinentes en la estructura cognitiva humana.
El significado psicológico (significado fenomenológico idiosincrásico)	Es el resultado de →	El aprendizaje significativo (es decir, el significado potencial y la actitud de aprendizaje significativa)

Es evidente, pues, que el desarrollo cognitivo tiene una función esencial en el proceso de aprendizaje significativo y que la estructura cognitiva humana, organizada jerárquicamente, actúa como matriz (Ausubel, 2002) para la adquisición de nuevos significados. La capacidad distintiva del ser humano para el aprendizaje verbal significativo depende de capacidades cognitivas como la representación simbólica, la abstracción, la categorización y la generalización. Otros aspectos de interés que se destacan desde la perspectiva ausubeliana son:

- El significado psicológico es un fenómeno *idiosincrásico*. Sin embargo, su naturaleza personal o individualizada no excluye la posibilidad de que se produzcan o generen unos significados sociales o compartidos, que posibilitan la comprensión e intercomunicación dentro de una realidad cultural concreta.

- El aprendizaje significativo no se puede considerar equivalente al aprendizaje de material potencialmente significativo. Conviene precisar entre aprendizaje significativo de material potencialmente significativo, que hace referencia a un proceso distintivo de aprendizaje, y el aprendizaje memorístico de los elementos componentes ya significativos de una tarea de aprendizaje que, tomados conjuntamente, no forman una tarea de aprendizaje potencialmente significativa.
- El proceso psicológico por el que una palabra adquiere significado no debe confundirse con el grado relativo de significado que muestra en comparación con otros símbolos y que puede ser causa de un tipo de aprendizaje memorístico.

Por otro lado, es obligado mencionar la influencia que tiene el lenguaje en el desarrollo cognitivo y, por tanto, la importancia del aprendizaje simbólico verbal y otras formas del mismo en el aprendizaje significativo de conceptos. El lenguaje y la simbolización hacen posible, en cierta medida, la mayoría de las formas complejas de funcionamiento cognitivo.

La interiorización del lenguaje es un instrumento cognitivo que se utiliza para traducir la experiencia a una forma simbólica, para representar y transformar de manera sistemática regularidades de la propia experiencia. Los medios que comporta el símbolo para lograr una referencia remota, una transformación y una combinación abren un ámbito de posibilidades intelectuales que traspasan el sistema más poderoso de formación de imágenes (Bruner, 1964). La verbalización, para Ausubel, es una parte esencial integrante del proceso de adquisición de nuevas ideas abstractas, influyendo tanto en la naturaleza misma del proceso como en su resultado, es decir, en el aprendizaje verbal significativo del nuevo conocimiento abstracto.

La verbalización hace algo más que vestir verbalmente la comprensión subverbal, hace algo más que adjuntar un asidero simbólico a una idea para que se pueda registrar, verificar, clasificar y comunicar con facilidad. Más bien constituye una parte esencial del mismo proceso de adquirir nuevas ideas abstractas e influye tanto en la naturaleza como en el producto de los procesos cognitivos implicados en la generación de nuevos conceptos y nuevas proposiciones abstractas. (Ausubel, 2002, pág. 164)

La capacidad humana para el simbolismo y la verbalización representacional posibilitan aspectos como: 1) la generación *original* (descubrimiento) de ideas en un nivel de abstracción, generalidad y precisión singularmente elevado; 2) la acumulación y transmisión de estas ideas en el curso de la historia cultural. Hemos de tener en cuenta que los tipos de conceptos que aprende un individuo en una cultura particular y sus procesos de pensamiento están profundamente influidos

por el vocabulario y la estructura del lenguaje al que se expone en su cultura particular (Whorf, 1956).

Los modos de influencia del lenguaje en la adquisición de significados de nuevos conceptos y en la resolución de problemas, se concretan en los siguientes aspectos (Ausubel, 2002, pág. 166):

- Las propiedades representacionales de las palabras facilitan los procesos de transformación implicados en el pensamiento.
- La verbalización de los productos subverbales que surgen de estas operaciones, antes de nombrarlos, refina y refuerza sus significados y, en consecuencia, aumenta su poder de transferencia.
- En un sentido más amplio, la adquisición del lenguaje, también permite a los seres humanos en desarrollo adquirir significados por medio del aprendizaje, basado en la recepción, y emplear en el aprendizaje basado en el descubrimiento, un inmenso repertorio de conceptos y principios que nunca podría llegar a descubrir por su cuenta.

A modo de síntesis, se ha hecho una breve revisión de la naturaleza del aprendizaje verbal significativo, las condiciones necesarias para su proceso y algunas características del desarrollo cognitivo humano durante la adquisición de nuevos significados. Pero es conveniente, explorar con más detalle, cómo son los procesos psicológicos mediante los cuales se asimila y organiza el conocimiento en la estructura cognitiva humana.

Dentro de los tres tipos básicos de aprendizaje significativo definidos en el referente teórico ausubeliano: *el aprendizaje representacional*, *el aprendizaje de conceptos* y *el aprendizaje proposicional*, de acuerdo a los fines de esta reflexión, se privilegia el aprendizaje significativo de conceptos. Es evidente que este aprendizaje suele estar precedido de una forma de aprendizaje representacional, donde el concepto adquirido se equipara en cuanto a significado con la palabra conceptual que lo representa (Ausubel, 2002). Sin embargo, no se menciona este tipo de aprendizaje pues el interés prioritario es el aprendizaje conceptual. Como se ha indicado, en esta teoría, los conceptos son atributos característicos comunes de objetos, situaciones y eventos que se designan por el mismo signo o símbolo. Conviene recordar que los métodos esenciales a través de los que adquieren significado los conceptos para el sujeto, son:

- a) La *formación de conceptos*, que se produce básicamente en las primeras etapas de la vida de la persona (preescolar). En la formación de conceptos, los atributos característicos del concepto, se adquieren como consecuencia de la experiencia directa por medio de sucesivas etapas de generación, comprobación y generalización de hipótesis.
- b) La *asimilación de conceptos* que es la forma predominante en la edad escolar y en los adultos. Los atributos característicos de los nuevos conceptos

se adquieren mediante el proceso de interacción con referentes relevantes disponibles en la estructura cognitiva humana.

Por ello es pertinente que retomemos ahora el proceso de **asimilación** presentado en el capítulo 1, considerado básico en el marco de esta teoría, para explicar de manera más completa el mecanismo de adquisición de nuevos significados en la estructura cognitiva humana y, por tanto, de un aprendizaje significativo de conceptos. La idea central de la teoría de la asimilación es que los nuevos significados se adquieren mediante la **interacción** del conocimiento nuevo y potencialmente significativo con aspectos específicamente relevantes, para ese conocimiento, existentes en la estructura cognitiva humana. Como resultado de este proceso interactivo se produce una modificación tanto del significado potencial de la nueva información como de los significados de los conceptos que sirven de anclaje. Es decir, el producto interactivo propiamente dicho del proceso de aprendizaje significativo no es sólo el nuevo significado adquirido, sino que incluye también la modificación de la idea de anclaje. Pero aprender, para Ausubel, es el proceso de **adquirir nuevos significados reales** a partir de **los significados potenciales presentados en el material de aprendizaje y de hacerlos más disponibles**. Este procedimiento de la asimilación posibilita explicar tanto el aprendizaje como la retención.

Cabe preguntarse ¿en qué medida están disponibles en la estructura cognitiva los nuevos significados en futuros aprendizajes significativos? ¿Cuándo finaliza el proceso de asimilación? El producto de interacción entre el subsumidor y la nueva información ($A'a'$) puede sufrir modificaciones a lo largo del tiempo y en definitiva, la asimilación no finaliza cuando se produce el aprendizaje significativo, sino que continúa durante un periodo de tiempo que puede suponer nuevos aprendizajes, así como pérdida de la capacidad de recuperación de ideas subordinadas asimiladas.

Para explicar cómo nuevas informaciones recién asimiladas permanecen separables de sus ideas de anclaje, y por tanto, son reproducibles como entidades individuales, Ausubel propone la posibilidad de disociación del producto interactivo, es decir, que $A'a' \Leftrightarrow A' + a'$. Esto significa que el producto de la interacción $A'a'$, durante un cierto periodo de tiempo, es separable en A' y a' favoreciendo así la retención de a' . Se evidencia de este modo la importancia del proceso de asimilación en la adquisición y retención de significados. Además implica un mecanismo de olvido subyacente de esos significados.

Se puede decir, entonces, que inmediatamente después del aprendizaje significativo, cuyo resultado es un producto interaccional $A'a'$, comienza un segundo estadio de la asimilación: la **asimilación obliteradora**. Las nuevas informaciones pasan a ser, espontánea y progresivamente, menos separables, de sus ideas-ancla (subsumidores) hasta que ya no están disponibles, es decir, ya no son reproducibles como entidades individuales. Se llega entonces a un grado de disociabilidad nulo, y $A'a'$ se reduce simplemente a A' . El olvido es, por tanto, una

continuación temporal del mismo proceso que facilita el aprendizaje y retención de nuevas informaciones. Es igualmente destacable el hecho de que en este proceso el subsumidor ya no es el mismo, sino que se ha modificado. Así, pues, si bien la retención es favorecida por el proceso de asimilación, el conocimiento así adquirido está sujeto a la influencia erosiva de una tendencia reduccionista de la organización cognitiva: es más simple y económico retener sólo las nuevas ideas asimiladas (Moreira, 2000).

Se ha intentado resaltar a través de estos rasgos identificativos del proceso de asimilación propuesto por Ausubel que éste ocurre de modo progresivo en el tiempo. El propio Ausubel cuando distingue entre el modo en el que se utiliza el término asimilación en su propuesta, frente al sentido atribuido en la teoría de la Gestalt, manifiesta: «*la asimilación, en lo que concierne a la pérdida de disociación de las nuevas informaciones aprendidas, es un fenómeno progresivo, al contrario de un proceso de sustitución del tipo 'todo o nada', en el cual la disponibilidad de informaciones se pierde, completa e instantáneamente*» (Moreira, 2000, pág. 27).

Ausubel (2002) considera que el logro de un aprendizaje significativo, su proceso íntimo, es complejo y por ello apela a la consolidación cuando plantea sus principios programáticos para la organización de la enseñanza. En definitiva, nos está diciendo que la asimilación significativa es progresiva y que, por eso, requiere periodos prolongados de tiempo, así como toma de contacto en varias ocasiones con los conceptos nuevos, para su consecución.

3.2. Perspectiva de Vergnaud

Se describen ahora algunos elementos singulares del proceso de aprendizaje significativo de conceptos, desde la perspectiva de la Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud, que conviene recordar, propone una aproximación al desarrollo cognitivo que parte de la consideración de los contenidos del conocimiento en sí mismos y de su análisis conceptual (Vergnaud, 1994) y se enfoca el conocimiento como un proceso de integración adaptativa con las situaciones que vive, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo (Franchi, 1999).

Esta teoría es especialmente adecuada para comprender y explicar procesos de aprendizaje significativo de conceptos. Para su autor, al igual que para Piaget, el conocimiento es un proceso de adaptación, y el problema central de la cognición es la conceptualización, premisa que usa para postular que el conocimiento se encuentra organizado en **campos conceptuales**, de los que el individuo se apropia a lo largo del tiempo. Identifica los campos conceptuales como conjuntos informales y heterogéneos de situaciones y problemas, para cuyo análisis y tratamiento se requieren diversas clases de conceptos, representaciones simbólicas, operaciones de pensamiento y procedimientos que se conectan entre sí durante su aprendizaje (Vergnaud, 1993, 1990). Los estudiantes enfrentan problemas y conflictos de natu-

raleza conceptual en sus procesos de aprendizaje, relacionados con campos conceptuales concretos; esas dificultades de ningún modo pueden considerarse ni tratarse de golpe, ya que sólo pueden superarse de forma lenta y progresiva. El aprendizaje humano se logra mediante el dominio de las situaciones y para ello es necesario coordinar conceptos y principios coherentemente, de manera que permitan actuar. Frente a la idea de conceptos de Ausubel como regularidades empíricas de eventos u objetos, para Vergnaud éstos se derivan de las razones que los hacen necesarios, de las relaciones con los eventos (situaciones) pasados, presentes y futuros, así como de sus posibilidades de predicción (Vergnaud, 1990).

La potencialidad de esta teoría radica en que permite explorar vínculos entre la estructura cognitiva humana y la estructura de un concepto determinado y, de este modo, describir distintos niveles de conceptualización del concepto. Estos niveles se manifiestan en el uso de representaciones simbólicas y una explicitación parcial de significados, que son las expresiones parciales de los invariantes operatorios usados para enfrentar situaciones y problemas que demandan una conceptualización aceptable de lo real. Así pues, permite analizar la relación entre la dimensión de los conceptos y los **invariantes operatorios** implícitos del comportamiento humano en determinadas **situaciones** y profundizar en las relaciones entre significados y significantes de un concepto (Vergnaud, 1993).

Desde esta perspectiva teórica, los esquemas (explicados en capítulos precedentes) vinculan la conducta y la representación, por medio de los invariantes, ya que tanto la percepción, como la búsqueda y selección de información quedan determinadas por los conceptos-en-acción disponibles en el sujeto y los teoremas-en-acción subyacentes en su conducta. Un **teorema-en-acción** es una proposición considerada como verdadera sobre lo real, y un **concepto-en-acción** es una categoría de pensamiento considerada como pertinente (Vergnaud, 1996). Con teoremas y conceptos-en-acción, Vergnaud se está refiriendo a un conocimiento implícito, es decir, a conceptos que aun formando parte de la estructura cognitiva, no lo serán del todo hasta que el sujeto no sea capaz de explicitarlos. Este conocimiento que él llama **conocimiento-en-acción** es lo que permite la adaptación y, en consecuencia, la capacidad de afrontar nuevas situaciones (Vergnaud, 1998). Los invariantes operatorios que constituyen ese conocimiento-en-acción conformarán conceptos en tanto sean expresados explícitamente y esto se produce a medida que esos conceptos van adquiriendo sentido, paulatinamente, para el individuo, al irse enfrentando a las situaciones que reclaman su uso, como Greca y Moreira (2002) consideran.

Los conceptos, según Vergnaud, no sólo deben ser definidos por su estructura, sino que requieren considerar las propiedades, las situaciones en las cuales se usan y las representaciones simbólicas que la persona emplea para pensar y escribir acerca de los mismos, es decir, que la conceptualización está regulada por la interacción entre la información contenida en las situaciones y la estructura conceptual de la persona.

En el marco de esta teoría se consideran los **conceptos** constituidos por elementos relacionados, referidos a un conjunto de situaciones e invariantes operatorios, cuyas propiedades se expresan por medio de diferentes representaciones simbólicas. Vergnaud (1993, 1998) define un concepto como un trío de conjuntos, $C = \{S, I; R\}$ donde S , es un conjunto de situaciones que dan sentido al concepto, son el **referente** de un concepto; I , un conjunto de invariantes operatorios que basan la operacionalidad de los esquemas, son el **significado** del concepto, y R es un conjunto de expresiones semióticas que representan simbólicamente un concepto, o sea, los invariantes operatorios y sus propiedades, las situaciones y los procedimientos; las representaciones son el **significante** de un concepto. Un concepto va adquiriendo sentido por interacción con situaciones y problemas, asimilándose las propiedades que formarán los **conocimientos-en-acción**; en la medida en que éstos, se expresen explícitamente mediante sus significantes, esos invariantes conforman un «verdadero» concepto, tal como el propio Vergnaud indica:

¿Cómo adquiere significado un concepto? Para Vergnaud, los invariantes operatorios se aplican a las situaciones (problemas, fenómenos) para dar sentido al concepto mediante sus propiedades, relaciones y transformaciones. Así enfatiza también el papel del conocimiento previo en los procesos de construcción del conocimiento, al afirmar que un problema no es tal si el sujeto no tiene conceptos para reconocerlo como problema. Este presupuesto básico identifica a la conceptualización de lo real de Vergnaud dentro de los enfoques que se articulan bajo el paradigma constructivista. La acción es considerada por Piaget y por Vergnaud como el principal elemento generador de conocimiento. La solución de problemas se contempla como fuente y como criterio de conocimiento. Otros aspectos destacados en esta teoría, sobre el proceso de aprendizaje significativo de conceptos (Vergnaud, 1994), son:

- Las situaciones y problemas dominados previamente son esenciales en la adquisición del conocimiento; éste tiene rasgos locales.
- El dominio de validez de los conceptos varía con la experiencia y el desarrollo cognitivo y, por lo tanto, es restringido.
- Si bien es una teoría pragmática, esto no significa que sea empírica. Es decir, los significados surgen de la acción del sujeto al enfrentar situaciones mediadas por procesos cognitivos. Este aspecto de la teoría de Vergnaud difiere del enfoque ausubeliano que considera el proceso de adquisición de conceptos por formación como un proceso empirista y deductivo. El sentido pragmático para Vergnaud está mediado por la acción del sujeto.
- El proceso de simulación de un problema va más allá de la abstracción de regularidades del mundo observable.

Como síntesis conclusiva, se presentan en la tabla 3 algunos rasgos comparativos del proceso de aprendizaje significativo desde la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel y la de los Campos Conceptuales de Vergnaud.

Tabla 3. Aprendizaje significativo: Un proceso progresivo. Perspectivas teóricas de Ausubel y Vergnaud.

Teoría aprendizaje verbal significativo David Ausubel	Teoría campos conceptuales Gérard Vergnaud
<ul style="list-style-type: none"> • Es una teoría de aprendizaje en el aula. • Proceso: Asimilación. • Conocimiento previo. Principal factor que influye en la adquisición de nuevos conocimientos. • En el aprendizaje tiene una fuerte influencia el conocimiento previo y, en ocasiones, se hace necesario romper con él. • Se ocupa de la adquisición de conceptos explícitos y formulados. Propone los principios programáticos para organizar la enseñanza, como son: la diferenciación progresiva, la reconciliación integradora, la organización secuencial y la consolidación. • En el conocimiento se da una interacción entre el dominio conceptual y el metodológico. • Es posible aprendizaje significativo receptivo. Materiales potencialmente significativos; esencial el conocimiento previo y actitud del aprendiz. • Evidencias de aprendizaje significativo: la resolución de situaciones problemáticas nuevas que requieran la transformación del conocimiento adquirido. • El rol del profesor es el de «organizador» de materiales (incluyendo clases) potencialmente significativos. • Problemas como criterio de evaluación del aprendizaje significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es una teoría del proceso de conceptualización de lo real. • Proceso: Integración adaptativa con las situaciones. • Conocimiento previo como precursor de nuevos conocimientos: El dominio de situaciones previas es importante para el dominio de situaciones nuevas. Formación de invariantes. • Continuidades y rupturas producidas en la construcción del conocimiento. • No se ocupa de la enseñanza de conceptos explícitos y formalizados, pero tiene subyacente la idea de que lo que llama los conocimientos-en-acción (que son fuertemente implícitos) pueden evolucionar, a lo largo del tiempo, hacia conocimientos científicos (explícitos). • Interdependencia entre teoría y práctica. • Es ilusión pedagógica que una presentación clara de las teorías lleve a un aprendizaje de las teorías. Las situaciones deben ser potencialmente significativas y pueden conducir simplemente por recepción a un dominio de la situación. • Progresivo dominio de situaciones del campo conceptual. • El rol del profesor es el de «mediador» en la acción del sujeto en las situaciones propuestas. • Problemas como fuente y criterio de conocimiento.

Como se desprende de la tabla anterior, se trata en ambos casos de teorías psicológicas (una del aprendizaje y otra de la conceptualización de lo real) cuyos objetos de análisis, conceptos clave, procedimientos de validación y ampliación son distintos, pero que tienen muchos aspectos en común (Rodríguez, 2004). Algunos de ellos se destacan a continuación:

- La importancia del conocimiento previo, así como su influencia en la adquisición de aprendizaje significativo, para lo que se hace necesario que se produzcan rupturas en dicho conocimiento antecedente.
- La concepción del proceso mismo de aprender como asimilación vs integración adaptativa.
- La interacción entre el dominio conceptual y el metodológico en la construcción del conocimiento o, lo que es lo mismo, la relación teoría/práctica.
- El papel de la recepción como mecanismo o vehículo de producción de aprendizaje y conocimiento.
- La importancia de las situaciones a las que se enfrenta la persona como fuentes de conocimiento.

- La función del docente como organizador vs mediador.
- La importancia atribuida a los problemas, bien como criterio de evaluación de aprendizaje significativo, bien como fuente y criterio de conocimiento.
- La influencia de la enseñanza en la evolución del conocimiento, a través de principios programáticos (Ausubel) o de la planificación de situaciones de aprendizaje (Vergnaud).

En la figura 3 podemos ver que la adquisición de significados es para ambos autores un proceso progresivo explicado a través de la asimilación (Ausubel) o de la integración adaptativa con las situaciones (Vergnaud). La idea de proceso que se lleva a cabo a través del tiempo es esencial, tanto para uno como para otro, lo que supone que los significados se atribuyen y se adquieren en términos evolutivos.

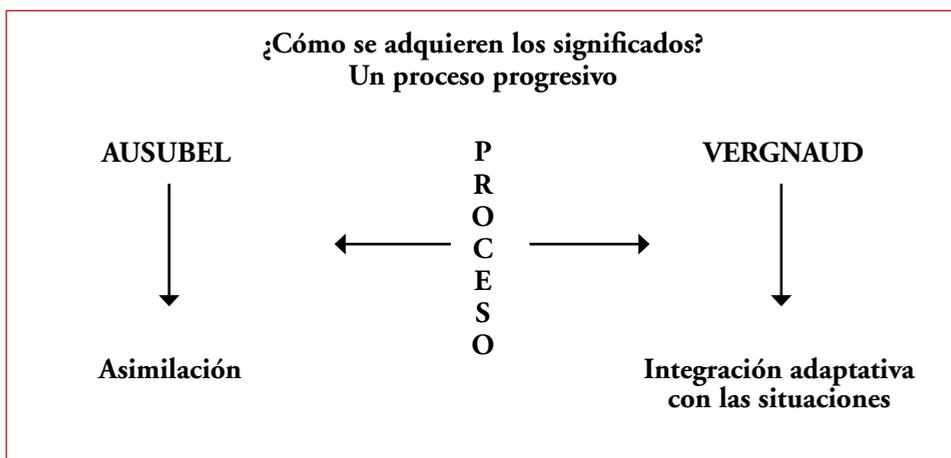


Figura 3. La adquisición de conceptos desde las perspectivas de Ausubel y Vergnaud.

4. Algunas implicaciones para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias

Para los fines de la educación en ciencias, un aprendizaje significativo de conceptos (Moreira, 1998; Pozo y Gómez Crespo, 1998) es condición necesaria para la formación científica de los estudiantes, su comprensión de fenómenos físicos y principios de aplicaciones tecnológicas, siendo importante conocer cómo éstos construyen conceptos científicos, cómo asimilan y comprenden sus significados, qué tipo de representaciones construyen, y qué procesos cognitivos ocurren, ya que esto permite conocer el desarrollo conceptual como una construcción y discriminación de significados y guía el diseño de estrategias de enseñanza (Moreira,

2000). Sin embargo, estas ideas se aplican también al aprendizaje y enseñanza de muchos otros contenidos y no solamente los científicos.

La importancia del aprendizaje significativo en el proceso educativo se basa en el hecho de que éste es el mecanismo humano por excelencia para adquirir y almacenar la extensa información de cualquier campo de conocimiento. La eficacia del aprendizaje significativo, como mecanismo para procesar y almacenar información, se atribuye a sus dos características distintivas: *el carácter no arbitrario y no literal de la capacidad de relación de la tarea de aprendizaje con la estructura cognitiva* (Ausubel, 1976, 2002).

Para Ausubel, el **profesor** es fundamental para crear materiales potencialmente significativos; su tarea es la de **organizador** (e implementador) del material de aula. Sin embargo, parece necesario ampliar esta visión ausubeliana para lograr una mejor comprensión del aprendizaje significativo desde la teoría de Vergnaud. A pesar de no ser una teoría didáctica, tiene importantes implicaciones para la enseñanza, entre las que se encuentra el papel esencial del profesor como **mediador**, esto es, su tarea para ayudar a los alumnos a desarrollar su repertorio de esquemas y representaciones (Vergnaud, 1998); de este modo, los estudiantes se pueden enfrentar a situaciones cada vez más complejas. Pero el desarrollo de nuevos esquemas conlleva nuevos invariantes. En esta función mediadora del profesor, en la tarea educativa, son importantes el lenguaje y los símbolos. No obstante, su acción facilitadora más importante es la de proponer y elegir situaciones diversas, presentadas adecuadamente dentro de la zona de desarrollo proximal del alumno. En la Teoría de los Campos Conceptuales, las situaciones no se refieren a situaciones didácticas, sino a tareas, a situaciones problemáticas.

En la resolución de un problema se manifiesta con frecuencia una clara dicotomía en el tratamiento de los saberes expresados y el saber hacer, es decir, entre el conocimiento declarativo y el conocimiento procedimental. Se presupone, en general, que enfrentar una situación problemática es sólo resultado de combinar acciones y reglas, dando por hecho el conocimiento necesario contenido en las mismas. Greca y Moreira ya han tratado esta cuestión en el capítulo 4. Para Vergnaud «*el conocimiento conceptual está inmerso en la resolución de problemas*» (Vergnaud, 1987, pág. 12). En la formación de conceptos, los procesos llevan a identificar categorías, nuevos significados, propiedades, atributos. Una clara distinción dicotómica entre conocimiento procedimental y declarativo puede conducir a subestimar tanto el papel de la representación y conceptos en la resolución del problema como el rol de la resolución en la formación de los conceptos. ¿Cómo influye este hecho en el diseño de alternativas didácticas que persiguen un aprendizaje significativo? ¿Es una cuestión de interés en investigaciones en enseñanza y aprendizaje?

Por último, otra implicación importante de la teoría de Vergnaud para la enseñanza está relacionada con el proceso de **explicitación del conocimiento** en el alumno. Con frecuencia, en el ámbito escolar se superestima el conocimiento

explícito y se subestima, o incluso se desvaloriza, el conocimiento implícito de los alumnos. Sin embargo, gran parte de nuestra actividad física y mental, está constituida por esquemas y éstos tienen como componentes esenciales los invariantes operatorios (conceptos y teoremas-en-acción) que constituyen los conocimientos contenidos en los esquemas y que son profundamente implícitos. Los alumnos, en general, no son capaces de expresar en lenguaje natural o de explicar sus teoremas-en-acción, a pesar de resolver correctamente ciertas tareas. Según Vergnaud (1990), el conocimiento conceptual de los distintos campos de conocimientos es necesariamente explícito y en este proceso de explicitación del conocimiento tiene una tarea esencial el docente. Este aspecto de la explicitación del conocimiento no parece que sea enfatizado ni directa ni suficientemente por parte de Ausubel en sus explicaciones relativas a cómo lograr un aprendizaje significativo.

5. Algunas aportaciones desde la investigación en Física

Es evidente la insatisfacción en los profesores cuando no se logran los aprendizajes deseados en sus alumnos; éstos expresan también las dificultades que encuentran para comprender los significados de los conocimientos que se les presentan. Conviene recordar que una enseñanza de calidad y/o el uso de unas metodologías adecuadas, no implica necesariamente un aprendizaje significativo, ya que éste es un proceso personal, idiosincrásico, no relacionado directamente con el tipo de enseñanza recibida. Sin embargo, el papel del profesor es fundamental, como mediador en los procesos de aprendizaje de los estudiantes para promover la construcción de nuevos conocimientos.

Con la finalidad de ejemplificar lo expuesto y aportar algunas ideas que puedan ser de utilidad en la planificación de la enseñanza en ciencias, y en particular en Física, se presentan algunos resultados de investigaciones realizadas en la práctica docente. La temática estudiada ha surgido de dificultades constatadas en el aprendizaje de los estudiantes y los resultados han tenido una repercusión en propuestas metodológicas alternativas. Los datos que se muestran, a continuación, forman parte de un proyecto de investigación, que pretende analizar, describir y caracterizar la conceptualización de conocimientos en Física, desde la perspectiva de los campos conceptuales. Se pretenden indagar respuestas a las dificultades que muestran los alumnos, de nivel medio y universitario, para el aprendizaje de la Física. En los criterios para la selección de las investigaciones, se ha valorado: el problema de aprendizaje centrado en conceptos físicos, la propuesta de investigación sustentada en la Teoría de los Campos Conceptuales y que sus aportaciones estuvieran publicadas en revistas especializadas en enseñanza, por considerarla adecuada para explicar y comprender los procesos cognitivos y la progresiva apropiación del conocimiento en los estudiantes. Los conceptos de interacción, campo, sistema, equilibrio, calor, temperatura, energía interna y entropía, han

sido objeto de estudio en estos trabajos, por entender que son nucleares para el aprendizaje de nuevos conceptos en Física. Por limitaciones de espacio, y desde las pretensiones de este capítulo, no procede una descripción pormenorizada de todas las investigaciones; sin embargo, se puede encontrar en las referencias bibliográficas, una visión más amplia para profundizar en los aspectos que se consideren de interés para la enseñanza.

a) El aprendizaje del concepto de campo en Física

La importancia del concepto de campo es primordial, tanto para estudiantes universitarios como de nivel previo a la Universidad, pues su aprendizaje crearía la posibilidad de comprensión de otros conceptos de la Física, que se integrarían en una estructura conceptual más general, como es el concepto de campo. Así el aprendizaje de conceptos científicos específicos como, por ejemplo, la temperatura, la presión, y otros, se vería facilitado si los estudiantes aprendieran a analizar problemas y situaciones del mundo natural desde la estructura conceptual de campo.

La complejidad y amplitud de significados físicos y matemáticos del concepto de campo promueve la necesidad de explorar un referencial teórico adecuado para analizar los vínculos entre la estructura de conocimiento del concepto de campo construido por la Física y la estructura conceptual construida por los estudiantes respecto al mismo. Con esta pretensión se desarrolló un trabajo de investigación que permitiera explorar los posibles vínculos entre la estructura cognitiva de los estudiantes y la estructura del concepto de campo compartida en la Física y, en consecuencia, ser capaz de describir niveles de conceptualización de los estudiantes en el aprendizaje de este concepto. En una primera fase del estudio se procuró describir los niveles iniciales de conceptualización que tenían los estudiantes del mismo. Teniendo como base estos resultados, se elaboró una estrategia didáctica, con la intención de indagar la progresiva apropiación del concepto de campo, es decir, si se podía apreciar una progresiva conceptualización, durante los distintos momentos de la intervención didáctica diseñada.

Se hace una breve descripción de cómo se han identificado los niveles iniciales de conceptualización del concepto de campo. Los resultados corresponden a una investigación exploratoria, realizada en el curso 2001-2002, con una muestra conformada por estudiantes de enseñanza media de la ciudad de Burgos (España) y de primer curso de la Licenciatura de Químicas, usando la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, como referencial para comprender y explicar el aprendizaje significativo del concepto de campo.

El profesor tiene un papel importante en este primer momento, que es diseñar situaciones problemáticas adecuadas, para que el estudiante active sus contenidos conceptuales (en este trabajo serían, conceptos físicos y matemáticos) y los tipos de representaciones simbólicas y pictóricas (en este estudio se han considerado expresiones matemáticas, lingüísticas y gráficas) para abordar las situaciones

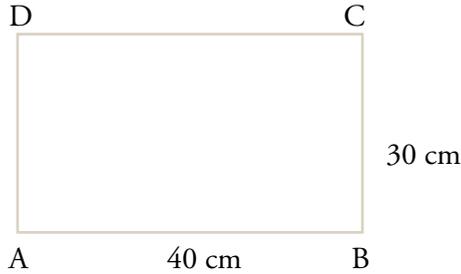
propuestas. Esto no es una tarea simple para el profesor, pues debe tener bien definido cuáles son los contenidos y representaciones, antes de diseñar las tareas. Además éstas deben tener un carácter novedoso para los estudiantes de modo que su desempeño promueva el desarrollo cognitivo. En definitiva, el profesor necesita precisar cuál es, en el contexto científico, el campo conceptual al que pertenece el concepto investigado. Se pueden apreciar los diversos contenidos físicos y matemáticos, las representaciones de carácter simbólico y/o pictórico, así como las operaciones, y propiedades que los estudiantes necesitan utilizar para resolver las tareas. Las situaciones puestas en juego deben dirigirse a poner en evidencia tanto continuidades como rupturas en el conocimiento relativo al concepto de campo en fenómenos físicos. Como ejemplo indicativo, se muestra a continuación en la tabla 4, la descripción del campo conceptual del concepto de campo, que se utilizó como referencia para el diseño de las situaciones del test inicial.

Tabla 4. Contenidos de situaciones y representaciones del concepto de campo tomados como sistema de referencia.

Contenido de las situaciones		Contenido de las representaciones simbólicas y pictóricas		
Conceptos matemáticos	Conceptos físicos	Expresiones matemáticas, lingüísticas y gráficas		Operaciones y Propiedades
Escalar	Masa, temperatura, densidad, volumen, energía, presión, carga, flujo magnético, potencial	Número R	Representación numérica R	Suma y resta Producto
Vector	Fuerza, desplazamiento, velocidad, campos eléctrico, magnético, gravitatorio	Módulo R Dirección y sentido	Geométrica (flecha) Analítica (componentes)	Suma y resta Producto escalar
Función	MRU, MRUA	$y = f(x)$	Gráfico Ecuación	Función lineal Función cuadrática
Campo escalar	Campo de temperaturas, Otros	$\phi = \phi(\vec{r}, t)$	Superficies Curvas de nivel	Diferencial Gradiente
Campo vectorial	Campo eléctrico, Velocidad en un fluido, Otros	$\vec{A}(\vec{r}, t)$	Componentes Diagramas de flechas Líneas de campo	Flujo Circulación

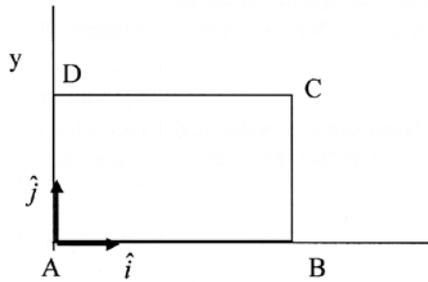
Para obtener datos que permitieran analizar y evaluar el nivel de conceptualización del concepto de campo, en el sentido descrito por la Teoría de los Campos Conceptuales, se elaboró un instrumento, conformado por diez tareas y problemas de lápiz y papel. Las situaciones problemáticas tienen formato diverso con preguntas de respuesta abierta, con la intención de que los datos recogidos permitan inferir qué conocimientos implícitos han usado los estudiantes para la ejecución de las tareas y cuáles son las representaciones que les han ayudado para dar significado al concepto de campo. Como ejemplo, presentamos dos de las tareas del instrumento (el instrumento completo se puede encontrar en Llancaqueo, Caballero y Moreira (2003).

Situación 1. Los lados de la superficie de una mesa rectangular como la que se muestra en la figura miden 40 x 30 cm y los vértices de cada esquina se designan por las letras A, B, C y D.



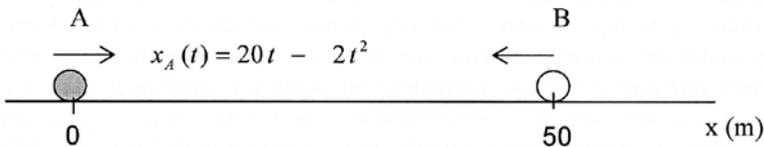
- Si \vec{AB} y \vec{AD} son vectores que unen los vértices AB y AD respectivamente, dibuja en la figura los vectores: \vec{AB} ; \vec{AD} ; $\vec{AB} + \vec{AD}$ y $\vec{AD} - \vec{AB}$.
- Si se define un sistema de referencia con origen en el vértice A como se muestra en la siguiente figura, escribe o representa en función de sus componentes cada uno de los siguientes vectores

$$\vec{AB}; \vec{AD}; \vec{AB} + \vec{AD} \text{ y } \vec{AD} - \vec{AB}$$



- Explica y plantea ¿Qué conceptos, operaciones y propiedades del álgebra vectorial aplicarías tú para determinar el ángulo que forman las diagonales AC y BD del rectángulo? (no es necesario que realices el cálculo exacto, sólo explica tu planteamiento).

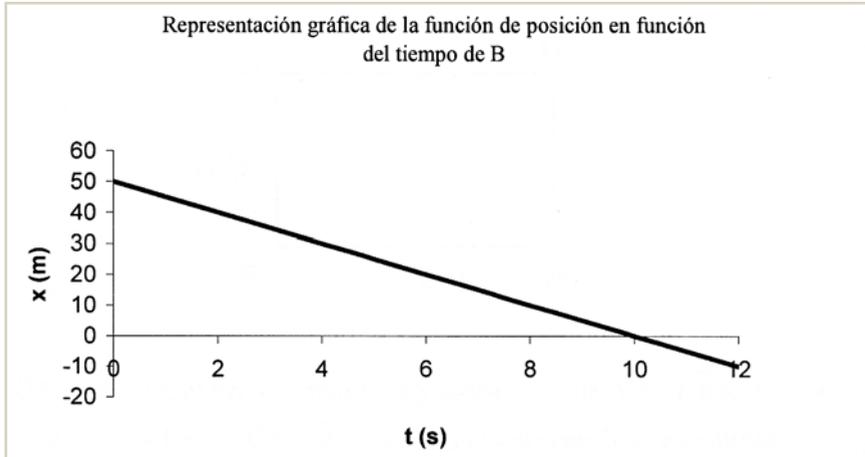
Situación 2. Dos partículas A y B se mueven en línea recta en sentidos opuestos con MRUA y MRU respectivamente. En el instante $t = 0$ segundo, las posiciones de cada partícula sobre el eje X se muestran en la figura indicando las flechas el sentido de sus movimientos.



La posición de la partícula A en función del tiempo está representada por la ecuación:

$$x_A(t) = 20t - 2t^2$$

y la posición de la partícula B en función del tiempo por el gráfico que se presenta a continuación.



Escribe la ecuación que representa la función gráfica $x_B(t)$ de la partícula B.

Explicación:

- Representa gráficamente la posición en función del tiempo $x_A(t)$ de la partícula A.
- Plantea y explica ¿Cómo determinarías el instante y la posición en que las partículas A y B se cruzan?

Explicación:

Los datos obtenidos de las respuestas al instrumento se sometieron a un proceso de codificación, a partir del cual se establecieron cinco categorías de análisis, que reflejan de manera jerárquica los distintos elementos de los supuestos invariantes operatorios usados por los estudiantes, en su interacción con los contenidos de la información de las situaciones y las representaciones simbólicas de los diferentes conceptos pertenecientes al campo conceptual del concepto de campo. Las categorías de análisis definidas fueron: Categoría 1: Clasificación; Categoría 2: Expresión escrita; Categoría 3: Representación; Categoría 4: Operación y Categoría 5: Resolución. El propósito de estas categorías es caracterizar, de acuerdo con la Teoría de los Campos Conceptuales, las relaciones de conocimiento entre la realidad de las situaciones y las respuestas (acción operatoria) de los estudian-

tes. A modo indicativo se describe en la tabla 5, la categoría *representación* y los contenidos de las situaciones del instrumento que se han presentado, como ejemplo, en este capítulo.

Tabla 5. Categoría representación, contenidos instrumentos y situaciones.

Categoría	Descripción	Contenidos instrumento	Situaciones presentadas como ejemplo
Representación	Uso e identificación de invariantes que se relacionen con el conjunto de representaciones simbólicas y pictóricas que representen significados de los conceptos de escalar, vector, función, campo escalar, campo vectorial y campo eléctrico.	Representaciones: • Vectores por flechas • Vectores por componentes • Función por ecuación • Función por gráfico	1 1 2 2

Los resultados observados en todas las categorías anteriores, respecto del concepto de campo, reflejan bajos niveles de conceptualización de los estudiantes del concepto de campo, además del bajo uso de invariantes que operan sobre los objetos físicos y matemáticos y sus representaciones simbólicas, para enfrentar las demandas de problemas de aplicación. Con el fin de conocer en qué nivel de conceptualización se situaban los estudiantes participantes en la investigación, se definieron posibles niveles: N_0 , *ausencia de invariantes operatorios adecuados de comprensión del concepto de campo*; N_1 , *reconocimiento de un campo sin explicación de significados científicamente aceptados del concepto*; N_2 , *reconocimiento de un campo y explicación parcial de significados científicamente aceptados del concepto*; N_3 , *transición entre un reconocimiento y significación parcial del concepto con aplicación del concepto de campo a situaciones y problemas*; N_4 , *aprehensión del concepto de campo para el nivel de instrucción*.

La asignación de los estudiantes en cada nivel de conceptualización, se realizó a partir de su desempeño individual, en las respuestas referidas exclusivamente al concepto de campo en cada una de las categorías. En la figura 4, se puede apreciar la distribución por niveles.

De acuerdo con la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud, 1998), estos resultados muestran ausencia de esquemas que contengan invariantes para enfrentar situaciones que demanden explicaciones y predicciones científicamente aceptables de aplicación del concepto campo. Además, sólo el 7,3% de los estudiantes se sitúa en el Nivel 3 de transición y ningún estudiante en el Nivel 4 de aprehensión del concepto de campo. Sin embargo, se pueden verificar algunas estructuras de representaciones simbólicas y significados que formarían parte de los invariantes operatorios utilizados por los estudiantes al responder a las tareas propuestas, que involucran una conceptualización científicamente aceptable del concepto de campo. Esto es coincidente con lo sugerido por Vergnaud (1981; 1988), en relación con el hecho de que los conceptos no sólo deben ser definidos por su estructura, sino que se requiere considerar las propiedades, las situaciones

en las cuales los conceptos se usan y los sistemas de representación simbólica que los estudiantes utilizan para pensar y escribir acerca de un concepto. Esto es, en última instancia, la conceptualización está regulada por la interacción entre la información contenida en las situaciones y la estructura conceptual del estudiante.

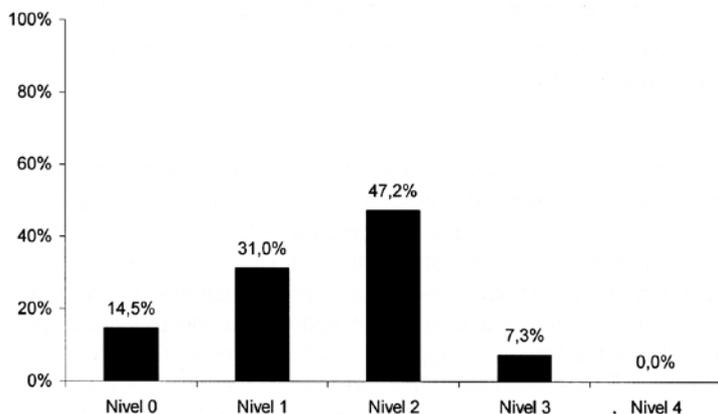


Figura 4. Porcentaje de estudiantes situados en los niveles de conceptualización del concepto de campo

Para analizar la progresividad en la conceptualización de los niveles encontrados en los estudiantes sobre el concepto de campo, se diseñó una intervención didáctica, con alumnos del primer curso universitario de la Universidad de la Frontera de Temuco (Chile). Los resultados muestran una progresiva evolución hacia niveles de conceptualización más próximos a los científicamente aceptados en Física (Llancaqueo, 2006), como se refleja en un mayor porcentaje de estudiantes que se sitúan en los niveles más altos. Esto demuestra que la atribución de significado por parte del alumnado, esto es, la adquisición significativa de conceptos científicos, es una interacción sustantiva que es lenta y progresiva, por modificación sucesiva de la estructura cognitiva del sujeto, frente a las distintas situaciones a las que el docente lo enfrenta. De no ser así, no podría explicarse que a lo largo de la experiencia didáctica, los estudiantes hayan ido evolucionando paulatinamente hacia los niveles de conceptualización superiores.

b) El concepto de calor en fenómenos termodinámicos

Es también importante, para promover aprendizajes significativos, conocer las dificultades que los estudiantes encuentran en el aprendizaje y descubrir cuáles pueden ser obstáculos en el aprendizaje conceptual. Se comenta, a continuación, una investigación con estudiantes de enseñanza media, cuya finalidad es describir y analizar sus dificultades en el aprendizaje de conceptos de Termodinámica (calor, temperatura, trabajo, energía y entropía). Entre esas dificultades se pretendía inferir indi-

cados para analizar conocimientos implícitos, que se pudieran considerar como invariantes operatorios (conceptos-en-acto y teoremas-en-acto), utilizados por los alumnos para resolver situaciones propuestas relativas a esos conceptos.

De acuerdo con el referente de Vergnaud, cuando los estudiantes se exponen a distintas situaciones, explicitan aspectos de su estructura cognitiva, desvelando sus dificultades, que pueden ser, en ocasiones, verdaderos obstáculos para la conceptualización. Los significados de los conceptos de temperatura, calor, energía interna, trabajo y entropía, implícitos en la estructura cognitiva de los estudiantes, cuando son explicitados, pueden representar invariantes operatorios que pueden estar de acuerdo o no con las concepciones aceptadas por la comunidad científica. Si bien esto no es una tarea sencilla del profesor, presentamos esta experiencia de aula, como ejemplo de las posibilidades mediadoras de la enseñanza en un intento por procurar aprendizaje significativo en los alumnos.

Los conocimientos previos, en la perspectiva de los campos conceptuales, son precursores de nuevos conocimientos. Los conocimientos-en-acción (largamente implícitos) pueden evolucionar, a lo largo del tiempo, hacia conocimientos científicos explícitos. Pero el autor de esta teoría, destaca que la adquisición del conocimiento es moldeada por las situaciones y problemas previamente dominados y que ese conocimiento, por tanto, tiene muchas características contextuales. Por lo tanto, muchas de las concepciones de los estudiantes, provienen de las primeras situaciones que ellos pudieron dominar. Sin embargo, existe una distancia considerable entre los significados que construyen los estudiantes en interacción con el medio y aquellos que constituyen el conocimiento científico (Moreira, 2004).

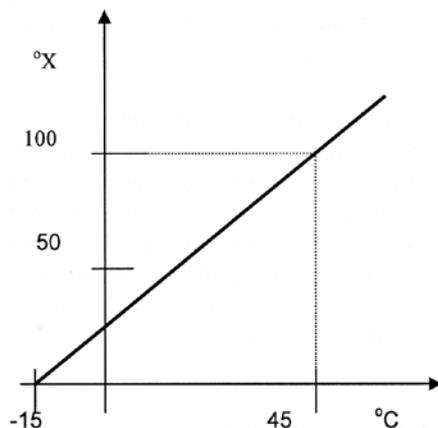
Las concepciones previas de los alumnos contienen, pues, teoremas y conceptos-en-acción que no son verdaderos teoremas y conceptos científicos, pero que pueden evolucionar hacia ellos. Así, el problema de estudio en esta investigación presupone que las dificultades de los estudiantes en la adquisición de conceptos de Termodinámica pueden estar fundamentadas en los conocimientos-en-acción, durante mucho tiempo implícitos y que pueden funcionar como obstáculos o precursores en la adquisición de nuevos conocimientos científicos. Estos hallazgos están ratificados en otras investigaciones sobre dificultades en la resolución de problemas en cinemática (Escudero et al., 2003).

Esto permite constatar que la construcción del conocimiento no es un proceso lineal, sino que presenta avances y retrocesos, continuidades y rupturas. Es decir, el conocimiento previo es determinante en el progresivo dominio de un campo conceptual, pero puede en algunos casos, ser un impedimento. Es necesario identificar sobre qué conocimientos previos los estudiantes se están apoyando para aprender, y al mismo tiempo, distinguir cuáles son las rupturas necesarias (Moreira, 2004). En definitiva, se está enfatizando la importancia de considerar los conocimientos previos de los estudiantes en el aprendizaje, condición esencial postulada por Ausubel.

Queda evidente que los conceptos no evolucionan solos, sino que adquieren significados a través de las relaciones que establecen con otros conceptos (Novak y Gowin, apud Rodríguez y Moreira, 2004). El proceso de enseñanza no es un proceso súbito, sino que los significados de los conceptos de los alumnos se van transformando en significados científicos, frente a muchas y variadas situaciones a lo largo de un dilatado periodo de tiempo.

Con esta finalidad, se solicitó a los profesores de Física de la Fundação Liberto que respondieran a un cuestionario sobre las dificultades que encontraban en los alumnos relativas a conceptos termodinámicos (Grings, Caballero y Moreira, 2006). A partir de estas respuestas, se elaboró un instrumento para detectar significados, dificultades e indicadores de posibles invariantes operatorios, presentados por los estudiantes de nivel medio y técnico, en el campo conceptual de la Termodinámica, en la conceptualización de temperatura, calor, trabajo, energía interna y entropía. El instrumento consta de cuatro cuestiones, subdivididas en varios ítems. Seguidamente, se analizan algunos resultados de los ítems de la cuestión 3 del instrumento, para mostrar los conocimientos implícitos manifestados por los estudiantes y en qué medida promueven el aprendizaje de conceptos de Termodinámica o son obstáculos en el mismo.

Item 3.1: *El gráfico muestra la relación entre las temperaturas registradas por dos termómetros, uno en la escala °C (Celsius) y otro en °X, cuando la presión es de 1 atm. Esa relación se mantiene para las temperaturas entre -50°C y 200°C. ¿A qué temperatura °X ocurre la ebullición del agua a 1 atm? (Buchweitz y Axt, 1996)*



Respuestas registradas de los estudiantes:

Usando una «regla de 3» simple.

Xeb. — 100°C

100°X — 45°C

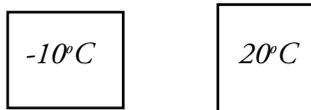
El posible indicador de teorema-en-acto es: *la temperatura X es a 100°C, como la temperatura de 100°X es a 45°C*. Los estudiantes entienden que las temperaturas en la escala X, son directamente proporcionales a la escala Celsius. Los invariantes operatorios en esta situación están siendo obstáculo en el aprendizaje. Este problema es interpretado por los estudiantes como una proporción directa, que a pesar de presentar dificultades, es más evidente para los estudiantes que lo que la situación presupone. Para identificar invariantes operatorios es necesaria mayor diversidad de situaciones, por lo que en esta experiencia de investigación apenas se refieren posibles indicadores de conocimientos implícitos.

Item 3.2: *Suponga que para calentar 2 l de agua, los coloca en el fuego durante un cierto tiempo, de modo que su temperatura se eleva hasta 4°C. Si ahora coloca 4 l de agua en el mismo fuego y durante el mismo tiempo, ¿cuánto se elevará su temperatura?* (Hewit, 2002).

Respuesta registrada de los alumnos: La temperatura se elevará el doble, es decir, 8°C. Un posible indicador de teorema-en-acto, sería: *«la temperatura es directamente proporcional al volumen»*.

La proporción directa es más evidente para los estudiantes que la proporción inversa, de forma que el estudiante resuelve el problema como una proporción directa.

Item 3.3: *¿Ocurre transferencia de calor en la siguiente situación (entre cuerpos a temperatura de -10°C y a temperatura de 20°C)? Explicar por qué:*



En esta tarea, se encuentran diversas respuestas que sugieren posibles indicadores de distintos invariantes operatorios (teoremas-en-acto). Se presentan dos de esas respuestas:

Estudiante 1. Ocurre transferencia de calor, pues hay una diferencia de temperatura que hace que la temperatura del bloque a 20°C baje y la de -10°C aumente. De la respuesta del estudiante se puede inferir el siguiente indicador de invariante operatorio: *«la diferencia de temperatura eleva la disminución de temperatura del bloque de mayor temperatura y el aumento de temperatura del bloque de menor temperatura»*.

Estudiante 2. Sí, el cuerpo A recibe calor del cuerpo B hasta que ambos lleguen a una temperatura de equilibrio (el alumno coloca A en el cuerpo de menor temperatura). El teorema-en-acto sería: *«el cuerpo de menor temperatura recibe calor hasta que los cuerpos alcanzan el equilibrio térmico»*.

Item 3.4. Se refiere a la energía interna en cuerpos en estados físicos diferentes: *¿qué se puede afirmar respecto de la energía interna en agua a 0°C resultante de la fusión de un cubo de hielo también a 0°C? Explicar* (adaptado de Ostermann y Moreira, 1999).

Las respuestas de los estudiantes permiten inferir posibles invariantes, como se muestra en los ejemplos siguientes:

Estudiante 1. Un cuerpo con 0° no tiene energía interna. Un posible indicador de invariante operatorio sería: *«la energía interna es baja cuando la temperatura es baja»; o «la energía interna es nula en un cuerpo a 0 °C».*

Estudiante 2. Los dos tienen la misma energía interna, pues solamente están en estados físicos diferentes. Un posible indicador de teorema-en-acto: *«en cuerpos de la misma temperatura, la energía interna es igual, independientemente del estado físico».* Este posible teorema-en-acto, presupone la conservación, tan discutida por Vergnaud en su teoría de los campos conceptuales. Si la temperatura se conserva, ¿cómo puede ser diferente la energía interna?

Item 3.5. Se solicita relacionar el trabajo con la energía interna; muchos estudiantes dan el mismo tipo de respuesta que puede estar vinculada a la dificultad que tienen con valores negativos. *Cuando un sistema intercambia energía con su entorno: Si el sistema realizara trabajo, ¿qué ocurriría con su energía interna? ¿Este trabajo realizado será positivo o negativo? Justifique su respuesta* (adaptado de Máximo y Alvarenga, 1998).

Muchos estudiantes presentan respuestas semejantes, como se puede ver a continuación:

Estudiante 1: Pierde energía interna, y consecuentemente, su trabajo será negativo.

Estudiante 2: La energía interna disminuirá. Si este trabajo realizado fuera espontáneo sería negativo pues el cuerpo perderá energía interna.

Estudiante 3: Aumentará. Será positivo. Un indicador de teorema-en-acto, más amplio, estaría relacionado con las respuestas de los distintos estudiantes: *«cuando la energía interna aumenta, el trabajo será positivo; o cuando la energía interna disminuye el trabajo será negativo».*

Vergnaud indica que la experiencia muestra que, tanto los adolescentes de trece a dieciséis años como los adultos, tienen bastante dificultad con las combinaciones de relaciones que envuelven magnitudes positivas y negativas (Vergnaud, 2003, pág. 28). En palabras de este autor, *«esto se corresponde con la idea de que cuando se pierde alguna cosa es preciso hacer una sustracción».* Aún en Vergnaud (1990, pág. 25) tenemos que *«la adición es entendida como un incremento, y la sustracción como un decrecimiento».*

En estas breves respuestas de los alumnos han quedado evidentes algunas de sus dificultades en el aprendizaje de conceptos de Termodinámica y cómo éstos pueden ser indicadores de posibles invariantes operatorios que están dificultando el aprendizaje significativo y, en consecuencia, deben ser conocidos para planificar una enseñanza desde perspectivas cognitivas actuales.

6. Algunas reflexiones de interés para la investigación educativa

Se apuntan algunas temáticas, desde la perspectiva de los campos conceptuales, que pueden ser de interés para el desempeño de programas de investigación:

Estudiar el **progresivo dominio de un campo conceptual** por parte de los estudiantes y así identificar y clasificar situaciones. Esto significa que el estudio psicogenético de un campo conceptual implica: a) analizar, en términos relacionales y jerárquicos, diferentes clases de problemas que pueden ser propuestos a los alumnos; y b) conocer los distintos procedimientos y representaciones simbólicas que utiliza el aprendiz. Una tarea de los investigadores, según Vergnaud, es entender la utilidad de una representación particular y bajo qué condiciones y en qué momento puede ser reemplazada por otra más general.

Analizar dificultades de los estudiantes en **la resolución de problemas en términos de invariantes operatorios**. Es frecuente encontrar que los alumnos pueden resolver problemas con solución satisfactoria en una situación determinada, usando los conocimientos-en-acción que poseen y, sin embargo, en situaciones diferentes, no llegan a enfrentar la solución del problema. Esto es debido a que los conocimientos no son científicos y tampoco constituyen un esquema de asimilación que puede ser aplicado a una clase de situaciones. Además, estos conocimientos-en-acción que son largamente implícitos, pueden ser precursores en la adquisición de conceptos científicos y, por tanto, deben ser identificados por los investigadores.

Estudiar el **aprendizaje de conceptos** a la luz del referente de los campos conceptuales. Recordemos que en este referente son las situaciones las que dan sentido al concepto, los invariantes operatorios los que constituyen su significado y las representaciones simbólicas, su significante. Luego, este núcleo de investigación tiene como tareas identificar y clasificar situaciones adecuadas de aprendizaje de un determinado concepto, analizar los invariantes operatorios usados por los alumnos y procurar interpretar cómo y por qué una cierta representación ayuda a la conceptualización.

Estos centros de interés para la indagación aportarán con toda seguridad explicaciones y elementos que nos permitan facilitar de mejor modo el aprendizaje significativo de conceptos en el alumnado. Así lo está evidenciando la investigación que se está realizando al amparo de estos referentes teóricos (de la que se han presentado algunas muestras) y que tiene por objeto, precisamente, profundizar

en los tópicos expuestos. Las teorías contrastadas son, como ha quedado de manifiesto en las páginas precedentes, efectivamente complementarias. Su consideración conjunta permitirá la planificación de estrategias y materiales educativos que garanticen y aseguren o, al menos, mejoren, la significatividad que el alumnado atribuya a los contenidos que la escuela le ofrece.

7. Consideraciones finales

En la revisión y el análisis hecho a lo largo de este capítulo, se ha intentado resaltar la importancia de tener en cuenta que los procesos de aprendizaje significativo son progresivos y acontecen a lo largo del tiempo. Esta consideración tiene unas implicaciones que afectan tanto al diseño de alternativas didácticas como a las líneas que se desarrollen en la investigación educativa.

La Teoría del Aprendizaje Significativo de David Ausubel y la de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud han aportado elementos complementarios que nos han permitido destacar la progresividad del aprendizaje significativo. La somera revisión realizada ha permitido reafirmar la potencialidad del referente de los campos conceptuales para explicar e investigar procesos de aprendizaje significativo. Se han apuntado algunas repercusiones para la tarea docente y posibles temáticas de investigación en el marco de este referente teórico.

Se ha destacado la diferencia en los enfoques desde los dos referentes teóricos en lo que se refiere a la definición de concepto. Frente a la idea de concepto de Ausubel, para Vergnaud sólo es «verdadero» un concepto cuando éste es explicitado por el sujeto. Este aspecto de explicitación del conocimiento no parece que esté enfatizado directamente por Ausubel.

La Teoría de los Campos Conceptuales es pragmática, pero esto no significa que sea empírica. Esto es, los significados son resultados de la acción del sujeto al enfrentarse a nuevas tareas, mediada por procesos mentales. En cambio, la adquisición de nuevos conceptos por formación, desde una óptica ausubeliana, es un proceso empírico-deductivo, mientras que por la asimilación es un proceso subsumidor. La diferencia entre estos dos planteamientos es, pues, notoria, si bien en ambos casos el aprendizaje de conceptos está condicionado por la acción.

Se constata también una complementariedad en los papeles asignados al profesor en los dos enfoques teóricos. Mientras que Ausubel lo considera básicamente como un organizador y creador e implementador de materiales potencialmente significativos, para Vergnaud es un mediador de la acción del sujeto, que le facilita el desarrollo de esquemas, para enfrentarse con nuevas tareas y problemas.

La distinción no dicotómica de Vergnaud entre conocimiento procedimental y declarativo está en cierto modo implícita en la visión ausubeliana cuando sugiere como evidencia de un aprendizaje significativo la capacidad del estudian-

te para emprender nuevos problemas en contextos diferentes a aquél en el que ha tenido lugar el aprendizaje de significados conceptuales. Esta diferenciación, que tiene importantes implicaciones pedagógicas, es más nítida y clara en los fundamentos teóricos vergnaudnianos.

A modo de síntesis podemos concluir que se han presentado algunos aspectos relevantes sobre el significado y sobre los procesos que conducen al aprendizaje significativo de conceptos. Se ha pretendido destacar su carácter progresivo y hacer una llamada de atención para no trivializar el término aprendizaje significativo. La Teoría de los Campos Conceptuales aporta nuevos horizontes para analizar el aprendizaje significativo conceptual ausubeliano. Efectivamente, complementa su concepción, revalorizándolo en el sentido de que lo que resulta significativo y, por tanto, perdurable, es el esquema de asimilación que determina la conducta. Los principios y presupuestos vergnaudnianos, como fundamentos psicológicos de la cognición que son, ayudan a entender cómo es y cómo se produce el aprendizaje significativo de conceptos, ampliando, por tanto, las posibilidades ausubelianas, tanto para la investigación en educación como para la docencia (Rodríguez, 2004).

8. Bibliografía

- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognitivo*. Trillas, México.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D. y Hanesian, H. (1978). *Psicología educativa*. Trillas, México.
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Paidós, Barcelona.
- Bruner, J. S. (1964), «Some theorems on instruction illustrated with reference to mathematics». *Theories of Learning and Instruction, 63rd Yearbook, Nat'l Soc. Stud. Educ.*, University of Chicago Press, Chicago.
- Buchweitz, B. y Axt, R. (1996). *Física 1*. Sagra-D.C. Luzzatto, Porto Alegre.
- Delval, J. (1997). «Tesis sobre el constructivismo». En Rodrigo, M. J. y Arnay, J. (eds.) *La construcción del conocimiento escolar*. Paidós, Barcelona.
- Escudero, C.; Moreira, M. A. y Caballero, M. C. (2003). «Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de Física introductoria en secundaria». *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 2, 3. Disponible en <<http://www.saum.uvigo.es/reec>>.
- Fodor, J. A. (1999). *Conceptos. Donde la ciencia cognitiva se equivocó*. Gedisa, Barcelona.
- Franchi, A. (1999). «Considerações sobre a teoria dos campos conceituais». Alcántara Machado; Silvia Dias et al. *Educação*, São Paulo, EDUC, págs.155-195.

- Greca, I. y Moreira, M. A. (2000). «Conceptos: Naturaleza y adquisición». Texto de Apoyo N° 19 del Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos, España.
- Grings, E.; Caballero, C. y Moreira, M. A. (2006). «Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da Termodinâmica». *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28, n° 4, págs. 1-9.
- Lakoff, G. (1999). «Cognitive models and prototype theory». E. Margolis, y S. Lawrence (eds.). *Concepts-Core readings*, MIT Press, Cambridge.
- Laurence, S., Margolis, E. (1999). «Concepts and cognitive science». E. Margolis, y S. Laurence (eds.). *Concepts-Core readings*, MIT Press, Cambridge, M. A.
- Llancaqueo, A.; Caballero, M. C. y Moreira, M. A. (2003). «El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias». *Revista Electrónica en Enseñanza de las Ciencias*, 2003. Disponible en <<http://saum.uvigo.es/reec>>.
- Llancaqueo, A. (2006). «El aprendizaje del concepto de campo en Física: Conceptualización, progresividad y dominio». Tesis doctoral. Universidad de Burgos
- Medin, D. (1998). «Concepts and conceptual structure». Thagard (ed.). *Mind reading*, MIT Press, Cambridge, M. A.
- Moreira, M. A. (1997). «Aprendizagem significativa: um conceito subjacente». *Actas II Encontro Internacional sobre Aprendizaje significativo*. Servicio Publicaciones Universidad de Burgos.
- Moreira, M. A. (1998). «La investigación en educación en ciencias y la formación permanente del profesor de ciencias». Conferencia presentada en Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales, La Serena, Chile.
- Moreira, M. A. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Visor, Madrid.
- Moreira, M. A. (2002). «A teoria dos campos conceituais de Vergnaud». *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1). Disponible en <www.if.ufrgs.br/ienci>.
- Moreira, M. A. (2004). «A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área». A *Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área*. Porto Alegre. Instituto de Física da UFRGS, págs. 7-32.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Morata, Madrid.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2004). «La Teoría del Aprendizaje Significativo», ponencia invitada en el I Congreso Internacional de Mapas Conceptuales. Pamplona, 14-17 de septiembre.
- Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2004). «La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud». Moreira, M. A. *La Teoría de los Campos Concep-*

- tuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área.* Porto Alegre, Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Stipich, S., Moreira, M. A. y Caballero, M. C. (2004). «Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción». *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 3,1. Artículo, 1. Disponible en <<http://www.saum.uvigo.es/reec>>.
- Vergnaud, G. (1998). «A comprehensive theory of representation for mathematics education». *Journal of Mathematical Behaviour*, 17 (2), págs. 167-181.
- Vergnaud, G. (1982). «A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems». Carpenter, T.; Moser, J. y Romberg, T. *Addition and subtraction. A cognitive perspective.* Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- Vergnaud, G. (1990). «La théorie des champs conceptuels». *Recherches en Didatique des Mathématiques*, 10 (23), págs. 0133-170.
- Vergnaud, G. (1993). «Teoria dos campos conceituais». Nasser, L. (ed.). *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, págs. 1-26.
- Vergnaud, G. (1994). «Multiplicative conceptual field: what and why?». Guershon, H. y Confrey, I. (eds). *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics.* State University of New York, Press, Albany, N.Y.
- Vergnaud, G. (1997). «The nature of mathematical concepts». Nunes, T. y Briant, P. (eds.) *Learning and teaching mathematics, an international perspective.* Psychology Press, Hove (East Sussex).
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language.* Wiley, Nueva York.
- Whorf, B. L. (1956). *Language, thought and reality: Selected writings of Benjamin Lee Whorf*, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Mass. (trad. cast.: (1971) *Lenguaje, pensamiento y realidad*, Seix-Barral, Barcelona.)

Aprendizaje significativo: la asimilación ausubeliana desde una visión cognitiva contemporánea

MARCO ANTONIO MOREIRA

Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Este capítulo pretende dar una visión integradora, holística, de los planteamientos expuestos en los capítulos precedentes, considerando las tres teorías tratadas conjuntamente. Para ello se exponen, en primer lugar, las razones que justifican la elección de la Teoría del Aprendizaje Significativo (Ausubel), la Teoría de los Modelos Mentales (Johnson-Laird) y la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud) como referentes para la investigación en educación y para la docencia. Posteriormente se analiza críticamente la evolución seguida por el constructo cambio conceptual, porque es esa revisión lo que ha conducido a la búsqueda de otros enfoques teóricos, como los expuestos.

Por eso es necesario destacar y recuperar algunos aspectos característicos del aprendizaje significativo, con objeto de definir su consecución y redimensionar el cambio conceptual que lo genere. También se revisan brevemente los constructos de modelo mental y esquema de asimilación, como posibles mediadores en la consecución de ese posible cambio conceptual.

Finalmente, y con todo ello como referencia, podemos intentar interpretar la Teoría de la Asimilación de Ausubel a la luz de las dos teorías cognitivas contemporáneas citadas. Se concluye que esta interpretación permite comprender y explicar el cambio conceptual desde otra óptica, lo que ofrece una mayor comprensión del proceso de adquisición del aprendizaje significativo.

1. Introducción

La Teoría del Aprendizaje Significativo propuesta por Ausubel en 1963 es una teoría psicológica que trata sobre la adquisición de los cuerpos organizados de conocimiento que se manejan en el aula. El trabajo que realizamos como docentes es precisamente el de intentar presentar y enseñar esos contenidos estructurados

para que nuestros alumnos los aprendan. Las diferentes ciencias naturales (Física, Química, Biología, Geología) son ejemplos claros y nítidos de esos cuerpos organizados de conocimiento generados a lo largo de la historia, que trasladamos a las situaciones formales de enseñanza en las que se pueda producir su aprendizaje. Ninguna otra teoría ha establecido una propuesta tan clara para dar cuenta de los procesos cognitivos implicados en la interacción que se produce entre profesor, alumnos y materiales educativos, cuando se presenta y adquiere esa nueva información. En este marco teórico se encuentran respuestas a muchos de los interrogantes y problemas que el docente se ha planteado durante mucho tiempo que, analizados a la luz de sus presupuestos fundamentales, permiten darles sentido y anticipar algunas soluciones.

La consideración de las ideas o del conocimiento del que aprende, su predisposición para aprender, la necesidad de que el contenido tenga significado lógico o la transformación de éste en significado psicológico atribuido por parte del sujeto, pueden servirnos como muestra de la trascendencia que tienen los presupuestos ausubelianos en el día a día de un profesor con sus estudiantes en el aula.

Por tanto, estamos hablando de una teoría que nos ha aportado los elementos esenciales que deben ser considerados, cuando se plantea la noble tarea de enseñar para que se aprenda y que, además, ofrece pautas para planificar esa docencia, a través de los principios facilitadores (diferenciación progresiva, reconciliación integradora, organización secuencial, consolidación). ¿Por qué son necesarios estos principios, si ya lo que enseñamos son cuerpos organizados de conocimiento? Porque aun siendo así, una cosa es el contenido formalmente constituido, validado y aceptado contextualmente, y otra muy diferente es el modo en el que puede aprenderse, que, como señala Ausubel (1973, 1976, 2002) nunca se alcanza con una forma lineal y simplista de organizarlo. Aprender el significado de las cosas y de los fenómenos requiere avances y retrocesos, multiplicidad de situaciones, tareas variadas, tomas repetidas de contacto con los mismos, y esta teoría advierte de que no siempre se tienen en mente estas importantes consideraciones en la escuela.

El éxito y la aceptación de esta teoría como referente, así como su perdurabilidad, guardan relación con el alto grado de identificación que muestran los docentes con lo que ésta propone. Es una teoría de aprendizaje que mantiene su vigencia, como Rodríguez (2004a) expone en este mismo texto porque nos sentimos reflejados como profesores con la descripción que se hace de nuestra propia experiencia y nuestras dificultades; sobre todo, encontramos, como ya se expuso, pautas de actuación justificadas teóricamente que mejoren los resultados de aprendizaje del alumnado. Observamos, por ejemplo, que disponíamos de una explicación razonable que diera cuenta de la resistencia de los alumnos a modificar sus ideas o concepciones, ya que podía deberse a falta de conexión con los conocimientos previos, a ausencia o desinterés por aprender significativamente, a

falta de significatividad del contenido que el profesor ofrece a los estudiantes o a problemas en la interiorización que conduce a atribuirle significado psicológico a esa nueva información.

En este contexto surgieron distintos intentos, estrategias y modelos tendentes a propiciar, precisamente, ese cambio o sustitución de un conocimiento individual insuficiente y no científico por otro que estuviera reconocido como aceptado y propio de la ciencia. Los dos modos más extendidos y conocidos –el de conflicto cognoscitivo y el de Posner et al.– compatibles y/o complementarios, parecieron tan atractivos a los investigadores y a los docentes cuando se propusieron, que generaron un gran número de estudios sobre el mismo en la década de los años ochenta. Sin embargo, parece que todavía estamos en el mismo punto, no hemos progresado gran cosa con respecto al cambio conceptual. Es cierto que se han relatado cambios conceptuales en distintas asignaturas y en diferentes niveles de enseñanza. No obstante, la persistencia de concepciones «viejas», «erróneas» o «alternativas», dependiendo de la situación, es perturbadora y desalentadora para muchos docentes e investigadores (Moreira, 2000a).

Cabe destacar que las estrategias de conflicto cognitivo, a pesar de estar aparentemente basadas en un constructo clave de la teoría de Piaget –la acomodación–, no representan la visión piagetiana de cambio, pues el cambio piagetiano es estructural, relativo a operaciones cognitivas cualitativamente distintas, no conceptual, referente a conceptos específicos (Moreira y Greca, 2003).

El problema que surge con el modelo popperiano de conflicto cognitivo (las teorías son falseadas y entonces rechazadas) y el modelo kuhniano de Posner et al. es que sugieren el cambio conceptual como un reemplazo de una concepción por otra en la estructura cognitiva del aprendiz o, cuanto menos, así se interpretan por parte de muchos investigadores y docentes.

La propia experiencia señala que esta concepción de cambio conceptual no existe. A propósito, se está hablando de cambiar concepciones alternativas aprendidas por aprendizaje significativo en el sentido utilizado por Ausubel y Novak (1983). Se está haciendo referencia a concepciones alternativas «resistentes al cambio» como, por ejemplo, la «proporcionalidad entre fuerza y velocidad» en vez de fuerza y aceleración, calor como «calórico» no como energía en tránsito, las estaciones del año como «resultado de la variación de la distancia sol-tierra» no de sus posiciones relativas o la fotosíntesis como respiración en los vegetales. Una vez que esos significados son productos de aprendizajes significativos, no son «borrables». Es una ilusión pensar que un conflicto cognitivo y/o una concepción plausible, inteligible y fructífera conducirá al reemplazo de una concepción alternativa significativa. Cuando las estrategias de cambio conceptual se producen con éxito, en términos de aprendizaje significativo, lo que hacen es agregar nuevos significados a las concepciones ya existentes, sin borrar o reemplazar los significados que ya tenían. O sea, la concepción se vuelve más elaborada, o más rica, en términos de significados agregados a la misma. (Moreira, 2000a).

Así, el modelo kuhniiano de cambio conceptual, tal y como fue propuesto originalmente (Posner et al., 1982) y que tanto éxito tuvo, no se sostiene y, de hecho, fue revisado diez años después por sus propios autores (Strike y Posner, 1992). Muchos otros investigadores han aportado interesantes reflexiones a este respecto (Solomon, 1984; Nussbaum, 1989; Schuster, 1993; Braghiroli, 1993; Mortimer, 1993, 1995; Lins, 1994; Pozo y Gómez Crespo, 1998, 1999; Vosniadou, 1994; Gutiérrez, 2000). La consecución de un aprendizaje significativo, entendido como Ausubel lo planteaba, ha sido, como puede verse, un eje vertebrador de buena parte de la investigación realizada en los últimos años, que derivó en el cambio conceptual. Los pobres resultados de aprendizaje mostrados en esas indagaciones y la resistencia al cambio que se detectaba ha sido lo que motivó las múltiples reflexiones citadas. La aparente simplicidad de la Teoría del Aprendizaje Significativo, la facilidad con la que exponía la forma de lograrlo y la mala interpretación de que sólo se trataba de una sustitución o cambio de un conocimiento por otro enmascararon su extraordinaria complejidad y propiciaron un insuficiente conocimiento de la misma. En el capítulo 1 se han relacionado algunas reflexiones relativas a lo que no es o no debe ser entendido como aprendizaje significativo.

En cualquier caso, no estamos ante una teoría «perfecta» que lo resuelva todo. Ausubel (1976, 2002) insiste en la importancia de considerar el conocimiento previo del estudiante y en que se produce una interacción entre éste y la nueva información o el nuevo conocimiento que el docente ofrece, para que tenga lugar un aprendizaje significativo. Pero no aporta explicaciones satisfactorias relativas a la forma en que se produce esa interacción, no brinda mucho en este sentido, que vaya más allá de su modo de contemplar la asimilación. En un intento por buscar mecanismos para comprender este complejo proceso del que Ausubel no da cuenta, al menos no suficientemente, es como dirigí mis pasos hacia la Psicología Cognitiva. El objeto fundamental de este estudio estaba en el interés por encontrar elementos o rasgos que permitieran comprender, aunque sólo fuera parcialmente, cómo se produce esa interacción conocimiento previo/ conocimiento nuevo. Así fue como, en ese proceso de análisis y en esa búsqueda de referentes, tuve conocimiento de la Teoría de los Modelos Mentales de John-Laird (1983).

Recordemos que, como hemos tenido ocasión de ver en el capítulo 2, los modelos mentales en esta perspectiva son análogos estructurales de estados de cosas del mundo; son representaciones mentales, internas, que se caracterizan básicamente por su recursividad y funcionalidad, ya que dotan al sujeto que los construye de poder explicativo y predictivo sobre las situaciones que vive. Puede deducirse fácilmente, pues, que estos modelos mentales encajan muy bien para explicar el inicio del proceso de interacción en el que Ausubel no profundizó. Pero los modelos mentales son representaciones inmediatas, que actúan en la hora o en el momento, para hacerle frente a algo nuevo, a un mundo nuevo o

una nueva información; no son representaciones mentales perdurables, que den estabilidad. ¿Cómo justificar, entonces, la significatividad y la resistencia al cambio de las concepciones? Para explicar el proceso complejo y completo de la interacción ausubeliana, los modelos mentales nos dan una pista, porque explican cómo se empieza o inicia esa relación pero, como se ve, no son suficientes para dar cuenta del aprendizaje significativo. Es necesario buscar otra vez nuevos referentes teóricos.

En ese proceso, el contacto con docentes e investigadores del área de las Matemáticas brindó la oportunidad de conocer la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud (1983, 1990, 1994), una teoría psicológica de la conceptualización de lo real, que fue presentada en el capítulo 3. Es una teoría que denota una marcada herencia piagetiana, pero que va mucho más allá, ya que tiene una aplicación en el trabajo diario del entorno escolar; podría decirse que lo que Vergnaud plantea es Piaget en el aula. Este planteamiento tiene importantes consecuencias y ofrece múltiples y esenciales consideraciones, ya que lo que es objeto de preocupación y lo que interesa es lo que se genera en el contexto escolar. ¿Por qué optar por el referente vergnaudiano? Porque da explicaciones utilizables relativas a la complejidad cognitiva; porque reivindica el papel tan crucial que tiene en los procesos de aprendizaje el dominio de situaciones cada vez más complejas; porque destaca la ausencia de linealidad y la progresividad del aprendizaje; porque considera, en suma, los más y los menos del proceso que da como resultado un nuevo conocimiento, esto es, esa zona gris del aprendizaje en la que paulatinamente se va enriqueciendo la estructura cognitiva. Esta visión de los procesos cognitivos choca frontalmente con los planteamientos que entienden el aprendizaje como reemplazo o sustitución de viejas concepciones por otras aceptadas científicamente. La Teoría de los Campos Conceptuales requiere el análisis conceptual de la materia objeto de estudio, lo que permitirá determinar las situaciones que propicien la conceptualización; esta consideración guarda relación con los cuerpos organizados de conocimiento de los que se ocupa Ausubel en su teoría. Esa conceptualización se materializa en los esquemas de asimilación, representaciones mentales que determinan la organización invariante de la conducta y que, así, suponen y muestran la estabilidad del conocimiento construido, o sea, la significatividad de lo aprendido. Son las representaciones que activamos cuando estamos ante situaciones conocidas, ya que los esquemas nos permiten una automatización de nuestra conducta.

La consideración conjunta de modelos mentales y esquemas de asimilación abre múltiples posibilidades para comprender la interacción ausubeliana. Podría aceptarse que ambos modos de representación mental comparten elementos que permiten explicarla satisfactoriamente (Greca y Moreira, 2002), que se expusieron en el capítulo 4. De este modo, el aprendizaje significativo requeriría y supondría la construcción de modelos mentales cada vez más explicativos y predictivos, ante nuevas situaciones o contenidos; éstos darían lugar progresiva-

mente a esquemas de asimilación, (como representaciones más estables), a través del dominio paulatino de situaciones similares.³² Este referente teórico conjunto permite, pues, comprender y explicar la conceptualización y está siendo avalado por la investigación realizada desde esta perspectiva, en la que se analiza el papel de estas representaciones en la adquisición, asimilación y retención de un aprendizaje significativo de conceptos científicos, como se ha ejemplificado en el capítulo 5. Esta indagación está ofreciendo resultados prometedores que justifican la potencialidad de este marco de referencia para la investigación y para la docencia (Rodríguez, 2000; Greca, 2000; Otero, 2003; Escudero, Moreira y Caballero, 2003; Llancaqueo, Caballero y Moreira, 2003; Stipcich, Moreira y Caballero, 2004; Covalada, Moreira y Caballero, 2005).

Las reflexiones y consideraciones expuestas hacen necesario, entonces, analizar el constructo de cambio conceptual a la luz de la Teoría del Aprendizaje Significativo, en otros términos, bajo la óptica de los enfoques cognitivos más actuales (Moreira, 2000; Moreira y Greca, 2003). Se propone la idea de cambio conceptual como desarrollo/enriquecimiento/evolución conceptual. Desde este punto de vista, la estructura cognitiva puede considerarse como una estructura de múltiples concepciones, cada una de ellas cargada o llena de sus propios significados, sean éstos aceptados o no en determinados contextos. En esta perspectiva adquiere especial relevancia la idea de discriminabilidad, entendida como la capacidad de diferenciar el significado contextualmente, o sea, de distinguir entre significados aceptados o no. A medida que ocurre el aprendizaje significativo, la concepción se desarrolla y aumenta la discriminabilidad. No obstante, significados ya establecidos no son reemplazados o borrados; pueden quedar cada vez menos utilizados, o no utilizados, pero todavía siguen presentes en la concepción que se desarrolla (y queda más rica), tal vez «escondidos» en algunos significados residuales (Moreira y Greca, 2003).

De este modo podemos entender que se da una coexistencia entre concepciones aceptadas científica y contextualmente y otras que no lo son, pero que se han aprendido también de manera significativa, lo que justifica «la resistencia al cambio» en el aprendizaje, la vuelta a respuestas no científicas y la persistencia/resistencia del conocimiento previo. Con esta propuesta, podría considerarse el grado de discriminación de esas distintas concepciones (en función del contexto en el que se usan) como evidencia de aprendizaje significativo en la escuela, ya que lo que ésta pretende es, precisamente, que haya significatividad en el contenido aprendido, esto es, que el alumnado lo aprenda de manera significativa en términos de los atributos característicos y significados que la comunidad de usuarios le asigna. Esto es, desarrollo/enriquecimiento/evolución conceptual.

Esta redefinición de cambio conceptual reclama una explicación representacional del proceso que conduce a la atribución de significados. Lo que preocupa e

32. La relación entre ambas representaciones mentales, así como su contribución al aprendizaje significativo, se explicará nuevamente y de manera sucinta más adelante.

interesa es que se logre en el alumnado un aprendizaje significativo del contenido que la escuela ofrece. Por eso es necesario encontrar un procedimiento mental que explique estos procesos, así como los mecanismos a través de los cuales se generan esas representaciones. Pero es importante que antes de interpretar este constructo a la luz de las teorías psicológicas más actuales citadas, tengamos presentes algunos de los rasgos más sobresalientes y característicos del aprendizaje significativo, no sólo en términos de cómo se significó y consideró en un principio, sino también atendiendo a su evolución posterior.

2. Aprendizaje significativo

Como ya hemos visto, el aprendizaje significativo se caracteriza por su naturaleza sustantiva y no arbitraria, de tal manera que supone la interacción de la nueva información con la estructura cognitiva del individuo no considerada como un todo, sino sólo con algunos aspectos relevantes de la misma, que reciben el nombre de ideas de anclaje o subsumidores (Ausubel, 1976, 2002). Esta interacción es lo que atribuye significatividad al nuevo contenido, pero no en términos asociativos, sino por transformación de esos subsumidores que, así, adquieren nuevos significados. De este modo, lo que se aprende significativamente permanece en la estructura cognitiva como contenido más diferenciado, elaborado y estable, a diferencia de lo que ocurre cuando el aprendizaje es repetitivo-memorístico, cuya incorporación a esa estructura cognitiva es literal y arbitraria, careciendo de estabilidad y perdurabilidad.

Se puede hablar de aprendizaje significativo en distintos referentes teóricos constructivistas. Podemos imaginar la construcción cognitiva en términos de los subsumidores de Ausubel, de los esquemas de asimilación (acción) de Piaget, de la «internalización» de instrumentos y signos de Vygotsky, de los constructos personales de Kelly o de los modelos mentales de Johnson-Laird. Podría admitirse que en cualquiera de estas teorías tiene sentido hablar de aprendizaje significativo. No veo problema en pensar que el resultado de la equilibración mayorante es un aprendizaje significativo o que la conversión de relaciones personales en procesos mentales, mediada por instrumentos y signos y por la vía de la interacción social, desemboque en aprendizaje significativo. Tampoco veo dificultad en interpretar como aprendizaje significativo la construcción de modelos mentales, esquemas o constructos personales; todos ellos implican la asignación de significados a eventos u objetos.

Todas estas teorías son constructivistas y el aprendizaje significativo subyace a la construcción humana. ¡Ésta es la cuestión! Novak va más allá y dice, en su teoría de educación, que el aprendizaje significativo subyace también a la integración constructiva de pensamientos, sentimientos y acciones. Todo esto nos lleva a considerar el aprendizaje significativo como un concepto subyacente, subenten-

dido, en las teorías constructivistas, sean éstas cognitivistas o humanistas. Sería un concepto supra-teórico. (Moreira, 2000a).

El factor aislado más importante para el aprendizaje significativo es, como se ha explicado, el conocimiento previo; también, el aprendiz debe manifestar una predisposición para relacionar de manera no arbitraria y no literal el nuevo conocimiento con ese conocimiento previo. Pero eso no basta, pues de esa manera se pueden aprender significativamente cosas que estén fuera de foco, incluso implicando las más modernas tecnologías. Por una cuestión de supervivencia, es preciso cambiar el núcleo del aprendizaje y de la enseñanza que procura facilitararlo. Mi argumento, parafraseando a Postman y Weintgarner (1969), que han propuesto la enseñanza como una actividad subversiva, es que ese foco debería estar en el *aprendizaje significativo subversivo*, aquel que permitirá al sujeto formar parte de su cultura y, al mismo tiempo, estar fuera de ella; manejar la información críticamente, sin sentirse impotente frente a la misma; disfrutar de la tecnología sin idolatrarla; cambiar sin ser dominado por el cambio; convivir con la incertidumbre, la relatividad, la causalidad múltiple, la construcción metafórica del conocimiento, la probabilidad de las cosas, la no dicotomización de las diferencias, la recursividad de las representaciones mentales; rechazar las verdades fijas, las certezas, las definiciones absolutas, las entidades aisladas. El aprendizaje significativo sin crítica no es un aprendizaje para la ciudadanía en el mundo de hoy. Es necesario, pues, un replanteamiento en el que lo central y definitorio sea:

1. Aprender/enseñar preguntas en vez de respuestas (Principio de la interacción social y del cuestionamiento).
2. Aprender a partir de distintos materiales educativos (Principio de la no adopción del libro de texto).
3. Aprender que somos perceptores y representantes del mundo (Principio del aprendizaje como perceptor/representador).
4. Aprender que el lenguaje está totalmente implicado en todos los intentos humanos de percibir la realidad (Principio del conocimiento como lenguaje).
5. Aprender que el significado está en las personas, no en las palabras (Principio de la conciencia semántica).
6. Aprender que el hombre aprende corrigiendo sus errores (Principio del aprendizaje por el error).
7. Aprender a desaprender, a no usar conceptos y estrategias irrelevantes para la supervivencia (Principio del desaprendizaje).
8. Aprender que las preguntas son instrumentos de percepción y que las definiciones y las metáforas son instrumentos para pensar (Principio de la incertidumbre del conocimiento) (Moreira, 2000b).
9. Aprender a dejar de usar la pizarra, a manejar diferentes estrategias y a valorar la participación del alumnado (Principio de la no utilización de la

pizarra, de la participación activa del alumno, de la diversidad de estrategias de enseñanza).

Es evidente, a juzgar por lo anterior, que el lenguaje es también un factor esencial en la consecución del aprendizaje significativo. Para Gowin (1981), por ejemplo, un episodio de enseñanza solamente ocurre cuando profesor y alumno comparten significados y para eso el lenguaje es indispensable. La propuesta de Gowin es vygotskyana, pues para Vygotsky (1987, 1988) la mediación humana y semiótica es esencial para la interiorización de instrumentos y signos histórica y socialmente desarrollados. En esta mediación el lenguaje es igualmente esencial. Más allá de éste está la mediación del otro que en este caso es el profesor. Para Postman (1969, 1996), el propio conocimiento es lenguaje. Por ejemplo, aprender ciencias de manera significativa es aprender el lenguaje científico. Para Vergnaud (1988, 1990), el núcleo del desarrollo cognitivo es la conceptualización y en ella el significado y el significante integran la propia definición de concepto, pero ninguno de los dos es dominado sin el lenguaje. Johnson-Laird (1983, 1990) propone que la comprensión y, por tanto, el aprendizaje significativo, de situaciones nuevas implica la modelización mental, pero en muchos casos esa modelización tiene que hacerse a partir del discurso lingüístico. Maturana (2001) dice que el ser humano existe en el lenguaje, luego el aprendizaje significativo también se produce en el lenguaje. El propio Ausubel, que acuñó el término aprendizaje significativo, ya, desde el inicio, llama la atención acerca de que el lenguaje tanto determina como refleja las operaciones mentales implicadas en la adquisición de conceptos abstractos y de orden superior. Cualquier intento de facilitar el aprendizaje significativo, en situaciones formales o informales, presenciales o a distancia, virtuales o no, estará, probablemente, predestinada al fracaso en la medida en que no tome en consideración el papel primordial del lenguaje, y de la mediación humana, en tal proceso. (Moreira, 2004).

Aunque se oblitere, un aprendizaje significativo no se puede borrar por su condición de diferenciado, estable y perdurable, ya que está anclado en los subsumidores que lo han permitido y le han dado origen, aunque sea científica y contextualmente incorrecto o no aceptado por la comunidad de usuarios. El proceso mismo de asimilación que conduce al aprendizaje significativo es evolutivo; se trata de un fenómeno progresivo y no de sustitución del tipo «todo o nada», ya que, como se ha expresado, el propio subsumidor se ve modificado. La adquisición y el aprendizaje significativo de conceptos se caracterizan por su progresividad (Caballero, 2003) y la mente humana opera con conceptos, como se ha expuesto en el capítulo precedente.

El aprendizaje significativo es el proceso cognitivo que conduce a la conceptualización, esto es, a la atribución de significados y es también su producto. Es un modo de operar mentalmente que va más allá del uso de determinados instrumentos o herramientas metacognitivas; éstas no pueden constituirse en fines

en sí mismas, ni tampoco son los únicos mediadores en el proceso de adquisición de conocimiento. Más importante incluso que la utilización de mapas conceptuales y diagramas V, hemos de considerar el papel esencial que ejerce en la conceptualización y el aprendizaje, en la adquisición, asimilación y retención del conocimiento, en suma, la interacción personal, la captación de significados, el lenguaje, los signos, la mediación semiótica y humana sin las cuales el aprendizaje significativo no se produciría.

Precisamente por las consideraciones señaladas, el cambio conceptual ha sido cuestionado y revisado, como ya se mostró. El carácter inmediato, instantáneo y automático con el que se le consideró en un principio, no se corresponde con lo que realmente ocurre en los procesos de aprendizaje y en las mentes de los individuos ni, tampoco, a juzgar por lo expuesto, con los presupuestos y principios que Ausubel (1976, 2002) le atribuye al funcionamiento cognitivo. Esto ha sido lo que ha obligado a buscar nuevos referentes explicativos que dieran cuenta de los fenómenos y mecanismos cognitivos, mentales, y que brindaran, también, pautas concretas que pudieran ser utilizables en el aula, para la facilitación y la consecución de un aprendizaje significativo científicamente aceptado.

¿Qué es aprendizaje significativo desde una perspectiva global de la Teoría del Aprendizaje Significativo? (Ausubel, 1976, 2002; Moreira, 2000; Rodríguez, 2004a y b), la Teoría de los Modelos Mentales (Johnson-Laird, 1983; Moreira, 1997; Rodríguez, 2003) y la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud, 1990, 1998; Moreira, 2002; Rodríguez y Moreira, 2002) ¿Cómo podemos conceptualarlo? (Rodríguez, 2004a). Dar respuesta a estas cuestiones nos obliga a repasar brevemente el carácter representacional de la estructura cognitiva humana. Para ello se ha optado, como ya se expresó, por modelos mentales y esquemas de asimilación, constructos centrales y esenciales de las dos teorías consideradas. Se han elegido estos modos de representación porque ofrecen explicaciones comprensibles, plausibles y fructíferas, funcionales, en definitiva, para comprender el proceso de producción de conocimiento, esto es, la adquisición, asimilación y retención del aprendizaje significativo. Consecuentemente, dan cuenta también de una explicación más racional y cognitiva del «cambio conceptual».

3. Modelos mentales y esquemas

En el ámbito de la Psicología Cognitiva se considera que la mente tiene carácter computacional representacional, como ya se explicó. Se recordará que una representación es aquello que vuelve a presentar o evocar algo en su ausencia (Eysenck y Keane, 1991).

Los modelos mentales son las representaciones mentales que favorecen la comprensión significativa de nuevas situaciones, pero sólo dan cuenta de lo que sucede de inmediato, ya que simplemente son modelos de trabajo que responden

a la funcionalidad requerida por el sujeto que los construye. Pero no es suficiente esto para operar cognitivamente, no basta construir los modelos mentales, ya que éstos sólo responden a la funcionalidad inmediata y no permiten explicar la perdurabilidad, la estabilidad y la significatividad del aprendizaje. Necesitamos articular estas representaciones mentales con otras que sí que permitan explicar y comprender esos procesos. Una posibilidad la encontramos en los esquemas de asimilación, entendidos desde la perspectiva piagetiana de Vergnaud (Greca y Moreira, 2002; Rodríguez y Moreira, 2002).

Modelos mentales y esquemas de asimilación son constructos diferentes, y las teorías de las que son elementos clave también, pero aun así, entre Johnson-Laird y Vergnaud pueden encontrarse múltiples rasgos comunes. Ambos autores destacan el papel de la representación como mediadora entre el sujeto y la realidad. Para Johnson-Laird (1983, 1996) la mente humana representa el mundo, dada su imposibilidad de aprehenderlo directamente y lo hace según un triple código: proposiciones, imágenes y modelos mentales. Éstos son análogos estructurales del mundo, lo que podría equipararse a la realidad de Vergnaud. Dado su carácter de análogos estructurales, contienen elementos isomórficos. Vergnaud se expresa en los siguientes términos: «*La construcción del conocimiento consiste en una construcción progresiva de representaciones mentales, implícitas o explícitas, que son homomórficas de la realidad para algunos aspectos y no para otros*» (Vergnaud et al. 1990, pág. 22), en donde se manifiesta el papel que le asigna a las representaciones. Ese homomorfismo entre la realidad y la representación no se debe estudiar sólo en el terreno de los símbolos, sino que debe tratarse en términos de los invariantes operatorios de los esquemas ¿Podrían significar lo mismo homomorfismo y analogía estructural? En los modelos mentales, como análogos del mundo que son, hay isomorfismo. Esto significaría que los modelos también son homomórficos y, así, se reforzaría la idea de que los modelos mentales como representación isomórfica de la realidad son los que dan el paso a los esquemas como organizadores, tanto de la propia representación, como de la actividad –acción o comportamiento. Si es así, podríamos pensar que los modelos mentales de Johnson-Laird podrían tener algo que ver con los invariantes operatorios de Vergnaud o ejercer ese papel.

Las proposiciones que Johnson-Laird (1983, 1987, 1990) considera se interpretan como verdaderas o falsas, del mismo modo que los teoremas-en-acción de Vergnaud. En la medida en que éstos funcionan como sustitutos computables de la realidad y los modelos mentales son análogos estructurales de la misma, podría admitirse que los modelos mentales contienen teoremas-en-acción. Los conceptos-en-acción son relevantes o no relevantes; pueden ser objetos, predicados o categorías. Puede también pensarse, pues, que estos conceptos-en-acción están formando parte integrante de los modelos mentales, de manera que les atribuyen el carácter de relevancia que el individuo le asigna (Moreira, 2002). Si admitimos esto, lo que tiene muchos visos de plausible y la investigación está avalando,

hemos de concluir que modelos mentales y esquemas tienen elementos y rasgos comunes, tanto en su constitución y construcción, como en su funcionamiento, y que en ambos podrían determinarse conceptos y teoremas-en-acción.

¿Estarían, entonces, como representaciones los modelos mentales detrás, en la base, como sustrato de los esquemas? ¿O sería al contrario, siendo los esquemas los que condicionan el modelo mental? ¿Serían los modelos los que dan pie a la construcción de los esquemas? De este modo, el modelo mental sería la representación primera de la situación –mundo– y el esquema supondría interiorización y condicionaría el comportamiento.

Pero está haciendo falta algo más que relacione campos conceptuales con esquemas. Y quizás sea representaciones entendidas como modelos mentales. Por lo que se ve, se reivindica el papel del contenido y puede que sea a través de los campos conceptuales. Es decir, puede que Vergnaud haga descansar eso en los campos conceptuales. Un campo conceptual es, sobre todo, un conjunto de situaciones-problema cuyo dominio requiere el dominio de varios conceptos de diferente naturaleza. Los conocimientos de los estudiantes están moldeados por las situaciones que encuentran y que dominan progresivamente. Pero esas situaciones cada vez son más complejas. Por eso un campo conceptual es un campo complejo. La única manera de que un individuo lo domine es dominar las situaciones cada vez más complejas que lo conforman. (Moreira, 2006). Pero Vergnaud (1983, 1990) dice que actuamos en función de formas de organización de la actividad; esto puede ser lo que genera esquemas para organizar, precisamente, esas respuestas o actividades. Esa actividad tiene que estar en relación con algo, o sea, con un mundo conocido –que habrá que representar–, que habrá que percibir y/o concebir, y que es el que causa la necesidad de organizar la actividad. Las situaciones se corresponden con los conocimientos nuevos y son las que dan sentido a los conceptos. Lo que ocurre es que para darles sentido, el sujeto necesita conceptos, es decir, conocimientos previos. Estos conocimientos antecedentes quedarán más elaborados en función de las situaciones en las que se usan. Es fácil ver en esta relación la interacción característica del aprendizaje significativo, pero desde una perspectiva de progresividad y complejidad en la atribución evolutiva de los significados. (Moreira, 2006). La figura 1 expone la relación explicada a través de un mapa conceptual.

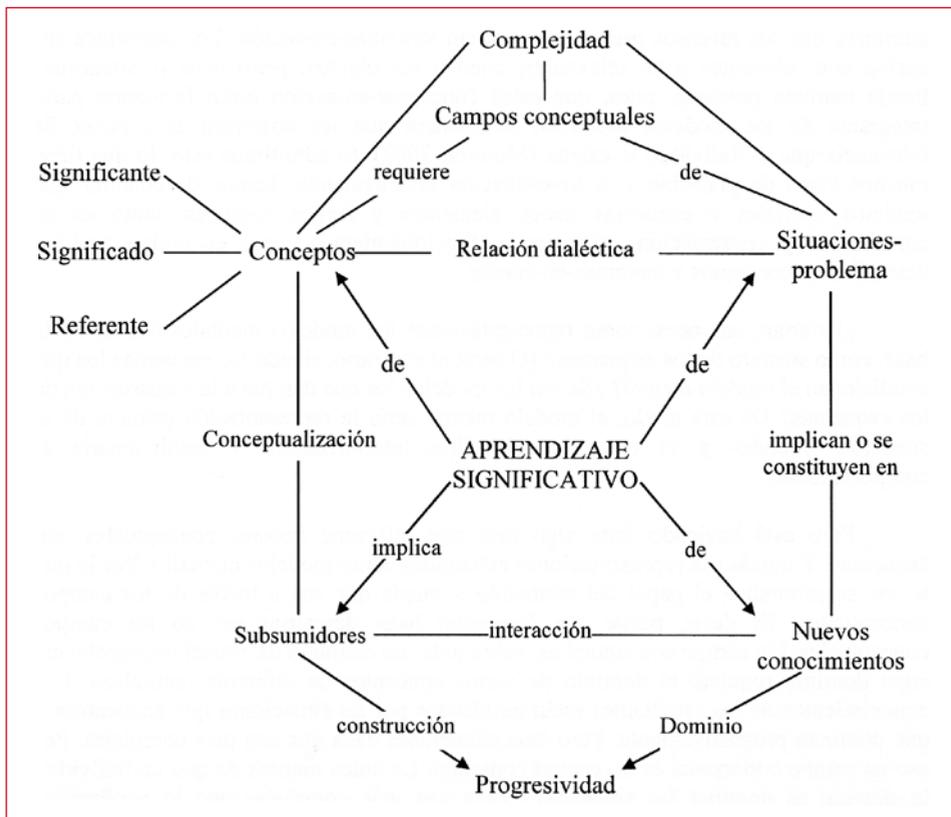


Figura 1. Mapa conceptual realizado para expresar la progresividad y complejidad del aprendizaje significativo (Moreira, 2006).

Si las situaciones son nuevas, esto es, si es un mundo desconocido para la persona, esa representación sería el modelo mental. Para construirlo, se necesitan conceptos de tres conjuntos (los conjuntos de objetos, propiedades y características y de relaciones e interacciones, según Johnson-Laird). Podría pensarse que estos conceptos constituirían un campo conceptual desde la perspectiva de Vergnaud. (Rodríguez y Moreira, 2002).

El conocimiento se explica en la actualidad como algo que se construye y eso lo muestra el comportamiento de los individuos. Pero ese conocimiento está reclamando una conexión o puente entre la representación primera, inmediata, de la situación y su interiorización y preservación, como ya se ha expuesto. Entendiendo y observando que las explicaciones ofrecidas nos remiten a los mismos elementos de los modelos mentales y de los esquemas o de partes de los mismos, podría concluirse que los modelos mentales de Johnson-Laird como modos de representación (análogos estructurales de estados de cosas, o situaciones, del mundo) pueden generar y articular los esquemas de Vergnaud y, por lo tanto,

contribuyen a su construcción, siendo así éstos los que quedan como sustrato cognitivo de aquéllos. La figura 2 muestra gráficamente la relación establecida entre los esquemas de asimilación y los modelos mentales, como modos de representación.

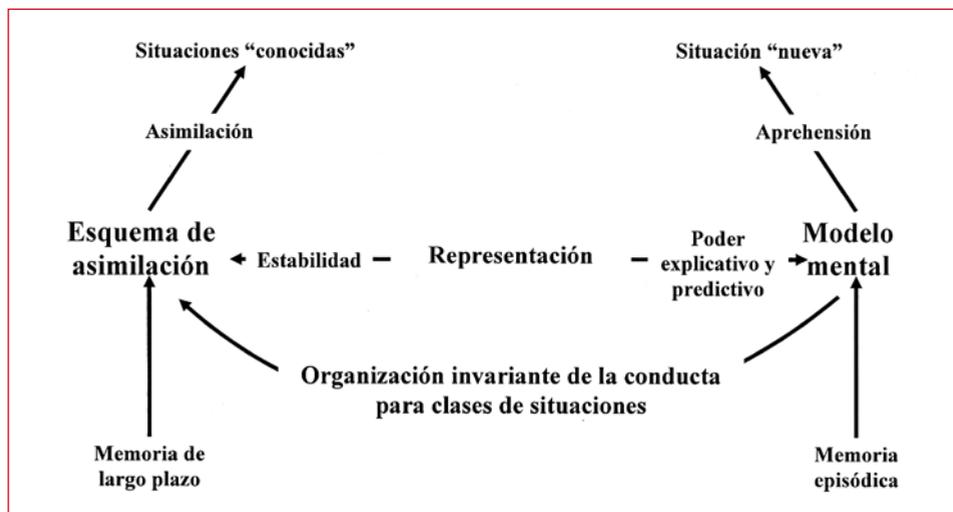


Figura 2. Un modo gráfico de mostrar la relación explicada entre esquemas y modelos mentales (Rodríguez, 2004).

Se parte de que la mente opera con representaciones determinadas por los invariantes operatorios de los esquemas (supuestos psicológicos) (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002; Rodríguez y Moreira, 2002; Moreira y Greca, 2003), mientras que para Vosniadou (1994), esas representaciones están determinadas por las teorías de dominio (en forma de principios y presupuestos epistemológicos y ontológicos). En esas representaciones es en donde se plasma el conocimiento del individuo. Los modelos mentales son representaciones que se ejecutan en la memoria episódica; los esquemas de asimilación se construyen en la memoria a largo plazo y por eso tienen carácter de estabilidad. Tanto los modelos mentales como los esquemas se pueden definir por lo menos parcialmente por los invariantes operatorios que los caracterizan (Rodríguez, 2004).

Al construir un esquema, la persona lo usa asimilando así una determinada clase de situaciones. Dado que es la organización invariante de la conducta ante las mismas circunstancias y en contextos similares, ese esquema permite dominarlas, dar cuenta de ellas. Pero al enfrentarse a una situación nueva –un mundo nuevo– para la que el esquema no es suficientemente eficaz ni válido, éste ya no funciona, lo que reclama por parte del sujeto algún mecanismo que le permita asimilarla funcionalmente. Para ello, podría pensarse que se construye un modelo mental que actúa de intermediario (modelo mental que puede resultar de la

aplicación de elementos de varios esquemas) y que permite hacerle frente a esa nueva realidad. El dominio progresivo de la misma podría llevar también a una paulatina estabilización de esa primera representación, lo que nos conduciría a su transformación en esquema de asimilación (Moreira, 2002). Hemos de recordar que nuevos invariantes son los que condicionan nuevos conceptos y teoremas-en-acción y, por lo tanto, nuevos esquemas. Debemos tener en cuenta también que tanto los modelos mentales como los esquemas pueden contener esos invariantes o, para ser más precisos, que los invariantes operatorios de los esquemas determinan los modelos mentales que se ejecuten, y que, consecuentemente, una vez que los modelos mentales vayan dando un mayor dominio por revisión recursiva, pueden ir constituyéndose en esquemas de asimilación (Greca y Moreira, 2002).

Esta relación entre modelos mentales y esquemas sería una relación dialéctica: la lectura de la realidad a partir del conocimiento-en-acción del sujeto influenciaría los modelos mentales, pero el proceso de comparación entre los resultados de esos modelos mentales (explicaciones, predicciones) y el resultado efectivo de la situación en sí puede llevar a modificaciones en los invariantes operatorios (teoremas-en-acción y conceptos-en-acción) del sujeto por causa de las inconsistencias entre el modelo mental y la situación nueva, o en la búsqueda de coherencia entre su pensamiento y los datos del mundo externo. De la coincidencia o no de la confrontación entre las inferencias resultantes del modelo mental y los acontecimientos del mundo, los modelos mentales pueden ser modificados recursivamente. Si esas modificaciones se producen de forma sistemática respecto a una clase de nuevas situaciones, los propios esquemas pueden ser cambiados, siempre que nuevos invariantes operatorios puedan ser derivados de las situaciones enfrentadas. O sea, la detección de invariantes en esos modelos mentales podría conducir al sujeto a construir esquemas apropiados para esas situaciones y otras semejantes (Moreira y Greca, 2003). La tabla 1 expone algunas similitudes entre los planteamientos de Johnson-Laird y Vergnaud que han resultado pertinentes para nuestros propósitos.

Ha de quedar claro, en cualquier caso, que esquemas y modelos mentales son representaciones internas que tienen un carácter distinto y diferencial propio de cada una de ellas. La figura 3 muestra sus diferencias más sobresalientes, como son su función o finalidad y la memoria en la que opera o trabaja cada una de estas representaciones.

Tabla 1. Similitudes detectadas entre los planteamientos de Johnson-Laird y Vergnaud.

Aspectos comunes	
Johnson-Laird	Vergnaud
Teoría psicológica de la cognición.	Teoría psicológica de la concepción.
Selección natural.	Adaptación.
Experiencia/acciones.	Situaciones/acción.
Rechazo de reglas lógicas de inferencia.	Fracaso de capacidades lógicas de razonamiento.
Razonamiento humano, función de semántica.	Concepción de lo real específica del contenido.
Construcción jerárquica de conceptos: relevancia conceptual.	Conceptos como componentes de los esquemas: pertinencia conceptual.
Representación: mediadora entre sujeto y realidad. Mundo.	Representación: puente para la comprensión. Realidad.
Isomorfismo.	Homomorfismo.
Mente computacional.	Computabilidad.
Entidades, propiedades y relaciones [modelos mentales].	Objetos, propiedades y relaciones [situaciones].
Causalidad.	Causalidad.

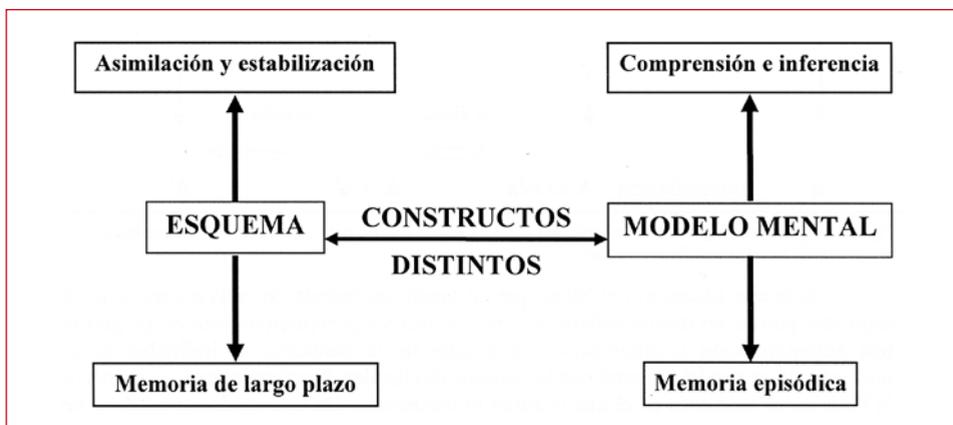


Figura 3. Comparación entre esquemas y modelos mentales (Rodríguez y Moreira, 2002).

Este marco teórico permite, pues, explicar eficazmente que el cambio conceptual debe ser contemplado más como desarrollo/enriquecimiento/evolución conceptual que como reemplazo de viejas concepciones, como ya se ha expuesto. Se trata de una interpretación psicológica consistente con las teorías cognitivas representacionales computacionales más recientes.

4. Asimilación

¿Cómo se produciría la asimilación y la retención del contenido en este contexto representacional? ¿Cómo se podría explicar la construcción de aprendizaje significativo desde esta perspectiva? La nueva información potencialmente significativa, **a**, (que se corresponderá con una situación), interactúa con una idea de anclaje o subsumidor, **A**, generando el producto de interacción **a'A'**, ya que ambos se ven modificados en esa interacción porque se produce interpretación del nuevo contenido por parte del sujeto, en función del subsumidor relevante que utilice. Esa interpretación que se produce en la hora (en la memoria episódica) puede entenderse como un modelo mental. Al ser una situación relativamente familiar a la que se añade nueva información, se evocarán uno o varios esquemas, siendo sus invariantes operatorios los que determinen o influyan en los modelos mentales que se generen y se ejecuten. La idea de anclaje o subsumidor puede considerarse como parte de un esquema de asimilación, en tanto que idea relevante, clara y estable que esté presente en la estructura cognitiva (en la memoria a largo plazo).³³ Si se expone a la persona a situaciones similares, se va produciendo dominio de las mismas, lo que conduce a que se active el mismo esquema, ya que está presente en su estructura cognitiva. No se requiere la construcción de un modelo mental más que para incorporar e interpretar la nueva información, puesto que se dispone de una representación cognitiva más estable, que es el esquema de asimilación. La figura 4 muestra este proceso diagramáticamente.

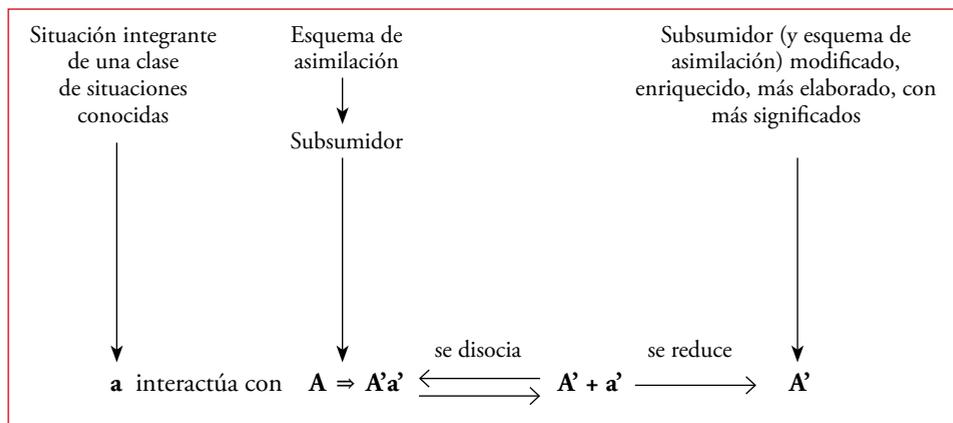


Figura 4. Aprendizaje significativo subordinado según la visión clásica, pero suponiendo los subsumidores como integrantes de los esquemas de asimilación.

33. Es necesario aclarar que la asimilación ausubeliana no es la misma de Piaget, es decir, los subsumidores no son lo mismo que los esquemas de asimilación. Sin embargo, se podría pensar que los subsumidores, que estarían conformados por invariantes operatorios, formarían parte de los esquemas.

Ante una situación novedosa que no puede ser tratada cognitivamente con este esquema, porque no resulta suficientemente explicativo y predictivo, esto es, no permite una automatización u organización invariante de la conducta, el individuo genera nuevamente un modelo mental que le permite aprehender, funcionalmente, su mundo en la hora, en el momento en el que le surge lo inesperado. De este modo, se produce una interacción dialéctica entre modelos mentales y esquemas que justifica la adquisición, la asimilación y la retención de nuevo contenido y, por lo tanto, el aprendizaje significativo, dado que A' (lo que queda en la estructura cognitiva) es un nuevo esquema de asimilación, es decir, algo más que un subsumidor modificado, más rico, más explicativo, originado con el concurso del modelo mental y del esquema inicial (Rodríguez, 2004). La figura 5 muestra este proceso de manera gráfica.

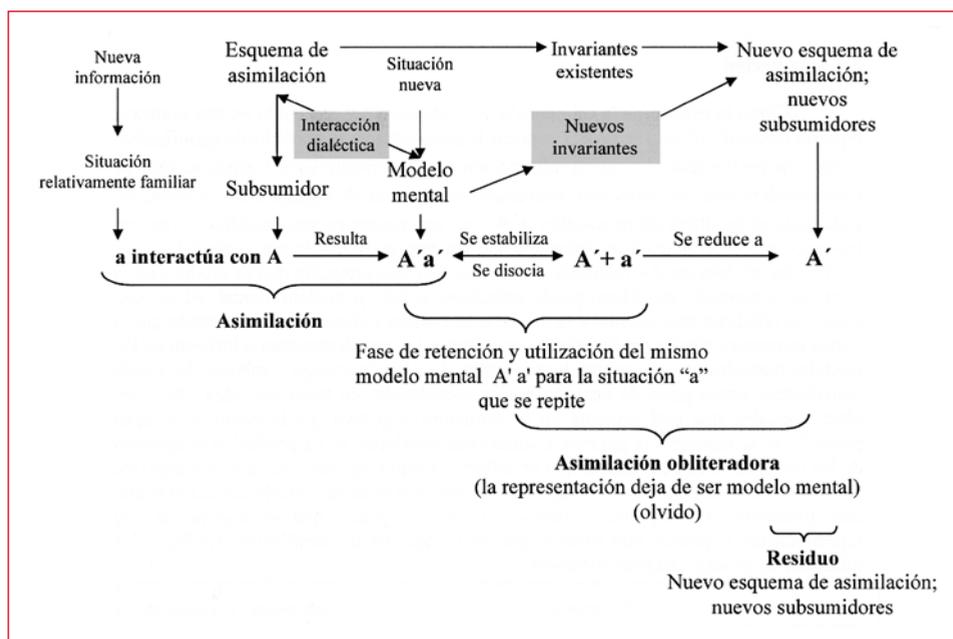


Figura 5. Asimilación y aprendizaje significativo a la luz de la Teoría de los Modelos Mentales y de la Teoría de los Campos Conceptuales.

Este nuevo esquema que supone un enriquecimiento y una evolución de la estructura cognitiva del sujeto, tiene, además de los invariantes operatorios ya existentes en el esquema de asimilación inicial, aquellos otros que provienen de la reestructuración que ha supuesto la construcción de un modelo mental, ante la nueva situación; su progresiva repetición dotará de estabilidad a esta representación, siendo así como se constituye lenta y progresivamente en el esquema de asimilación final.

En términos de procesos, como se recordará, Ausubel (1976, 2002) consideraba que durante un periodo de tiempo se produciría disociación entre la nueva información y la presente en la estructura cognitiva. Se llevaría a cabo posteriormente una fase de retención, lo que se podría corresponder con la utilización del mismo modelo mental que conduciría a su estabilización, por repetición ante situaciones similares. A partir de aquí, según Ausubel se produce la asimilación obliteradora, esto es, la imposibilidad de disociar la información nueva con la que estaba presente en la mente. Este olvido se correspondería con la estabilización de la representación mental construida que, así, deja de ser un modelo mental para pasar a ser un esquema de asimilación modificado, más rico y con un mayor número/calidad de invariantes operatorios. La fase final del proceso ausubeliano vendría a ser, desde esta óptica, el nuevo esquema, del que los nuevos subsumidores formarían parte. Esto justificaría, por tanto, el aprendizaje significativo.

Esta interpretación no es totalmente nueva. Sin embargo, tiene como novedad su consideración en términos representacionales, característicos de la Psicología Cognitiva reciente. El propio Ausubel (1976, pág. 148) lo expresa claramente:

El sujeto se propone que el contenido tenga sentido en función de un esquema pertinente y también que armonice contextualmente con éste. Por consiguiente, los esquemas determinan en alto grado la interpretación inicial del mensaje que, a su vez, influye persistentemente en la naturaleza de lo que se retiene.

Los esquemas condicionan la interpretación inicial que se haga (Ausubel, *ibid*; Moreira y Greca, 2003), interpretación que puede ser entendida como un modelo mental. Y, a su vez, éstos condicionan decisivamente aquello que está presente en la estructura cognitiva, o sea, los esquemas de asimilación, dado que definen los invariantes operatorios que los constituyen. La interacción que se establece entre ambas representaciones mentales es clara. El esquema ausubeliano es de carácter cognitivo, como el de Vergnaud, y no de naturaleza actitudinal o afectiva, como Ausubel (1976) entiende que es el esquema de Bartlett (1932, citado por Ausubel, 1976, pág. 147). Podría decirse que el propio Ausubel se anticipó a la Psicología Cognitiva más reciente y sentó las bases de una explicación representacional actual de su propia teoría, si bien no contempló adecuadamente el proceso interactivo que conduce al aprendizaje significativo.

La Teoría del Aprendizaje Significativo sigue siendo, por tanto, un potente referente explicativo que se ve fuertemente reforzado por la Teoría de los Modelos Mentales y la Teoría de los Campos Conceptuales, como apoyos representacionales que dan cuenta de cómo se produce la adquisición, la asimilación y la retención del conocimiento. Con esta explicación conjunta, de más amplia base psicológica, se abren múltiples posibilidades para la investigación en educación y para la docencia, un marco teórico de referencia que posibilita que efectivamente

se alcance el aprendizaje significativo en el aula. Éste se puede justificar, con el enfoque multiteórico expuesto, en términos de activación entre diferentes representaciones mentales.

5. Conclusión

Los constructos de modelo mental (como lo consideró Johnson-Laird) y esquema de asimilación (entendido en la perspectiva de Vergnaud) permiten explicar el proceso de construcción del aprendizaje significativo y, por tanto, la adquisición, la asimilación y la retención del conocimiento. La consideración de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud ofrece una sólida base psicológica cognitiva a la Teoría del Aprendizaje Significativo, que amplía aún más, si cabe, su poder predictivo y explicativo y su perdurabilidad, facilitando así la comprensión del proceso que conduce a la construcción de un aprendizaje significativo. De su consideración conjunta se esperan, por tanto, resultados prometedores que favorezcan el trabajo docente, como la investigación está avalando.

Aunque tenga más de cuarenta años de historia, la teoría de Ausubel sigue siendo una teoría actual porque ofrece un referente muy próximo al aula y al profesorado. Como dice Vergnaud, son las situaciones las que dan sentido a los conceptos y es exactamente por eso por lo que la Teoría de la Asimilación de Ausubel tiene mucho sentido para los docentes e investigadores en educación. La idea de que la nueva información se ancla interactivamente en algún conocimiento previo adquiere sentido de inmediato. Sin embargo, dicha interacción y los procesos de retención, obliteración y residualización que le siguen y con los que se continúan los procesos cognitivos se explicaron desde visiones bastante macroscópicas de lo que pasa. Tantos años después seguramente hay otras teorías que permiten una lectura más detallada, y contemporánea, de esos procesos. La finalidad de este ensayo no ha sido otra que la de aportar algunas reflexiones en esa línea: un intento de leer la asimilación ausubeliana en términos de modelos mentales y esquemas de asimilación.

Este planteamiento global tiene importantes consecuencias pedagógicas. Lo que interesa es generar en el alumnado significados científica, contextual y socialmente aceptados y esos significados se atribuyen y se adquieren mayoritariamente en la escuela. Si no enfrentamos al alumno a situaciones diversas susceptibles de generar reestructuración en su conocimiento, es decir, de propiciar modelos mentales más funcionales y eficaces, pero consistentes con el conocimiento científico reconocido y consolidado, no pondremos a esos estudiantes en disposición de que puedan modificarse y enriquecerse esos esquemas de asimilación, o sea, sus estructuras cognitivas más estables. Si somos capaces como docentes de favorecer el desarrollo de estrategias y habilidades en la línea expuesta, estos jóvenes

construirán un conocimiento mucho más sólido, perdurable, permitiéndoles este proceso la adquisición, la asimilación y la retención de un aprendizaje, de un contenido, que será efectivamente mucho más significativo.

6. Bibliografía

- Ausubel, D. P. (1973). «Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento». Elam, S. (comp.). *La educación y la estructura del conocimiento. Investigaciones sobre el proceso de aprendizaje y la naturaleza de las disciplinas que integran el currículum*. El Ateneo, Buenos Aires, págs. 211-239.
- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Ed. Trillas, México.
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Paidós, Barcelona.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D. y Hanesian, H. (1983). «Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo». Trillas, México. (Trad. cast.: Mario Sandoval P. de la segunda edición de Educational psychology: a cognitive view).
- Braghiroli, C. (1993). «Conceptual or methodological deficiency? A case study showing a theory in action». Trabajo presentado en el III Seminario Internacional sobre Concepciones Alternativas y Estrategias Educativas en Ciencias y Matemática. Cornell University, 1-4 de agosto.
- Caballero Sahelices (2004). «La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos». Moreira, Caballero y Rodríguez *Aprendizaje significativo: interacción personal, progresividad y lenguaje*. Universidad de Burgos. Servicio de Publicaciones. Burgos, págs. 47-66.
- Covalada, R., Moreira, M.A. y Caballero, M.C. (2005). Los significados de los conceptos de sistema y equilibrio en el aprendizaje de la mecánica. Estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, vol. 4, nº 1. Artículo, 1. En <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- Eisenck, M. y Keane, M. (1991). *Cognitive Psychology: a student's handbook*. Erlbaum, Londres.
- Escudero, C.; Moreira, M. A. y Caballero, M. C. (2003). «Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de física introductoria en secundaria». *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, vol. 2, nº 3. Disponible en <http://www.saum.uvigo.es/reec>
- Gowin, D. B. (1981). *Educating*. Cornell University Press, Ithaca, N.Y.
- Greca, I. M. (2000). «Construyendo significados en mecánica cuántica: resultados de una propuesta didáctica aplicada a estudiantes de Física General». Tesis Doctoral. Instituto de Física, Universidad Federal de Río Grande del Sur, Brasil.

- Greca, I. M. y Moreira, M. A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 7, nº 1. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>
- Greca, I. M. y Moreira, M. A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 7, nº 1 (2). Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.
- Gutiérrez, R. (2000). «Mental Models and the fine structure of conceptual change». Pintó, R. y Suriqach, S. (eds). *Proceeding of the International Conference Physics Teacher Education Beyond*. Calidos, Barcelona. CD-ROM.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press. Cambridge.
- Johnson-Laird, P. (1987). «Modelos mentales en ciencia cognitiva». En Norman, D. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Ed. Paidós, col. Cognición y desarrollo humano, Barcelona, págs. 179-232.
- Johnson-Laird, P. (1990). *El Ordenador y la Mente. Introducción a la Ciencia Cognitiva*. Ed. Paidós, col. Cognición y desarrollo humano, Barcelona.
- Johnson-Laird, P. N. (1996). «Images, Models and Propositional Representations». En De Vega, M; Intons-Peterson, M. J.; Johnson-Laird, P. N.; Denis, M. y Marschark, M. *Models of Visuospatial Cognition*. Oxford, University Press, págs. 90-127.
- Lins, R. C. (1994). «O modelo teorico dos campos semânticos: uma análise epistemológica da álgebra e do pensamento algébrico». *Dynamis*, vol. 1, nº 7, págs. 29-39.
- Llancaqueo, A.; Caballero, M. C. y Moreira, M. A. (2003). «El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias». *Revista Electrónica en Enseñanza de las Ciencias*, vol 2, nº 3 Artículo 2. Disponible en <<http://saum.uvigo.es/reec>>.
- Maturana, H. (2001). *Cognição, ciência e vida cotidiana*. Organización y traducción de Cristina Magno e Victor Paredes. Editora UFMG, Belo Horizonte.
- Moreira M. A. y Greca, I. M. (2003). «Cambio Conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la Teoría del Aprendizaje Significativo». *Ciência & Educação*, vol. 9, nº 2, págs. 301-315.
- Moreira, M. A. (2000a). *Aprendizaje Significativo: teoría y práctica*. Ed. Visor, Madrid.
- Moreira, M. A. (2000b). «Aprendizagem Significativa Subversiva. III Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa». Peniche, Portugal, 11-15 de septiembre, págs. 33-45.
- Moreira, M. A. (2002). «A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área». *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 7, nº 1 (1). Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.

- Moreira, M. A. (2004). «Lenguaje y aprendizaje significativo». En Moreira, Caballero y Rodríguez. *Aprendizaje significativo: interacción personal, progresividad y lenguaje*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos, Burgos, págs. 67-86.
- Moreira, M. A. (2006). «Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica». En Ojeda Ortiz, J. A., Moreira, M. A. y Rodríguez Palmero, M. L. (org.). *Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación*, monografía VIII. La Salle/Ed. SM: Madrid. Págs. 83-96.
- Moreira, M. A. (1997b). «Modelos Mentais». *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 1, n. 3. Disponible en <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.
- Mortimer, E. (1993). «Conceptual evolution as epistemological profile's change». Trabajo presentado en el III Seminario Internacional sobre Concepciones Alternativas y Estrategias Educativas en Ciencias y Matemática. Cornell University, 1-4 de agosto.
- Mortimer, E. (1995). «Conceptual change or conceptual profile change?». *Science & Education*, Dordrecht, vol. 4, nº 3, págs. 23-45.
- Nussbaum, J. (1989). «Classroom conceptual change: philosophical perspectives». *International Journal of Science Education*, vol. 11, págs. 530-540.
- Otero Ugarte, M. R. (2003). «Imágenes y enseñanza de la Física: una visión cognitiva». Tesis Doctoral. Facultad de Educación, Universidad de Burgos.
- Posner, G. (1982). «Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change». *Science Education*, vol. 66, págs. 211-227.
- Postman, Neil y Weingartner, Charles (1969). *Teaching as a subversive activity*. Dell Publishing Co, Nueva York.
- Postman, Neil (1996). *The end of education: redefining the value of school*. Nueva York Vintage Books/Random House.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Ed. Morata, Madrid.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2003). «Modelos mentales de célula: una aproximación a su tipificación con estudiantes de COU». Universidad de La Laguna. Servicio de Publicaciones.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2004a). «La Teoría del Aprendizaje Significativo». En Cañas, A. J.; Novak, J. D. y González, F. M. (eds.). *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology*. Dirección de Publicaciones de la Universidad Pública de Navarra, págs. 535-544.
- Rodríguez Palmero, M. L. (2004b). «Aprendizaje significativo e interacción personal». En Moreira, Caballero y Rodríguez. *Aprendizaje significativo: interacción personal, progresividad y lenguaje*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos, Burgos, págs. 15-46.

- Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2002). «La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud». Actas del PIDEDEC, n° 4. UFRGS, Porto Alegre.
- Rodríguez Palmero, M. L. y Moreira, M. A. (2002). «Modelos mentales vs esquemas de célula». *Investigações em Ensino de Ciências*, vol 7, n° 1. Porto Alegre.
- Schuster, (1993). «From misconceptions to rich-conceptions». Trabajo presentado en el III Seminario Internacional sobre Concepciones Alternativas y Estrategias Educativas en Ciencias y Matemática. Cornell University, 1-4 de agosto.
- Solomon, J. (1984). «Prompts, cues and discrimination: the utilization of two separate knowledge systems». *European Journal of Science Education*, vol. 6, n° 3, págs. 277-284.
- Stipich, S.; Moreira, M. A. y Caballero, M. C. (2004). «Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción». *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, vol. 3, n° 1, artículo 1. Disponible en <<http://www.saum.uvigo.es/reec>>.
- Strike, K. A. y Posner, G. J. (1992). «A revisionist theory of conceptual change». Duschl, R. y Hamilton, R. (eds). *Philosophy of Science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Suny Press, Albano, págs. 147-176.
- Vergnaud, G. (1983). «Multiplicative structures». En Lesh, R. y Landau, M. (eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. Academic Press Inc., Nueva York, págs. 127-174.
- Vergnaud, G. (1998). «A comprehensive theory of representation for mathematics education». *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), págs. 167-181.
- Vergnaud, G. et al. (1990). «Epistemology and psychology of mathematics education». In Nesher, P. y Kilpatrick, J. (eds.). *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Vergnaud, G. (1990). «La théorie des champs conceptuels». *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23), págs. 133-170.
- Vosniadou, S. (1994). «Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change». *Learning and Instruction*. Vol, 4, págs. 45-69.
- Vygotsky, L. S. (1987). *Pensamento e linguagem*. Martins Fontes, São Paulo.
- Vygotsky, L. S. (1988). *A formação social da mente*. 2ª ed., Martins Fontes, São Paulo.

Índice

Sumario	4
Introducción	5
1. La Teoría del Aprendizaje Significativo	7
1. Introducción	7
2. ¿Qué es la Teoría del Aprendizaje Significativo?	8
3. ¿Cuáles son los conceptos clave de la teoría?	10
3.1. Aprendizaje significativo: una revisión de su significado	10
3.1.1. Perspectiva ausubeliana	11
3.1.2. Aportaciones al constructo	20
3.1.3. Aprendizaje significativo: un resumen	26
3.2. Aprendizaje significativo: algunas incorrecciones contextuales en su aplicación	26
4. ¿Qué consecuencias se derivan de la consideración de la Teoría del Aprendizaje Significativo?	38
4.1. Aspectos de naturaleza pedagógica	38
4.2. Aspectos críticos y criticados de la Teoría	40
5. Conclusiones	43
6. Bibliografía	44
2. La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird	46
1. Introducción	47
2. ¿Por qué una teoría de la mente?	48
3. La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird	53
3.1. Elementos fundamentales de la teoría	53
3.2. Modelos mentales	58
4. ¿Es una teoría de la mente adecuada explicativamente la Teoría de los Modelos Mentales?	77
5. Posibilidades y limitaciones de la Teoría de los Modelos Mentales	80
6. ¿Qué contribución hace la Teoría de los Modelos Mentales a la Teoría del Aprendizaje Significativo?	83
7. Bibliografía	86
3. La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud	88
1. Introducción	89
2. ¿Qué es?	89
3. ¿De dónde surge? ¿Cómo nace?	92
4. ¿Cuál es su ámbito de aplicación?	97
5. ¿Cuáles son los conceptos clave?	98

6. ¿Qué se investiga y cómo?	117
7. ¿Qué consecuencias se derivan de su consideración?.....	121
8. ¿Qué se puede extraer de esta teoría para la enseñanza y el aprendizaje? 123	
9. Algunas consideraciones finales a modo de resumen de la teoría	126
10. ¿Qué aporta la Teoría de los Campos Conceptuales al aprendizaje significativo?	127
11. Bibliografía	130
4. La integración de modelos mentales y esquemas de asimilación para la comprensión de procesos de aprendizaje significativo.....	133
1. Introducción	133
2. La Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud.....	138
3. Una nueva propuesta	147
4. ¿Qué puede ser explicado con esta propuesta?	151
5. Implicaciones didácticas y para investigación en enseñanza de Ciencias 153	
6. Conclusión.....	156
7. Bibliografía.....	158
5. La progresividad del aprendizaje significativo de conceptos	162
1. Introducción	163
2. Percepción conceptual de la realidad desde los enfoques teóricos de David Ausubel y Gérard Vergnaud	164
2.1. Concepción de Ausubel	165
2.2. Concepción de Vergnaud.....	167
3. Aprendizaje significativo de conceptos y desarrollo cognitivo: un proceso progresivo. Aportaciones desde los paradigmas constructivistas de D. Ausubel y G. Vergnaud	171
3.1. Perspectiva de Ausubel	171
3.2. Perspectiva de Vergnaud.....	176
4. Algunas implicaciones para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias ..	180
5. Algunas aportaciones desde la investigación en Física	182
6. Algunas reflexiones de interés para la investigación educativa.....	193
7. Consideraciones finales	194
8. Bibliografía.....	195
6. Aprendizaje significativo: la asimilación ausubeliana desde una visión cognitiva contemporánea.....	198
1. Introducción	198
2. Aprendizaje significativo.....	204
3. Modelos mentales y esquemas	207
4. Asimilación	214
5. Conclusión.....	217
6. Bibliografía.....	218