

Parte IV.
IDEAS PREVIAS DE LOS ALUMNOS Y
CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO
ESCOLAR SOBRE LAS CIENCIAS
EXPERIMENTALES

CAPÍTULO 16

EL ESTUDIO DIDÁCTICO DE LAS IDEAS PREVIAS

J. M. de Posada
I.E.S. Miraya del Mar
Torre del Mar. Málaga

1. INTRODUCCIÓN.
2. ESTATUS DE LAS IDEAS PREVIAS.
3. CONSTRUCCIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS IDEAS PREVIAS.
 - 3.1. Posiciones del movimiento de las concepciones alternativas (MAC.).
 - 3.2. Posiciones epistemológicas e históricas.
 - 3-3. Posiciones psicológicas.
 - 3.3.1. Piaget y las cóncepciones previas.
 - 3.3.2. Ideas previas y el aprendizaje según Vygotsky.
 - 3.3.3. Las ideas previas y el aprendizaje significativo de Ausubel.
4. INTERÉS DE LAS IDEAS PREVIAS PARA LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALJES Y SU TRATAMIENTO EN LAS CLASES DE CIENCIAS.
 - 4.1. Modelo de cambio conceptual
 - 4.2. Utilización de la historia de las ciencias.
5. PROBLEMAS PLANTEADOS Y NUEVAS TENDENCIAS.
6. ACTIVIDADES.
7. BIBLIOGRAFIA BÁSICA COMENTADA.

1. INTRODUCCIÓN

Los profesores suelen observar, en algunas áreas más que en otras, que los alumnos traen consigo ciertas ideas sobre la materia que se les va a enseñar. Estas ideas suelen encontrarse fragmentadas, sin estructura bien delimitada, con frecuencia de naturaleza intuitiva y la mayoría de las veces erróneas. Los estudiantes rara vez son conscientes de tener esas concepciones. Los profesores noveles generalmente otorgan poca o ninguna importancia a este hecho ya que consideran que dedicando algunos días a su enseñanza, los estudiantes no volverán a tener ideas equivocadas. Esta idea de clases expositivas se encuentra aún muy arraigada entre los profesores. De acuerdo con este modelo didáctico, el profesor imparte los temas y los alumnos los aprenden. No se tienen en cuenta los tiempos requeridos para entender lo que se está enseñando, no se contempla la realización de suficientes actividades para mejorar la comprensión, ni el posible cambio de ideas que el alumno pueda sufrir a lo largo de dicha unidad. Algunos profesores sufren decepción cuando con el tiempo aprenden que el método expositivo no es tan efectivo como preveían. Las razones aducidas por los propios profesores para justificar este hecho suelen ser que, los alumnos no estudian lo suficiente sus lecciones, que los jóvenes hoy en día están poco motivados para el estudio, que el sistema educativo no selecciona suficientemente a los alumnos coexistiendo todos juntos en la misma clase, etc.

Aunque pueda ser cierto que algunos alumnos aprovechan poco las clases de ciencias, las razones tras todo esto son complejas, y por supuesto no son tan simples como las que acabamos de esbozar. A todos nos gustaría contar con un conjunto de reglas sencillas de aplicar con las que mejorar substancialmente nuestra práctica educativa. El sistema alumnos-profesor-materia es extraordinariamente complejo, en este capítulo sólo trataremos el conocimiento que los alumnos traen consigo al aula sobre la materia y las actuaciones que el profesor puede realizar para redirigir ese conocimiento. La idea, muy arraigada entre los profesores, de que lo único importante es un material con texto claro y fotografías abundantes a todo color, se ha comprobado insuficiente. Hoy podemos, y debemos, exigir más a ese material. En lo que atañe a este capítulo, ese texto debe procurar interaccionar con las ideas de los alumnos a los que va dirigido.

Por ideas previas se entiende las nociones que los alumnos traen consigo antes del aprendizaje formal de una determinada materia. Los currícula suelen ser cíclicos y en años sucesivos se abordan los mismos conceptos con un grado de profundidad progresivo. Esto ha llevado a generalizar la noción de ideas previas a todas aquellas concepcio-

nes que tienen los estudiantes con anterioridad a cualquier tipo de enseñanza, ya sea básica o superior. La forma que tenemos de conocer las ideas previas es a través de las respuestas que dan los estudiantes a cuestiones planteadas. Esas tareas no pueden ser preguntas directas y demasiado amplias del tipo “dime todo lo que sepas sobre las cuatro estaciones del año, sobre las células o sobre la estructura interna de la materia”. Las preguntas así planteadas suelen reproducir respuestas que han sido memorizadas anteriormente por los estudiantes o bien, respuestas evasivas como, no sé o no me acuerdo. Sin embargo, si preguntamos por qué se produce el invierno y el verano, las respuestas suelen mencionar que en verano la Tierra se acerca más al Sol y en invierno se aleja de él. Estas respuestas no tendrían mayor importancia si tras enseñar a los estudiantes, que el fenómeno causante es el eje de rotación de la Tierra que se encuentra inclinado $23^{\circ} 26'$ con relación a su plano de traslación con respecto al Sol, los alumnos utilizaran las ideas científicas en lo sucesivo. Pero paradójicamente en la mayoría de los casos no ocurre así. Se han entrevistado y pasado cuestiones a numerosos estudiantes de todos los niveles educativos, incluidos universitarios y preparatorios para profesores en multitud de países, y se ha comprobado que el tipo de respuesta más común es la concepción alternativa antes expuesta (Eckroth, 1993; de Manuel, 1995; Camino, 1995). Una de sus características más sobresalientes es la de ser muy tenaces y no desaparecer con facilidad.

La gran interacción del entorno cotidiano de los individuos con la caída de graves y el uso de fuerzas por un lado, y por otro, su importancia escolar, han llevado a los investigadores a realizar gran cantidad de trabajos en numerosos países. Una cuestión muy conocida, planteada por Viennot (1979), era la de indicar la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre un objeto que se lanza hacia arriba cuando: a) está subiendo, b) está en el punto más alto y c) está bajando. Es de esperar que los alumnos antes de abordar en clase nociones básicas de mecánica den respuestas erróneas a esta cuestión pero ¿qué tipo de respuestas darán los alumnos de ciencias de cursos preparatorios para el acceso a la Universidad o los que se encuentran ya en sus primeros cursos, después de numerosos años de estudio de física?

Los resultados son decepcionantes, el 39 % de los primeros y el 51 % aproximadamente de los segundos responden correctamente a esta cuestión. Estos resultados son similares en muestras de estudiantes franceses, belgas, ingleses y australianos. El razonamiento más común utilizado por los estudiantes, y que perdura a pesar de la enseñanza, es imaginar fuerzas siempre en el mismo sentido del movimiento de los objetos. De acuerdo con esta concepción, cuando se lanza una pelota verticalmente hacia arriba existe una fuerza en todo momento que la hace subir. Cuando para, desaparece esa fuerza. Y cuando baja, lo hace porque la fuerza ha cambiado su sentido y ahora se dirige hacia abajo. Esta idea guarda una extraordinaria semejanza con la concepción de fuerza impresa, introducida en el siglo II antes de Cristo por Hiparco. La teoría que afirma que es necesaria la presencia continua de una fuerza para que el movimiento se mantenga fue indicada por Filopón de Alejandría (siglo VI d. c.), retomada posteriormente por el filósofo periJb Avicena, (908-1037 d. c.) y más tarde desarrollada en el siglo XIV por el filósofo francés Buridan (Peduzzi y Sylbersztajn, 1997). En otras áreas se han podido encontrar también ciertas analogías entre ideas previas de los alumnos y su evolución en la Historia de las Ciencias. Este fenómeno se discutirá más extensamente en la sección 16.4.2.

Palmer (1997) estudió la coherencia del razonamiento usado por los estudiantes al pasar de una situación a otra, ambas similares desde el punto de vista científico. Pidió

que indicaran las fuerzas que actúan sobre objetos y personas en ocho situaciones deportivas diferentes (Fig. 16.1): A) lanzamiento vertical de una bola, B) empuje a una bicicleta, C) golpe suave a una pelota de golf, D) saltos en una cama elástica, E) patinaje, F) golpe fuerte a una pelota con un bate, G) golpe fuerte a una pelota de golf y, H) auparse en el aire al ganador de una competición. Analizando las respuestas distinguió hasta once tipos diversos de razonamientos. Una gran proporción de estudiantes, tanto de 15-16 años de edad (que recibieron nociones básicas sobre mecánica) como profesores de ciencias de enseñanza secundaria en formación, tienden a usar más de uno y a menudo más de dos tipos de razonamientos en las cuestiones planteadas. A diferencia de lo que propugna la ciencia, los alumnos perciben y, por tanto, utilizan razonamientos diferenciados en situaciones que envuelven desplazamientos horizontales y verticales. La posible coherencia de las ideas de los alumnos es un punto actualmente en debate. De acuerdo con los resultados obtenidos por Oliva (1999), las nociones de los alumnos sobre mecánica no serían tan fragmentarias, revelando la existencia de cierto patrón causal común en las respuestas. F.n cualquier caso, no se puede decir que las cuestiones planteadas a los alumnos eran difíciles, que tenían trampa o eran de una materia que se pueda olvidar fácilmente. Después de tres o cuatro años de enseñanza formal de la física persisten concepciones erróneas en un área que podemos considerar básica.

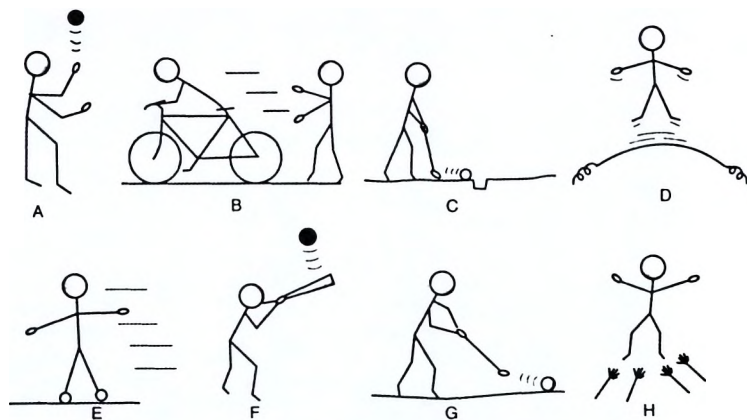


Fig 16.1. Fuerzas ejercidas en los deportes (Palmer, 1997).

Otro ejemplo nos lo puede proporcionar la practica que a veces proponemos a los alumnos para casa de encerrar con un vaso una vela encendida que previamente se encuentra verticalmente sobre un plato con un poco de agua en el fondo (Fig. 16.2). La explicación de los estudiantes de por qué se apaga la vela suele estar relacionada con el consumo de todo el oxígeno del interior del vaso. Una vez apagada la vela, el nivel de agua en el interior del vaso comienza a subir. La explicación de los estudiantes relaciona el volumen del oxígeno consumido con el volumen del agua que ocupa su lugar. Esta explicación la podemos encontrar incluso en algunos libros de texto. Se trata de una res-

puesta incorrecta producto de un razonamiento simplista, hasta cierto punto lógico, en el que si algo desaparece (oxígeno) su espacio debe ser ocupado por otro cuerpo (agua). Este hecho, aparentemente, se ve confirmado por la subida del nivel de agua en el interior del vaso. Todo parece encajar y se desestiman o se dejan de apreciar otros datos que puedan contradecir esta idea. El consumo de oxígeno se produce de forma continuada hasta que se apaga la vela pero sólo comienza a entrar agua cuando la vela se apaga. Cuando los alumnos encuentran una respuesta que les parece plausible no ponen en juego otros conocimientos que puedan contradecirla, aunque posean los conocimientos necesarios. La parafina de la vela al entrar en combustión con el oxígeno del aire se convierte en gas carbónico y vapor de agua. Por tanto, no sólo no desaparece el oxígeno sino que el volumen de los gases producidos es mayor al del oxígeno inicial. Si se observa atentamente, podemos apreciar un burbujeo en la pared exterior del vaso durante la combustión, en parte producido por el aumento del volumen de los gases producidos y en parte por el aumento de la temperatura del gas y su consiguiente expansión. Una vez apagada la vela, los gases se enfrían y el nivel del agua sube en el interior del vaso para compensar la pérdida del volumen escapado. Pero lo que nos interesa resaltar aquí es la metodología simplista seguida por los estudiantes para dar sus respuestas. Los fenómenos susceptibles de ser observados son filtrados de tal manera que sólo los que parecen confirmar la idea original son registrados, pasando los demás desapercibidos o simplemente desestimados por irrelevantes.

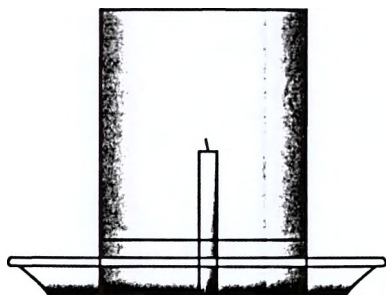


Fig. 16.2. Experiencia casera en la que el nivel de agua en el interior del vaso sube al apagarse la vela.

La enseñanza llevada a cabo en los diferentes países resulta bastante similar en el fondo. Se estudia de forma superficial los diferentes conceptos y se da un aspecto de rigor profundizando en los ejercicios numéricos. ¿Qué podemos decir de un sistema educativo que no consigue convencer a sus alumnos de que abandonen sus ideas alternativas tras numerosos años de enseñanza formal de esos tópicos? El problema es complejo y al mismo tiempo apasionante. Es necesario que el profesor, tanto en activo como en formación, se encuentre familiarizado con las concepciones de los alumnos en su materia. De este modo se podrá conseguir una enseñanza más eficaz. El lector interesado podrá encontrar ejemplos específicos de concepciones alternativas en las diversas áreas de las ciencias experimentales en los capítulos 17 a 20.

2. ESTATUS DE LAS IDEAS PREVIAS

Las características más importantes de las ideas previas de los alumnos son:

- El individuo moviliza ciertas nociones o esquemas en el transcurso de la actividad representativa a partir de las cuales podemos inferir una concepción, pero ésta no es explícita.
- La concepción alternativa es un modelo explicativo. Éste puede evolucionar a medida que se construye el conocimiento. A menudo el sujeto no es consciente de que posee representaciones. Los individuos utilizan sus esquemas con un grado de consistencia y estabilidad variable aunque significativo (Oliva, 1999).

Las concepciones tienen una génesis al mismo tiempo individual y social. Las representaciones se elaboran a lo largo de la vida del individuo a través de la acción cultural de los padres y familiares, la escuela, medios de comunicación y más tarde por la actividad social y profesional en el adulto.

- Estas concepciones se presentan asociadas a una metodología, denominada *de la superficialidad*. Que se caracteriza por respuestas rápidas, seguras y no sometidas a ningún tipo de análisis (al menos científico) (Gil y Carrascosa, 1990).
- Se han encontrado paralelismos entre la evolución de determinados conceptos en la historia de las ciencias y las ideas que los alumnos mantienen sobre ellas en su propio desarrollo cognitivo. Esto puede interpretarse como modos peculiares abordados por la mente para resolver problemas en los que los alumnos hacen uso del sentido común para analizar las situaciones que encuentran.

Los investigadores durante las dos últimas décadas se han afanado en conocer cuáles son las ideas de los alumnos sobre los más variados tópicos científicos. Pfunct y Duit (1994) inventariaron más de tres mil trabajos sobre las ideas científicas de los alumnos publicados en revistas anglosajonas. La cifra total sería enorme si se añadiesen los trabajos divulgados en otros países y diferentes lenguas. En los últimos años se está produciendo una desaceleración en el número de artículos publicados por razones que analizaremos más adelante. Gran parte de las investigaciones realizadas se han preocupado exclusivamente en señalar cuáles eran los errores más comunes cometidos por los alumnos. Han sido confeccionados catálogos muy completos y extensos sobre esas concepciones comunes, pero no existe uniformidad ni en los métodos utilizados, ni en los términos usados para referirse a las ideas previas de los alumnos sobre fenómenos científicos. El número de esas denominaciones se ha disparado llegando a casi treinta términos diferentes (Abimbola, 1988; Giordan y de Vecchi, 1988; Jiménez et al., 1994). Los más comunes son: ideas previas, concepciones alternativas, esquemas de los alumnos, errores conceptuales, equivocaciones, preconcepciones, ciencia de los alumnos, constructos, modelos mentales, ciencia del sentido común, representaciones e ideas intuitivas.

El lector se estará seguramente preguntando el origen y la razón de tan copiosa cantidad de sinónimos para referirse a las ideas previas de los alumnos. Si nos fijamos cuidadosamente en algunos de los términos mencionados, podemos comprobar que no se es igualmente respetuoso con las ideas previas cuando se las nombra con la palabra “equivocaciones” que con “ciencia de los alumnos”. El estatus que conferimos al hacer uso de un término u otro es diferente (Fig. 16.3). En efecto, podemos encontrar:

- Profesores que creen que se trata de un conjunto inconsistente de conocimientos.

En consecuencia, ven en estas ideas de los alumnos concepciones equivocadas, utilizando adjetivos sinónimos a éste para denominarlas: conceptos erróneos, interpretaciones erróneas, equivocaciones, errores, etc.

- Existen dos tendencias distintas para los investigadores que otorgan un cuerpo de conocimiento coherente a las ideas de los alumnos:
 - Aquellos que ven las ideas previas como barreras potenciales para el aprendizaje, advierten que las concepciones científicas deberán librar duras batallas con las ideas preexistentes. Los términos más utilizados son: ideas erróneas, interpretaciones erróneas, etc.
 - Otros investigadores mantienen una idea evolutiva, en la que los nuevos conceptos científicos se integran con las ideas preexistentes. Utilizan términos con connotación neutra, tales como: concepción existente, esquemas previos, concepciones o ideas previas, razonamientos espontáneos, modelos mentales, etc. Otros autores recalcan aún más la importancia de estas ideas en la estructura cognitiva del alumno, utilizando términos como: esquemas alternativos, ideas alternativas, concepciones alternativas, ciencia de los niños, etc. Indicando un cuerpo de conocimientos que puede ser diferente al de la ciencia oficial pero que tiene su propia lógica; de echo algunas de esas ideas eran similares a las que tenían las ciencias en épocas anteriores.

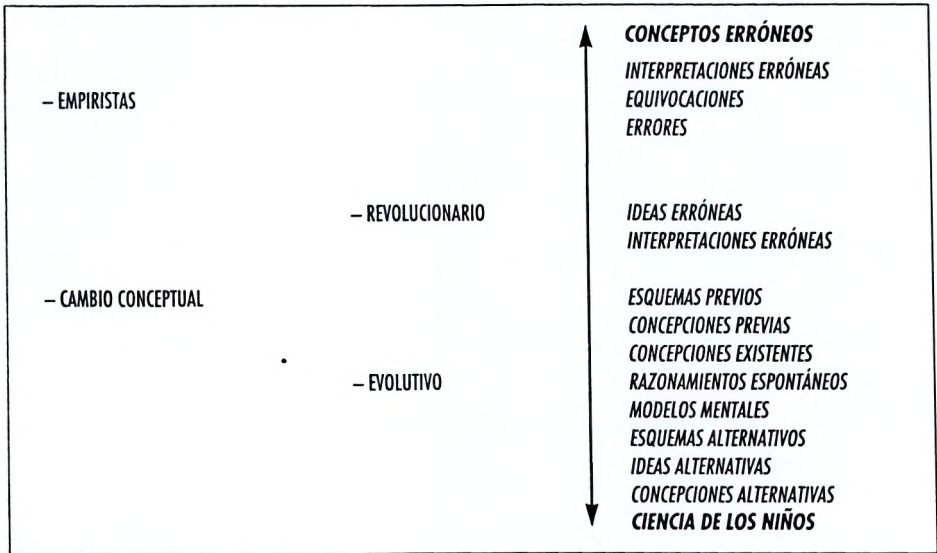


Fig. 16.3. Variedad de puntos de vista sobre las concepciones de los alumnos.

3. CONSTRUCCIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS IDEAS PREVIAS

Desde la antigüedad el hombre se viene preguntando cómo se origina y estructura el conocimiento humano. Es muy antigua la necesidad de examinar los mecanismos que

permiten al individuo acercarse a una determinada realidad y reconstruirla mentalmente. La Historia puede remontarse al siglo IV antes de Cristo, cuando Platón expone en su libro VII de La República la idea de que el conocimiento es siempre la proyección de nuestras ideas innatas. Su discípulo predilecto, Aristóteles, rechaza esta doctrina, sustituyéndola por la tabla rasa sobre la cual se van imprimiendo las sensaciones. En el siglo XVIII podemos encontrar la misma discusión, esta vez entre Leibnitz, partidario de las ideas innatas, y Condillac, defensor de la idea de una mente puramente pasiva. De cualquier forma, la mayoría de los filósofos estaban convencidos de que la lógica adulta acabaría por reemplazar de forma natural las deficiencias existentes en niños y adolescentes. Las concepciones inductivistas de David Hume establecían que las ideas eran copias de las impresiones realizadas por los sentidos.

Estas concepciones han sido superadas por el constructivismo que propugna que no hay nada en los objetos, situaciones, eventos, etc. de los que se pueda inducir ideas; éstas deben ser construidas por los individuos. Los sujetos construyen ideas, conceptos, proposiciones o esquemas a partir de los objetos, eventos y situaciones que éstos enfrentan. Cada uno lo hace desde su propia situación, de forma idiosincrásica y por tanto de forma no predecible. Sin embargo, el mundo externo no es tan diferente de unos a otros, por lo que las ideas que construyen nuestros alumnos pueden ser recogidas en un número limitado de situaciones para cada tópico estudiado, que en su mayoría evolucionan con la edad y con el nivel de instrucción recibido. Existen diferentes posiciones que abordan la construcción y evolución de las ideas previas de forma muy diferente. El programa de investigación más intuitivo, al menos para los que se inician en esta área procedente de las ciencias de la naturaleza, es posiblemente el movimiento de las concepciones alternativas.

3.1. Posiciones del movimiento de las concepciones alternativas. (M.C.A.)

La metodología utilizada por este programa suele ser inductiva y sus resultados son generalmente descriptivos, tratando de comparar las ideas de los alumnos con la de las ciencias. Driver, Guesne y Tiberghien (1985) reconocieron algunas características comunes en las ideas previas de los estudiantes:

- Inicialmente los alumnos tienden a basar su razonamiento en características observables de la situación problema. La tierra es plana para muchos estudiantes y el azúcar "desaparece" al ser disuelta en agua.
- Los estudiantes consideran aspectos muy limitados de las situaciones que enfrentan y dirigen su atención sobre las características más sobresalientes y llamativas, que a veces no son las que interesa a la ciencia.
- Los alumnos tienden a fijarse más en los cambios que en las situaciones estables. Los cambios necesitan una explicación, no así lo que permanece estable porque "es lo natural". El razonamiento utilizado para explicar los cambios parece seguir una secuencia causal lineal o método de análisis simplista.
- Algunas de las ideas de los estudiantes tienen un rango de aplicación diferente al de las científicas. Por ejemplo, la noción de peso tiene para los más jóvenes connotaciones de volumen, densidad y presión.
- Existe un determinado número de ideas, mencionadas frecuentemente en la literatura, que influye en el pensamiento de los estudiantes en situaciones muy variadas.

Para Solomon (1988), los conceptos se forman en las mentes de los alumnos de acuerdo a cuatro mecanismos bien diferenciados:

- El primero lo constituye la construcción de ideas individuales por las que los alumnos intentan encontrar explicaciones a sus experiencias personales. Esta vía de conocimientos parece más importante en aspectos de las Ciencias que por su naturaleza, llegan al alumno a través de su vida diaria (Furió, 1986). Con estos contactos previos, los alumnos intentan comprender los fenómenos que se producen a su alrededor, haciendo uso de su propio marco conceptual.
- En sus contactos, a veces ocasionales, con determinados conceptos en sus currícula, los alumnos pueden mal interpretar ideas impartidas en clase, creando ideas equivocadas que perduran en el tiempo.
- El lenguaje y la cultura de la sociedad en la que están insertos los alumnos inducen en ellos unas marcadas tendencias, como por ejemplo, frases hechas, uso incorrecto de términos, etc.
- En último lugar el conocimiento cotidiano se ve reforzado sobre el conocimiento científico debido al continuo contacto, flujo y reflujo de ideas y concepciones equivocadas que existen en nuestra sociedad.

Los resultados que han aportado los trabajos procedentes del MCA son muy importantes para la práctica educativa. Sus resultados deberíamos tenerlos en cuenta como fuente de información de lo que los alumnos traen consigo al aula. Sin embargo, sus conclusiones son eminentemente descriptivas, encontrándose relacionadas con tópicos específicos y fundamentalmente académicos. Como indican Collis et al., (1998), a estos trabajos les pasa lo mismo que a los estudios de epidemiología en medicina. Indican cuál es el problema, dónde y cómo de notable es, pero no son muy útiles para explicar las causas o dirigir el tratamiento. Por ahora, el movimiento de las concepciones alternativas no cuenta con un soporte teórico que pueda explicar y justificar sus resultados (Lawson, 1989; Niaz, 1993). Como indica Adey (1987), el MCA necesita desarrollar un modelo teórico que pueda ser refutado.

La explicación y justificación del origen y evolución de las ideas de los alumnos sobre fenómenos científicos no podemos encontrarlas en el propio conocimiento científico tal como lo conocemos ahora. Las materias que nos pueden auxiliar son la filosofía e historia de las ciencias, epistemología, psicología del aprendizaje y la propia pedagogía. Decía Stephen Hawking en su Historia del tiempo que su editor le había aconsejado no incluir fórmulas en su libro porque con cada una que pusiera reduciría el número de sus lectores a la mitad. Algo parecido nos sucede a los profesores de ciencias al leer un texto en el que aparecen algunas de las áreas antes aludidas. Todas estas materias han estado históricamente alejadas del campo de conocimiento científico del profesor de ciencias porque no forman parte de su currículum. Mi experiencia inicial, como la de cualquier profesor de ciencias, fue la de mirar con recelos lo que podían aportarme estas ciencias sociales. La experiencia a lo largo de los años me ha demostrado que estaba equivocado y que se puede aprender mucho de sus métodos y modelos. Aquí haremos mención sólo de algunos conceptos estrictamente necesarios para el desarrollo que nos ocupa. De cualquier forma, quien no desee profundizar en estos modelos, pero quiera beneficiarse de sus implicaciones prácticas, puede pasar directamente al apartado 16.4.

3.2. Posiciones epistemológicas e históricas

Bachelard (1935) escribía: “*el alumno llega a clase con conocimientos empíricos ya constituidos*”. Para él la educación científica era contemplada como un cambio de cultura; los alumnos debían obtener la capacidad de superar los obstáculos que la vida cotidiana había colocado. Las posiciones epistemológicas e históricas se basan en una conocida metáfora: los alumnos en la construcción de su propio conocimiento se comportan como científicos en sus investigaciones (Kelly, 1997). Los científicos han creado a lo largo de la historia conceptos nuevos para superar viejas concepciones. Son ejemplos, la idea de átomo de Dalton, el concepto fuerza de Newton, evolución de Darwin, etc. En este sentido es pertinente la noción de concepto estructurante de Gagliardi y Giordan (1986) que lo definen en los siguientes términos: “... *los conceptos estructurantes permiten la superación de obstáculos epistemológicos. El análisis de los principales obstáculos epistemológicos y de su superación puede permitir conocer cuáles han sido los conceptos estructurantes que entraron en juego.*”! Pág. 254)

La ciencia se ha visto en incontables ocasiones en callejones sin salida gracias al uso de ideas inapropiadas. En la superación de esos obstáculos epistemológicos han participado nuevas concepciones imaginativas que han modificado la forma de ver la cuestión, creando en muchos casos áreas de investigación nuevas. La idea que propugnan los seguidores de esta corriente es que el conocimiento de los conceptos estructurantes de las ciencias puede servir para determinar sus equivalentes en la enseñanza. Indican también que la historia de las ciencias es útil para definir los contenidos fundamentales de la enseñanza: “*Si un concepto sirvió históricamente para superar un obstáculo epistemológico, puede servir también para superar los obstáculos epistemológicos de los alumnos actuales.*”(Gagliardi y Giordan, 1986, pág. 255)

Basándose en los paralelismos alumno / investigador e historia individual / historia de la ciencia, estos investigadores apoyan la necesidad de introducir los conceptos estructurantes como contenidos fundamentales de la enseñanza. Estas posiciones epistemológicas e históricas constituyen un paso adelante sobre las del MCA, ya que prescriben los conceptos que deben formar parte del currículum y establecen un modelo de actuación didáctica como es el modelo básico de cambio conceptual, que abordaremos más adelante. Sin embargo, todo su soporte y desarrollo se basa en una metáfora que no está suficientemente contrastada, lo que puede ser válido sólo como una primera aproximación al problema.

3-3. Posiciones psicológicas

3.3.1. Piaget y las concepciones previas.

Piaget y los seguidores de su escuela han proporcionado amplios estudios sobre las ideas previas de los niños (Carey, 1988; Marín y Benarroch, 1994; Piaget, 1973; Piaget y Inhelder, 1971; Stavy, 1990). Uno de los objetivos principales de los trabajos empíricos de Piaget sobre la conservación de las cantidades ha sido encontrar habilidades relacionadas con los estadios de la mente de los niños. De acuerdo con Piaget y Inhelder (1971), las ideas intuitivas alternativas acerca de la construcción de la cantidad existen en los primeros estadios del desarrollo (estadios preoperacional e inicio del concreto). Este cuadro caracteriza el pensamiento de los niños más pequeños y desaparece cuando el pensa-

miento lógico comienza a surgir. Esta etapa es denominada por Inhelder y Piaget (1955) *estadios de las operaciones formales*, que coincide con el desarrollo intelectual de los adolescentes; se empieza a adquirir a los 11-12 años de edad y se consolida hacia los 14-15 años, aproximadamente. Las características funcionales del pensamiento formal podrían ser esquematizadas de la siguiente forma:

- Lo real es concebido como un subconjunto de lo posible, en contraposición a la etapa anterior de las operaciones concretas, en la que lo posible está subordinado a lo real.
 - Tiene carácter hipotético-deductivo. El sujeto tiene capacidad de:
 - Eliminar hipótesis admitidas hasta entonces.
 - Construir nuevas hipótesis.
- Verificar nuevas hipótesis.
- Tiene carácter proposicional. Además de expresar hipótesis razonan sobre ellas, y sobre los resultados de sus pruebas, convertidas en proposiciones, son capaces de realizar un análisis lógico utilizando la disyunción, la implicación, la exclusión, etc.

La teoría de Piaget no sostiene que los sujetos que adquieran el estadio de operaciones formales sean conscientes de ello. Más bien, la teoría afirma que dichas estructuras subyacen a la actuación de los adolescentes, de modo que constituye un modelo de lo que pueden hacer. La teoría de Piaget del desarrollo cognitivo reconoce la importancia que tiene la sociedad en la génesis del conocimiento. También indica que la interacción entre iguales (por ejemplo compañeros de clase) puede facilitar conflictos cognitivos, causando desequilibrios y eventualmente equilibrios en la mente del estudiante. Los sujetos deben pasar por una serie de etapas que les permitan elaborar sus conocimientos únicamente a partir de su propia actividad. Piaget define campos semánticos relativos a la construcción, o reconstrucción, del saber que funcionan por asimilación, acomodación y equilibración.

Algunos trabajos publicados durante la década de los sesenta hicieron modificar a Piaget (1970-73) algunos puntos de su teoría:

- Todos los sujetos considerados normales llegan a las operaciones y estructuras formales entre los 11 y 20 años de edad. Advertíase que se ha ampliado considerablemente el intervalo de adquisición de esta etapa.
- Para que se alcance el estadio de las operaciones y estructuras formales es necesario que el medio social y las experiencias adquiridas les proporcionen los alimentos cognitivos y las incitaciones intelectuales para una construcción de este tipo.
- Los individuos llegan a las operaciones formales en áreas diferentes, éstas dependen de sus aptitudes y especializaciones. La utilización de las operaciones formales no es adquirida por un individuo en todas las parcelas del conocimiento por igual.

Piaget se interesa por un individuo abstracto, el denominado “sujeto epistemológico”, y no por la persona que aprende en un sistema escolar reglado. Su interés se centra en el estudio de mecanismos generales que rigen la apropiación del conocimiento, por lo que la utilidad de su modelo para explicar hechos experimentales es muy limitada (Gilbert, y Swift, 1985; Lacasa, y García, 1987). Se enfatizan los estados de equilibrio finales, dejando de lado los aspectos dinámicos de apropiación de ese conocimiento. Son estos aspectos dinámicos realmente los únicos que pueden explicar cómo evoluciona la comprensión

de un individuo. Piaget y sus discípulos no conceden gran importancia, ni a los procedimientos de aprendizaje, ni a las estrategias educativas. Piaget soslaya los contenidos, poniendo el acento en los mecanismos fundamentales del entendimiento. Para Posner et al.(1982), las investigaciones Piagetianas deberían dar más énfasis al contenido real de las ideas previas de los alumnos y menos a su supuesta estructura lógica. Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto que los adultos también tienen concepciones alternativas muy similares a las de los niños. Hoy ya no se sustenta un modelo de desarrollo que proponga cambios en cada dominio como consecuencia de la modificación de la estructura lógica (Karmiloff-Smith, 1992).

33-2. Ideas previas y el aprendizaje según Vygotsky

Vygotsky (1962) sostiene la existencia de relaciones entre el conocimiento cotidiano de los estudiantes y el conocimiento formal. En el desarrollo de los niños se producen interacciones informales tanto con personas como con el mundo natural. El conocimiento cotidiano es el resultado de años de interacción y se encuentra profundamente enraizado en los individuos. Por otro lado, el conocimiento formal procede de la escuela y se encuentra frecuentemente en oposición con el conocimiento cotidiano. Para Vygotsky (1962) existe una continua interacción entre enseñanza y desarrollo. Vygotsky afirma que estudiar el pensamiento infantil aparte de la influencia de la instrucción, excluye una fuente de cambio realmente importante. Los primeros rudimentos de la sistematización proceden de los contactos con los conceptos científicos y sólo entonces se transfiere la sistematización al conocimiento cotidiano. Los resultados de Vygotsky y sus colaboradores les llevan a la conclusión de que el dominio de los conceptos científicos por los sujetos, promueve en ellos un aumento del nivel de los conceptos espontáneos. También afirman que un concepto espontáneo debe evolucionar hasta alcanzar un determinado nivel para que el sujeto pueda adquirir un concepto científico afin.

Vygotsky rechaza la idea de que un concepto sea sólo la suma de determinados enlaces asociativos formados por la memoria. Se trata, según él, de un acto del pensamiento complejo y genuino, que no puede ser enseñado por medio de la instrucción, sino que puede verificarse cuando el mismo desarrollo mental del niño ha alcanzado el nivel requerido. De acuerdo con Vygotsky, los conceptos tienen una jerarquía en la estructura mental de los individuos y evolucionan de acuerdo a cuatro etapas: sincrética, complejos, preconceptos y conceptos. Para Vygotsky los conceptos tienen carácter dinámico e instrumental; esto significa que en la adquisición de nuevos conceptos, éstos modifican el significado de los anteriores produciéndose una reestructuración cognitiva del sujeto. La evolución semántica no es una simple modificación de contenido en el significado, sino en su estructura y naturaleza psicológica. El siguiente párrafo refleja fielmente su planteamiento: *"La relación entre pensamiento y palabra no es nn hecho sino un proceso, un continuo ir y venir del pensamiento a la palabra y de la palabra al pensamiento, ... el pensamiento no se expresa simplemente en palabras sino que existe a través de ellas."* (Vygotsky, 1962)

Vygotsky otorga importancia a las colaboraciones profesor-alumno y alumno-alumno en el proceso de aprendizaje. Estas ideas están demostrando su validez al ser aplicadas en la práctica cotidiana en el aula. Sin embargo, la teoría de Vygotsky's (1962) no ha sido suficientemente desarrollada y falla al intentar encontrar explicación a cuestiones básicas, como por qué algunos conceptos científicos son tan difíciles de aprender (Pozo. 1989) o

cuáles son los criterios para distinguir si un concepto pertenece al sistema de las concepciones espontáneas o a la científica (Davydov, 1972, in Pozo, 1989).

3-3-3- Las ideas previas y el aprendizaje significativo de Ausubel.

Ausubel, como Piaget, asume que cada individuo organiza y estructura su propio conocimiento. En cambio, Ausubel postula que el conocimiento es estructurado en forma de red específica de conceptos. La reorganización se produce por la interacción entre la estructura mental del sujeto y la nueva información. Ausubel, Novak y Hanesian (1978) consideran que todo aprendizaje, académico o no, puede ser analizado de acuerdo a un continuo que va del aprendizaje memorístico (rutinario) al significativo. Este último se produce cuando el nuevo conocimiento es relacionado, por el que aprende, con otros conceptos relevantes dentro de su propia estructura cognitiva. La teoría del aprendizaje significativo verbal reivindica claramente la importancia del conocimiento previo de los alumnos.

Piaget concede más importancia a variables relacionadas con la edad, tales como experiencia y maduración. Para Ausubel puede existir pensamiento abstracto en un determinado aspecto siempre que el sujeto haya incorporado previamente en su esquema cognitivo abstracciones primarias de suficiente poder inclusivo que permitan la incorporación de abstracciones secundarias. La edad también influye en este planteamiento, ya que hasta una cierta edad no se va a adquirir las abstracciones primarias. La evolución de los conceptos en un sujeto es idiosincrásica y no es predecible con carácter general.

Aunque se indica la importancia de las ideas previas en el aprendizaje, no se menciona la persistencia y naturaleza de las concepciones alternativas. El modelo es útil para crear materiales didácticos en áreas en las que los alumnos no han construido ideas previas sólidas, pero su uso tiene limitaciones en escuelas elementales y en áreas conceptuales como mecánica, termodinámica, óptica, etc. donde existen ideas previas muy arraigadas. La teoría de Ausubel resalta la adquisición de conceptos pero minimiza la influencia del desarrollo de las operaciones cognitivas del individuo (Lawson, 1982; White, 1988). De acuerdo con Gil (1993), el modelo de aprendizaje significativa esboza explícitamente la asimilación de conceptos impidiendo a los estudiantes participar en la construcción de esos conceptos. El papel del profesor se convierte en proveedor de conocimientos ya preparados para que los aprendan los alumnos por recepción. Detrás de la propuesta de asimilación de conocimiento ya preparado persisten la idea del aprendizaje inductivo. Para sus críticos, la teoría de Ausubel continúa considerando los conceptos como algo externo al alumno que deberá ser “recogidos” en el proceso de aprendizaje.

4. INTERÉS DE LAS IDEAS PREVIAS PARA LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y SU TRATAMIENTO EN LAS CLASES DE CIENCIAS

Como es de esperar las concepciones previas que traen los estudiantes influyen en la comprensión de conceptos científicos en el aula. Los investigadores han detectado diversas situaciones comunes que se dan como consecuencia de la interacción entre las concepciones alternativas y las científicas impartidas:

- A veces, en el transcurso del aprendizaje pueden salir reforzadas las concepciones

alternativas. El alumno mal interpreta, o adapta a su antojo, las ideas o conceptos impartidos por el profesor fortaleciendo los que él ya poseía.

- En otras ocasiones pueden mezclarse con las concepciones científicas; ambas concepciones pueden permanecer en la mente de los alumnos incluso siendo contradictorias.
- Las concepciones alternativas pueden persistir tras numerosos años de estudio de la materia aportando el alumno un lenguaje algo más técnico pero permaneciendo su punto de vista esencialmente inalterado.
- El alumno rechaza o renuncia a utilizar el punto de vista del profesor como alternativa para ver el mundo, pero admite que debe estudiarlo con fines académicos exclusivamente. Ambas concepciones coexisten pero son utilizadas en contextos diferentes. El punto de vista científico sólo será usado en aquellas situaciones idénticas a las estudiadas en clase; utilizando la concepción alternativa si percibe el alumno que la situación o el contexto es extraescolar.
- O finalmente, puede prevalecer el punto de vista científico. En tal caso se ha conseguido el principal objetivo de nuestra labor docente, acercando el punto de vista de los alumnos a la perspectiva científica.

No cabe duda que un buen conocimiento de esas concepciones, por parte de los investigadores y profesores dedicados a la innovación curricular, aportaría una valiosísima herramienta que ayudaría a determinar qué actividades son necesarias para la adecuada asimilación de ciertos conceptos. Esta tarea es más fácil de enunciar que de llevar a la práctica, ya que las concepciones de los alumnos suelen tener una lógica interna diferente a la de la ciencia. El cuadro se complica si consideramos que en un determinado grupo escolar puede haber numerosas concepciones alternativas coexistiendo. Todas estas dificultades no han desanimado a los investigadores que han diseñado numerosas estrategias para hacer frente a las ideas previas.

4.1. Modelo de cambio conceptual

Un método que ha destacado en los últimos años es el del cambio conceptual, debido a Posner et al. (1982), recientemente revisado por Strike y Posner (1992). En síntesis sugieren cuatro condiciones para que se pueda establecer un cambio de concepción en los alumnos:

- a) Éstos deben encontrarse *insatisfechos* con sus propias concepciones. Los autores creen que si se logra esta situación los alumnos estarán necesitados de nuevas concepciones y se mostrarán receptivos por recibirlas.
- b) La nueva concepción debe ser *comprensible*. Se impediría la posibilidad de apropiación y maduración de la nueva idea si no fuera entendible por los alumnos.
- c) La nueva concepción debe resultar *plausible*. La concepción presentada deberá resolver de forma satisfactoria los problemas que la anterior no resolvía.
- d) La nueva concepción debe ser *fructífera*. Al ser aplicada a nuevas situaciones deberá resolverlas con éxito.

La celebridad alcanzada por el modelo de cambio conceptual se ha debido, sin duda, a las condiciones que rodearon su aparición. Por aquel entonces comenzaron a surgir

numerosas investigaciones sobre ideas previas de los alumnos y no existía un método claro de actuación en el aula. Los investigadores sentían *insatisfacción* con los planteamientos didácticos, tanto prácticos como teóricos, seguidos hasta entonces por los docentes. El modelo de cambio conceptual resultaba muy intuitivo, fácilmente *comprendible* y aparentemente bastante razonable en sus planteamientos. El modelo enlazaba bien con los conocimientos de los profesores sin la necesidad de que poseyeran grandes conocimientos sobre epistemología o psicología. Rápidamente se comprendió que el modelo de cambio conceptual podía constituir una herramienta valiosa para enfrentarse a las ideas previas de los estudiantes y ofrecer alternativas diferentes a las tradicionales. Se realizaron experiencias pedagógicas basadas en este modelo que resultaron prometedoras. El modelo resultaba por tanto *plausible* en su pretensión de mejorar el aprendizaje de los alumnos a los que iba dirigido. Desde entonces se han venido realizado numerosas experiencias didácticas en áreas del conocimiento muy dispares, desde la dinámica física (Hewson y Heeth, 1995) hasta la teoría de la evolución (Demastes et al., 1996), pasando por la enseñanza de las disoluciones (Sánchez et al., 1997), la óptica geométrica (Perales y Nievas, 1995) y la teoría de la relatividad (Toledo et al., 1997), entre otras.

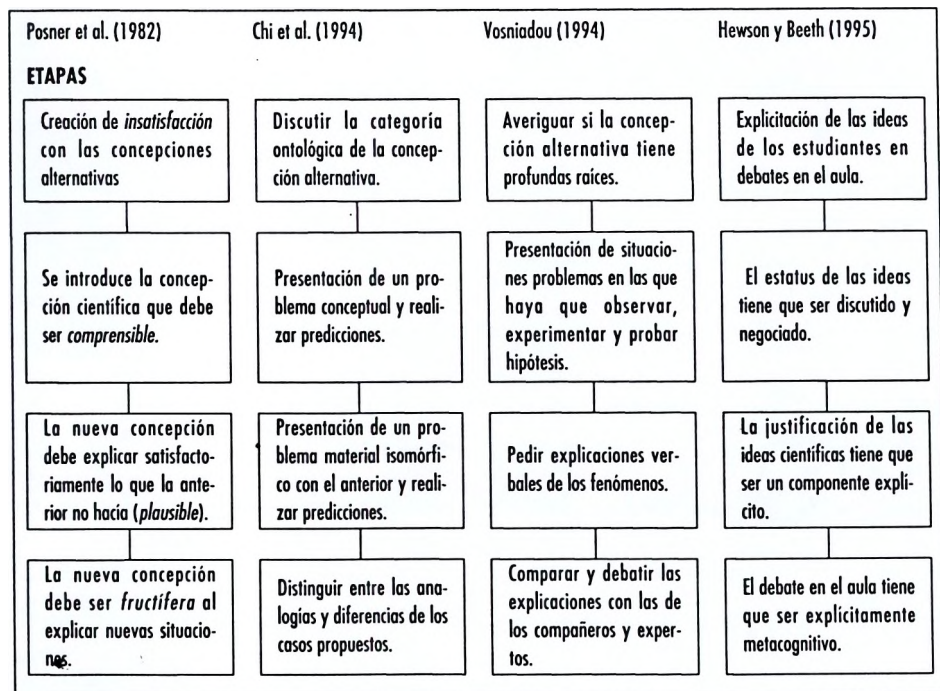


Figura 16.4 Modelos de enseñanza basados en el cambio conceptual.

Los autores del modelo de cambio conceptual indican que se trata de un modelo de aprendizaje y que por tanto no prescribe un tipo concreto de enseñanza. Se han pro-

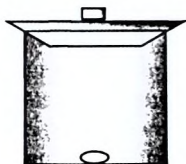
puesto numerosas estrategias prácticas de enseñanza (Fig. 16.4) basadas en el modelo de cambio conceptual. Los diferentes modelos de enseñanza mediante cambio conceptual parten de un punto común, las ideas previas que traen consigo los estudiantes. Plantean cuestiones o actividades para que exterioricen sus concepciones aplicándolas en las actividades concretas. A continuación son introducidas cuestiones en las que al utilizar los estudiantes dichas ideas llegan a situaciones imposibles o claramente erróneas. Se les hace percibir a los alumnos la existencia de conflictos para que puedan aceptar las concepciones científicas que el profesor va a impartir a continuación. Por último se aplica el esquema científico a nuevas situaciones con resultados coherentes.

A modo de ejemplo ilustrativo, en la Fig. 16.5 se recogen algunas actividades para la enseñanza del modelo cinético para gases. Esta secuencia está diseñada para alumnos de 14 años de edad. Con las tres primeras actividades se pretende que los alumnos exterioricen sus concepciones alternativas (generalmente diferentes a las científicas). Con la cuarta cuestión se pretende que los alumnos razonen haciendo uso de varios modelos incompatibles entre sí, y sean conscientes de sus propias concepciones. La gran cantidad de trabajos publicados con relación a las ideas previas de los alumnos puede servir de guía para plantear actividades que ayuden a predecir los posibles patrones de razonamiento de los alumnos. Sin desestimar la creatividad de los profesores que construyen sus propios materiales didácticos o realizan libros de texto, los trabajos existentes constituyen una enorme fuente de información que debe ser conocida y utilizada por los autores de libros de texto. Con la quinta actividad, los alumnos deberán comprobar que las concepciones alternativas no resultan plausibles; se pretende crear insatisfacción y descontento con las mismas. Introducimos a continuación las ideas básicas del modelo cinético-molecular. Con la sexta actividad deberán comprobar que resultan plausibles las concepciones científicas al ser aplicadas a una situación común. Con la séptima cuestión pretendemos que los alumnos piensen que el modelo cinético-molecular es fructífero al ser aplicado a situaciones completamente nuevas para los alumnos.

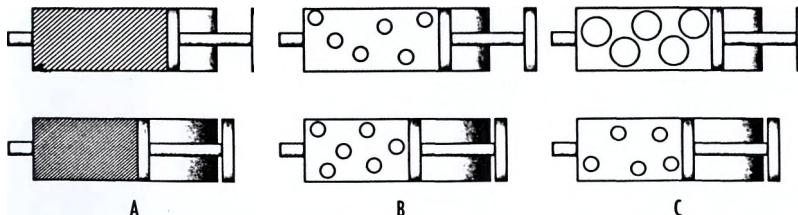
Siguiendo estas etapas se puede confeccionar unidades didácticas e incluso materias completas. En el mercado editorial ya comienzan a aparecer libros de texto siguiendo éstas u otras indicaciones parecidas. Los profesores que utilizan en sus clases este tipo de material se muestran muy satisfechos con sus resultados; aunque, suelen indicar que han tenido una predisposición especial y que invirtieron bastante tiempo en su propia preparación didáctica. Añaden también, que no todos los profesores están dispuestos a realizar ese esfuerzo. El lector puede realizar una transposición de lo que le ocurre como profesor ante un método didáctico novedoso y lo que le pasa a los alumnos ante un material de estudio nuevo. ¿El profesor va asimilar y aplicar en lo sucesivo estas directrices porque varios miles de expertos en el mundo digan que es el mejor método y el más contrastado que tenemos? Sería ingenuo creerlo así. Las razones involucradas en la toma de conciencia de que un producto es mejor que otro, y las posteriores decisiones consiguientes, no son puramente racionales. Afectan experiencias previas, intereses, actitudes y un largo etc. de variables muy variopintas. Algo parecido les sucede a los alumnos, ¿por qué van a hacer suyas las nuevas ideas impartidas por el profesor? El principio de autoridad debe ser más fuerte en los alumnos que en los profesores, pero estamos hablando de interiorizar concepciones científicas, no de aprenderlas de memoria. Con más frecuencia de la que creemos, los alumnos aprenden la materia sólo con fines académicos sin modificar casi nada sus propias concepciones. El proporcionar sólidos argu-

mentos puede ayudar a convencerlos. Suele ser una experiencia bastante provechosa el colocarse en el lugar de los alumnos; experiencia ésta de la que se puede sacar buenas lecciones.

- A1.— A) En las cocinas se suele tener bombonas de butano. ¿En qué fase se encuentra este butano?
 B) Imagina que la cocina está completamente cerrada y que la bombona tiene un escape. La masa de todo el butano será:
 a) La misma de antes del escape. b) Ha disminuido porque ahora ocupa más volumen.
 c) Ha aumentado porque el volumen es mayor. d) Otra respuesta. Explicala.
- A2.— A) ¿Crees que es posible pasar el gas oxígeno, o el aire, a líquido (licuar)?
 B) A veces podemos ver por las carreteras camiones cisternas especializados en transportar oxígeno. ¿En qué fase crees que lo transportan?
- A.3.— En un recipiente como el de la figura, colocas un poco de lodo en el fondo. Tras unos momentos de calentamiento observas la producción de un vapor espeso de color violáceo que se condensa en la tapadera del recipiente. Contesta las cuestiones siguientes:
 A) ¿De qué sustancia está formada el vapor violáceo?
 B) ¿Cómo llega a la tapadera y por qué se deposita en ella?
 C) ¿Cuál es, comparativamente, la masa del conjunto antes, durante y después del calentamiento?



- A4.— Con una jeringa puedes comprobar que los gases son fácilmente comprensibles. Los alumnos de una clase dieron las siguientes explicaciones a este fenómeno. Escoge la que creas más conveniente:
 a) A los gases les pasa como a las esponjas que al apretar se comprimen.
 b) Existe mucho espacio libre entre las partículas que forman los gases, al comprimirlos se reduce este espacio.
 c) Las partículas que forman el gas reducen su tamaño al ser comprimidas.
 d) Otras explicaciones. Coméntala y propón un dibujo si es diferente a las anteriores.



A5- Una vez elegido un modelo entre los anteriores, intenta explicar lo ocurrido en las actividades A1 a A3.

Los científicos después de muchos años de investigación consideran que el mejor modelo para explicar las propiedades de los gases es el modelo cinético-molecular. Éste parte de un conjunto de ideas básicas: 1. El gas está formado por partículas. 2. Las partículas están en continuo movimiento de forma desorganizada. 3. El número de partículas en un determinado volumen es extraordinariamente grande. 4. Las partículas de un gas determinado son idénticas en fase gaseosa, líquida y sólida. 5. El volumen de esas partículas es tan pequeño que lo consideramos despreciable frente al volumen total que ocupa el gas. 6. No existen fuerzas entre las partículas. 7. No se pierde ni se gana energía cinética en los choques. 8. La presión del gas es el producto de los choques de las partículas sobre las paredes del recipiente que las contiene. 9. La temperatura del gas está directamente relacionada con la energía cinética media de las partículas.

A6.- Cerramos el erlenmeyer de la figura de abajo y por la boca lateral colocamos un globo desinflado. Seguidamente calentamos el matraz. Realiza un dibujo indicando cómo se distribuyen las partículas del aire. Aplica las ideas básicas del modelo cinético molecular.



A7- Moja un trozo de algodón en una disolución de HCl y otro algodón en NH_3 , a continuación colócalos simultáneamente en los extremos de un tubo transparente tal como se indica en la figura. En pocos segundos se aprecia una nube blanca espesa en la zona más próxima al HCl. Intenta encontrar una explicación satisfactoria sabiendo que la $E_c = 1/2 m \cdot v^2$ y que la masa molecular del HCl es de 36.5 y del NH_3 , es de 17.

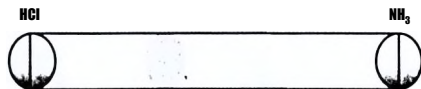


Figura 16.5. Ejemplo de secuencias de actividades para la enseñanza del modelo cinético-molecular para gases.

4.2. Utilización de la historia de las ciencias

La historia de las ciencias nos muestra la gran dificultad que la comunidad científica ha tenido para aceptar nuevos hechos y teorías. El conocimiento de la evolución del pensamiento científico a través de sus conceptos más importantes puede tener un valor cultural similar al de la historia del arte, por ejemplo. Por este motivo debería tener garanti-

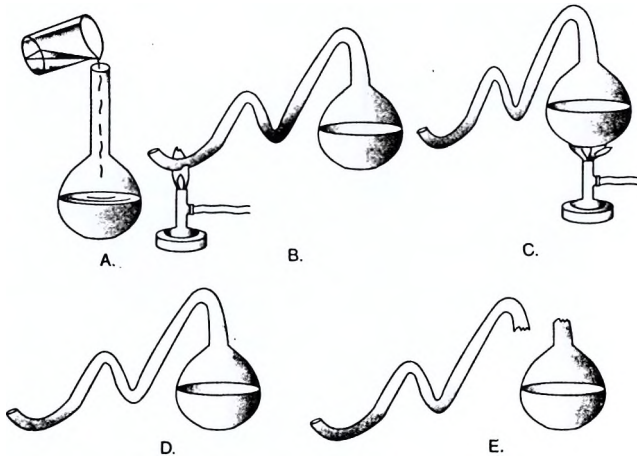
zado un lugar en el curriculum escolar. Por otro lado, ese conocimiento puede mejorar la actitud de los alumnos hacia la ciencia y facilitar la comprensión de cómo se hace y cómo evoluciona ésta. La hipótesis de que la mente de los alumnos funciona como la de los investigadores se ve apoyada por el hecho de que se han encontrado paralelismos entre la evolución de algunos conceptos en la historia de las ciencias y esos mismos conceptos en el desarrollo cognitivo de los alumnos, por ejemplo la estructura interna de la materia (Furió, et al., 1987) y, la electrostática y electrodinámica (Benseghir y Closset, 1996), entre otros. De acuerdo con esa hipótesis, científicos y alumnos utilizan modos peculiares, y no demasiado diferentes, para resolver los problemas ofreciendo explicaciones que les parecen satisfactorias. Se ha sugerido que si se introdujera en los currícula la evolución histórica de los conceptos en los que los alumnos mantienen “ideas erróneas intuitivas”, podría ayudar a reorganizar y apreciar lo inadecuado de sus propias ideas. Gallegos (1998) propone integrar la enseñanza de la evolución histórica de determinados conceptos en el modelo de cambio conceptual. La secuencia propuesta consta de los siguientes pasos: a) Explicitación de las ideas previas de los alumnos, b) Seguimiento de la evolución histórica del concepto, c) Discusión didáctica de esas concepciones, y d) elaboración de una definición apropiada.

En la Eig. 16.6 se recoge una secuencia de enseñanza-aprendizaje que sigue estas líneas maestras. El fragmento elaborado sobre la obra de Louis Pasteur debe ir precedido de, las ideas aristotélicas sobre la generación espontánea, la experiencia del italiano Francesco Redi (siglo XVII), perfeccionamiento del microscopio por Antón Leeuwenhoek, la polémica entre Lazzaro Sallanzani y John Needham en el siglo XVIII, entre otros. Nos centramos en la discusión y argumentación de las diferentes partes de las que constaba la experiencia. Unos grupos de alumnos deberán encontrar razones a favor de la biogénesis y otros en contra; además, diseñarán experiencias con las que comprobar o refutar sus hipótesis, indicando qué resultados esperan encontrar.

Los investigadores aconsejan no utilizar fragmentos históricos de las ciencias que den una visión continuista y acumulativa del conocimiento. Indican que son más interesantes los textos que mencionan los argumentos utilizados por los seguidores de las teorías vencedoras para socavar los planteamientos de las teorías precedentes. Algunos profesores se muestran muy satisfechos con los resultados obtenidos al utilizar fragmentos de textos históricos en sus clases. Estos profesores justifican su decisión gracias al papel que ejercen estos fragmentos en la facilitación de la comprensión de los conceptos e incluso en la mejora de la actitud de los alumnos hacia el aprendizaje.

Los intereses de los profesores, científicos e historiadores de las ciencias no son los mismos. Con frecuencia se han simplificado fragmentos de la historia de las ciencias para adaptarlas al corto tiempo de que se dispone en clase o, y es lo más grave, adaptar la historia de las ciencias a las concepciones del autor. Los historiadores de las ciencias indican los potenciales peligros que estos relatos tienen por su simplificación excesiva, su reconstrucción desde posiciones actuales y su interpretación desde la visión filosófica del autor. Los ruegos de los investigadores que reclamaban una mayor atención para la historia de las ciencias han comenzado a dar sus frutos. Algunos libros de texto están introduciendo entre sus páginas pasajes, más o menos amplios, de la historia de las ciencias. Por otro lado, el nuevo curriculum de segundo de bachillerato oferta, de forma optativa, la asignatura de historia del pensamiento científico, donde se podrá desarrollar con mayor detalle aspectos concretos de las ciencias.

Louis Pasteur (1822-1895) elaboró un extraordinario experimento con el que pretendía contradecir la teoría de la generación espontánea. Con anterioridad ya había demostrado que el aire contiene una enorme cantidad de microorganismos que pueden contaminar cualquier material nutritivo sometido a observación. Ideó los famosos frascos de 'cuello de cisne', en los que colocaba en su interior líquidos nutritivos. A partir de los experimentos de Pasteur, la teoría de la generación espontánea fue prácticamente destruida. En la actualidad ha sido completamente abandonada por los científicos.



A. El líquido nutritivo es colocado en un matraz de cuello largo.

B. El cuello es retorcido de manera que se transforme en un 'cuello de cisne'.

C. Se hierve la solución nutritiva.

D. La solución permanece estéril durante meses.

E. El cuello se rompe y el aire entra en contacto con la solución. Los microorganismos proliferan.

A.1. Se formarán grupos de 4 ó 5 alumnos. Unos grupos deberán encontrar argumentos a favor de la biogénesis y otros en contra. Además diseñarán diferentes experiencias para poder confirmar cada una de sus hipótesis.

Figura 16.6. Ejemplo de secuencias de actividades para la enseñanza de los esquemas biogénesis vs. abiogénesis.

5. PROBLEMAS PLANTEADOS Y NUEVAS TENDENCIAS

Dos décadas de estelar preponderancia de las investigaciones sobre ideas previas de los alumnos en los programas de investigación de didáctica de las ciencias de medio mundo, han proporcionado una información muy valiosa para profesores e investigadores. Gran parte de las investigaciones realizadas se han preocupado exclusivamente de detectar cuáles eran los errores más comunes cometidos por los alumnos en áreas con-

cretas de determinados niveles. Tras estas dos décadas, se tiene la sensación*de que el campo de investigación de las ideas previas está comenzando a saturarse y que ya no resulta fácil encontrar un área nueva para investigar. Se han confeccionados catálogos muy completos y extensos sobre esas concepciones, en términos, muchos de ellos, de aciertos y errores, sin entrar en detalles sobre las causas que los originan. La orientación de ese gran volumen de información es en gran medida empírica desde los puntos de vista teórico y metodológico.

A medida que se ha ido acumulando más y más información ha crecido la necesidad de interpretarla de una forma más fundamentada, analizando los posibles patrones de razonamientos utilizados por los alumnos. Como afirman Pintó et al., (1996), el propósito es parecido al que llevó a dar cuenta de la gran diversidad de sustancia mediante un número limitado de elementos químicos. Si lo expresamos con otra analogía, sería algo parecido a confeccionar un extenso volumen que recopile la flora y fauna de una región sin preguntarse por las razones que han producido tal variedad. En nuestro caso echamos en falta una *teoría sobre la evolución de las especies de Darwin*. Es decir, un modelo suficientemente consensuado que pueda dar cuenta de por qué se producen las ideas, cómo evolucionan, por qué influye tanto el contexto en las respuestas dadas por los alumnos, qué tipo de lógica interna tienen, etc. En fin, un modelo del que puedan deducirse los datos experimentales encontrados y que éstos puedan servir para refutar el modelo. La falta de una teoría unificada sobre el aprendizaje es en gran medida culpable de la dispersión teórica y metodológica, así como del uso de una terminología excesivamente prolija que está dificultando el entendimiento entre los diferentes grupos de investigadores. Tras la fulgurante aparición de numerosos trabajos de investigación sobre ideas previas, se está abriendo paso a una nueva época más sosegada, con menor volumen de publicaciones en esa línea, pero con una orientación más analítica y con mayor fundamentación metodológica y teórica.

Entrar en mayores detalles excedería las necesidades de este capítulo; sin embargo, están haciendo aparición modelos procedentes de variadas fuentes, que el lector interesado en profundizar puede consultar si lo desea. Con raíces en la psicología cognitiva podemos citar el modelo de aprendizaje generativo de Osborn y Wittrock (1985), el de los modelos mentales de Johnson-Laird (en Greca y Moreira, 1998), el de las teorías implícitas (Pozo y Gómez, 1998); el modelo De Kleer y Brown (en Pintó et al., 1996) procedente de la inteligencia artificial; el modelo de Posada (1996a,b) que integra importantes ideas psicológicas y pedagógicas; el modelo alostérico de Giordan (1996); entre otros. Todos estos modelos se encuentran en estudio, sus ideas están evolucionando y no son asumidos aún por extensos grupos de investigadores. Son paradigmas que pugnan entre sí en un área cuyos modelos más importantes están perdiendo supremacía.

La evolución sufrida por las diferentes propuestas de cambio conceptual corre pareja al desarrollo de investigaciones que han tenido como objeto el estudio de las posibles modificaciones de las ideas previas de los estudiantes a lo largo del sistema educativo. Lis primeras versiones de cambio conceptual eran bastante ingenuas; tras unos pocos ejemplos en clase de creación de conflictos con las concepciones previas y posterior introducción de las concepciones científicas, pretendían que los estudiantes las asimilaban a sus esquemas conceptuales (acomodación cognitiva). Las premisas básicas postuladas para el cambio conceptual son bastante simples, y sin embargo, el aprendizaje humano se muestra bastante esquivo en lo que toca a su comprensión. Algunos investigadores

(Duschl y Gitomer, 1991; Méheut; 1997; Noli y Scharmann, 1997; entre otros) han encontrado que ciertas concepciones alternativas vuelven a surgir, cuando se creía que habían desaparecido después de seguir una enseñanza basada en el cambio conceptual. Este hecho puede interpretarse como posibles errores del modelo al no contemplar cada variable interviniente en el proceso enseñanza-aprendizaje, o al menos, no se han tenido en cuenta las más importantes y por tanto la enseñanza tampoco las contempla.

En efecto, una nueva versión del modelo de cambio conceptual debida a Strike y Posner (1992) establece que hay que tener en cuenta además, factores motivadores en el alumno y ponderar el papel que tienen las concepciones previas (*estatus*) en el conjunto de las restantes concepciones, ya que forman un complejo sistema que se ha venido en llamar *ecología conceptual*. El *estatus* que tienen sus propias ideas para el estudiante es una indicación de su inteligibilidad, de su plausibilidad y de su utilidad. La *ecología conceptual* comprende otros conocimientos que tiene el estudiante y que interactúan con esas ideas en el proceso de determinación y de cambio de su estatus. El sencillo modelo inicial de cambio conceptual se ve en gran medida enriquecido al tener en cuenta estos dos conceptos importantes. Estas dos variables son de naturaleza claramente psicológicas. Y es que un modelo puramente epistemológico forzosamente constituye un modelo incompleto y bastante restrictivo en su forma de contemplar la realidad del aula.

Hewson y Beeth (1995) proponen la secuencia de enseñanza de la Fig. 16.4 Estos investigadores desarrollan las ideas de Strike y Posner (1992). En primer lugar indican que se debe animar a los estudiantes para que expongan, a través de actividades confeccionadas a tal fin, sus propias ideas. Éstas deben formar parte explícita e importante del debate en el aula. El estatus de las ideas previas de los alumnos debe disminuir y el de las concepciones científicas aumentar en el transcurso de la enseñanza. Es necesario negociar y discutir ambas concepciones con el fin de enriquecer la ecología conceptual de los estudiantes y "dinamitar" los fundamentos que sustentan las concepciones alternativas. La introducción de las ideas científicas debe ser, por tanto, justificada de forma explícita. Se deberá argumentar la necesidad de introducir nuevos conceptos e ideas pues de lo contrario se correrá el riesgo de no realizar un verdadero aprendizaje con cambio conceptual. El debate en el aula tiene que ser explícitamente metacognitivo, es decir, los alumnos deberán ser conscientes de que están modificando y actuando sobre sus propios conocimientos y procesos mentales.

El modelo de enseñanza mediante cambio conceptual, en sus múltiples variantes, redistribuye el papel de los participantes en el aula. El profesor se convierte en un dinamizador y facilitador del proceso de enseñanza-aprendizaje. El alumno es el responsable de su propio aprendizaje; los estudiantes deberán cambiar sus hábitos de estudio hacia aprendizajes más reflexivos y menos memorísticos. El clima en el aula debe facilitar el debate libre de ideas sin coacciones tanto en pequeños grupos, como en puestas en común. Se espera que profesores e innovadores curriculares comprendan que el aprendizaje se hace mucho más lento cuando se trabaja con las ideas previas de los estudiantes. En consecuencia, los currícula de ciencias no deben ser tan ambiciosos como hasta ahora en el desarrollo de sus extensos contenidos. El resultado es una mejor comprensión y utilización de las concepciones y métodos usados en ciencias. Algunos investigadores han venido a plasmar estas ideas didáctica en una expresión matemática "menos por menos es más". Con ella quieren indicar que aunque hay algunos inconvenientes iniciales, el resultado final compensa el esfuerzo invertido.

6. ACTIVIDADES

- 1.— Realiza una encuesta entre compañeros y amigos sobre:
 - a) Las causas que originan la existencia del invierno y el verano.
 - b) Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo arrojado hacia arriba cuando está: subiendo, en su punto más alto y bajando.
Una de las dos la vas a realizar en forma de entrevista oral y la otra mediante un cuestionario escrito.
- 2- Analiza las ventajas y dificultades encontradas en la realización de la encuesta con las metodologías de entrevista oral y cuestionario escrito de la actividad anterior.
- 3- Escoge un tema a tu elección y diseña dos cuestiones. La primera redactada de forma que trate de obtener conocimiento puramente académico del alumno, y la segunda que sea capaz de extraer ideas previas.
- 4- Busca en la bibliografía las líneas generales que han marcado la evolución científica de un concepto elegido por ti. Realiza una búsqueda bibliográfica, en las principales revistas de didáctica de las ciencias, sobre las concepciones de los alumnos acerca de ese tópico. Establece analogías y diferencias entre las concepciones de los alumnos y su evolución en la historia de la ciencia.
- 5 - Elige un concepto científico con el que pueda existir concepciones alternativas en los alumnos y realiza una secuencia de al menos 7 actividades siguiendo el modelo de cambio conceptual para enseñar dicho tópico.
6. - Con el concepto científico desarrollado en la actividad 4 confecciona una secuencia de al menos 6 actividades para enseñar ese tópico siguiendo un modelo de cambio conceptual con una clara orientación evolutiva histórica.
7. - Elige un artículo de investigación actual sobre ideas previas de los alumnos e intenta encontrar otro sobre ese mismo tema pero de hace diez o quince años. Busca analogías y diferencias en cuanto a la metodología utilizada, soporte teórico, elección de la muestra, análisis de las cuestiones planteadas, análisis de los resultados y cuantos aspectos te resulten reseñables.

7. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA COMENTADA

GUI, M.T.H., SLOTTA, J.D. y de LEEUW, N. (1994). From things to precesses: A theory of conceptual change for learning Science concepts. *Leaming and Instrction*, 4, 27-43. Artículo en lengua inglesa de lectura necesaria para aquellos lectores que quieran profundizar en los nuevos modelos de cambio conceptual más centrados en las categorías ontológicas de las concepciones alternativas de los alumnos. De acuerdo con este modelo el problema de las ideas previas surge como consecuencia de que el concepto en cuestión está mal asignado por el alumno a una categoría.

DRIVER, R., GUESNE, E., y TIBERGHEN, A. (1985). *Children's ideas in Science*. Glasgow: Open University Press. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Ed. Morata M.E.C., 1989.

Es un libro de fácil lectura que aborda las ideas más sobresalientes del Movimiento de las concepciones alternativas (MCA). Tiene varios capítulos sobre las ideas de los alumnos en áreas concretas de las ciencias como la luz, circuitos eléctricos simples, calor y temperatura, fuerza y movimiento, el estado gaseoso, la estructura interna del estado gaseoso, la conservación de la materia, la tierra y los cuerpos cósmicos. Es un texto de obligada lectura que ha marcado en gran parte las líneas generales de la investigación en ideas previas.

GIORDAN, A., y de VECCHI, G. (1988). *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla: Diada.

Este manual recalca los problemas que la enseñanza científica tradicional acarrea. Establece la existencia de obstáculos en la apropiación del saber. Hace un repaso de diferentes marcos teóricos para enjuiciar las concepciones previas, enjuiciando distintos métodos de recogida de la información y la forma de catalogar las concepciones. En los últimos capítulos se realiza la utilización didáctica de las concepciones como instrumento de integración y decisión áulica.

POSADA, J. M. de (1996b). Hacia una teoría sobre las ideas científicas de los alumnos: Influencia del contexto. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 303-314.

Trabajo que profundiza en las diferencias entre conocimiento académico y experiencia de los alumnos y cómo éstos perciben el contexto en el que deben utilizarlo. Se estudian los elementos de la memoria declarativa y procedimental usados y cómo estos interactúan para dar una respuesta satisfactoria por parte de los alumnos a las diferentes cuestiones que se les proponen. De acuerdo con este modelo, las ideas previas tienen su propio dominio dentro de la memoria declarativa y ponen en juego sus propios métodos de análisis para generar nuevas ideas.

POZO, J.I. y GOMEZ, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencias*. Madrid: Ed. Morata

Texto necesario para los lectores que deseen profundizar en los modelos teóricos interpretativos sobre las ideas previas. En su capítulo IV aborda el origen de las concepciones alternativas diferenciando según su origen sensorial, cultural y escolar. Desarrolla las ideas del modelo denominado teorías implícitas. Según dicho modelo bajo las ideas previas subyacen: a) una causalidad lineal y simple en un solo sentido que va de los agentes a los objetos sin tener en cuenta la interacción entre los sistemas; b) nociones cualitativas o cuantitativas erróneas; c) transformaciones y cambios frente a conservación y equilibrio.

VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.

El modelo de cambio conceptual viene siendo criticado por esta autora que indica que ese cambio no puede realizarse de forma repentina. Hay que distinguir entre la teoría ingenua marco del individuo y las teorías específicas que queremos enseñar y que el alumno las reinterpreta desde su propio marco general. El cambio