

SUMMARY

Authors claim the value of Kelly's personal constructed theory and, starting more specifically, from so-called "Comillares de Modulation and Fragmentation" of the constructed, they analyze some examples in the learning of science concepts to finally arrive at certain implications in the conception of the conceptual change.

RESUMÉ

Les auteurs revendentiquent la valeur de la théorie des construits personnels de Kelly et à partir, plus précisément, des aussi-appelés "Comillares de Modulation et de Fragmentation" des construits ils analysent quelques exemples dans l'apprentissage de concepts des sciences, pour finalement arriver à des certains implications dans la conception du changement conceptuel.

La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales ()*

Miguel Ángel Gómez Crespo
I.B. Victoria Kent

Torrejón de Ardoz (Madrid).
Juan Ignacio Pozo, Angeles Sanz y Margarita Limón
Facultad de Psicología
Universidad Autónoma de Madrid.

RESUMEN

En este artículo describimos tres núcleos conceptuales que permiten agrupar gran parte de las ideas previas que los adolescentes tienen sobre la química y de las dificultades que encuentran en su estudio. Estos tres núcleos -naturaleza discontinua de la materia, conservación de propiedades no observables y la identificación de relaciones- pueden interpretarse como estructuras cognitivas de grado intermedio entre los estudios generales descritos por Piaget y las concepciones específicas del alumno sobre la química.

Introducción

La inmensa mayoría de las investigaciones realizadas en las últimas décadas en torno al aprendizaje y la enseñanza de las ciencias se han basado en el supuesto, asumido también en el Diseño Curricular Base del M.E.C., de que el alumno consigue sus conocimientos científicos mediante su propia actividad intelectual, basada en la activación de sus conocimientos o ideas previas. De este supuesto constructivista se deriva la necesidad de conocer -y por lo tanto investigar- las ideas con las que los alumnos llegan a las aulas de

ciencias. En el presente trabajo se ofrece

un modelo interpretativo de las ideas con que los alumnos se acercan al mundo químico, que además de proporcionar una síntesis de las principales dificultades conceptuales a las que deben enfrentarse los alumnos para comprender la química, intenta ofrecer criterios útiles para la secuenciación de los contenidos en los futuros currículos de Ciencias de la Naturaleza y,

más concretamente, de Química.

(*) El presente trabajo ha sido posible gracias a la financiación concedida por el C.I.D.E. dentro del Concurso Nacional de Proyectos de Investigación Educativa de 1988, a una investigación realizada por los autores. Su contenido queda recogido en una reciente y amplia publicación de los autores (Pozo et al., 1992).

años se han publicado, en el nuestro y en otros países, cientos de artículos sobre las ideas, persistentes y tenaces, que los alumnos tienen con respecto a las más variadas áreas de la ciencia. Pero si hay un abundante consenso con respecto al "constructivismo", este consenso se rompe fácilmente en cuanto intentamos precisar un poco más su significado. Recordando la célebre frase de Ausubel, Novak y Hanesian (1978), hay diversas formas de "averiguar" y conceptualizar "lo que el alumno ya sabe", de las cuales se derivan implicaciones sustancialmente distintas con respecto a la concepción del D.C.B. de Ciencias de la Naturaleza en opciones curriculares determinadas. No se trata ya tanto de defender o justificar la opción del constructivismo cuanto de precisar en qué consiste. Al igual que Rivière (1987) ironiza con respecto a la Psicología Cognitiva, debemos plantearnos, ahora que "casi todo el mundo es constructivista", qué tipo de constructivismo se corresponde con cada opción.

Los conocimientos previos de los alumnos (estudios generales o ideas aisladas?)

Aunque existen otras variantes (véase Freyberg y Osborne, 1985), en nuestra opinión ha habido en la últimas décadas dos formas fundamentales de investigar "lo que el alumno ya sabe" sobre las ciencias, que han tenido una notable influencia en los desarrollos curriculares en este área. Se trata por un lado de la teoría piagetiana de las operaciones formales (Inhelder y Piaget, 1955; Shayer y Adey, 1985), basada en la existencia de estudios generales de desarrollo cognitivo, que determinarían en gran medida los niveles de comprensión de los alumnos en áreas cimiculares específicas y, por otro, del más

reciente enfoque de las *ideas previas* o concepciones alternativas de los alumnos sobre los fenómenos científicos (por ej., Archenholt et al., 1980; Drivet, Guasch y Tibergien, 1985; Herranzuelo y Moreno, 1988), que parte del estudio aislado de diferentes ideas en dominios distintos, sin establecer apenas conexiones o vínculos entre la construcción de distintos conceptos ni siquiera dentro de la misma área del currículo.

Aunque ambos enfoques coinciden en algunos supuestos básicos (constructivismo, aprendizaje a partir de los conocimientos previos, etc.) difieren en otra serie de supuestos igualmente importantes, pero frecuentemente olvidados, que conducen a opciones curriculares claramente distintas. No es ésta la ocasión para desarrollar las que, a nuestro juicio, son las diferencias más relevantes entre una y otra concepción (véase para ello Pozo y Carretero, 1987; Pozo et al., 1992). No obstante, dado que el modelo propuesto más adelante intenta mantenerse en algunos aspectos, equidistante, de estos dos enfoques, resulta necesario esbozar, si quiera brevemente sus principales diferencias.

La teoría de las operaciones formales de Piaget (Inhelder y Piaget, 1955) partía de que, en la adolescencia, los alumnos construyen el mundo basándose en una comprensión que un determinado alumno tiene de una área dada de la ciencia de acuerdo a un modo homogéneo de acuerdo a ciertas capacidades lógicas subyacentes. La comprensión que un determinado alumno tiene de una área dada de la ciencia depende en gran medida, según Piaget, del nivel de desarrollo cognitivo general alcanzado por ese alumno. Uno de los grandes atractivos de la teoría de Piaget es sin duda la imagen que nos proporciona del alumno con una mente bastante homogénea y por tanto predecible. La teoría de Piaget predice notables y a veces sorprendentes regularidades en la actuación de los alumnos en tareas diversas.

Aunque estas predicciones no siempre se cumplen, es bien cierto que Piaget ha legado a la psicología evolutiva y educativa un buen número de "regularidades" en la conducta de los alumnos que cualquier teoría debe explotar (Caser, en prensa; Flavell, 1982). Es fácil describir e incluso explicar la actuación de los alumnos en tareas aisladas, pero más difícil explicar lo que tienen en común tareas aparentemente dispares, como las diversas conservaciones piagetianas o los problemas de combinatoria y razonamiento proporcional.

Sin embargo, este cúmulo de datos desacredita la existencia de regularidades u "homogeneidades" significativas en el trabajo intelectual de los alumnos ante fenómenos distintos se ha visto acompañado también de numerosas investigaciones que han venido a arrojar serias dudas sobre la propia existencia de estadios en el desarrollo cognitivo y más concretamente sobre la existencia del estadio operacional formal (véase Carretero, 1985). El escaso número de sujetos adolescentes e incluso adultos que resuelven formalmente tareas científicas situado en torno a un 50% en el mejor de los casos, junto con la inconsistencia en el uso del pensamiento formal de que, en la adolescencia, los alumnos construyen el mundo basándose en una comprensión que un determinado alumno tiene de una área dada de la ciencia de acuerdo a un modo homogéneo de acuerdo a ciertas capacidades lógicas subyacentes. La comprensión que un determinado alumno tiene de una área dada de la ciencia depende en gran medida, según Piaget, del nivel de desarrollo cognitivo general alcanzado por ese alumno. Uno de los grandes atractivos de la teoría de Piaget es sin duda la imagen que nos proporciona del alumno con una mente bastante homogénea y por tanto predecible. La teoría de Piaget predice notables y a veces sorprendentes regularidades en la actuación de los alumnos en tareas diversas.

Esta tendencia hacia la dispersión en el estudio de las ideas científicas de los alumnos está justificada, en parte, en los datos que ponen en duda la existencia de estadios o estructuras cognitivas homogéneas en el pensamiento de los alumnos. Sin embargo, si el conocimiento científico de los alumnos no es tan homogéneo como Piaget suponía, tampoco resulta tan

prendientes regularidades en la actuación de los alumnos en tareas diversas.

Aunque estas predicciones no siempre se cumplen, es bien cierto que Piaget ha legado a la psicología evolutiva y educativa un buen número de "regularidades" en la conducta de los alumnos que cualquier teoría debe explotar (Caser, en prensa; Flavell, 1982). Es fácil describir e incluso explicar la actuación de los alumnos en tareas aisladas, pero más difícil explicar lo que tienen en común tareas aparentemente dispares, como las diversas conservaciones piagetianas o los problemas de combinatoria y razonamiento proporcional.

Sin embargo, este cúmulo de datos desacredita la existencia de regularidades u "homogeneidades" significativas en el trabajo intelectual de los alumnos ante fenómenos distintos se ha visto acompañado también de numerosas investigaciones que han venido a arrojar serias dudas sobre la propia existencia de estadios en el desarrollo cognitivo y más concretamente sobre la existencia del estadio operacional formal (véase Carretero, 1985). El escaso número de sujetos adolescentes e incluso adultos que resuelven formalmente tareas científicas situado en torno a un 50% en el mejor de los casos, junto con la inconsistencia en el uso del pensamiento formal de que, en la adolescencia, los alumnos construyen el mundo basándose en una comprensión que un determinado alumno tiene de una área dada de la ciencia de acuerdo a un modo homogéneo de acuerdo a ciertas capacidades lógicas subyacentes. La comprensión que un determinado alumno tiene de una área dada de la ciencia depende en gran medida, según Piaget, del nivel de desarrollo cognitivo general alcanzado por ese alumno. Uno de los grandes atractivos de la teoría de Piaget es sin duda la imagen que nos proporciona del alumno con una mente bastante homogénea y por tanto predecible. La teoría de Piaget predice notables y a veces sorprendentes regularidades en la actuación de los alumnos en tareas diversas.

Esta tendencia hacia la dispersión en el estudio de las ideas científicas de los alumnos está justificada, en parte, en los datos que ponen en duda la existencia de estadios o estructuras cognitivas homogéneas en el pensamiento de los alumnos. Sin embargo, si el conocimiento científico de los alumnos no es tan homogéneo como Piaget suponía, tampoco resulta tan

heterogéneo o disperso como el enfoque de las concepciones alternativas supone actualmente.

Aunque no se han hallado correlaciones entre tareas que según Piaget debían estar altamente relacionadas, se han observado correlaciones estadísticamente significativas entre tareas formales que desde el punto de vista de las concepciones alternativas no serían predecibles (por ej., Demetriou, Elkjaer y Gustafsson, en prensa; Lawson, 1977; Shayer y Adey, 1981). Además, los pocos trabajos que han intentado establecer correlaciones entre las concepciones alternativas de los alumnos Clough y Driver, 1986; Jiménez Alcántara, 1990; Pozo, 1987).

Un nivel de análisis intermedio: las estructuras conceptuales o teorías implícitas

En general, los datos parecen reclamar niveles de generalidad u homogeneidad intermedios a los previstos por Piaget y las concepciones alternativas (Case, en prensa). Este será un punto sobre el que volveremos en el próximo apartado cuando nos propongamos conciliar ambos enfoques. Por tanto el pensamiento científico no constituye un sistema tan homogéneo como la teoría piagetiana predice, pero tampoco tan heterogéneo como algunos otros autores suponen.

Este problema no es nuevo ni específico de la comprensión de la ciencia. Ya Flavell (1963, págs. 460-461 de la traducción cast.), en su célebre compendio de la extensa obra de Piaget apuntaba que "una imagen precisa de la nata intelectual (...)

probablemente revelaría un orden de organización algo inferior, un conglomerado de operaciones no tan estrechamente integrado". Lo cierto es que, como el propio Flavell (1982) apuntaba veinte años más tarde a la luz de los datos acumulados hasta entonces, la mente del niño no parece ser tan homogénea como Piaget predice, pero tampoco tan heterogénea como para estar constituida por un número no determinado de concepciones dispersas. El problema de la heterogeneidad/homogeneidad del pensamiento, muy ligado al problema de los estudios en psicología evolutiva (Flavell, 1982; también Carey, 1985b) parece requerir teorías o modelos que expliquen tanto la generalidad como la especificidad del conocimiento (Biedell y Fischer, en prensa).

La aparición de las teorías neopiagetianas es de hecho un intento de explicar esas regularidades recurriendo a ciertos rasgos estructurales o funcionales -como el crecimiento de la memoria a corto plazo de los alumnos- que permitirían predecir su actuación en diversas tareas a partir de un análisis de la demanda cognitiva de las mismas (Véase Pozo et al., 1992).

Otra forma de explicar las regularidades en la comprensión de la ciencia por parte de los alumnos es recurrir a estructuras conceptuales de *un nivel de generalidad intermedio* a las estructuras lógicas piagetianas y a las dispersas concepciones alternativas. Los intentos de Carey (1985a), o más recientemente de Case (en prensa), así como la referencia a teorías implícitas de los alumnos (por ej., Pozo, 1987; Rodríguez, 1985) son intentos de este tipo.

Estos intentos parecen reclamar un nivel intermedio de especificidad/generalidad, ya que, como señala Case (en prensa), "ofrece una posible solución al conflicto entre las teorías de sistema general y las teorías modulares (o de conocimientos específicos) de la era pospiagetiana. La

conclusión que extraemos es que podemos correr el peligro de tirar el bebé con el agua" si abandonamos la clásica posición estructuralista por completo". Para evitar arrojar el bebé con el agua, Case propone analizar la comprensión de los alumnos y el propio desarrollo cognitivo en términos de estructuras conceptuales generales. Un ejemplo de estas estructuras conceptuales generales sería interpretar los conocimientos previos de los alumnos como teorías implícitas -o estructuras conceptuales específicas- sobre los fenómenos científicos (Glaxton, 1984; Pozo et al., 1991; Rodrigo, 1985). Así, resulta útil analizar las ideas de los alumnos en una disciplina concreta -en nuestro caso la Química- partiendo de ese nivel de generalidad intermedio, próximo de alguna forma al concepto piagetiano de "esquema operativo formal" (Pozo, 1988; Pozo et al., 1992). En las páginas siguientes se presenta un análisis de este tipo.

Tres núcleos conceptuales en la comprensión de la Química

En el área de Química, a partir de una revisión y análisis detallado de las investigaciones realizadas hasta la fecha (Pozo, et al., 1992), hemos identificado tres nódulos o estructuras conceptuales generales, que estarán, por un lado, emparentadas con los esquemas operativos formales de Inhelder y Piaget (1955) y, por otro, conectados con las concepciones específicas de los alumnos sobre la Química. Estos tres nódulos, vinculados directamente con gran parte de las dificultades y errores conceptuales que aparecen en el estudio de este área, estarán relacionados respectivamente con la comprensión de la matemática de las leyes físico-químicas y a su aplicación práctica. Estos tres problemas aparecen latentes en las ideas de los estudiantes sobre los distintos conceptos químicos y en las dificultades para su comprensión. Expondremos a continuación en qué consiste cada uno de estos tres nódulos, analizando no solo su importancia dentro de la estructura conceptual de la

ciencia, sino a facilitar la adquisición de estos nódulos más generales, cuya comprensión resulta bastante difícil para los adolescentes, ya que, como veremos, requiere la superación de algunas de las limitaciones más características de su pensamiento causal (Pozo et al., 1991a y 1991b).

Desde el punto de vista disciplinar o epistemológico, estos tres nódulos o estructuras conceptuales son de gran importancia para la construcción de los conceptos y leyes que conforman este área de la Ciencia. La primera de ellas, la noción de discontinuidad, es fundamental para comprender e interpretar como está formada la materia y sus propiedades. La segunda, la conservación, es necesaria, junto con la anterior, para comprender las transformaciones de la materia, los cambios físicos y los cambios químicos. Por último, al hablar de cuantificación de relaciones, queremos referirnos a la representación cuantitativa de las leyes físico-químicas y a su aplicación práctica. Estos tres problemas aparecen latentes en las ideas de los estudiantes sobre los distintos conceptos químicos y en las dificultades para su comprensión. Expondremos a continuación en qué consiste cada uno de estos tres nódulos, analizando no solo su importancia dentro de la estructura conceptual de la

Química sino también las razones por las que consideramos que los alumnos tienen teorías implícitas que hacen difícil la comprensión o asimilación de estos tres núcleos básicos, al tiempo que se muestran resistentes al cambio.

Continuidad/discontinuidad de la materia

La materia, tal como la describe la ciencia, está formada por partículas que pueden moverse, unirse o combinararse unas con otras, no existiendo absolutamente nada entre ellas, lo que implica la idea de vacío. Esas nociones resultan fundamentales a la hora de describir la estructura de la materia y en toda explicación causal de cualquier fenómeno que implique un cambio en ella. La noción de discontinuidad es necesaria para comprender y explicar diversos aspectos de la estructura de la materia: los estados en que se presenta (sólido, líquido y gaseoso), los cambios de estado, la difusión de los gases, los fenómenos de disolución, etc. Así mismo, la asimilación de la naturaleza corpuscular de la materia es imprescindible para la comprensión e interpretación de los cambios químicos, para entender cómo

tienen lugar las reacciones químicas, cómo a partir de unos determinados compuestos, a los que llamamos reactivos, se obtienen otros totalmente diferentes, llamados productos. En la interpretación de estos procesos, la noción de partícula nos va a permitir explicar el cambio de unas sustancias a otras como una reordenación de los átomos de las sustancias participantes.

Desde el punto de vista cuantitativo también va a ser muy importante la interpretación corpuscular de la materia. Los cálculos que los estudiantes desarrollan al estudiar la Química elemental se ven muy simplificados cuando se realizan a través del número de partículas de una sustancia. Por ello se introduce el concepto de mol, que relaciona la cantidad de sustancia con un número fijo de partículas y alrededor del cual giran gran parte de los cálculos químicos. En la figura 1 intentamos resumir las conexiones entre el concepto de partícula y los principales conceptos químicos.

Desde el punto de vista histórico las primeras interpretaciones atomistas de la materia fueron dadas por los filósofos griegos y romanos que introdujeron la idea de átomo como elemento indivisible, llegando a considerar átomos individuales mó-

viéndose a través del vacío. Estas ideas, aunque han ido transmitiéndose hasta nuestros días, fueron eclipsadas por las de Aristóteles, que consideraba la materia continua y formada por cuatro elementos: aire, agua, tierra y fuego, a los que añadió un quinto, el éter, que penetra en el mundo por todas partes. Estas ideas, la continuidad y la no existencia del vacío, tuvieron gran influencia a lo largo de la historia y fueron transmitidas durante el siglo XVII por Descartes. La idea cartesianas del éter, que relaciona la cantidad de sustancia que todo lo impregna, persistió hasta los primeros años de nuestro siglo, a pesar de que la existencia del vacío fue demostrada ya durante el siglo XVII. La idea moderna de átomo fue introducida por Dalton a principios del siglo XIX, aunque no fue aceptada totalmente hasta los primeros años de nuestro siglo, y es en gran parte, en la que se basa la enseñanza de la Química elemental. Esta idea fue evolucionando hasta nuestras días en que consideramos el átomo como divisible y formado por otras partículas más pequeñas a las que denominamos partículas subatómicas.

Sin embargo, son numerosos los ejemplos que muestran que los alumnos son

muy reacios a aceptar la naturaleza discontinua de la materia. Los alumnos adolescentes y los adultos no entrenados tienden a mantener de modo bastante generalizado y tenaz teorías implícitas según cuales la estructura no observable de la materia tiene propiedades similares en lo esencial a sus características observables (Brook et al., 1983; Driver, Guesne y Tibergien, 1985). Esta tendencia a interpretar el mundo microscópico en términos macroscópicos, como suele denominarse en cierta literatura (Driver, Guesne y Tibergien, 1985; Llorente, 1988), les lleva a rechazar, o al menos a ignorar, la idea de vacío entre las partículas y a pensar, por tanto, que una de las características de la materia es la continuidad (véase en la tabla 1 las características más importantes que los estudiantes atribuyen a las partículas).

Así, cuando se pide que representen gráficamente la estructura de sólidos, líquidos y gases, algunos alumnos recurren a representaciones continuas, encontrándose que, incluso en un elevado porcentaje de estudiantes mayores de 15 años, cuando utilizan las partículas en sus representaciones de los gases no dibujan es-

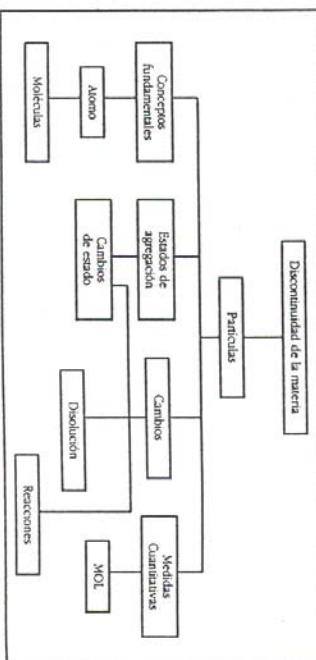


Fig. 1. Principales conceptos químicos relacionados con la noción de discontinuidad de la materia.

1. Atributos característicos animistas.
2. No están en continuo movimiento.
3. No hay vacío entre las partículas.
4. Atributos propiedades macroscópicas.
5. Alteraciones en la distribución, proximidad y orden de las partículas.
6. Nopesan.
7. Atributos propiedades macroscópicas (poseen las mismas propiedades del sistema del que forman parte).
8. No se conserva la forma, el tamaño o el número de partículas.
9. No hay interacciones.
10. Creación de fuerzas que explican el comportamiento de las partículas.

Tabla 1. Naturaleza discontinua de la materia. Principales concepciones alternativas sobre las partículas.

pacios vacíos entre ellas (Novick y Nussbaum, 1981). De la misma forma, no aceptan la existencia del vacío entre las partículas, encontrándose que cuando se les pregunta qué hay entre ellas dan respuestas del tipo "hay aire" o "hay otras partículas" (Brook et al., 1983; Furio y Hernández, 1983; Nussbaum, 1985; Llorens, 1991).

Aunque en muchos casos los alumnos aceptan con cierta facilidad la representación de la materia mediante partículas, siguen interpretando sus propiedades con características continuas. Así, cuando se les muestra un matraz del que se extrae aire con una jeringuilla y se les pide que dibujen el aire que queda en el interior, Nussbaum (1985) encuentra dos tipos de concepciones alternativas: "las partículas restantes se concentran en la parte inferior del recipiente" y "as partículas se continúan en la parte superior". Eso implica una visión continua y estática de la materia, a pesar de su representación mediante partículas, frente a la visión dinámica de los modelos científicos.

En otros casos nos encontramos con que los alumnos interpretan que las partículas poseen las mismas propiedades que la sustancia de la que forman parte (Novick y Nussbaum, 1981; Llorens, 1991): si un gas aumenta de volumen también lo hacen las partículas que lo constituyen. Lo mismo ocurre en el caso de las reacciones químicas, en el que interpretan, por ejemplo, que en una combustión, cuando arde el alcohol o una tabla de madera, también lo hacen sus partículas constituyentes (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Anderson, 1986).

Esta visión continua y estática es causa de gran parte de las dificultades que encuentran nuestros alumnos al estudiar la estructura y las propiedades de la materia. Podría estar relacionada con otras dificultades que aparecen en el estudio de la

química, por ejemplo, la no interpretación de una reacción química en términos de interacción entre sustancias (Nussbaum, 1985; Gabel, Samuel y Hunn, 1987; Llorens, 1991).

Muchas pueden ser las causas de esta perseverancia. Pero dejando a un lado otro tipo de factores, la existencia de este tipo de creencia en los alumnos es claramente coherente con las características del pensamiento causal de los estudiantes (Pozo et al. 1991b). Se observa un predominio de lo observable sobre lo no observable. Por decirlo en pocas palabras, los alumnos *conciben la materia tal como la perciben*. Esta dependencia de sus sentidos, que va decreciendo desde los primeros momentos del desarrollo cognitivo a medida que los niños construyen estructuras conceptuales para superar las aparentes percepciones, es aún lo suficientemente fuerte como para dificultar la comprensión de un mundo compuesto por unidades invisibles y discretas, en clara oposición a la realidad percibida.

La comprensión de la naturaleza discontinua de la materia se ve, a nuestro entender, dificultada por otros dos factores. Aunque los alumnos lleguen a visualizar en algunas tareas o situaciones la posibilidad de un mundo discontinuo oculto en el mundo continuo que ven a diario, tienden a regresar a sus ideas intuitivas, por dos razones. Una primera, de menor importancia, ocurre en el caso de las reacciones químicas, en el que interpretan, por ejemplo, la "conducta" de la materia dependiendo de su estructura infinita, nada más razonable que atribuir a esas causas no observables (partículas) propiedades similares a las que poseen sus efectos (mundo observable). Así, como se ha mencionado, tienden reiteradamente a atribuir propiedades "macroscópicas" al mundo "microscópico".

Pero hay un segundo factor, en nuestra opinión mucho más importante, y que en

definitiva explícita la persistencia de las ideas de continuidad en los alumnos, a pesar de su superación parcial en algunas tareas o contextos. Aunque no ha recibido excesiva atención en la investigación realizada hasta la fecha sobre la comprensión de la Química, pensamos que tras estas dificultades subsiste un problema de representación de lo no observable. En la medida en que el alumno debe abandonar los indicios perceptivos como fuente de representaciones con respecto a la estructura de la materia, carece de cualquier otro código de representación alternativo. Dicho en otras palabras, si las imágenes que los alumnos perciben del mundo no son suficientes para comprender la estructura de la materia, la enseñanza no logra proporcionar sistemas de representación alternativos que les permitan comprender su naturaleza. Los sistemas propuestas que se les proporcionan -matemáticos, algebraicos o mediante símbolos químicos y, solo en algunos casos, analógicos- no resultarán suficientes. De ser cierta esta interpretación, se precisaría un esfuerzo en la elaboración de sistemas de representación alternativos para la didáctica de la Química, no sólo analíticos o proposicionales, sino fundamentalmente analógicos. La analogía puede desempeñar una labor

esencial en la enseñanza de las ciencias y muy especialmente en el caso de la Química.

Conservación de las propiedades no observables de la materia

La comprensión de la conservación de ciertas propiedades de la materia es necesaria para poder explicar todos aquellos procesos en los que ésta sufre un cambio, ya sea físico (cambios de estado y disoluciones) o químico (reacciones). La conservación en Química es un concepto directamente relacionado con la noción de discontinuidad de la materia, de forma que podríamos considerar la asimilación de esta noción como una condición necesaria pero no suficiente, para llegar a comprender la conservación de la materia en los distintos cambios que puede sufrir. En la figura 2 esquematizamos la relación de la noción de conservación con los conceptos centrales de la Química.

Desde el punto de vista científico, en los cambios físicos que experimenta la materia, cambios de estado y disoluciones, se conservan las sustancias que intervienen, se mantiene su identidad y no cambia su estructura microscóptica, ya sean moléculas o iones. En ambos casos los cambios son reversibles y pueden recuperarse las sustancias.

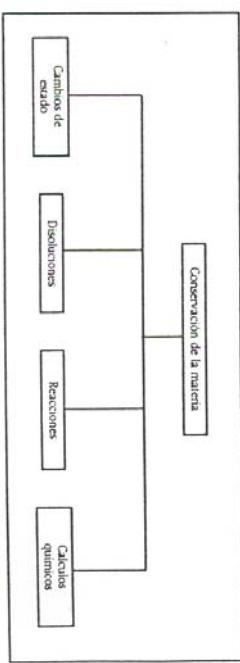


Fig. 2. Principales conceptos químicos relacionados con la noción de conservación de la materia.

tancias intactas, tanto en su estructura como en su cantidad. En los cambios químicos, las reacciones, la identidad de las sustancias que participan en el proceso se modifica, se produce una reordenación de los átomos que las forman, cambiando por tanto su estructura microscópica. Así, a partir de unas determinadas sustancias, los reactivos, obtenemos otras diferentes, los productos. En estos procesos no desaparecen átomos ni se forman otros nuevos, es decir, se conserva el número total de átomos de cada elemento presentes al principio y al final. Los cambios químicos no son reversibles por medios físicos.

A lo largo de la historia ha habido interpretaciones diversas sobre la conservación de la materia en todo tipo de procesos. La primera referencia aparece ya en el mundo clásico, donde Lucrecio, en su *De rerum natura*, viene a decir que las cosas no pueden surgir de la nada y, si han surgido, no pueden volver a la nada. Posteriormente es en la mecánica newtoniana donde se hace referencia a la conservación de la masa. Y, son los trabajos de Lavoisier en el siglo XVIII los que pro-

porcionaron, en su *Traité élémentaire de Chimie*, las pruebas expuestas de la ley de conservación de la masa en los procesos químicos. Posteriormente, con el desarrollo de la teoría atómica, fueron desarrollándose una serie de leyes que configuran las ideas de conservación en la Química moderna.

Si esta construcción histórica de las nociones de conservación es sumamente laboriosa, otro tanto sucede con su construcción en la mente de nuestros alumnos. En la bibliografía se describen numerosos ejemplos de sus ideas y de las dificultades que encuentran en la comprensión de la conservación de la materia cuando ésta sufre algún cambio. A continuación resumimos las más importantes (véase la tabla 2).

En trabajos realizados para estudiar las ideas de los alumnos sobre el comportamiento de los gases y del aire se encuen-

ESTADOS DE LA MATERIA

- Los cambios de P, V o T afectan a la masa de un gas.

CAMBIOS DE ESTADO

- Al pasar de líquido a gas la sustancia se hace más ligera.

DISOLUCIONES

- Desaparece el soluto.
- Disminuye la masa del soluto.

REACCIONES

- Se han estudiado con combustiones y oxidaciones y dan distintas versiones según cada caso (véase la tabla 3).

Tabla 2. Algunas de las ideas de los alumnos sobre la conservación de materia.

orificio de salida, consideran que la masa disminuye. En realidad están haciendo una asociación entre masa y volumen. Sin embargo, se observa que aumenta espectacularmente el número de aluminios que conserva la masa cuando se sustituye el aire por un gas coloreado. En otros experimentos se les pedia que predijeran la variación de la masa del aire contenido en un recipiente cerrado cuando se calentaba. En sus respuestas indicaban que la masa disminuía, puesto que el aire caliente pesa menos, o bien porque el aire se evapora cuando se calienta (para estos alumnos evaporaarse equivale a desaparecer).

En los cambios de estado aparecen ideas derivadas de las concepciones que tienen sobre cada estado de la materia. Así cuando el agua pasa a vapor consideran que el líquido es más pesado que el gas (Furio y Hernández, 1983). En los casos de evaporación de una sustancia, por ejemplo el perfume que se deposita en un rinconcito de la habitación para dejar que se evapore, pueden llegar a considerar que ha desaparecido (Furio y Hernández, 1983).

En cuanto a los procesos de disolución, se han estudiado principalmente mostrando una cuchara de azúcar que se disuelve en un vaso de agua. Se han encontrado diversos ejemplos en los que los alumnos interpretan el fenómeno de forma que no se conserva la sustancia; así, algunos sujetos (12 años) rechazan que el azúcar siga allí, para ellos el azúcar ha desaparecido (Serrano y Blanco, 1988). Otros consideran que ha disminuido la masa del azúcar, puesto que al diluirse ha pasado a líquido y, por tanto, se ha hecho más ligera (Driver, Guesne y Tibergien, 1985). En algunas ocasiones muestran confusión en-

tre la masa y el volumen de la disolución, consideran que la masa total de la disolución es la misma que la de agua, explican que el azúcar ocupa el espacio libre entre las moléculas de agua y, por tanto, la masa no cambia (Driver, Guesne y Tibergien, 1985).

En las reacciones químicas las ideas sobre conservación han sido estudiadas principalmente con procesos de combustión. En los que se mostraba a los alumnos cómo ardía una tabilla de madera o una cera, la cantidad de alcohol, y de oxidación, en los que se les mostraba un metal que al oxidarse se cubría de una capa oscura (Driver, Guesne y Tibergien, 1985) (1). Los resultados obtenidos muestran todas las posibilidades (véase la tabla 3). Así, aparecen interpretaciones en las que se considera que la masa disminuye. En el caso de la oxidación, al ver el aspecto esponjoso de la capa de óxido, los alumnos indican que el óxido se come el metal. En la combustión de la tabilla consideran que disminuye porque el gas desaparece, al quemarse se escapa un gas. Los que piensan que la masa aumenta explican que se adiciona óxido al metal. Los que consideran que la masa no varía explican en ambos casos combustión y oxidación, que la sustancia sigue siendo la misma, solo ha cambiado de aspecto. Driver, Guesne y Tibergien (1985) muestran también un ejemplo de combustión en un sistema cerrado, piden a los sujetos que predigan cómo variará la masa de una cápsula especial cuando el satélite se fuma una caja de cigarrillos. Una vez más aparecen los tres tipos de respuesta, aunque la mayoría de los sujetos considera que la masa aumentará puesto que se produce humo en la combustión.

(1) Desde el punto de vista químico los dos procesos que se les muestra a los alumnos son idénticos: la combustión en la que se consume oxígeno y una reacción de oxidación, en la que el agente oxidante es el oxígeno. Sin embargo, desde el punto de vista perceptivo y conceptual suelen ser para el alumno dos procesos diferentes, en los que observan efectos diferentes y que suelen interpretarse de distinta forma.

COMBUSTIÓN	OXIDACIÓN
La masa sigue igual	La sustancia es la misma, sólo cambia de aspecto
La masa aumenta	Se adiciona hollín al metal. Se adiciona óxido al clavo. El metal se convierte en carbón (más pesado).
La masa disminuye	Con el humo se escapa algo. Las cenizas son polvo y el polvo es más ligero que la madera. Se consume, se escapa un gas. El óxido se come al metal. El óxido es un polvo y el polvo es más ligero que el metal.

Tabla 3. Ideas sobre conservación de la flora en las reservas

Vemos en todos estos ejemplos que, al igual que ocuría en el apartado anterior (discontinuidad de la material), las interacciones dadas por los alumnos a los distintos fenómenos que se les presentan están claramente basadas en aquellos hechos que son capaces de percibir, desaparición del azúcar, presencia de humo, etc. De acuerdo con el pensamiento causal del alumno hay un predominio de todo aquello que es observable sobre lo no observable.

Los estudios piagetianos han mostrado con claridad cómo casi la totalidad de las constantes y conservaciones que podemos establecer con respecto al mundo que nos rodea son el producto de nuestro esfuerzo cognitivo por comprender el mundo. Y, por tanto, lejos de ser una inducción, son una construcción. Lo aparente es el cambio. Nuestro pensamiento tiende a centrarse más en lo que cambia que en lo que per-

manece. Por ello debemos ir comprendiendo que tras los cambios aparentes hay algo que permanece. Y hemos de hacerlo para construir desde la permanencia del objeto, uno de los más brillantes descubrimientos que hacen los bebés, hasta las conservaciones observables, que según Piaget, serían un producto característico de las operaciones concretas.

una vez más a esas minúsculas partículas que componen la estructura oculta de la realidad. Por consiguiente, este problema es uno de los más difíciles de superar en la comprensión de la Química, impide en último término comprender la propia noción de cambio químico y, en definitiva, la propia estructura química de la realidad.

que se nos plantea, a la hora de establecer las relaciones cuantitativas entre las masas y los volúmenes y el número de partículas implicadas, es que esas partículas son muy pequeñas y no pueden medirse y seleccionarse en pequeñas cantidades, es necesario medir de una vez un número grande de ellas. Por ello se introduce el concepto de mol, un concepto químico tan fundamental como las ideas de átomo o molécula, que nos va a permitir establecer una sencilla relación proporcional entre los coeficientes de las reacciones químicas y las cantidades de sustancias que intervienen en cada proceso.

aplicando a la resolución de problemas de Química, sobre todo, como señala el autor (Gallijnten, 1987), teniendo en cuenta el número de proporciones diferentes y sucesivas que aparecen en estos.

Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto la relación existente entre el rendimiento en Química y el manejo tanto de cálculos proporcionales, y son también numerosos los ejemplos de las dificultades que encuentran nuestros alumnos en su aplicación. Así, nos encontramos que tie-

- Cálculos con moles.
- Cálculos de número de partículas (átomos, etc.).
- Aplicaciones de las leyes de los gases.
- Concentración de disoluciones.
- Ajuste de reacciones.
- Ajuste de reacciones.
- Cálculos estocásticos.
- Aspectos citológicos de una reacción.
- Equilibrio químico.

Tabla 4. Principales aplicaciones cuantitativas de la Química.

nen dificultades en coordinar las relaciones obtenidas en moles con las relaciones entre subíndices y coeficientes de las fórmulas (Anamuth-Mensah, 1980). Cuando se establecen las relaciones estocásticas entre las relaciones establecidas entre los moles de cada compuesto y las relaciones entre sus masas (Schmidt, 1984) o entre relación molar y relación de volúmenes (Anamuth-Mensah, 1980). Encuentroándose una cierta tendencia a establecer relaciones estocásticas 1:1 independientemente de lo que indiquen los coeficientes de la reacción (Frazer y Servant, 1987). Muy importantes son las dificultades que los estudiantes encuentran al trabajar con disoluciones, principalmente a causa de que la concentración de una disolución es función de dos variables directamente proporcional a una, la cantidad de sustancia, e inversamente proporcional a la otra, el volumen de la disolución. Se observa que son más fáciles de resolver los problemas en los que cambia una sola variable, sobre todo cuando lo que cambia es la cantidad de soluto (directamente proporcional a la concentración), haciéndose más difíciles cuando cambian las dos variables (Serrano y Blanco, 1988).

Conclusiones

Hemos descrito tres núcleos conceptuales en los que intentamos organizar las ideas que los alumnos tienen sobre la química. Estos tres núcleos se encuentran jerarquizados entre sí, de forma que cada uno de ellos influye en la asimilación del siguiente. Así, la comprensión del modelo discontinuo de la materia sería una condición necesaria pero no suficiente para la comprensión de la conservación en los cambios de la materia. A su vez, sería necesario pero no suficiente que el alumno haya asimilado estos dos núcleos conceptuales para poder penetrar en las relaciones cuantitativas de la Química.

Aunque probablemente sea posible encontrar otras organizaciones, creemos que ésta nos puede ayudar a integrar dentro de un marco teórico común todos aquellos datos sobre concepciones alternativas de los estudiantes que, de una forma más o menos dispersa, han ido apareciendo en los últimos tiempos. Puede servir de utilidad a la hora de comprender cómo entienden los estudiantes este área de la Ciencia y por qué encuentran dificultades en su desarrollo.

Esta organización, u otras que pudieran llegar a realizarse, podría resultar útil a la hora de secuenciar los contenidos dentro de los futuros Proyectos Curriculares de Química en la Enseñanza Secundaria e incluido en el Bachillerato. En concreto, esta estructura que sugerimos nos conduciría a un modelo de enseñanza de la Química elemental dirigido a facilitar de forma secuenciada la adquisición de estas tres estructuras generales, de las que se irán definiendo las nociones y conceptos más específicos.

En el análisis de las causas de las dificultades que los alumnos encuentran con estos núcleos conceptuales hemos señalado que éstos basan sus interpretaciones de los

distintos fenómenos en la percepción que tienen de ellos: conciben el mundo tal como lo perciben. Tal como señalamos anteriormente, en nuestra opinión, el aprendizaje de la Química implica un problema de representación de lo no observable en el que el alumno debe abandonar los indicios perceptivos como fuente de representación, para pasar a utilizar un sistema de representación mucho más abstracto, los símbolos químicos. Esto nos conduce a la idea de que será necesario desarrollar, en la didáctica de la Química, sistemas de representación no sólo analíticos y proposicionales sino fundamentalmente analógicos, que sirven de apoyo a los anteriores, lo que ayudaría al alumno a tomar conciencia de la discontinuidad de la materia y a comprender el intercambio y conservación de las partículas en los cambios que experimenta.

BIBLIOGRAFIA

- ANAMIAH-MEENAH, J. (1986). Cognitive strategies used by chemistry students to solve volumetric analysis problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(9), 759-769.
- ANDERSSON, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70(5), 549-563.
- ARCHENTHOLD, W., DRIVER, R. Y ORTON, A. (Eds.) (1980). *Cognitive development and research in science and mathematics*. University of Leeds. Leeds.
- DUNCAN, I. M. Y JOHNSTONE, A. H. (1973). The mole concept. *Education in Chemistry*, 10, 213-214.
- ENGEL, CLOUGH, E. Y DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the access of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70(4), 473-496.
- FLAVELL, J. H. (1963). *The developmental psychology of Jean Piaget*. Princeton: Van Nostrand. Trad. cast. de M.T. Cevario. La psicología evolutiva de Jean Piaget. Buenos Aires. Paidós, 1968.
- FLAVELL, J. H. (1982). On cognitive development. *Child Development*, 53, 1-10.
- FRAZER, M. J. Y SERVANT, D. M. (1987). Aspects of stoichiometry: where do students go wrong? *Education in Chemistry*, 24(3), 73-75.
- CAREY, S. (1983a). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- CAREY, S. (1983b). Are children fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults? En S. Chapman, R. Segal y R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- CARRETERO, M. (1985). El desarrollo cognitivo en la adolescencia y la juventud: Las operaciones formales. En M. Carretero, A. Marchesi y J. Palacios (Eds.), *Psicología Evolutiva 3. Adolescencia, madurez y sexualidad*. Madrid: Alenza Psicología.
- CASE, R. (en prensa). The role of central conceptual structures in the development of children's scientific and mathematical thought. En A. Demetriou, M. Shaver y A. Elikidis (Eds.), *Theories of cognitive development go to school*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- CLAXTON, G. (1984). *Live and learn*. Londres: Harper & Row. Trad. cast. de C. González. *Varry aprender*. Madrid: Alianza, 1987.
- DEMETRIOU, A., EFLIDES, A. Y GUSTAFSON, E.J. (en prensa). Structural systems in developing cognition, science and education. En A. Demetriou, M. Shaver y A. Elikidis (Eds.), *Theories of cognitive development go to school*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- DRIVER, R., GUNSTONE, E. Y TIBERGHIELEN, A. (1985). Children's ideas in science. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. P. Manzano. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- LAWSON, A. E. (1977). Relationships among performances on three formal operational tasks. *The Journal of Psychology*, 96, 235-241.
- LLORENS, J. A. (1988). La concepción corporcular de la materia. *Revista de la Universidad Complutense de Madrid*. Tesis Doctoral. Edición fascimil. 1972.
- LLORENS, J. A. (1990). Los esquemas conceptuales sobre la selección, matrícula y análisis y propuestas para un cambio conceptual. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral.
- LUZNEZ, ALEXANDRE, M. P. (1990). Los esquemas conceptuales sobre la selección, matrícula y análisis y propuestas para un cambio conceptual. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral.
- NIVICK, S. Y NUSSBAUM, J. (1981). Pupils' understanding of the nature of matter: a cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- NUSSBAUM, J. (1985). The particulate nature of matter in the gaseous phase. En J.R. Driver, E. Gunes y A. Tibergien, *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. de P. Manzano. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*.
- PÉREZ ECHEVERRÍA, P. (1988). *Razonamiento probabilístico y correlacional. Influencia de teorías previas y datos*. Tesis inédita. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid.
- PÉREZ ECHEVERRÍA, P.; CARRETERO, M. Y POZO, J. I. (1986). Los adolescentes ante las matemáticas: proporción y probabilidad. *Cuadernos de Pedagogía* 133, 9-33.

- POZO, J. I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- POZO, J. I. (1988). Procesos psicológicos en el cambio conceptual en química. En *Aspectos didácticos de la física y la química*. Zaragoza: I.C.E. de la Universidad de Zaragoza.
- POZO, J. I. Y GARRETERO, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas. ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52.
- POZO, J.I.; GOMEZ CRESPO, M.A.; LIMON, M. Y SANZ, A. (1992). Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia. Madrid: Servicio de Publicaciones del C.I.D.E.
- POZO, J.I.; LIMON, M.; SANZ, A. Y GOMEZ CRESPO, M.A. (1991a). Conocimiento previo y aprendizaje escolar. *Cuadernos de Pedagogía*, nº 188, 12-14.
- POZO, J. I.; SANZ, A.; LIMON, M. Y GOMEZ CRESPO, M.A. (1991b). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva.

- RIVERA, A. (1987). *El sujeto de la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza.
- RODRIGO, M. J. (1985). Las teorías implícitas en el conocimiento social. *Infancia y Aprendizaje*, 31-32, 145-156.
- SERÉ, M. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8(4), 413-425.
- SERRANO, T. Y BLANCO, A. (1988). *Las ideas de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Narcea. Apuntes IEPs, 47.
- SHAYER, M. Y ADEY, P. (1981). *Towards a science of science teaching*. Londres: Heinemann Educational Books. Trad. cast. de A. Gamero: *La ciencia de enseñar ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea, 1984.
- TOURNIARE, F. Y PUJOS, S. (1985). Propositional reasoning: A review of the literature. *Educational Studies in Mathematics*, 16, 181-204.

- SUMMARY**
- In this paper we describe three conceptual core which allow us to group a large number of the preconceptions in Chemistry that adolescents have, and the difficulties they find studying this subject. These three core—the particulate nature of matter, the conservation of non-observable properties and the quantitative relations—can be understood as cognitive structures of an intermediate level between the Piaget's general stages and the student's specific conceptions in Chemistry.
- RESUMÉ**
- Dans ce travail nous décrivons trois noyaux conceptuels qui nous permettent d'groupier la plus grande partie des idées prédictives que les adolescents ont sur la Chimie et des difficultés qu'ils ont en étudiant ce sujet. Ces trois noyaux—le caractère discontinu de la matière, la conservation des propriétés non-observables et les relations quantitatives—peuvent être interprétés comme structures cognitives dans un niveau intermédiaire, permis les stades décrits par Piaget et les conceptions spécifiques que les étudiants ont sur la Chimie.

INVESTIGACION, INNOVACION Y EVALUACION