

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

Miguel Angel 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 cuantificación de relaciones- pueden interpretarse como estructuras cognitivas de grado intermedio entre los estadios 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 *construye* 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.

La idea "constructivista" se halla fuertemente arraigada en la investigación sobre el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias, hasta el punto de que en los últimos

(*) 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 concreción 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 ¿estadios generales o ideas aisladas?

Aunque existan 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 estadios generales de desarrollo cognitivo, que determinarían en gran medida los niveles de comprensión de los alumnos en áreas curriculares específicas y, por otro, del más

reciente enfoque de las *ideas previas* o concepciones alternativas de los alumnos sobre los fenómenos científicos (por ej., Archenhold et al., 1980; Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Hierrezuelo 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 detallar 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, siquiera brevemente sus principales desacuerdos.

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 mente altamente organizada, estructurada de un modo homogéneo de acuerdo a ciertas capacidades lógicas subyacentes. La comprensión que un determinado alumno tiene de una área dada de la ciencia dependería 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 sor-

prendentes- 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 explicar (Case, 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 destacando 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 por un mismo sujeto de un contexto a otro ponen en duda la utilidad del concepto de estadio. Si una persona actúa de un modo "formal" ante una tarea y de un modo "concreto" ante otra tarea aparentemente similar, el interés de los investigadores -y de los educadores- se desvía de las estructuras cognitivas generales a los conocimientos específicos que afectan al rendimiento del alumno en una tarea determinada.

En la investigación sobre enseñanza de las ciencias este interés creciente por los conocimientos *específicos* ha venido de la

mano del segundo de los grandes enfoques antes mencionados: el de las ideas previas. Los numerosos estudios realizados en los últimos quince años sobre las ideas previas o concepciones alternativas de los alumnos sobre muy diversos fenómenos científicos han estado dedicados a estudiar cómo entienden los alumnos nociones científicas específicas, en vez de estudiar sus capacidades generales.

Buena parte de los datos en contra del pensamiento formal como estadio o estructura general del conocimiento científico proceden de -o terminan en- estudios sobre las concepciones alternativas en los alumnos. Frente al duro cemento de las operaciones lógicas y los estadios piagetianos, las concepciones de los alumnos sobre la ciencia se estudian hoy como ideas aisladas, inconexas, cuyo único nexo de unión -y de referencia teórica- son las disciplinas científicas con respecto a las cuales son "alternativas". Si de constructivismo y de construir estamos tratando, es difícil construir un modelo de la mente del alumno con tantos ladrillos y tan poco cemento. El enfoque de las concepciones alternativas ha supuesto, por oposición al piagetiano, un énfasis mayor en los conocimientos específicos que en las estructuras cognitivas generales. Ello ha supuesto una cierta "desintegración" del alumno, que ha pasado de poseer un sistema cognitivo organizado y predecible a disponer de un número no determinado de concepciones poco conectadas entre sí y por tanto difícilmente predecibles.

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 dispar 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, Efklides y Gustaffson, en prensa; Lawson, 1977; Shayer y Adey, 1981). Además, los pocos trabajos que han intentado establecer correlaciones entre las concepciones alternativas de los alumnos en diversas tareas han observado que éstas no son completamente independientes, ya que tienen un nivel de coherencia variable, pero tampoco constituyen un sistema de conjunto único y general (por ej., Engel Clough y Driver, 1986; Jiménez Aleixandre, 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 por 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 constituiría un sistema tan homogéneo como la teoría piagetiana predecía, 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 trad. cast.), en su célebre compendio de la extensa obra de Piaget apuntaba que "*una imagen precisa de la vida 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 predecía, 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 estadios en psicología evolutiva (Flavell, 1982; también Carey, 1985b) parece requerir teorías o modelos que expliquen tanto la generalidad como la especificidad del conocimiento (Bidell 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; Rodrigo, 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 (Claxton, 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 operatorio 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 nociones o estructuras conceptuales generales, que estarían, por un lado, emparentadas con los esquemas operatorios formales de Inhelder y Piaget (1955) y, por otro, conectarían con las concepciones específicas de los alumnos sobre la Química. Estos tres núcleos, vinculados directamente con gran parte de las dificultades y "errores conceptuales" que aparecen en el estudio de este área, estarían relacionados respectivamente con la comprensión de la materia como algo discontinuo, la conservación de propiedades no observables y la cuantificación de relaciones. Formarían un tron-

co común del que se derivarían otras muchas nociones más específicas, permitiendo establecer una jerarquía en las dificultades de comprensión de este área de la Ciencia por parte de los alumnos y de las conexiones entre conceptos, susceptible de proporcionar orientaciones para la elaboración de los futuros currículos de Química en la Educación Secundaria e incluso en el Bachillerato.

Desde esta perspectiva, la enseñanza de la Química debería estar dirigida no sólo a promover cambios conceptuales en una serie de nociones específicas, que constituyen tradicionalmente el armazón de los currículos de Química, sino a facilitar la adquisición de estos núcleos 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 núcleos 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, veremos 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 núcleos, analizando no sólo su importancia dentro de la estructura conceptual de la

Química sino también las razones por las que consideramos que los alumnos mantienen 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 combinarse unas con otras, no existiendo absolutamente nada entre ellas, lo que implica la idea de vacío. Estas 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 mo-

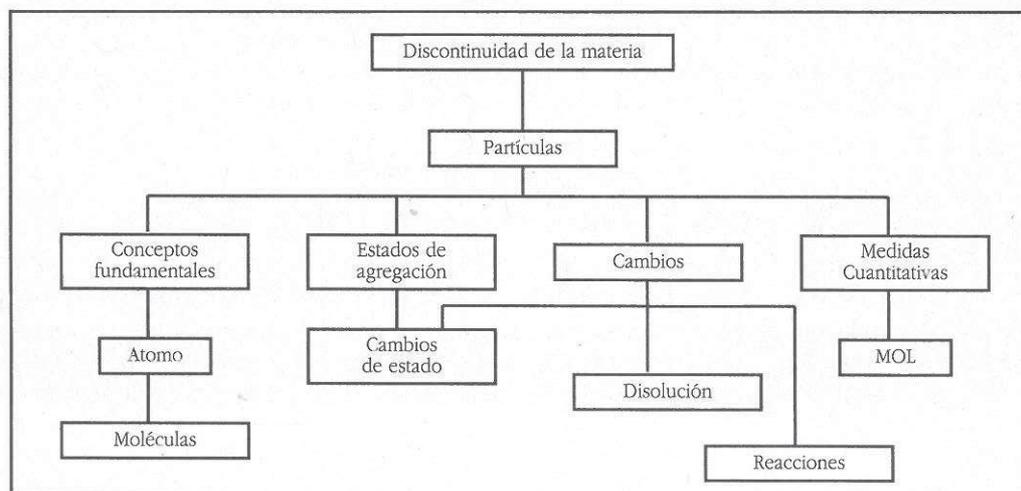


Fig. 1. Principales conceptos químicos relacionados con la noción de discontinuidad de la materia.

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 cartesiana del éter, una 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 nuestros 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 las 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 Tiberghien, 1985). Esta tendencia a interpretar el mundo microscópico en términos macroscópicos, como suele denominarse en cierta literatura (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Llorens, 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-

1. Atribuirles características animistas.
2. No están en continuo movimiento.
3. No hay vacío entre las partículas.
4. Atribuirles propiedades macroscópicas.
5. Alteraciones en la distribución, proximidad y orden de las partículas.
6. No pesan.
7. Atribuirles 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 contestaciones del tipo "hay aire" o "hay otras partículas" (Brook et al, 1983; Furió 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 "las partículas se concentran en la parte superior". Esto 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; Andersson, 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 apariencias perceptivas, 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 vislumbrar 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, es la creencia en la *semejanza entre las causas y los efectos*. Si, como se les dice, la "conducta" de la materia depende de su estructura íntima, 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 explicaría 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 subyace 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 proporcionarles sistemas de representación alternativos que les permitan comprender su naturaleza. Los sistemas proposicionales que se les proporcionan -matemáticos, algebraicos o mediante símbolos químicos y, sólo en algunos casos, analógicos- no resultarían 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 microscópica, ya sean moléculas o iones. En ambos casos los cambios son reversibles y pueden recuperarse las sus-

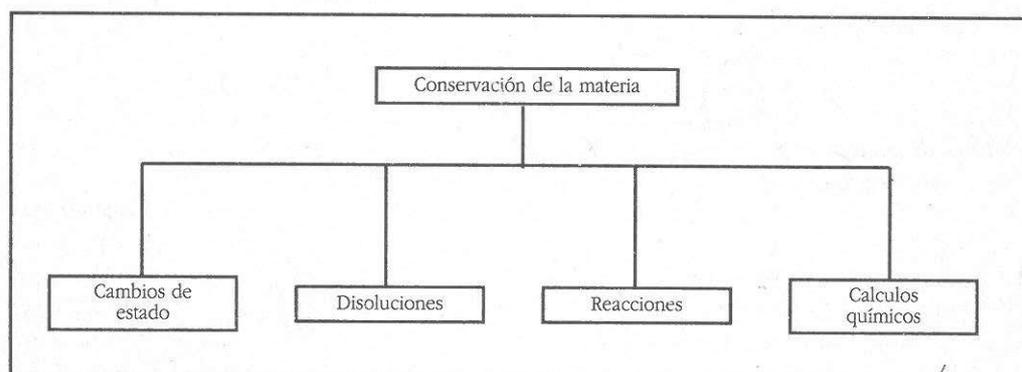


Fig. 2. Principales conceptos químicos relacionados con la noción de conservación de la materia.

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 y no 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 explícitas 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 resumiremos 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 encuentra que tienen grandes dificultades en la interpretación de la conservación de masa y peso cuando se les somete a cambios de presión, volumen o temperatura (Seré, 1985 y 1986). Así, cuando se les muestra una jeringuilla con aire en la que se presiona el émbolo manteniendo tapado el

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.
- Al pasar de líquido a gas la sustancia desaparece.

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 alumnos que conserva la masa cuando se sustituye el aire por un gas coloreado. En otros experimentos se les pedía que predijeran la variación de la masa del aire contenido en un recipiente cerrado cuando se calentaba. En sus respuestas indicaban que la masa disminuiría, puesto que el aire caliente pesa menos, o bien porque el aire se evapora cuando se calienta (para estos alumnos evaporarse 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 (Furió y Hernández, 1983). En los casos de evaporación de una sustancia, por ejemplo el perfume que se deposita en un rincón de la habitación para dejar que se evapore, pueden llegar a considerar que ha desaparecido (Furió y Hernández, 1983).

En cuanto a los procesos de disolución, se han estudiado principalmente mostrando una cucharada 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 ligero (Driver, Guesne y Tiberghien, 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 Tiberghien 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 tablilla de madera o una cierta 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 Tiberghien 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 tablilla consideran que disminuye porque algo 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, sólo ha cambiado de aspecto. Driver, Guesne y Tiberghien (1985) muestran también un ejemplo de combustión en un sistema cerrado, piden a los sujetos que predigan cómo variará la masa de una cápsula espacial cuando el astronauta 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.

	COMBUSTION	OXIDACION
La masa sigue igual	La sustancia es la misma, sólo cambia de aspecto	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 masa en las reacciones químicas.

Vemos en todos estos ejemplos que, al igual que ocurría en el apartado anterior (discontinuidad de la materia), las interpretaciones dadas por los alumnos a los distintos fenómenos que se les muestran 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 intuición, 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 característica de estas conservaciones es que tanto lo que cambia como lo que permanece es perceptible, aunque no sea igualmente destacado. Sin embargo, en aquellos casos en los que sólo el cambio es perceptible, pero no lo que se conserva, Piaget consideraba que se requerían las operaciones formales para comprender esa noción. Sea o no así, lo que se conserva tras un cambio químico, sea una reacción o sea una disolución, pertenece al mundo de lo no observable, nos remite

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 extremo comprender la propia noción de cambio químico y, en definitiva, la propia estructura química de la realidad.

Cuantificación de relaciones

Como ya hemos indicado anteriormente, al hablar de cuantificación de relaciones queremos referirnos a la representación cuantitativa de las leyes físico-químicas y su aplicación práctica. La cuantificación constituye el tercer gran problema en la comprensión de la química. La aplicación cuantitativa de las leyes químicas constituye una de las partes más importantes de esta ciencia, probablemente la que más dificultades presenta para los estudiantes.

En el desarrollo histórico de la Química las primeras medidas realizadas fueron medidas de masa y de volumen, estableciéndose con ellas las primeras leyes que permitieron el desarrollo teórico de esta ciencia. Con la introducción de la teoría atómico-molecular, los fenómenos químicos empiezan a interpretarse a nivel microscópico en función de los átomos y moléculas que intervienen, siendo necesario conocer el número de partículas que intervienen en un determinado proceso. El químico necesita, por consiguiente, establecer una relación entre sus medidas realizadas a nivel macroscópico, masa y volumen, y el nivel microscópico, número de partículas, en el que interpreta los procesos. Por ejemplo, necesita conocer el número de moléculas de hidrógeno que intervienen en una reacción, la proporción en que aparecen las masas de los elementos que forman un compuesto, la proporción en que se encuentran los átomos dentro de una molécula, etc. El problema

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.

Si observáramos las leyes químicas elementales, las que se utilizan en la enseñanza secundaria (véase la tabla 4), encontraríamos que en general no representan muchas dificultades matemáticas a la hora de su aplicación. Desde las aplicaciones de las leyes de los gases hasta las relaciones estequiométricas dentro de una reacción, pasando por los cálculos de concentraciones de una disolución, prácticamente la gran mayoría de los cálculos químicos se pueden realizar aplicando relaciones de proporcionalidad. Pero éste es el gran problema de la cuantificación de las relaciones químicas: el *razonamiento proporcional*. El cálculo de proporciones, conectado con uno de los grandes esquemas formales de Piaget, plantea grandes dificultades a los estudiantes a la hora de aplicarlo a la resolución de problemas de Química, sobre todo, como señala Gailiunas (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 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.
- Cálculos estequiométricos.
- Aspectos cinéticos 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 (Anamuah-Mensah, 1986). Cuando se establecen las relaciones estequiométricas en una reacción, no diferencian 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 (Anamuah-Mensah, 1986). Encontrándose una cierta tendencia a establecer relaciones estequiométricas 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 (direc-

tamente proporcional a la concentración), haciéndose más difíciles cuando cambian las dos variables (Serrano y Blanco, 1988).

La proporción es un esquema ampliamente descrito por Inhelder y Piaget (1955) y supone el conocimiento de la relación de igualdad entre dos razones; por lo tanto, exige conocer que un cambio en un miembro de la proporción se puede compensar con un cambio en el otro miembro sin que cambie la igualdad entre las dos razones. Según Inhelder y Piaget la comprensión de las proporciones no aparece en ningún dominio antes de que las operaciones formales se hayan construido.

Antes de alcanzar este tipo de razonamiento se utilizan estrategias menos complejas, menos elaboradas, que abarcan desde la más primitiva evolutivamente, la estrategia cualitativa, pasando por la estrategia aditiva y acabando con la estrategia por correspondencia (véase la tabla 5). La estrategia más simple, la cualitativa, consiste en ignorar parte de los datos del problema comparando entre magnitudes absolutas; no se establece, por tanto, ningún

ESTRATEGIA CUALITATIVA
ESTRATEGIA ADITIVA
ESTRATEGIA DE CORRESPONDENCIA
ESTRATEGIA PROPORCIONAL

Tabla 5. Estrategias utilizadas por los alumnos en el cálculo proporcional.

cálculo numérico; esta estrategia es propia de los niños preoperacionales (Pérez Echeverría, 1988). Sin embargo es utilizada con frecuencia por los adolescentes (Pérez Echeverría, Carretero y Pozo, 1986). Un ejemplo de la utilización de esta estrategia por los alumnos que estudian Química lo encontramos a la hora de comparar y evaluar concentraciones; centran su atención en una sola de las variables en vez de en el valor numérico de la concentración. Se fijan únicamente en la cantidad de sustancia o sólo en el volumen, tal como puede observarse en los resultados de unas pruebas aplicadas por Duncan y Johnstone (1973).

La estrategia aditiva, un poco más compleja, consiste en sustraer un término del otro y llevar después la diferencia a la segunda razón. En el problema siguiente:

Sabiendo que, en el agua, las cantidades de oxígeno e hidrógeno están en la proporción masa O /masa H = 8 ¿Qué cantidad de O tendrá que haber para obtener 10 gr. de H.?

Utilizar la estrategia aditiva supondría

$$8/1 = X/10$$

restar $8-1=7$ y traspasar la diferencia a la otra razón

$$X-10 = 7 \quad X = 17$$

Se han observado estrategias aditivas tanto en niños como adolescentes aunque según Inhelder y Piaget (1955) se trataría de la estrategia que caracteriza al niño de las operaciones concretas.

La estrategia por correspondencia consiste en establecer una relación de proporción y aplicarla a la otra razón. Por ejemplo, si queremos saber cuál de las dos disoluciones siguientes está más concentrada

Disolución A - 3 moles de sal/5 l.de agua

Disolución B - 2 moles de sal/4 l.de agua

Utilizar una estrategia de correspondencia implicaría establecer una relación de proporción en la segunda proporción 1:2 y trasladarla a la primera. El alumno diría que la primera está más concentrada puesto que para tener la misma concentración tendríamos que tener $3/6$ y de este modo, disponemos de 1 l. menos de agua.

Esta estrategia es utilizada por muchos sujetos a la hora de resolver problemas de Química y puede conducir, según los casos y la interpretación que el alumno haga, a resultados correctos o incorrectos.

Pérez Echeverría, Carretero y Pozo (1986) comprobaron que el uso de estrategias más o menos elaboradas dependía de la edad y el nivel escolar y del tipo de problema. Un mismo sujeto varía en el tipo de estrategia usado dependiendo de la tarea; así, los problemas más fáciles se resuelven con estrategias más elaboradas y los más difíciles con estrategias más simples. Por tanto, parece que el cálculo de proporciones no es un problema de competencia, es decir, de que los alumnos no sepan utilizarla en absoluto, sino un problema de actuación que depende de factores que afectan tanto a la tarea como al sujeto. Desde el punto de vista de la tarea, Tourniaiere y Pulos (1985) distinguen entre variables estructurales (magnitud de los números, si son proporciones directa o inversamente proporcionales, si son o no proporciones equivalentes, si se trabaja con números enteros o decimales) y variables contextuales (contenido de la tarea, tipo de respuesta que se le exige al sujeto, el que la presentación sea analógica, química y/o matemática). Con respecto al sujeto que resuelve la tarea, debemos tener en cuenta variables tales como el desarrollo cognitivo, edad, nivel de instrucción, dependencia/independencia de campo, capacidad mental, etc.

Conclusiones

Hemos descrito tres núcleos conceptuales en los que intentamos organizar las ideas que los alumnos tienen sobre la química. Estos tres núcleos se encontrarían jerarquizados entre sí, de forma que cada uno de ellos influiría 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 ser 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 incluso 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 irían derivando las nociones y conceptos más específicos.

En el análisis de las causas de las dificultades que los alumnos encuentran con éstos 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 sería necesario desarrollar, en la didáctica de la Química, sistemas de representación no sólo analíticos y proposicionales sino fundamentalmente analógicos, que sirvan 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

- ANAMUAH-MENSAH, 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.
- ARCHENHOLD, W.; DRIVER, R. y ORTON, A. (Eds.) (1980). *Cognitive development research in science and mathematics*. University of Leeds, Leeds.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. (1978). *Educational Psychology. A cognitive view*. 2nd edition. New York: Holt, Rinehart y Winston. *Psicología Educativa*. Trad. cast. de M. Sandoval. Trillas, México, 1983.
- BROOK, A.; BRIGGS, H. Y BELL, B. (1983). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Children's Learning in Science Project. Centre for Studies in Science and Mathematics Education: The University of Leeds. Leeds.

- CAREY, S. (1985a). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass: M.I.T. Press.
- CAREY, S. (1985b). Are children fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults? En S. Chipman; 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 senectud*. Madrid: Alianza 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. Shayer y A. Efklides (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: *Vivir y aprender*. Madrid: Alianza, 1987.
- DEMETRIOU, A.; EFKLIDES, A. y GUSTAFSSON, E.J. (en prensa). Structural systems in developing cognition, science and education. En: A. Demetriou; M. Shayer y A. Efklides (Eds.), *Theories of cognitive development go to school*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- DRIVER, R.; GUESNE, E. y TIBERGHIE, 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.
- 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 use 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. Cevasco: *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.
- FREYBERG, P. y OSBORNE, R. (1985). Assumptions about teaching and learning. En R. Osborne y P. Freyberg (Eds.), *Learning in Science*. Londres: Heinemann.
- FURIO, C. y HERNANDEZ, J. (1983). Ideas sobre los gases en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), 83-91.
- GABEL, D. L.; SAMUEL, K. V. y HUNN, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64 (8), 695-697.
- HIERREZUELO, J. y MORENO, A. (1988). *La ciencia de los alumnos*. Barcelona: Laia/MEC.
- INHELDER, B. y PIAGET, J. (1955). *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent*. Paris: P.U.F. Trad. cast. de M.C. Cevasco: *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós, 1972.
- JIMÉNEZ ALEXANDRE, M. P. (1990). *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: análisis y propuestas para un cambio conceptual*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral, Edición facsímil.
- 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 corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48.
- LLORENS, J. A. (1991). *Comenzando a aprender química. De las ideas alternativas a las actividades de aprendizaje*. Madrid: Visor.
- NOVICK, 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. Guesne y A. Tiberghien, *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. Trad. cast. de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata/MEC, 1989.
- 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 CARRETERO, 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. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 83-94.
- RIVIERE, 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 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. Cameno: *La ciencia de enseñar ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea, 1984.
- TOURNIAIRE, F. y PULOS, S. (1985). Proportional 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 pre-conceptions 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.

RESUMÉE

Dans ce travail nous décrivons trois noyaux conceptuels qui nous permettent agrouper la plus grande partie des idées préalables 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 parmi les stades décrits par Piaget et les conceptions spécifiques que les étudiants ont sur la Chimie.