

Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío*

Miguel Ángel Gómez Crespo
Juan Ignacio Pozo

Introducción

Numerosos estudios muestran que los estudiantes encuentran dificultades en el aprendizaje de la Ciencia, de forma que existe un conocimiento cotidiano que compite con el conocimiento científico que se intenta transmitir a través de la escuela. Cambiar ese conocimiento cotidiano y las "concepciones alternativas" a las que da lugar requiere algo más que sustituir las ideas de los alumnos por otras científicamente más aceptables. Sería necesario modificar los principios implícitos a partir de los que han sido elaboradas. Así, muchas dificultades de aprendizaje vendrían determinadas porque las concepciones de los alumnos estarían estructuradas en torno a unos supuestos o principios subyacentes diferentes a los que estructuran las teorías científicas (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Sobre las

A menudo resulta sorprendente constatar cómo las concepciones alternativas "son prácticamente inmunes a la instrucción científica, tal y como se realiza habitualmente, por intensa y continua que ésta sea".

* El presente trabajo es parte del Proyecto de Investigación PB98-095 concedido por la DGICYT bajo la dirección del segundo autor. En él presentamos además, algunos de los resultados del estudio sobre "Cambio conceptual en química" realizado por los autores gracias a una subvención del C.I.D.E. Los análisis estadísticos han contado con el asesoramiento de Antonio Pardo.

diferencias entre el conocimiento cotidiano y el científico existen diversas posiciones o teorías (p.ej: Chi, 1992; Vosniadou, 1994), pero de ellas puede extraerse que las diferencias entre teorías intuitivas y científicas se centrarían en torno a tres principios o supuestos (Pozo y Gómez Crespo, 1998), los siguientes: epistemológicos, ontológicos y conceptuales.

En el caso de la química también es necesario el *cambio conceptual*, aunque resulta poco frecuente y difícil de lograr si nos atenemos a los datos que proporcionan diferentes estudios (p.ej: Pozo et al., 1991; Driver et al., 1994; Stavy, 1995) que acreditan la existencia de fuertes dificultades de aprendizaje, que persisten incluso después de largos periodos de instrucción. Estas dificultades vendrían determinadas por la forma en que el alumno organiza sus conocimientos a partir de sus propias teorías implícitas sobre la materia. Así la comprensión de la química requeriría cambios en los tres tipos de principios en torno a los cuales se estructuran las teorías de los alumnos. Centrándonos en el tercero de los supuestos, el cambio conceptual en química se articularía en torno a tres núcleos que permitirían explicar gran parte de las dificultades en su aprendizaje: la conservación de la materia tras un cambio, la explicación de la estructura de la materia como un sistema de partículas en interacción y la cuantificación (Gómez Crespo, Pozo, Sanz y Limón, 1992; Pozo y Gómez Crespo, 1998).

Comprender la naturaleza de la materia como un sistema de partículas en continua interacción implica aceptar un modelo microscópico para explicar la realidad macroscópica basado en una serie de principios: la materia está formada por partículas que no podemos ver, estas partículas están en continuo movimiento y entre ellas no hay absolutamente nada, lo que a su vez conlleva aceptar la idea de vacío. Precisamente ésta es una de las nociones que más dificultades plantea en el aprendizaje de la química, la idea de que la materia es discontinua, que entre las partículas que la componen hay un espacio vacío. Esta idea va en contra de nuestra percepción del mundo, en el que la materia se presenta como algo continuo. Se trata sin embargo de una noción esencial, uno de los pilares sobre los que se sustenta la química moderna. De hecho, la idea del vacío planteó también sus propias dificultades en la historia de la Química, que requirieron un verdadero cambio o revolución conceptual para su aceptación en el corpus teórico establecido (Carey, 1991; Estany, 1990; Thagard, 1992). Diversos estudios han mostrado que los alumnos, antes de la instrucción pero también después de ella, mantienen una concepción *continua* de la materia (Driver et al., 1994; Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999). De hecho, esta concepción, profundamente arraigada en nuestra percepción *macroscópica* del mundo, es una de las más resistentes al cambio conceptual (Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1993 y 1999; Stavy, 1995)

y también una de las más consistentes; de hecho, en la comprensión de la estructura de la materia, las concepciones continuas proporcionan representaciones más consistentes entre los adolescentes que la propia idea de vacío o discontinuidad entre las partículas (Gómez Crespo y Pozo, en prensa).

A pesar de ser una idea central en la comprensión de la química y una de las dificultades fundamentales para el cambio conceptual en este área, no existen muchos estudios que analicen, más allá de la descripción global de las ideas alternativas de los alumnos, los diversos modelos activados y las variables que influyen en esa activación. En investigaciones anteriores (Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1993; Pozo y Gómez Crespo, 1997) pudimos comprobar que la atribución del vacío es posiblemente el concepto de la química que más dificultades plantea no sólo a los alumnos adolescentes sino incluso a sujetos con una fuerte instrucción en química. Menos del 20% de las respuestas de los alumnos adolescentes tendían, como promedio a asumir una concepción discontinua. Este porcentaje ascendía sólo al 40% entre los alumnos de último curso de Químicas, que a efectos de estas tareas pueden considerarse suficientemente expertos. Además, en aquel caso sí encontramos en cambio un efecto apreciable de la instrucción específica en ciencias entre los adolescentes, ya que los alumnos con opción de ciencias usaban más la idea de vacío que los que no habían recibido esa instrucción, si

bien la aceptación de la discontinuidad de la materia apenas superaba en el mejor de los casos el 40%.

Sin embargo, los datos de aquel estudio se basaban en un número muy limitado de situaciones (el agua en sus diversos estados de agregación y el hierro) y sobre todo planteaban algún problema de interpretación debido a las categorías de respuesta ofrecidas en el cuestionario. En concreto, la idea de vacío se ofrecía a través de una opción que decía que entre las partículas de la sustancia en cuestión no hay *nada*. Aunque esta opción fue inicialmente diseñada para representar la idea de vacío, resulta sin embargo ambigua, ya que la idea de que entre las partículas no hay nada puede corresponderse también con una concepción continua de la materia, según la cual la materia es tan compacta, y sus partículas constituyentes están tan juntas que entre ellas no hay *nada*, ni siquiera un espacio vacío. Por ello en el presente estudio hemos modificado las opciones de respuesta, discriminando claramente entre estas dos representaciones de que entre las partículas no hay nada.

Además, con el fin de identificar las variables que determinan la activación de diferentes representaciones en los alumnos, hemos ampliado el número de preguntas, manipulando su contenido conceptual. El estudio anterior había mostrado que la idea de vacío es más fácil cuando se trata de un

gas y más difícil ante los sólidos, situándose los líquidos en un nivel de dificultad intermedio. Sin embargo, dado el escaso número de ítems planteados entonces sobre este tema, y aunque estos datos coincidirían con los de otros estudios (ver Driver et al., 1994; Stavy, 1995), necesitamos una muestra más amplia de tareas que nos permita no sólo confirmar esa tendencia, sino sobre todo comprenderla mejor. Dada la distinta apariencia perceptiva de la materia en sus distintos estados de agregación cabe esperar que la idea de vacío resulte más difícil cuanto más *continua* sea esa apariencia. Sin embargo también es interesante analizar qué concepciones alternativas a la idea de vacío mantienen los alumnos para esos diversos estados de agregación. ¿Son las mismas o varían en función de que se enfrenten a un sólido, un líquido o un gas? En un estudio sobre consistencia (Pozo y Gómez Crespo, 1997; Gómez Crespo y Pozo, en prensa) hemos comprobado que las teorías alternativas son más consistentes que las científicas en este dominio conceptual. En el presente estudio queremos conocer cuáles son exactamente esas concepciones alternativas.

A partir de estas preocupaciones teóricas, nos hemos marcado como objetivos para este trabajo, en primer lugar analizar la influencia de la edad e instrucción en la comprensión de la discontinuidad de la materia. En concreto nos interesa conocer cómo afecta la instrucción específica en química a la comprensión de esta

noción, por lo que compararemos no sólo adolescentes con diverso grado de instrucción en química, sino también sujetos universitarios expertos y novatos en este área. Y, en segundo lugar, analizar la comprensión de la idea de vacío en los diferentes estados de la materia (sólido, líquido y gas), para poder identificar las concepciones alternativas a la idea del vacío, así como la influencia de la instrucción y el contenido químico (estado de agregación) en la utilización de estas concepciones alternativas.

Metodología

Sujetos

La experiencia se realizó con 278 sujetos de distintas edades y diferentes niveles de instrucción en química, distribuidos en seis grupos. Cuatro de los grupos estaban formados por adolescentes de distintas edades y diferente experiencia en química, pertenecientes a distintos centros de la provincia de Madrid. El grupo de menor edad (12-13) estaba formado por 59 estudiantes de 1º ESO de 12 a 13 años de edad. Un segundo grupo (14-15) estaba formado por 52 estudiantes de 3º ESO de 14 a 15 años de edad. Otros dos grupos estaban formados por estudiantes de secundaria no obligatoria de 16 a 17 años de edad: uno de ellos con 40 sujetos que no habían hecho ninguna opción específica por estudios científicos o matemáticos (16-17 L) y otro con 58 alumnos de la opción de ciencias, que

estaban cursando la asignatura de Física y Química (16-17 C)¹. Los otros dos grupos estaban formados por adultos universitarios: 36 estudiantes de 2º Ciclo de Psicología (Psic.) y 33 de 2º Ciclo de Ciencias Químicas (Quím.) en Universidades de Madrid; éstos servían como grupos que, teniendo un mismo nivel educativo, los considerábamos como novatos o expertos en química².

Tareas y procedimiento

Para investigar la forma en que los estudiantes utilizan la idea de vacío en la comprensión de las propiedades y estructura de la materia, en primer lugar, se diseñó un cuestionario previo, de carácter abierto, que se pasó a un grupo reducido

de estudiantes de Educación Secundaria. La información proporcionada por este cuestionario, que no se presenta aquí para no hacer demasiado extensa la exposición, junto con los resultados obtenidos en investigaciones anteriores (Pozo *et al*, 1991; Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1993), permitió diseñar un cuestionario con el que se ha intentado discriminar entre la idea de que entre las partículas no hay *nada* porque entre ellas hay un espacio vacío, y la idea de que entre las partículas no hay *nada* porque están tan juntas que una está pegada a la otra. Asimismo se han sistematizado el resto de opciones de respuesta, de forma que en todos los ítems se proporcionen las mismas teorías alternativas.

Tabla 1

Un ejemplo de los ítems que componen el cuestionario

Ítem 1

En un armario de una casa hay una botella de aceite puro de oliva. ¿Qué crees que habrá entre las partículas que forman el aceite contenido en la botella?

- A. Nada, no hay espacio entre las partículas. Están muy juntas unas a otras.
- B. Un espacio libre entre las partículas en el que no hay nada.
- C. Más aceite.
- D. Aire que rellena el espacio libre entre las partículas.
- E. Otra sustancia diferente.

1. En el momento en que se aplicaron las pruebas, los dos grupos 16-17 se correspondían con alumnos de 3º BUP.
2. Hemos considerado como grupo de expertos a los estudiantes de último año de Ciencias Químicas que, aunque no puedan considerarse verdaderos expertos en química, tienen la experiencia suficiente como para poder resolver sin ninguna dificultad las tareas que se presentaron en la experiencia

Ítem 2

Si cogemos una piedra de un río (canto rodado). ¿Qué crees que hay entre las partículas que forman la piedra?

- A. Nada, no hay espacio entre las partículas. Están muy juntas unas a otras.
- B. Un espacio libre entre las partículas en el que no hay nada.
- C. Más piedra.
- D. Aire que rellena el espacio libre entre las partículas.
- E. Otra sustancia diferente.

Este cuestionario consta de doce ítems de opción múltiple, cuatro correspondientes a cada uno de los estados de la materia, que se adopta como variable independiente con tres valores (sólida, líquida y gaseosa). En todos ellos se pide que respondan a la pregunta: *¿qué crees que hay entre las partículas de la sustancia estudiada?* En la Tabla 1 se recogen dos ejemplos de estos ítems.

Las opciones de respuesta que se ofrecen se corresponden a cinco maneras distintas de comprender la materia como continua o discontinua. Esas cinco categorías de respuesta se recogen en la Tabla 2 y se presentaban en el mismo orden en todos los ítems. Los ítems se ordenaron en el cuestionario siguiendo un criterio aleatorio.

Tabla 2
Categorías de respuesta utilizadas en la confección de los ítems del cuestionario

- A. Concepción *continua*: Nada. No hay espacio entre las partículas. Están muy juntas unas a otras.
- B. Noción de *vacío*. Hay un espacio libre en el que no hay nada (categoría considerada correcta desde el punto de vista científico).
- C. *Más de la misma sustancia*. Entre las partículas de esa sustancia hay más sustancia de esa misma sustancia (hierro, agua, etc.).
- D. *Aire* que rellena el espacio libre entre las partículas.
- E. *Otra sustancia* diferente.

Análisis de datos

Sobre las respuestas al cuestionario se han realizado dos tipos de análisis. En primer lugar se ha analizado la incidencia de las distintas variables en el número de respuestas correctas (categoría B). Para ello hemos realizado un análisis de varianza (ANOVA) con la puntuación media de respuestas correctas, tomando como variable independiente los tres estados de la materia. Este análisis está basado en un diseño factorial 6x3, intersujeto para la variable grupo (seis grupos) e intrasujeto para la variable contenido (tres contenidos: sólido, líquido y gas). El análisis *post hoc* para hallar las diferencias significativas se realizó mediante la prueba de Tukey.

En segundo lugar, se ha analizado el uso que los sujetos hacen de las distintas categorías de respuesta. A partir del modelo de análisis de estrategias utilizado por Nesher y Sukenik (1991), hemos analizado la proporción en que fue utilizada cada categoría de respuesta para cada una de las dos variables estudiadas. Tomando la proporción media en que se usa cada categoría, se ha realizado un análisis de varianza (ANOVA) con la transformación *arcsen* para la raíz cuadrada de las proporciones. El análisis está basado en un diseño factorial 6x3x4, intersujeto para el primer factor (seis grupos) e intrasujeto para las otras variables (tres contenidos y cuatro categorías de respuesta). El análisis *post hoc* para determinar las diferencias significativas se realizó mediante la prueba de Games-Howell.

En ambos casos, hemos utilizado el procedimiento MLG-Medidas repetidas del SPSS (versión 7.5.2), que permite efectuar correcciones cuando se incumplen los supuestos de homoestaticidad u homogeneidad de varianzas y esfericidad, y que ofrece estadísticos apropiados para cada situación

Resultados

Análisis del número de respuestas correctas

El ANOVA para el *número de respuestas correctas*, cuando se toma como variable el estado de la materia (sólido, líquido o gas), muestra un efecto significativo para la variable grupo [$F(5,272) = 4,477$; $p = 0,001$], aunque el número de respuestas correctas y con él la aceptación de la idea de vacío, es muy bajo en todos los grupos.

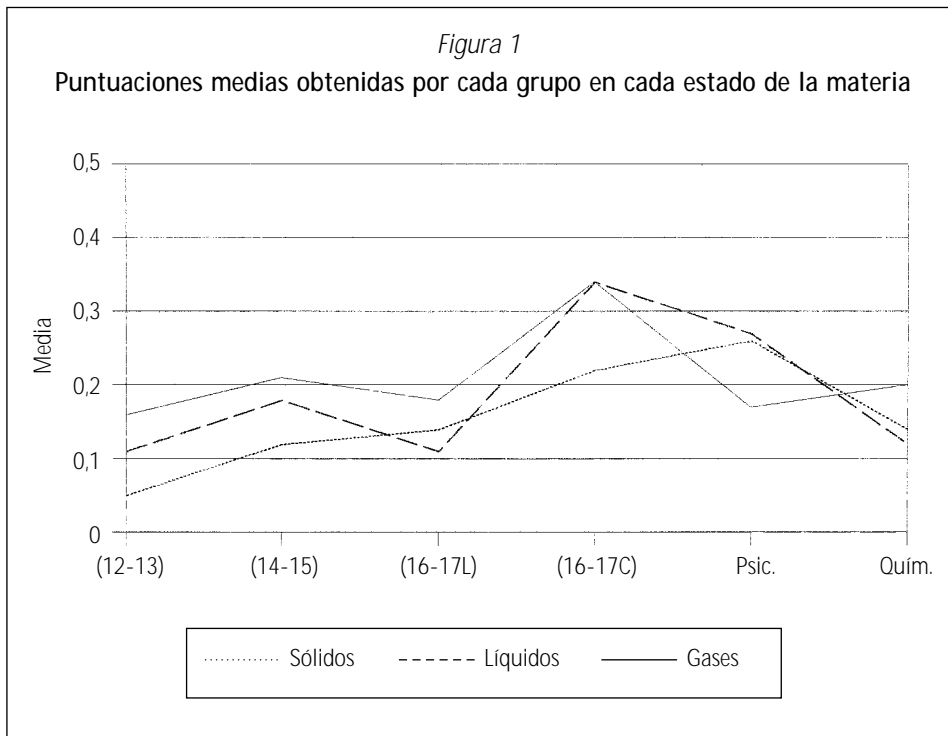
Tan sólo el grupo (16-17 C) formado por alumnos de 3º BUP con estudios científicos (30% de respuestas correctas) puntúa significativamente por encima de los demás grupos, excepto el de estudiantes de psicología (23% de respuestas correctas).

Llama, sobre todo, la atención la puntuación tan baja obtenida por los expertos (Quím., alumnos de 2º ciclo de Ciencias Químicas), que interpretan de forma discontinua, acudiendo a la idea de vacío, sólo el 15% de las tareas, el mismo nivel que habían obtenido los estudiantes, de menor edad, los alumnos de ESO (grupos 12-13 y 14-15).

El análisis de los resultados obtenidos para la variable *contenido* [F (2,544) = 5,155; $p = 0,006$] muestra que la idea de la discontinuidad de la materia se usa significativamente menos en el estado sólido (15% de respuestas) que en los otros dos estados, líquido (19%) y gaseoso (22%), entre los que a su vez no existen diferencias significativas. Según esto, de acuerdo con lo apuntado anteriormente en la introducción, sería más fácil comprender

la noción de vacío en el caso de los líquidos y los gases y más difícil en el caso de los sólidos.

Pero estos resultados cobran más sentido cuando se analiza la interacción entre el grupo y el contenido [F (10,544) = 2,256; $p = 0,014$]. La puntuación media obtenida por cada grupo en cada uno de los tres estados de la materia (sólido, líquido y gas) está representada en el Figura 1.



Dado el escaso uso de la idea de vacío en todos los grupos, al comparar las puntuaciones obtenidas por cada grupo en cada estado de la materia, hemos obtenido muy

pocas diferencias significativas. Para el contenido *sólidos* hemos encontrado que el grupo de alumnos de 1º ESO (12-13) utiliza menos la idea de vacío que los grupos

de (16-17C) y (Psic.), no habiendo diferencias entre el resto de los grupos, incluidos los químicos cuya representación de la tarea parece ser similar a la de los adolescentes. Para el contenido *líquidos* encontramos que el grupo de estudiantes de 3º BUP que siguen estudios de física y química (16-17C) recurre a una concepción discontinua en mayor proporción que los grupos (12-13), (16-17L) y (Quím.). Para el contenido *gases* la única diferencia significativa se debe a que el grupo (16-17C) puntúa por encima de los alumnos de 1º ESO. En suma, la diferencia esencial está en la mejor comprensión de los adolescentes con estudios de ciencias (16-17C).

En suma, la baja aceptación de la idea de vacío hace que las diferencias entre grupos sean muy escasas, expertos incluidos, mientras que el estado de agregación de la materia tiene un efecto mucho más claro sobre la proporción de respuestas correctas. Dado el elevado porcentaje de concepciones alternativas, diferentes de la científicamente aceptada, que hay en todos los grupos es especialmente interesante analizar cómo se distribuyen esas respuestas alternativas entre las categorías de respuesta.

Análisis de las categorías utilizadas en las respuestas

El análisis de las categorías de respuesta utilizadas para responder al cuestionario (véase la Tabla 2) nos puede ayudar a

comprender cuáles son las representaciones alternativas al vacío que usan los alumnos para los distintos estados de la materia. Tal como se ha descrito en el apartado de metodología, se ha realizado un ANOVA para la interacción *grupo x contenido x categoría*. Dado que este análisis es complementario del realizado anteriormente sobre las respuestas correctas, describiremos únicamente los resultados obtenidos para la variable *categoría* y para la interacción entre las distintas variables. Los resultados correspondientes a las variables *grupo* y *contenido* son similares a los descritos en el apartado anterior.

Los resultados del ANOVA muestran un efecto significativo para la variable categoría [$F(4,1360) = 27,351; p < 0,001$]. Las puntuaciones medias para cada categoría se recogen en la Tabla 3. Como puede observarse, las dos categorías más utilizadas, entre las que se distribuyen más de la mitad de las respuestas, son la idea de que la materia es continua, porque no hay nada entre las partículas (A) y la idea de que hay aire entre las partículas (D). Estas dos respuestas son más frecuentes significativamente que el resto aunque entre ellas no haya diferencias. En un segundo plano, y también con un nivel de respuestas comparable estarían el vacío (B) y la interpretación en términos de la misma sustancia (C). La presencia de otra sustancia distinta (E) era la respuesta menos frecuente.

Tabla 3
 Proporción de respuestas en cada categoría para el cuestionario sobre vacío

A	B	C	D	E
0,30	0,18	0,16	0,25	0,10

FUENTE: A) Nada, continuo; B) Vacío; C) Más sustancia; D) Aire; E) Otra sustancia

El efecto del estado de la materia (sólido, líquido o gas), de forma global para todos los grupos, se muestra en la Figura 2. Observamos que, para el contenido *sólidos*, la representación más común (49% de respuestas) es que la materia es continua porque entre las partículas de un sólido no hay nada (A), mientras que la menos utilizada es la presencia de una sustancia diferente entre las partículas (E), con un 9% de respuestas. Las otras tres categorías se utilizan de forma equivalente (aproximadamente en el 15% de las respuestas cada una). Para los *líquidos* las categorías de respuesta son menos informativas, ya que apenas existen diferencias entre ellas. Las proporciones en que se utilizan oscilan entre el 14%, en el caso de otra sustancia, y el 26% que piensan que hay aire que rellena el espacio libre entre las partículas. Por último, en el caso de los *gases* la respuesta más común es que hay aire entre las partículas (D), con un 37% de respuestas, y la menos utilizada la presencia de otra sustancia diferente. Las otras tres categorías se utilizan de forma similar, en una proporción apreciable, alrededor del 20% en cada caso.

En resumen, aunque todas las categorías, con excepción de la presencia de otra sustancia (E), se utilizan en una proporción digna de consideración, la pauta varía en función del estado físico en que se presente la materia. En los sólidos la concepción alternativa dominante es la ausencia de espacio entre las partículas, mientras que en los gases tiende a asumirse la presencia de aire. En cambio, en el caso de los líquidos no puede identificarse una concepción dominante sobre las otras, aunque sobresalga de nuevo la idea de que hay aire entre las partículas.

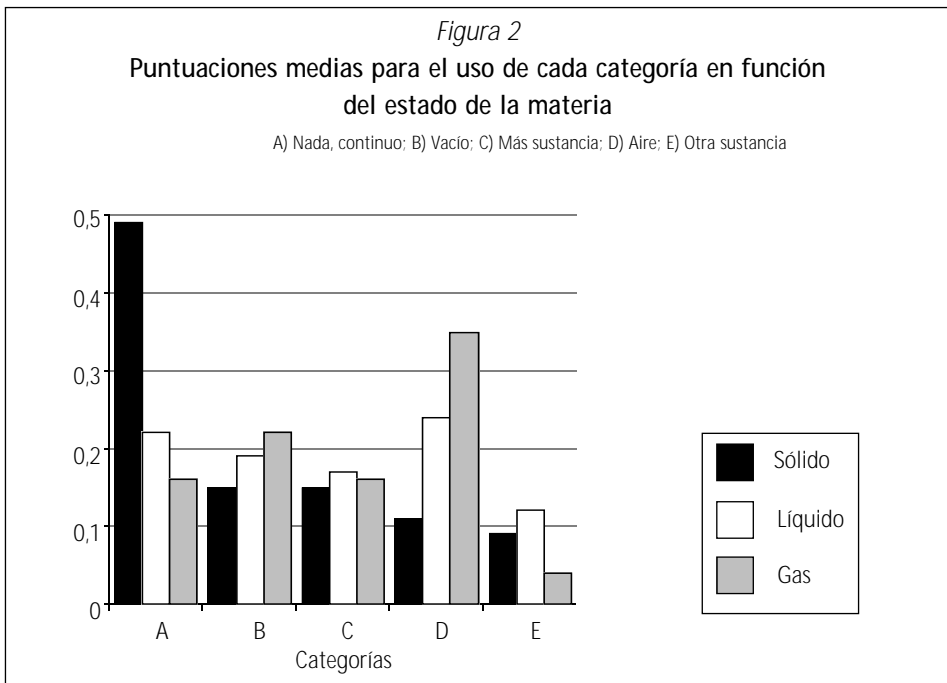
Las puntuaciones medias correspondientes a la interacción entre el grupo y la categoría de respuesta utilizada por los sujetos, que el ANOVA mostró como relevante [$F(20,1360) = 3,326; p < 0,001$], se recogen en la Figura 3. La Gráfica muestra una cierta estabilidad en el uso de todas las categorías con la edad y la instrucción, aunque pueden señalarse diversos efectos. La respuesta más común es la continuidad entre las partículas (A) utilizada por el 39% de los psicólogos, el grupo que más la usa, mientras que el grupo de químicos es el que

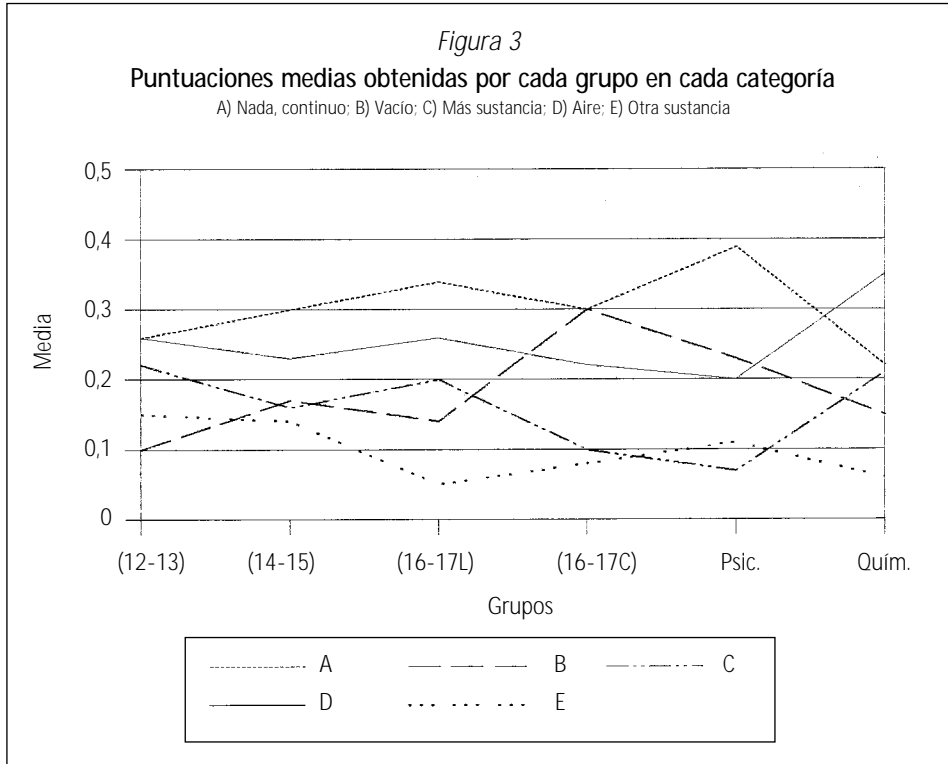
menos recurre a ella (22%). El resto de los grupos la utiliza para el 30% de las preguntas aproximadamente. La siguiente interpretación más frecuente era la presencia de aire entre las partículas, especialmente relevante en el grupo de expertos (Quím.) con un 35% de las respuestas. Para el resto de los grupos puntúa de forma semejante, entre el 20 y el 26% de las respuestas.

El uso de la categoría correspondiente a la idea de vacío (considerada como correcta) se corresponde con el análisis de respuestas correctas presentado en el apartado anterior. Baste recordar que el grupo que más recurría a esta idea era el de estudiantes de 3º BUP que estudian física y química (16-17C), que se acercaba al 30%, mientras

que el resto de los grupos, incluyendo a los químicos, la utiliza en una proporción de alrededor del 15%, con la excepción del grupo de psicólogos (Psic.) que la utiliza en el 23% de los casos.

Las dos categorías restantes se usaban en menor medida. La presencia de partículas de la misma sustancia correspondía aproximadamente al 20% de las respuestas para los grupos (12-13), (14-15), (16-17L) y (Quím.). Los demás grupos la utilizan por debajo del 10%. Por último, la presencia de otra sustancia diferente entre las partículas es la respuesta que menos importancia tiene en su conjunto y sólo cabe destacar las puntuaciones de los grupos de la ESO, alrededor del 15% de las respuestas.





Desde el punto de vista del grupo, hay que destacar que en todos la categoría más utilizada es la idea de la continuidad, o contigüidad, entre las partículas (A), con la excepción del grupo (16-17C) en el que su frecuencia es similar a la de la idea de vacío (B). Vuelven a destacar los resultados obtenidos por el grupo de expertos (Quím.). La interpretación más común en este grupo es la presencia de aire entre las partículas (35%), utilizando en proporciones equivalentes las categorías A, B y C (entre 15% y 22% en cada una).

Este análisis se verá enriquecido desglosando los resultados en función de los tres

estados de la materia implicados en la interacción *categoría x contenido x grupo* que también mostró un efecto relevante [$F(40,1360) = 2,657; p < 0,001$].

Para el contenido *sólidos* hemos obtenido los resultados que muestra la Figura 4, que refleja las puntuaciones medias por grupo y categoría de respuesta utilizada. A su vez, con el análisis *post hoc*, basado en la prueba de Games-Howell, realizamos las comparaciones entre grupos para cada categoría de respuesta, estableciendo las diferencias significativas ($p < 0,05$). Como puede verse, la categoría más utilizada para la interpretación de la noción de

vacío en el estado sólido es la continuidad de la materia. Esta concepción alternativa persiste a pesar de la edad y la instrucción, ya que no hay diferencias significativas en su utilización por los distintos grupos, aunque aparece una tendencia a disminuir su utilización en los grupos de universitarios.

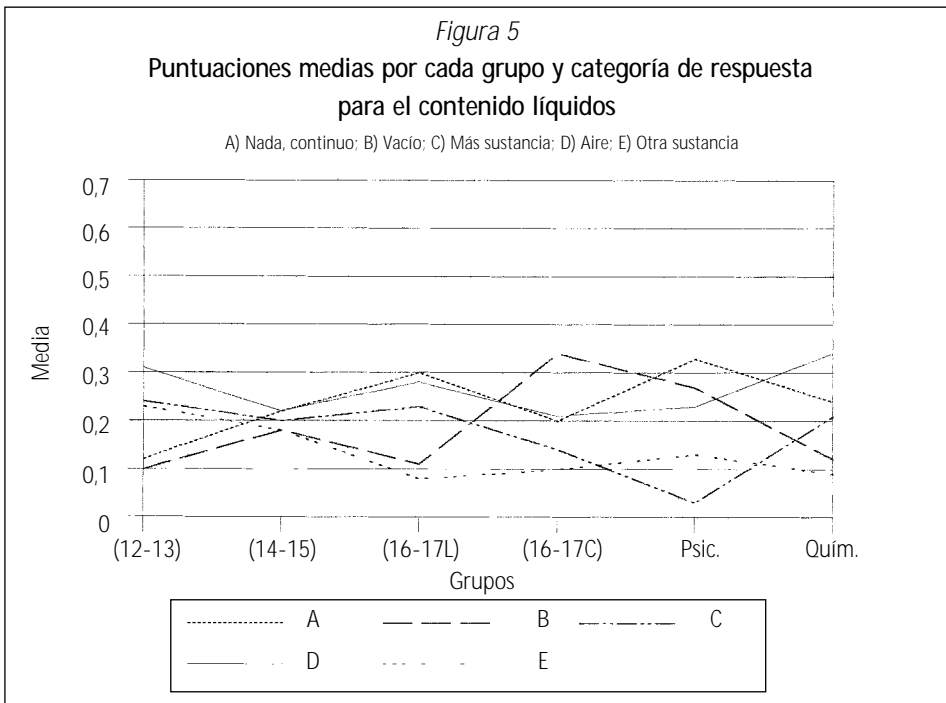
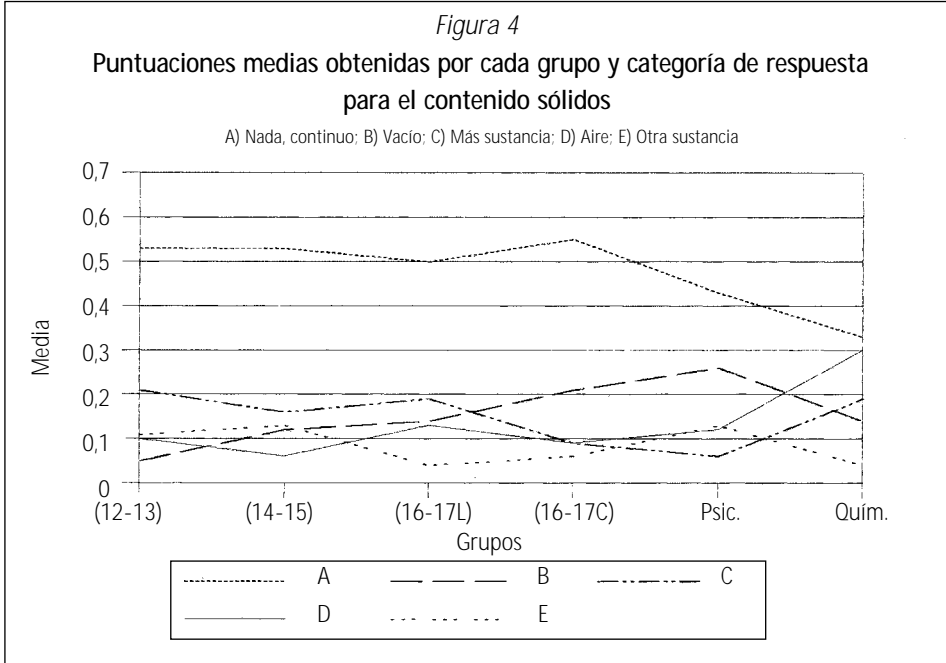
Para la idea de vacío, reiterando los análisis presentados en su momento sobre el número de respuestas correctas, sólo aparecen diferencias significativas entre 1º ESO (12-13), el grupo que la utiliza en menor proporción (5%) y los estudiantes de 3º BUP que cursan física y química (16-17 C) que son los que la usan en mayor proporción (21%), junto con los psicólogos (Psic.).

Entre los alumnos más pequeños, además de las respuestas anteriores, hay una proporción relevante de respuestas basadas en la presencia de la misma sustancia entre las partículas constituyentes. De hecho, encontramos diferencias significativas entre el grupo de alumnos de 1º ESO (12-13), el que más utiliza esta categoría de respuesta, y los grupos que menos la utilizan (6% y 9%) los estudiantes de 3º BUP con estudios de física y química (16-17 C) y el grupo de universitarios que estudian psicología (Psic.). Lo contrario sucede con la interpretación de que entre las partículas hay aire, ya que son los químicos quienes más la utilizan, en un 30% de los casos, habiendo diferencias significativas

con el grupo que menos recurre a esta interpretación. Por último, la interpretación en términos de otra sustancia (E) es prácticamente nula en todos los grupos.

La comparación entre las puntuaciones obtenidas para cada categoría dentro de cada uno de los grupos se ha hecho mediante una prueba t para cada una de las comparaciones posibles y se ha tomado como nivel de significación $p < 0,001$ para que estas comparaciones sean equiparable a las comparaciones múltiples realizadas anteriormente. Hemos encontrado que la interpretación continua, según la cual no hay nada entre las partículas, se utiliza significativamente más que el resto de las representaciones en todos los grupos, excepto en el caso de los universitarios estudiantes de psicología (Psic.) y de química (Quím.).

En resumen, para los sólidos, fundamentalmente predominan las interpretaciones en términos continuistas, con ausencia de vacío entre las partículas constituyentes de la materia, con muy pocas respuestas en términos de vacío. Asimismo para ciertos grupos concretos es necesario tener en cuenta el uso de las categorías C y D (presencia de más de lo mismo o aire, entre las partículas). De nuevo, llama también la atención el hecho de que aproximadamente un 50% de las respuestas del grupo de expertos (Quím.) se centran en estas dos categorías, más de lo mismo y aire entre las partículas.



Para el contenido *líquidos* hemos obtenido los resultados que muestra la Figura 5, que refleja las puntuaciones medias por grupo y categoría de respuesta. A su vez, con el análisis *post hoc*, basado en la prueba de Games-Howell, se hicieron las comparaciones entre grupos para cada categoría de respuesta, estableciendo las diferencias significativas ($p < 0,05$). Como ya vimos en el análisis global de categorías, y refleja la Figura, la pauta de datos es bastante compleja, sin que podamos identificar ninguna categoría que en este contenido destaque especialmente sobre las demás. La categoría más usada varía levemente de grupo a grupo pero sin que haya diferencias dignas de mención. Las categorías de continuidad (A) y presencia de aire (D) no muestran diferencias significativas entre los grupos, lo que indica que se utilizan de una forma estable y sobre su uso no influye ni la edad ni la instrucción de los sujetos. Aunque las diferencias no sean significativas, de forma cualitativa, se observa que en el grupo de expertos (Quím.) la presencia de aire juega un papel importante en la representación de la estructura de la materia.

Siguiendo la pauta general ya descrita, el grupo que más utiliza la categoría es el de adolescentes con estudios de ciencias (16-17C), 34% de respuestas, superando de modo significativo a los grupos que menos la utilizan (12-13, 16-17L y Quím.), alrededor del 10% de respuestas. En cambio la presencia de más de la misma sustancia, sólo muestra diferencias entre el

grupo de (Psic.), que prácticamente no utiliza esta opción, y los tres primeros grupos (12-13, 14-15, 16-17L) y los químicos (Quím.), que lo hacen en una proporción ligeramente superior al 20%. Por último, la explicación en términos de otra sustancia diferente entre las partículas (E) es poco utilizada, con la excepción del grupo de 1º ESO (12-13), que la usa en el 23% de los casos. Por ello sólo aparecen diferencias significativas entre este grupo y otros tres (16-17L, 16-17 C y Quím.).

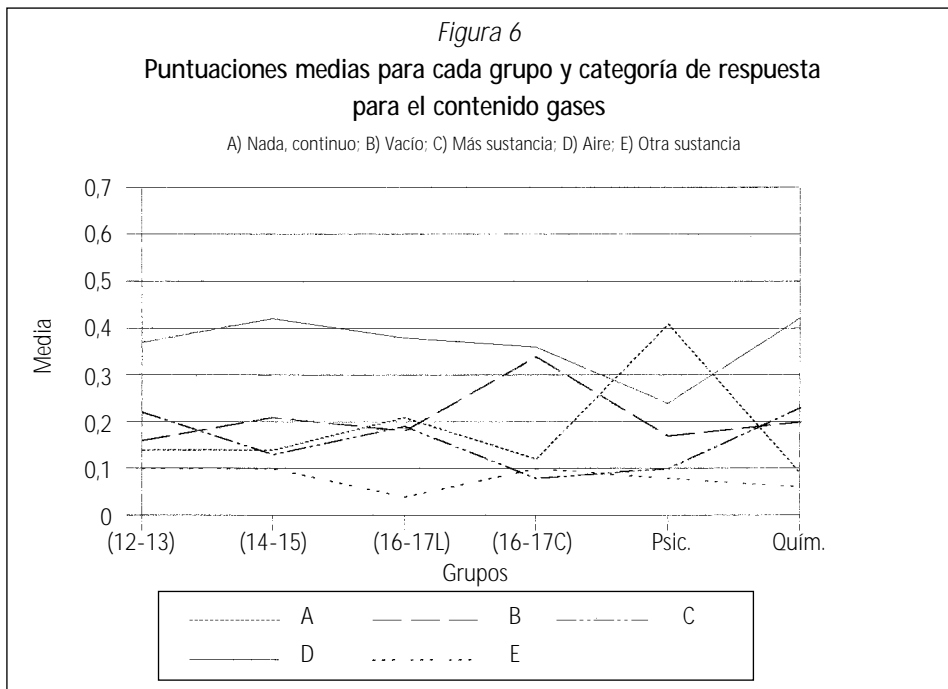
La comparación entre las puntuaciones obtenidas para cada categoría dentro de cada uno de los grupos (realizada con una prueba t; véase el caso de los sólidos) muestra que los alumnos de 1º ESO (12-13) utilizan significativamente más la presencia de aire entre las partículas que las ideas de continuidad y vacío (A y B). En 3º ESO (14-15) se utilizan de forma equivalente todas las categorías. En los grupos de BUP (16-17L y 16-17C) y en el de expertos (Quím.) también se utilizan de forma equivalente las categorías, con excepción de la presencia de otras sustancias (E) que es la que menos respuestas agrupa. Por último, para el grupo de estudiantes universitarios de psicología (Psic.), encontramos que la categoría C que apenas se utiliza marca diferencias significativas con A, B y D.

En resumen, para los líquidos, encontramos un panorama más complejo del que vimos para los sólidos, sin que pueda identificarse una concepción alternativa dominante.

Según los grupos son diferentes las categorías que más se utilizan. Vuelve a llamar la atención el caso de los expertos (Quím.) en el que encontramos que la categoría más utilizada en sus respuestas es la presencia de aire entre las partículas, en el 34% de las respuestas, muy por encima del uso que hacen de la categoría de vacío.

Con respecto a la comprensión de la estructura de los gases hemos obtenido los resultados que muestra la Figura 6, que refleja las puntuaciones medias por grupo y categoría de respuesta utilizada. A su vez, el análisis *post hoc*, basado en la prueba de Games-Howell, permitió hacer las comparaciones entre grupos para cada categoría de respuesta y determinar que diferencias

eran significativas ($p < 0,05$). Como puede verse la interpretación más extendida en todos los grupos, excepto los psicólogos, es que entre las partículas de un gas hay aire. Casi el 40% de las respuestas responden a este modelo, con la excepción del grupo de psicólogos que la usa menos, por lo que esta interpretación no se ve afectada por la edad ni la instrucción y resulta muy estable. La siguiente idea más extendida es el vacío (respuesta correcta), que fue analizada en su momento, viendo que sólo existen diferencias significativas entre el grupo que menos la utiliza (12-13), que lo hace en el 16% de los casos, y el grupo que puntúa más alto (16-17C), que la utiliza en el 34%. Por tanto, su uso, también resulta muy inestable a pesar de la instrucción.



La idea de que no hay espacio entre las partículas sólo la usan de modo abundante los psicólogos, con diferencias con el resto de los grupos, excepto los alumnos de 3º BUP sin estudios científicos (16-17L). El grupo de psicólogos es el que más utiliza esta categoría (41%) seguido por el grupo (16-17L) que lo hace en un 21%. El grupo de expertos la utiliza sólo en un 9% y el resto de los grupos lo hace alrededor del 14%. Con respecto a la categoría C (más de la misma sustancia, sólo hemos encontrado diferencias significativas entre el grupo (12-13) y los grupos (16-17C) y (Psic.). Finalmente, la presencia de otras sustancias distintas se utiliza muy poco en los gases, por debajo del 10% en todos los grupos, y no marca ninguna diferencia significativa entre ellos.

La comparación entre las puntuaciones obtenidas para cada categoría dentro de cada uno de los grupos se ha hecho mediante una prueba t, como se ha descrito para los sólidos. En todos los grupos de adolescentes (12-13, 14-15, 16-17L y 16-17C) la pauta es parecida, siendo la categoría más utilizada la presencia de aire entre las partículas, frente a las demás que se usan de forma equivalente. La única excepción es el mayor uso, comentado ya, de la idea de vacío por parte de los alumnos con estudios de ciencias (16-17C). La pauta cambia radicalmente en los psicólogos, que utilizan en mayor proporción la continuidad (A). Por último, el grupo de químicos vuelve a utilizar en mayor proporción la presencia del aire, con una pauta muy similar a la observada en los adolescentes,

siendo especialmente destacado el escaso uso de la idea de vacío.

En resumen, para los gases volvemos a encontrar, como ocurría con los sólidos una pauta clara y definida que se mantiene estable a lo largo de los grupos, sin apenas verse afectada por la instrucción. Como hemos visto la representación más común en casi todos los grupos, con excepción de los psicólogos, aunque también la utilizan bastante, es la existencia de aire entre las partículas de los gases, aunque tampoco sea desdeñable la proporción de respuestas de continuidad de la materia (A) y de presencia de más de la misma sustancia (C).

Resumen y conclusiones

A partir de los datos que acabamos de presentar, analizando tanto la proporción de aciertos, basada en la idea de que entre las partículas de una sustancia existe un espacio vacío, como el uso relativo de cada concepción alternativa, podemos retomar nuestros objetivos, con el fin de extraer algunas conclusiones.

Sin duda, el dato más sobresaliente es la escasa comprensión de la idea de vacío en todos los grupos, ya que en el mejor de los casos sólo una tercera parte de las respuestas se basan en esta idea. Estos datos son incluso inferiores a los obtenidos en nuestra investigación anterior (Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1993), mostrando que un análisis más detallado del significado de la

respuesta "entre las partículas no hay nada" revela que en muchos casos tras esta idea se oculta una concepción continua, según la cual las partículas están tan juntas, que entre ellas no cabe "nada", ni tan siquiera el vacío.

La escasa aceptación de la idea de vacío apenas cambia, según nuestros datos, con la instrucción. Se confirma así que la concepción discontinua de la materia se enfrenta a fuertes concepciones alternativas, muy estables, que apenas se ven afectadas por la enseñanza de la química recibida. Estas concepciones, muy consistentes (Pozo y Gómez Crespo, 1997; Gómez Crespo y Pozo, en prensa), son prácticamente inmunes a la instrucción científica, tal como se realiza habitualmente, por intensa y continuada que ésta sea. De hecho, tal vez el dato más llamativo de este estudio sea que los alumnos de 2º ciclo de químicas muestran una pauta de datos muy similar a la encontrada entre los alumnos adolescentes: apenas utilizan la idea de vacío en sus representaciones y recurren a concepciones alternativas muy similares a las mantenidas por los propios adolescentes. Dado que no cabe pensar que los químicos mantengan una representación de la naturaleza de la materia similar a la de los adolescentes, tal como muestran los datos obtenidos con otros contenidos químicos (Gómez Crespo, Pozo y Sanz, 1995; Pozo y Gómez Crespo, 1997), esta similitud de sus concepciones sobre la continuidad o discontinuidad de la materia merece estudios de carácter más cualitativo que indaguen en el significado que los alumnos de

Química, algunos de ellos futuros profesores de Educación Secundaria, tienen sobre el vacío, así como analizar la influencia que la enseñanza recibida tiene sobre esas ideas.

Pero si los alumnos de Química muestran una pauta muy similar a los grupos de adolescentes en este núcleo conceptual, la instrucción científica sí se muestra efectiva en este caso, al contrario de lo que sucede con otros aspectos de la comprensión de la naturaleza de la materia (por ejemplo, el movimiento intrínseco de las partículas constituyente de la materia; Pozo y Gómez Crespo, 1997), en el cambio de las ideas de los adolescentes con estudios científicos (16-17C), que son los que más emplean la idea de vacío diferenciándose del resto de los grupos. No obstante, incluso en este grupo, las interpretaciones en términos de un espacio vacío entre las partículas aparecen sólo en la tercera parte de las respuestas, mostrando de nuevo la persistencia de las concepciones alternativas al vacío.

Si la instrucción apenas afecta a las concepciones sobre la continuidad o discontinuidad de la materia, la activación de esas concepciones se ve muy influida en cambio por la apariencia material de las sustancias presentadas. Los sujetos no activan las mismas representaciones para todas las sustancias, sino que éstas dependen de la apariencia perceptiva adoptada por la materia. Así, la idea de vacío se utiliza con más frecuencia para representar la materia en estado gaseoso y en mucha menor medida para los sólidos, situándose los líquidos en un nivel

intermedio de dificultad. Estos datos que confirman los de otros estudios (Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1993; Stavy, 1995), si bien el uso del vacío es menor en este trabajo, y sigue siendo muy limitado para todos los estados de la materia, incluidos los gases. Esta tendencia parece corroborar el isomorfismo que los sujetos establecen entre la representación macroscópica y microscópica, posiblemente debido a que no las diferencian adecuadamente (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999). Cuando la materia adopta una apariencia más compacta, o si se prefiere más continua, como en los sólidos, es poco probable que se acepte que hay espacios vacíos entre sus componentes. Cuando la materia adopta un aspecto más "difuminado" o menos compacto, como es el caso de los gases, la aceptación de la idea de vacío, aunque escasa, es más probable. En el caso de los líquidos, la interpretación es menos clara y de hecho son los que muestran una pauta de datos más compleja.

En suma, aunque el uso de la aceptación de la idea de vacío es escasa en todos los grupos y contenidos, se hace más probable cuando la materia se presenta en estado gaseoso y menos probable cuando se presenta en estado sólido. Pero, aún en el mejor de los casos, la probabilidad de concebir un espacio vacío entre las partículas es reducida y siempre menor que la de activar alguna concepción alternativa, siendo esto cierto para todos los grupos. ¿Pero cuáles son las concepciones alternativas más

comunes? Según los datos que hemos presentado, estas concepciones alternativas son muy estables y apenas se ven afectadas por la edad e instrucción. Aunque hay diferencias entre grupos, éstas son menores y no afectan a la pauta general de datos, que nuevamente presenta como variable más determinante la apariencia macroscópica que adopta la materia.

En el caso de los *sólidos*, en los que la atribución de un espacio vacío resultaba especialmente difícil, la concepción alternativa más común es la de que existe una continuidad en la materia, por lo que *no hay nada, ni siquiera un espacio vacío entre las partículas*. Esta pauta es muy estable, sin verse apenas afectada por la instrucción. Casi la mitad de las respuestas se concentran en esta concepción, que resulta plenamente coherente con la apariencia perceptiva que adoptan los sólidos: entidades compactas, densas y continuas, sin separación entre los elementos que las componen. Una vez más vemos como los alumnos generan modelos de las partículas que adoptan rasgos *macroscópicos*, siendo incapaces de diferenciar entre el análisis microscópico de la materia (las partículas y sus interacciones) y la percepción macroscópica de la apariencia que adopta esa misma materia.

Aunque la pauta general muestra en los sólidos un predominio de esta concepción continua, en el caso de los químicos, aumentan apreciablemente las interpretaciones según las cuales entre las partículas de un sólido

hay aire. Una posible interpretación de este dato sería que al estudiar las propiedades de distintos sólidos tanto minerales como compuestos cristalinos, los estudiantes de química han visto la posibilidad de que aparezcan dentro de las redes cristalinas iones o moléculas extraños (por ejemplo, moléculas de agua de hidratación o aire en el caso de sólidos porosos), cosa que no tiene porque ocurrir en los ejemplos que se presentan en el cuestionario. Esta posibilidad podría indicar que detrás del entramado teórico de átomos, moléculas, iones, etc que manejan los alumnos persiste una visión de la materia en la que se mezclan de forma indiscriminada niveles explicativos macroscópicos y microscópicos. Esta hipótesis necesitaría comprobarse, lo que, probablemente, requeriría la realización de entrevistas individuales a estos sujetos.

En el caso de los *gases*, encontramos también una pauta muy clara y estable en las concepciones alternativas, que si bien se diferencia de la observada en los sólidos, mantiene una tendencia común: el predominio de los rasgos perceptivos en la representación de la estructura de la materia, en este caso los gases, o si se prefiere una vez más la indiferenciación entre la estructura microscópica y la apariencia macroscópica de la materia. En este caso la concepción alternativa predominante en casi todos los grupos —con la excepción de los psicólogos— es la *presencia de aire entre las partícula*. Esta pauta que resulta de nuevo muy persistente y estable a pesar

de la instrucción —de nuevo también la comparten los estudiantes de química—, se acomoda bastante también a esa influencia de la apariencia perceptiva de la materia en su representación microscópica. Mientras que la idea de que entre las partículas de un sólido no hay nada es muy creíble fenomenológicamente, la presencia de aire entre las partículas de un gas es también fácilmente aceptable si atendemos a nuestra experiencia perceptiva. De hecho, esto es real en el caso de gases que se difunden y mezclan con el aire, que es la forma en que podemos observar los gases en la mayoría de las ocasiones cotidianas. Pero no es lo que ocurre en las situaciones que se plantean en los distintos ítems del cuestionario, en los que precisamente se han utilizado ejemplos de gases recogidos en un recipiente y que, claramente, no están mezclados con el aire.

En cambio, la pauta de concepciones alternativas para los *líquidos* es bastante menos clara y sistemática, respondiendo quizás a su propia indefinición fenomenológica. No hay ninguna idea que predomine de modo sistemático y estable a través de todos los grupos, como sucedía con los gases y los sólidos, sino que la pauta cambia levemente de un grupo a otro, sin que las diferencias lleguen a ser muy notables, y ni siquiera podemos encontrar una alternativa conceptual predominante para cada uno de los grupos, ya que todas las concepciones alternativas se utilizan, aunque no de modo estable o claramente predecible.

Bibliografía

- CAREY, S. (1991). Knowledge acquisition enrichment or conceptual change? En: S. Carey y R. Gelman (eds.) *The epigenesis of mind: essays on biology and cognition*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- CHI, M.T.H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. En: R. Giere (ed.), *Cognitive models of science. Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P. Y WOOD-ROBINSON, V. (1994). *Making sense of secondary school*. Londres: Routledge. Trad. Cast. de M.J. Pozo: *Dando sentido a la ciencia en secundaria*. Madrid: Visor, 1999.
- ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Ed. Crítica.
- GÓMEZ CRESPO, M.A. Y POZO, J.I. (en prensa). La consistencia de las teorías sobre la naturaleza de la materia: Una comparación entre las teorías científicas y las teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*.
- GÓMEZ CRESPO, M.A.; POZO, J.I. Y SANZ, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter: effects of expertise and context variables. *Science Education*, 79 (1), 77-93.
- GÓMEZ CRESPO, M.A.; POZO, J.I.; SANZ, A. Y LIMÓN, M. (1992). La estructura de los conocimientos previos: una propuesta de núcleos conceptuales. *Investigación en la Escuela*, 18, 23-40.
- NESHER, P. Y SUKENIK, M. (1991). The effect of formal representation on the learning of ratio concepts. *Learning and Instruction*, 1 (2), 161-175.
- POZO, J.I. Y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1997). *Cambio conceptual en Química*. Memoria de investigación no publicada. Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Madrid.
- POZO, J.I. Y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A.; LIMÓN, M. Y SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: ideas de los alumnos sobre la química*. Madrid: Servicio de Publicaciones del M.E.C.
- POZO, J.I.; GÓMEZ CRESPO, M.A. Y SANZ, A. (1993). *La comprensión de la química en la adolescencia*. Memoria de Investigación no publicada. Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Madrid.
- POZO, J.I.; GÓMEZ CRESPO, M.A. Y SANZ, A. (1999). When Change Does Not Mean Replacement: Different Representations for Different Contexts. En: W. Schnotz; S. Vosniadou y M. Carretero (eds.), *New Perspectives on conceptual change*. Oxford: Elsevier Science.
- STAVY, R. (1995). Conceptual development of basic ideas in Chemistry. En: S. M. Glynn y R. Duit (eds.) *Learning science in schools*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- THAGARD, P.R. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- VOSNIADOU, S. (1994). Universal and culture-specific properties of children's mental models of the earth. En: L. Hirschfeld y S. Gelman (eds.), *Mapping the mind*. Cambridge, Ma.: Cambridge University Press.

Resumen

Esta investigación analiza las teorías sobre la naturaleza discontinua de la materia y el vacío mantenidas por adolescentes y adultos universitarios con diferente nivel de instrucción en química. Las respuestas de los sujetos a un cuestionario preparado para esta investigación, se analizaron teniendo en cuenta tanto la proporción de aciertos, basada en la idea de que entre las partículas de una sustancia existe un espacio vacío, como el uso relativo de las distintas concepciones alternativas, en función del nivel de instrucción y el contenido de la tarea. Uno de los datos más relevantes que se obtienen es la escasa comprensión de la idea de vacío a pesar de la instrucción científica. La concepción discontinua de la materia se enfrenta a fuertes concepciones alternativas, muy estables y diferentes en función del contenido químico de la tarea (el estado de agregación de las sustancias estudiadas). Los sujetos no activan las mismas representaciones para todas las sustancias, sino que éstas dependen de la apariencia perceptiva adoptada por la materia.

Palabras clave: teorías implícitas; comprensión de la química; cambio conceptual.

Abstract

This paper analyses the theories both adolescents and university students have on the discontinuous nature of matter and vacuum when having reached different levels of instruction on Chemistry. The answers to a questionnaire provided by the two former groups were analysed. These answers varied depending on the level of instruction and they ranged from the correct ones (the idea that in between the particles of matter there is vacuum) and other alternative conceptions. Something which was relevant was the little understanding of the idea of vacuum. The discontinuous conception of matter faces other strong alternative conceptions which are quite fixed and differ according to the chemical content of the task. The subjects under test did not activate the same representation for all the substances. This was done according to the appearance adopted by matter.

Key words: implicit theories, understanding of chemistry, conceptual change.

Miguel Ángel Gómez Crespo

*I.E.S. Victoria Kent. Torrejón de Ardoz
28850 MADRID*

E-mail: mgomez@platea.pntic.mec.es

Juan Ignacio Pozo

*Facultad de Psicología
Universidad Autónoma de Madrid
Ciudad Universitaria de Cantoblanco
Carretera de Colmenar, Km. 15,5
28049 MADRID*

E-mail: nacho.pozo@uam.es