

**CONOCIMIENTO COTIDIANO FRENTE A CONOCIMIENTO CIENTÍFICO EN LA INTERPRETACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MATERIA
(Everyday knowledge and scientific knowledge in the interpretation of matter properties)**

María Sagrario Gutiérrez Julián

IES Tirso de Molina, Madrid¹

Miguel Angel Gómez Crespo

IES Victoria Kent, Torrejón de Ardoz

Juan Ignacio Pozo

Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid

Resumen

En este trabajo presentamos un estudio de cómo interpretan los estudiantes las propiedades de la materia. Se muestra cómo para interpretar la discontinuidad de la materia y el movimiento intrínseco de las partículas que la constituyen se recurre en numerosas ocasiones a representaciones alternativas a la teoría científica. Estas representaciones proporcionan una consistencia local centrada en la percepción de la materia, mientras que las teorías científicas son las únicas capaces de proporcionar una consistencia global.

Palabras-clave: conocimiento cotidiano; conocimiento científico; propiedades de la materia.

Abstract

This paper presents a study about students' representations of matter properties. It shows how in order to explain matter discontinuity and intrinsic motion of particles the students frequently use alternative conceptions instead of scientific theories. These conceptions give local consistency centered on the macroscopic perception of matter, while scientific theories give global consistency.

Key-words: everyday knowledge; scientific knowledge; matter properties.

Hace ya tiempo que se vienen realizando investigaciones sobre el aprendizaje de la Ciencia que muestran cómo existe un conocimiento cotidiano y unas concepciones alternativas firmemente arraigadas que compiten, con ventaja, con el conocimiento científico que se intenta transmitir a través de la escuela. De forma que el conocimiento cotidiano estaría estructurado en torno a unos supuestos o principios subyacentes diferentes a los que estructuran las teorías científicas y precisamente esas diferencias estarían en la base de gran parte de las dificultades de aprendizaje de la ciencia en el contexto escolar. Aunque existen diversas posiciones o teorías sobre cuáles son las diferencias entre el conocimiento cotidiano y el científico (por ejemplo: Chi, 1992 o Vosniadou, 1994), de ellas puede extraerse que las diferencias entre teorías intuitivas y científicas, se centrarían en torno a tres principios o supuestos: epistemológicos, ontológicos y conceptuales. En consecuencia, comprender la ciencia requeriría un cambio en la naturaleza del conocimiento y los procesos mediante los que se adquiere y modifica ese conocimiento (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

En el caso de la química son muchas y de diversos tipos las dificultades de aprendizaje que muestran los alumnos. Pero, uno de los temas sobre el que a lo largo de los años se ha acumulado

¹Esta investigación es parte del Proyecto de investigación PB98-095 concedido por la DGICYT bajo la dirección del tercer autor. El trabajo se ha podido llevar a cabo gracias a una licencia por estudios concedida por la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid a la primera autora.

bastante información, que muestra la existencia de concepciones alternativas firmemente asentadas, que persisten incluso después de largos períodos de instrucción, es la interpretación de la naturaleza de la materia y de sus propiedades (por ejemplo: Benlloch, 1997; Gabel y Bunce, 1994; Llorens, 1991; Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999; Stavy, 1995). Estas concepciones, al igual que ocurre con otras en otros dominios de la ciencia, son el resultado de aplicar el “sentido común” a la predicción y control de los fenómenos cotidianos, lo que da lugar a concepciones y representaciones que están mediadas por los sentidos, por la forma en qué percibimos el mundo en que vivimos, y que estarán estructuradas, como decimos, entorno a unos principios muy diferentes de los que estructuran las teorías científicas.

Interpretar las propiedades y los cambios de la materia implica el paso desde la perspectiva macroscópica con la que se manifiestan esas propiedades y desde la que observamos el mundo mediante nuestros sentidos a la perspectiva microscópica, más allá de lo observable, que nos presenta la ciencia. Uno de los objetivos de la educación secundaria es que los alumnos aprendan a interpretar esos fenómenos macroscópicos en términos microscópicos, es decir que aprendan a utilizar el modelo cinético corpuscular de la materia como instrumento interpretativo de los distintos fenómenos que tienen lugar en la naturaleza. El modelo corpuscular resulta fundamental para poder explicar, por ejemplo, las diferencias entre los diferentes estados de la materia, sus propiedades y los cambios, físicos o químicos, que experimentan. Sin embargo, descender al terreno microscópico implica asumir que, para explicar la realidad macroscópica de la materia, que en muchos casos, se nos presenta, como continua y estática, la ciencia nos propone un modelo interpretativo en que ésta tiene una naturaleza discontinua y está formada por pequeñas partículas que no podemos ver, que se encuentran en continuo movimiento, pueden combinarse para dar lugar a estructuras más complejas y entre las que no hay absolutamente nada, lo que conlleva algo tan contraintuitivo como la idea de vacío.

Las investigaciones realizadas muestran que los estudiantes aceptan fácilmente el modelo corpuscular que se enseña en la escuela, pero no lo utilizan de forma espontánea y recurren, para sus explicaciones, a sus teorías cotidianas, basadas en las propiedades macroscópicas de la materia, más cercanas a las dimensiones “físicas” del mundo real (Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999). Tan sólo, cuando la situación lo induce de alguna manera (la pregunta del profesor, el contexto de la tarea, etc) recurren a este modelo, pero cuando lo hacen, en muchas ocasiones, asignan a las partículas todas aquellas propiedades que atribuyen al mundo que les rodea. Para, ellos, la teoría corpuscular no es realmente un modelo explicativo de las propiedades de la materia, tal como nos plantea la ciencia, sino que más bien necesitan recurrir a su conocimiento cotidiano para poder explicar y comprender esas teorías “extrañas” que se explican en la escuela y que es necesario aprender. Es decir, se acaba por explicar el funcionamiento de las partículas a partir de las propiedades del mundo macroscópico, en lugar de hacerlo a la inversa (Pozo y Gómez Crespo, 2002).

Como muestran numerosos trabajos (por ejemplo: Benlloch, 1997; Gabel y Bunce, 1994; Llorens, 1991; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Stavy, 1995) los estudiantes tienden a interpretar los distintos fenómenos, tanto físicos como químicos, desde una perspectiva realista en la que se buscan semejanzas entre causas y efectos. Por tanto, nada más “razonable” que atribuir a las partículas (causas) las mismas características de los fenómenos del mundo que podemos observar (efectos). El resultado es que, aunque acepten la “existencia” de partículas que no pueden verse tienden a atribuirles las mismas propiedades que observan en el mundo macroscópico; por ejemplo las propiedades del sistema del que forman parte, interpretando que son pequeños trozos de materia, tal como la vemos. Por ejemplo, los átomos de cobre deberían tener un aspecto rojizo, las moléculas de agua serían como pequeñas gotas de agua, etc. Además, para poder explicar los cambios que la materia experimenta, se interpreta que las partículas también experimentan los mismos cambios que se perciben a nivel macroscópico, los mismos cambios que la materia observable (por ejemplo, las

moléculas de agua podrían evaporarse, las de alcohol evaporarse o arder, las partículas que componen el aire dilatarse, etc). Así, para la mayoría de los estudiantes, las partículas, al igual que la materia que perciben, tienen un estado natural que es el reposo, de forma que sólo se moverán si hay un agente o causa externa que provoque el movimiento; por ejemplo, movimiento del objeto en los sólidos, o del recipiente o al agitar en el caso de los líquidos, presencia de una corriente de aire para los gases, etc. De la misma manera, frente a la idea de discontinuidad con partículas separadas por un espacio vacío, los estudiantes tienden a representarse una materia continua en la que o bien no hay nada entre las partículas que la componen (están muy juntas, sin huecos) o bien hay otra sustancia que ocupa todos los rincones (por ejemplo, el aire).

Tenemos bastante información sobre las representaciones que los alumnos utilizan para explicar los cambios y propiedades de la materia. Pero, un problema que se plantea es: ¿cómo utilizan los alumnos sus ideas? ¿Lo hacen de forma consistente -utilizan una misma teoría o modelo de respuestas para problemas diferentes, en contenido, contexto, etc- o lo hacen de forma inconsistente -utilizan patrones de respuesta diferentes para problemas similares-? El problema de la consistencia ha sido tratado por diferentes autores con diferentes técnicas de trabajo y diferentes aproximaciones (Oliva, 1996) y en el caso de la química se han obtenido resultados que muestran cómo, aunque aumenta con la edad y la instrucción de los sujetos (Gómez Crespo y Pozo, 2001), los alumnos utilizan distintas teorías en función del contenido de la tarea, por ejemplo aplican de forma diferente la teoría corpuscular a sólidos, gases o líquidos. Los resultados muestran que las teorías alternativas, de carácter macroscópico, restringidas por las representaciones implícitas generadas a partir de la información que nos proporcionan nuestros sentidos, son muy consistentes. Sin embargo, no hay una representación global consistente, independiente de la apariencia perceptiva. Por tanto, podríamos decir que aunque los sujetos carecen de una teoría global sobre la naturaleza de la materia, disponen de teorías específicas o situadas para cada uno de sus estados de agregación. Cuando las formas de organización de la materia cambian, y con ellas la apariencia física del mundo, adoptando el aspecto de un gas, un líquido o un sólido, las representaciones también cambian.

Pero el dato que resulta más llamativo es que el patrón de representaciones sobre la naturaleza de la materia también se repite, en proporciones muy elevadas, entre sujetos que pueden considerarse, a todos los efectos, como expertos en química: los recién licenciados y potenciales profesores de física y química. Los datos obtenidos en investigaciones anteriores sobre la naturaleza de la materia (Gómez Crespo y Pozo, 2000; Pozo y Gómez Crespo, 2002) ya mostraban que los estudiantes de último curso de Ciencias Químicas disponían de múltiples representaciones sobre la naturaleza de la materia, que activaban diferencialmente en función del contexto.

Resumiendo, estos trabajos han permitido profundizar e identificar los modelos más frecuentes que los alumnos activan en su interpretación de las características y propiedades de la materia, pero todavía es preciso ir más allá. Se hace necesario identificar qué teorías concretas utilizan los estudiantes, cómo se estructuran, en qué se basan y cómo evolucionan desde los comienzos de la educación secundaria hasta etapas posteriores. Es necesario investigar por qué los sujetos expertos mantienen representaciones muy similares a las de los novatos. Necesitamos conocer qué es lo que hace que un sujeto active o no una determinada representación ante un problema concreto. Y es necesario, también, investigar si aquellos sujetos que utilizan las distintas teorías de una forma inconsistente mantienen algún otro tipo de consistencia que no ha podido ser detectada mediante los cuestionarios utilizados en las investigaciones mencionadas. Pero, al llegar a este punto, un paso imprescindible es la realización de entrevistas individuales a sujetos con diferentes edades y diferentes niveles de instrucción en química que permitan identificar dichas teorías. Por todo ello, los objetivos que nos planteamos en esta investigación pueden concretarse en los siguientes puntos:

? Readaptar los cuestionarios utilizados en otras investigaciones para corregir las deficiencias

encontradas en su aplicación. Profundizar en el estudio de las distintas concepciones alternativas sobre la naturaleza y estructura de la materia y los cambios que experimenta, centradas en dos aspectos: la noción de vacío y el movimiento intrínseco de las partículas constituyentes de la materia.

- ? Confirmar los datos presentados por la bibliografía e identificar las teorías implícitas de los estudiantes y la forma en que integran las concepciones alternativas dentro de esas teorías.
- ? Realizar entrevistas individuales, a partir del análisis de consistencia de dichas teorías, que proporcionen información sobre las representaciones de los sujetos y sobre los mecanismos que atribuyen a los cambios de la materia estudiados.

Metodología

Tareas y procedimiento

Cuestionario cerrado

A partir de los resultados obtenidos en otras investigaciones (Gómez Crespo y Pozo, 2000; Gómez Crespo y Pozo, 2001; Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999) se diseñaron dos cuestionarios de opción múltiple dirigidos a analizar las representaciones de los estudiantes sobre continuidad y vacío y sobre movimiento intrínseco de las partículas.

El cuestionario que estudia las ideas sobre continuidad y discontinuidad de la materia se diseñó, entre otras cosas, con la intención de 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 sistematizaron el resto de opciones de respuesta, de forma que en todos los ítems se proporcionen las mismas teorías alternativas. Este cuestionario consta de doce ítems de opción múltiple, cuatro para cada uno de los estados de la materia (variable independiente, con tres valores: sólido, líquido y gas). En todos ellos se plantea 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 se corresponden a cuatro maneras distintas de comprender la materia como continua o discontinua (véase la tabla 2) que se presentan en el mismo orden en todos los ítems. Los ítems se ordenaron en el cuestionario siguiendo un criterio aleatorio.

Tabla 1: Un ejemplo de los ítems que componen el cuestionario

<p>Ítem 1</p> <p>Tenemos un vaso de agua lleno, quieto encima de una mesa. ¿Qué crees que hay entre las partículas que forman el agua?</p> <p>A. No hay espacio entre las partículas. Están muy juntas unas a otras y no puede haber nada.</p> <p>B. Un espacio libre entre las partículas en el que no hay nada.</p> <p>C. Más agua entre las partículas.</p> <p>D. Aire que rellena el espacio libre entre las partículas.</p> <p>Ítem 2</p> <p>Tenemos un encendedor de gas que se ha quedado vacío. Para rellenarlo utilizamos un cartucho que contiene gas butano a presión. Cuando lo llenemos, ¿qué crees que habrá entre las partículas que forman el butano del interior del encendedor?</p> <p>A. No hay espacio entre las partículas. Están muy juntas unas a otras y no puede haber nada.</p> <p>B. Un espacio libre entre las partículas en el que no hay nada.</p> <p>C. Más butano entre las partículas.</p> <p>D. Aire que rellena el espacio libre entre las partículas.</p>

Tabla 2: Categorías de respuesta utilizadas en la confección de los items del cuestionario sobre vacío y discontinuidad

<p>Concepción continua: No hay espacio entre las partículas. Están muy juntas y no puede haber nada.</p> <p>Noción de vacío. Un espacio libre entre las partículas en el que no hay nada (categoría correcta desde el punto de vista científico).</p> <p>Más de la misma sustancia. Entre las partículas de esa sustancia hay más sustancia de esa misma sustancia (hierro, agua, etc.)</p> <p>Huecos llenos de aire que rellena el espacio libre entre las partículas.</p>

El cuestionario que analiza las ideas sobre el movimiento intrínseco de las partículas constituyentes de la materia consta de doce items de opción múltiple (cuatro opciones de respuesta) en los que se realiza una pregunta sobre el estado de movimiento de las partículas en una sustancia suficientemente conocida para el alumno. En el cuestionario se recogen 3 contenidos diferentes, relativos a los tres estados de la materia: sólido, líquido y gas (véanse dos ejemplos en la tabla 3). Como muestra la tabla 4 cada ítem ofrece cuatro alternativas, que se corresponden con otras tantas categorías interpretativas del estado de movimiento de las partículas. Aunque su contenido específico varía de una pregunta a otra, las cuatro categorías de respuesta son siempre las mismas. Los 12 items fueron distribuidos al azar dentro del cuestionario. Sin embargo, en cada uno de ellos se respetó el mismo orden para las distintas categorías de respuesta. Con esto se pretende que al contestar el cuestionario el alumno sea consciente de que se están utilizando esas cuatro categorías y de la distinción que hace entre sustancias sólidas, líquidas o gaseosas.

Tabla 3: Cuestionario sobre movimiento de las partículas

<p>Ítem 1</p> <p>Las ventanas de tu clase, al igual que todas las ventanas llevan un cristal (vidrio). ¿Cómo crees que estarán las partículas que forman el vidrio de la ventana?</p> <p>A. Están siempre quietas, inmóviles. B. Sólo se mueven si agitamos el cristal. C. Están moviéndose siempre. D. Se mueven sólo si hay burbujas de aire que las empujan.</p> <p>Ítem 2</p> <p>En el interior de un armario en la cocina de una casa hay una botella de aceite puro de oliva. ¿Cómo crees que estarán las partículas que forman el aceite que contiene la botella?</p> <p>A. Están siempre quietas, inmóviles. B. Sólo se mueven si agitamos la botella. C. Están moviéndose siempre. D. Se mueven sólo si hay burbujas de aire que las empujan.</p>
--

Tabla 4: Categorías de respuesta utilizadas en la confección de los items del cuestionario sobre movimiento intrínseco

Reposo absoluto: las partículas no se mueven nunca.

Movimiento causado por un agente externo: sólo se mueven cuando se mueve el objeto o el recipiente que las contiene.

Movimiento continuo e intrínseco: se mueven siempre (categoría correcta desde el punto de vista científico).

Movimiento causado por un agente interno. Sólo se mueven por la acción de un agente presente en la sustancia.

Entrevista

La entrevista está estructurada en torno a tres tareas en las que se muestran otras tantas experiencias realizadas con material sencillo y sobre las que el sujeto tiene que realizar predicciones y tratar de explicar los cambios que observa. Las tareas son las siguientes:

Tarea 1: Globo con aire, puesto dentro de un recipiente de paredes rígidas y del que se extrae aire. En una segunda parte se deja que vuelva a entrar aire en el recipiente.

Tarea 2: Globo con agua, puesto dentro de un recipiente de paredes rígidas y del que se extrae aire. En una segunda parte se deja que vuelva a entrar aire en el recipiente.

Tarea 3: Mezcla de volúmenes iguales de dos líquidos miscibles uno de ellos coloreado y otro incoloro.

En cada una de las tareas se sigue un protocolo que consta de las siguientes etapas: Se muestra el material y se explica en qué consiste la experiencia; se pide que el entrevistado prediga lo que va a ocurrir y que justifique su predicción; se realiza la experiencia y se intenta que espontáneamente compare su predicción con los hechos; se busca la explicación macro y micro que pueda justificar los hechos; se pide la realización de un dibujo que ayude a la explicación. Cada entrevista tiene una duración entre 35 y 40 minutos. Todas ellas han sido grabadas en video. Para facilitar el análisis y la categorización de las entrevistas se había elaborado una plantilla de observación y otra con un esbozo de los dibujos que cada entrevistado tiene que completar al final de la entrevista.

Sujetos

La experiencia se ha realizado con 214 sujetos de distintas edades y diferentes niveles de instrucción en química, distribuidos en cinco grupos. Tres de los grupos estaban formados por adolescentes: el grupo de menor edad estaba formado por 60 estudiantes de 3º ESO de 14 a 15 años de edad; otros dos grupos estaban formados por estudiantes de secundaria no obligatoria (2º de Bachillerato, 16 a 17 años de edad), uno de ellos con 53 sujetos que no habían cursado ninguna opción específica por estudios científicos o matemáticos (Bach-L) y otro con 36 alumnos de la opción de ciencias, que estaban cursando las asignaturas de Física y de Química (Bach-C). Los otros dos grupos estaban formados por universitarios que estaban recibiendo un curso de formación inicial para futuros profesores en la Universidad Autónoma de Madrid: 38 de ellos licenciados en Filología, Filosofía o Ciencias Sociales (Univ-L) y 27 licenciados en Biología, Ciencias de la Tierra, Física o Química (Univ-C).

Procedimiento y análisis de datos

En primer lugar se efectuó un análisis cualitativo de las categorías utilizadas por los sujetos en sus respuestas al cuestionario cerrado, en el que se midió la consistencia proporcionada por cada alternativa de respuesta (considerando que un sujeto era consistente con una teoría cuando la utilizaba como mínimo en el 75% de las respuestas). De esta forma se podía saber no sólo el grado de consistencia en función de las variables independientes (grupo y estado de la materia), sino también qué conocimiento la proporcionaba. Este es el análisis que se va a mostrar a continuación.

En análisis posteriores cuyos resultados no vamos a describir aquí, mediante un análisis de conglomerados se clasificaron los casos (sujetos) en función de las categorías asignadas para cada variable independiente. Posteriormente, se seleccionó en cada grupo una muestra más pequeña de sujetos para cada uno de los conglomerados obtenidos. Por último, se realizaron entrevistas individuales.

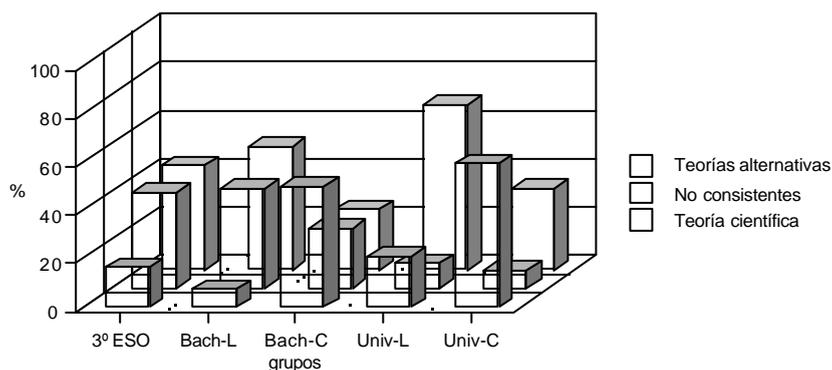
Resultados

Queremos presentar aquí un avance de resultados de esta investigación en la que se muestra un análisis cualitativo de los datos obtenidos en las respuestas a cada uno de los cuestionarios cerrados. En todos los casos se ha considerado a un sujeto como consistente cuando utiliza una misma teoría en al menos el 75% de los ítems correspondientes a cada contenido. De esta forma se estableció el número de sujetos de cada grupo que se comportaba de modo consistente para cada uno de los contenidos (sólido, líquido, gas), así como la teoría en la que se basaba esa consistencia. Para cada uno de los estados de la materia, así como para los cuestionarios considerados de forma global, todos los sujetos fueron clasificados según este criterio como no consistentes, o como consistentes con la teoría científica o con cualquiera de las teorías alternativas.

Discontinuidad de la materia

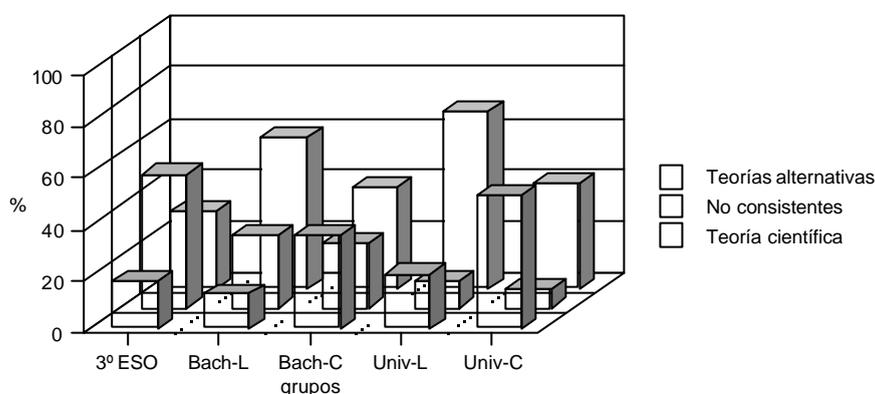
El cuestionario sobre discontinuidad, para el contenido *gases*, muestra un aumento de la consistencia con la edad y la instrucción excepto en el grupo Bach-L (figura 1). El aumento de consistencia no se debe, excepto en el caso de los sujetos con instrucción específica en ciencias, al uso de la teoría científica, sino que la consistencia la proporcionan las teorías alternativas. En cuanto a la teoría alternativa usada más consistentemente en todos los grupos, es la que cabría esperar en términos del aspecto macroscópico con que se nos presentan los gases: *entre las partículas del gas hay aire*. Además en el grupo de universitarios de letras aparece un proporción muy elevada (31,6 %) de sujetos que opinan que *entre las partículas del gas no hay nada*, ni siquiera un espacio vacío. También es de destacar el porcentaje relativamente elevado de universitarios de ciencias que utilizan las tres teorías alternativas (superior al 30 %).

Figura 1: Porcentaje de sujetos que utilizan las teorías sobre discontinuidad en los gases



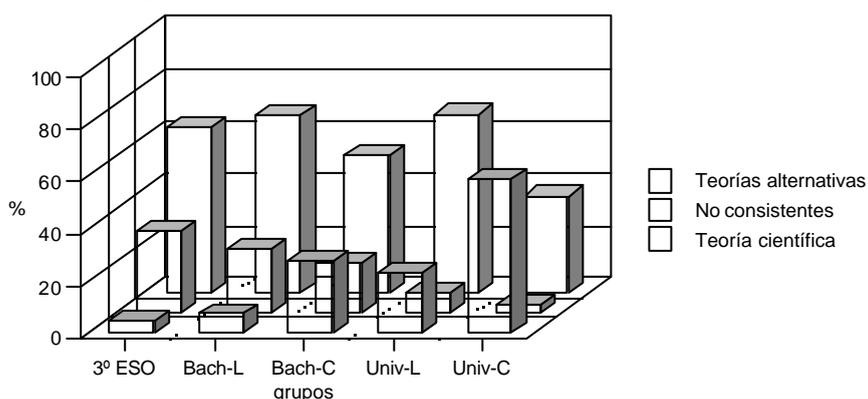
En el caso de los *líquidos* encontramos una pauta bastante similar. Nuevamente observamos que los sujetos consistentes aumentan con la edad y la instrucción, pero ese aumento se debe, como en los gases, a las teorías alternativas y no a la teoría científica (figura 2). En todos los grupos, excepto entre los universitarios de ciencias, la representación de la materia como algo discontinuo, cuyas partes están separadas por espacios vacíos, organiza menos las representaciones que las teorías alternativas que tienen en común la continuidad de la materia. La teoría alternativa que proporciona más consistencia es la que propone que *entre las partículas del líquido hay aire*, aunque también tiene cierta importancia la teoría de que *las partículas están muy juntas y sin huecos entre ellas*, teniendo menor incidencia la representación de que *entre las partículas hay más de la misma sustancia*. Vuelven a llamar la atención los resultados de los supuestos expertos, universitarios y futuros profesores de ciencias, en donde un porcentaje del orden del 40 % de los sujetos es consistente con todas estas teorías alternativas.

Figura 2: Porcentaje de sujetos que utilizan las teorías sobre discontinuidad en los líquidos



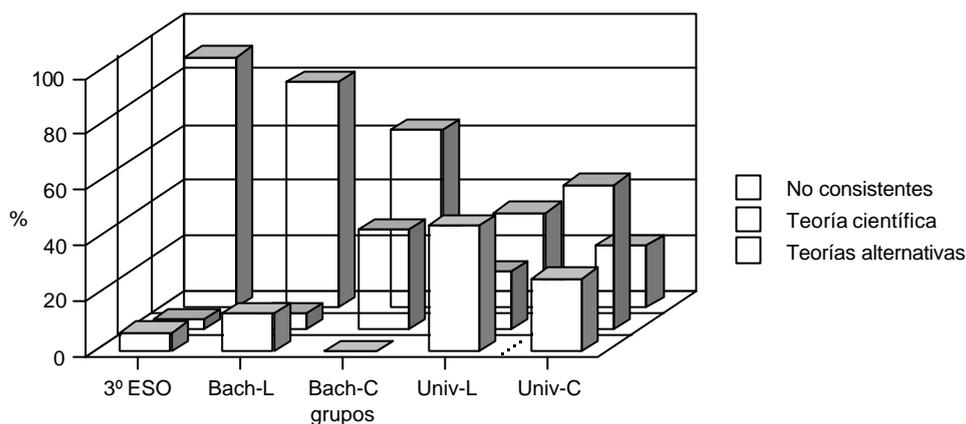
En la representación de la discontinuidad en los *sólidos*, volvemos a encontrar nuevamente un aumento de la consistencia con la edad y la instrucción (figura 3). Pero al igual que ha sucedido en la representación de la discontinuidad en los otros estados de la materia, proviene una vez más de las teorías alternativas que, excepto en el caso de los universitarios de ciencias, son las que proporcionan la consistencia para la mayor parte de los sujetos. La representación principal en este caso es que *entre las partículas de los sólidos no hay nada*, ni siquiera huecos. También, en algunos casos, tiene una cierta incidencia la idea de que *entre las partículas hay aire*. De nuevo vemos cómo las representaciones de los estudiantes se ven guiadas por la forma en que perciben la materia. Así, ante la apariencia compacta de los sólidos la mayoría de los sujetos se representan de modo consistente la materia como algo continuo.

Figura 3: Porcentaje de sujetos que utilizan las teorías sobre discontinuidad en los sólidos



Pero, cuando se consideran *globalmente* las respuestas a los doce items de continuidad (figura 4), observamos que la consistencia global es muy baja, excepto en los universitarios. Vemos que hay un aumento de la consistencia con la edad, independientemente de la instrucción específica en ciencias. En los grupos de menor edad e instrucción en química hay menor consistencia, mientras que en los grupos que han recibido una instrucción específica tiende a proporcionar mayor consistencia la teoría científica. Vuelve a llamar la atención el grupo de universitarios, futuros profesores de ciencias, en el que observamos que para un porcentaje superior al 25 % las teorías alternativas son las que proporcionan una consistencia global.

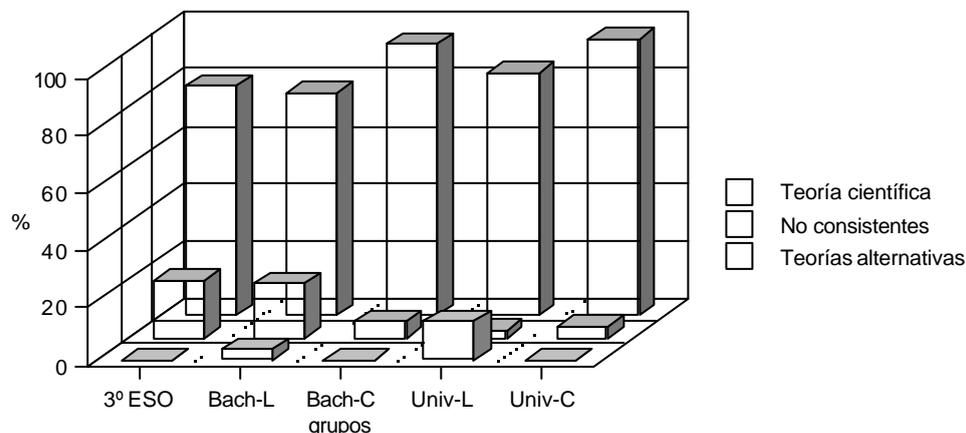
Figura 4: Porcentaje de sujetos que utilizan las teorías sobre discontinuidad (cuestionario global).



Movimiento intrínseco

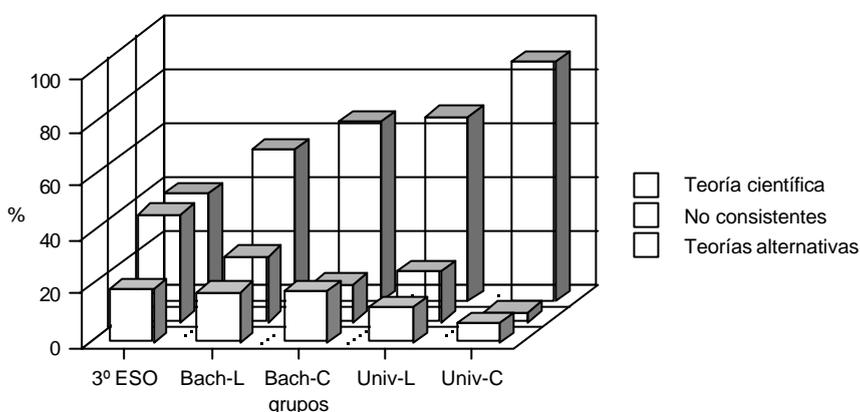
El análisis del cuestionario sobre movimiento intrínseco muestra que la mayor parte de los sujetos, en todos los grupos, se representan de modo consistente los *gases* en continuo movimiento (figura 5). El porcentaje de sujetos consistentes en el uso de la teoría científica no baja en ningún grupo del 80 %. Llegando a alrededor del 95 % en el caso de los alumnos de bachillerato de ciencias y aún mayor en los universitarios. De hecho, la teoría científica es prácticamente la única que proporciona consistencia en la representación de los gases. Esto puede significar que, en el caso de los gases, la teoría científica es fácilmente aceptada por los estudiantes, pero también, como sugieren las investigaciones realizadas hasta ahora, puede significar una atribución de propiedades macroscópicas a partir de la apariencia dinámica con la que percibimos habitualmente a los gases.

Figura 5: Porcentaje de sujetos que utilizan las teorías sobre movimiento intrínseco en los gases



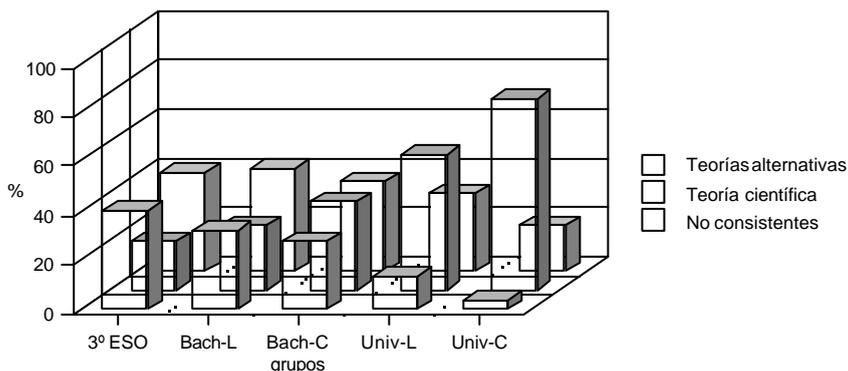
En los *líquidos*, como se muestra en la figura 6, desciende la utilización de la teoría científica y aparecen teorías alternativas con una cierta incidencia. A diferencia de lo que sucedía en la representación de los gases, ya no es, en ningún caso, la teoría del movimiento continuo la única que proporciona la consistencia, aunque sigue siendo la que proporciona mayor consistencia; vemos cómo las teorías alternativas tienen un grado de incidencia de alrededor del 20 % entre los adolescentes de la ESO y el Bachillerato y desciende su utilización en el caso de los universitarios. Un análisis más detallado ha mostrado que no hay sujetos que consideren que *las partículas de los líquidos están siempre quietas*, excepto en el grupo de universitarios que no estudian ciencias (7,9 %). La mayoría de los sujetos que utilizan una teoría alternativa considera que las partículas de los líquidos *están quietas pero pueden llegar a moverse cuando se agita el recipiente* (agente externo). Sólo en los grupo de ESO y de Bachillerato de letras aparecen sujetos consistentes con la interpretación de que el movimiento de las partículas está causado por un *agente que se encuentra en el interior* del líquido. Estas representaciones están lógicamente basadas en la experiencia macroscópica con los líquidos (estáticos en reposo, pero que pueden moverse y cambiar de forma).

Figura 6: Porcentaje de sujetos que utilizan las teorías sobre movimiento intrínseco en los líquidos



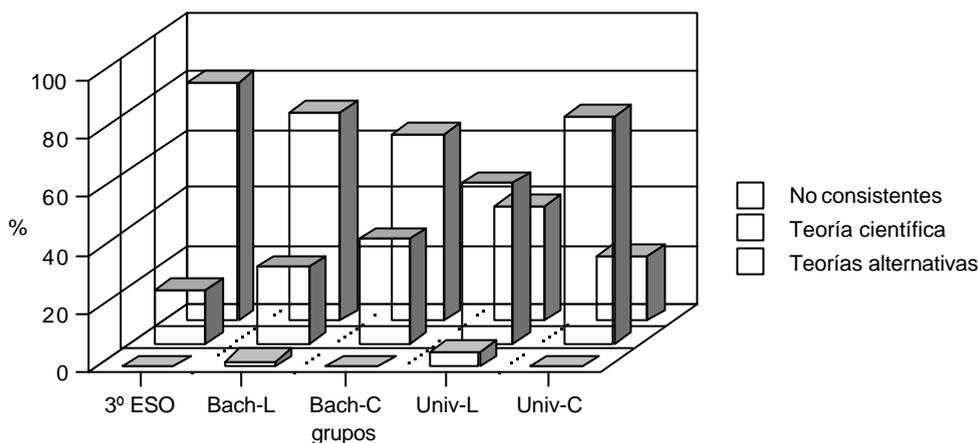
Como vemos (figura 7), en los *sólidos*, cambia el patrón con respecto a gases y líquidos. Aquí vemos cómo en el caso de los adolescentes de la ESO y del Bachillerato de letras las teorías alternativas se utilizan consistentemente más que la teoría científica. En los sujetos de Bachillerato de ciencias, las teorías alternativas y la científica se utilizan en proporciones semejantes. Sólo, en el caso de los universitarios, la teoría científica se utiliza consistentemente en una proporción mayor que las teorías alternativas (55,3 % para los universitarios con estudios de letras y 77,8 % para los universitarios de ciencias). Un análisis de las teorías alternativas que proporcionan esa consistencia nos mostró que, como cabía esperar desde el punto de vista de la percepción que los estudiantes tienen de la materia, casi todas las respuestas consistentes se concentran en una misma teoría (más del 30 % en todos los grupos, excepto los universitarios de ciencias): *las partículas de un sólido no se mueven nunca*.

Figura 7: Porcentaje de sujetos que utilizan las teorías sobre movimiento intrínseco en los sólidos



Por tanto, la representación del movimiento de las partículas está organizada de modo consistente en forma de teorías implícitas, pero su contenido varía en función de la apariencia macroscópica que adopta la materia. Si analizamos el cuestionario sobre movimiento globalmente, con sus doce items (figura 8), observamos que tan sólo, en los grupos de universitarios encontramos que el número de sujetos consistentes supera el 60 % de la muestra. También vemos que sólo la teoría científica proporciona consistencia en la representación. Sólo el conocimiento científico, más allá de la consistencia contextual o situada proporcionada por las representaciones implícitas, permite una representación generalizable o transferible a todos los estados en los que la materia se aparece ante nosotros.

Figura 8: Porcentaje de sujetos que utilizan las teorías sobre movimiento intrínseco (cuestionario global)



Conclusiones

Las teorías alternativas sirven para interpretar los cambios que tienen lugar en el mundo en que vivimos a partir de la información que recibimos de él a través de nuestros sentidos. Cuando la apariencia física del mundo cambia, por ejemplo la materia se presenta en forma líquida o sólida, la representación cambia. Sólo el conocimiento explícito, que proporciona la ciencia, en la medida en que suspendiera o redescrifiera representacionalmente, de acuerdo con Karmiloff-Smith (1992), los rasgos de ese mundo, podría generalizarse a todos los contextos o estados aparentes de la materia.

La representación del movimiento intrínseco de las partículas viene determinada por el aspecto macroscópico de la sustancia estudiada. Los sujetos no parecen tener dificultad para representar un movimiento continuo de las partículas, como muestra su uso en la representación de los gases, pero esa representación responde más a una proyección analógica de las propiedades del mundo observable (Glenberg, 1997), en este caso de la idea de que los gases están en continuo movimiento, que a una representación de ese movimiento como algo intrínseco a la naturaleza de la materia. De acuerdo con el principio de causalidad lineal que restringe sus teorías implícitas (Andersson, 1990; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Vosniadou, 1994), los sujetos asumen que ese movimiento de las partículas, en caso de producirse, debe estar causado por un agente externo. Así, en contra de la teoría científica y de lo que se les enseña en las aulas, nuestros sujetos no conciben el movimiento como la causa de los cambios de la materia, sino como una consecuencia de esos cambios. Es la apariencia macroscópica del mundo la que da cuenta de su funcionamiento microscópico, y no al revés. En cambio, en los expertos en química sí encontramos un uso relativamente consistente de la teoría cinético-molecular para todos los estados de la materia, incluso para el cuestionario global, lo que coincide con el uso explicativo que estos sujetos hacen de esta teoría como una forma de redescrifier la representación macroscópica de la materia en sus estados de agregación (Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999).

Sin embargo, como hemos visto, la aceptación de las teorías científicas sobre la discontinuidad de la materia es muy escasa, incluso entre los estudiantes universitarios de ciencias. A diferencia de lo que sucede con la representación del movimiento intrínseco, donde al menos los licenciados en ciencias logran superar las restricciones de la percepción, aquí ni siquiera logran esa redescrición representacional en el grado que sería deseable y exigible. De hecho, podríamos decir que la representación discontinua de la materia, como partículas separadas por un espacio vacío, resulta totalmente contraria a la percepción macroscópica de nuestro mundo real (Glenberg, 1997). No es posible siquiera, como sucede en el caso del movimiento continuo de los gases, una representación analógica del vacío a partir de nuestras representaciones macroscópicas. Vemos, por tanto, que en la representación de la discontinuidad de la materia, a diferencia de lo que sucede con el movimiento, las teorías alternativas se usan de modo más consistente que las científicas. Este dato es congruente con lo obtenido en otras investigaciones, que han mostrado que esta teoría implícita de la continuidad, que en este trabajo se muestra tan consistente, es también la más resistente al cambio representacional, la más difícil de modificar con la instrucción (Gómez Crespo y Pozo, 2000; Stavy, 1995).

Hasta aquí, hemos resumido los resultados que muestran los análisis de los cuestionarios de opción múltiple. A partir de ellos, se ha seleccionado un grupo de sujetos que han participado en entrevistas individuales basadas en las tareas descritas más arriba. En la fase actual de la investigación nos encontramos analizando y categorizando los resultados de esas entrevistas a partir de unos protocolos, diseñados al efecto, que nos permitirán seguir profundizando en las interpretaciones que los estudiantes hacen de las propiedades de la materia y sus cambios y, sobre todo, más allá del análisis de la consistencia con que utilizan sus teorías en distintos problemas, indagar en la coherencia de sus argumentos en las distintas situaciones que se plantean en un mismo problema. En el análisis de las entrevistas se buscan respuestas a preguntas del tipo: ¿cómo enfocan los sujetos el análisis macroscópico de las diferentes tareas y cómo lo enfocan desde la teoría cinética cuando se les induce a ello? ¿Cuándo hacen referencia al movimiento de las partículas de los gases, se trata de un movimiento intrínseco o de un movimiento en clave macroscópica? ¿Los sujetos que asumen el vacío en los cuestionarios para los gases, responden a la concepción científica de vacío o, más bien, para ellos el vacío es algo lleno de nada? ¿Qué esquemas causales utilizan en sus explicaciones? Además, si partimos de la idea de que las entrevistas son situaciones potenciales en las que los sujetos pueden aprender a partir de la experiencia y de sus propias respuestas, queremos ver cómo se produce ese aprendizaje, cómo reestructuran sus teorías hacia teorías más avanzadas o cómo incorporan nuevos elementos que las refuerzan.

Bibliografía

- Andersson, B. (1990) Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Benlloch, M. (1997) *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Visor.
- 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.
- Gabel, D. y Bunce, D. (1994) Research on problem solving: Chemistry. En D. Gabel (ed.) Handbook of research on science teaching and learning. N. York: Macmillan.

- Glenberg, A. (1997) What memory is for. *Behavioral and Brain Sciences*, 20. pp 1-55.
- Gómez Crespo, M.A. y Pozo, J.I. (2000) Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. *Tarbiya*, 26. pp 117-139.
- Gómez Crespo, M.A. y Pozo, J.I. (2001) La consistencia de las teorías sobre la naturaleza de la materia. Una comparación entre las teorías científicas y las teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 24 (4), 441-459.
- Karmiloff-Smith, A. (1992) *Beyond modularity*. Cambridge, Mass.: Cambridge University Press. Trad. cast.: *Más allá de la modularidad*. Madrid: Alianza, 1994.
- Llorens, J.A. (1991) *Comenzando a aprender química. De las ideas alternativas a las actividades de aprendizaje*. Madrid: Visor.
- Oliva, J.M. (1996) Estudios sobre consistencia en las ideas de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), 87-92.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998) *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (2002) *Más allá del “equipamiento cognitivo de serie: la comprensión de la naturaleza de la materia*. En: Benlloch, M. (Comp.) *La educación en ciencias: ideas para mejorar su practica*. Paidós
- 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.
- Vosniadou, S. (1994) Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69.
- Trabalho arbitrado para o I Encontro Ibero-Americano sobre Pesquisa em Educação Básica em Ciências (I EIBIEC) realizado na Universidade de Burgos, Espanha, co-patrocinado por Investigações em Ensino de Ciências.*