

LAS PARTÍCULAS DE LA MATERIA Y SU UTILIZACIÓN EN EL CAMPO CONCEPTUAL DE *CALOR Y TEMPERATURA*: UN ESTUDIO TRANSVERSAL

DOMÍNGUEZ CASTIÑEIRAS, JOSÉ MANUEL¹, DE PRO BUENO, ANTONIO² y
GARCÍA-RODEJA FERNÁNDEZ, EUGENIO¹

¹ Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais. Universidade de Santiago de Compostela.

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia.

SUMMARY

A cross-age study (13-22) in students' ideas about a microscopic model of the matter and its uses by means of concept maps is presented. Data of alternative ideas about heat and temperature concepts are examined. The results show the resistance to changing these alternative ideas.

INTRODUCCIÓN: SITUACIÓN DEL PROBLEMA EN LA LITERATURA CIENTÍFICA

El interés por el tema de calor y temperatura se pone de manifiesto en una investigación realizada en el IPN de la Universidad de Kiel (Haussler et al., 1980) en la que los encuestados, personas de todas las edades, le dan una prioridad de más de 3,5 puntos en una escala de 1-5, superando temas como la mecánica o la astronomía, y sólo superado por otros de gran impacto social como la energía.

Por otra parte, la enseñanza de los conceptos implicados aparece en los programas de ciencias de todos los países desde los primeros niveles; este hecho refleja la importancia que la administración educativa da a este tema.

Pero cuántas veces hemos dicho: «Mis alumnos saben muchas cosas de ciencias; sin embargo, no las utilizan cuando se trata de explicar hechos y fenómenos, incluso los más cercanos y familiares.» En este sentido, el tema de calor y temperatura se manifiesta especialmente difícil, como demuestra la abundante bibliografía. Revi-

siones como la de Cervantes (1987) y análisis como los de Summers (1983) y Valcárcel (1990) o investigaciones como las de Strauss (1983), García y Rodríguez (1986), Vázquez (1987), Thomaz y otros (1993) y las llevadas a cabo, dentro del Proyecto CLIS de la Universidad de Leeds, por Brook y otros (1984) y Jara (1993) confirman que siguen persistiendo ideas alternativas inducidas por el lenguaje coloquial. Se presenta una síntesis en la tabla I.

Algunos de los esquemas que poseen los alumnos tienen origen en el lenguaje diario, heredero de obstáculos epistemológicos superados, basado en intuiciones y modelos científicos hoy en desuso, los cuales no han experimentado cambio después de la instrucción. En este dominio conceptual tenemos un ejemplo paradigmático: las palabras *calor* y *caliente* forman parte del vocabulario de los niños desde las edades más tempranas, son usadas en la descripción de situaciones familiares y muchos estudiantes construyen toda una serie de conceptualizacio-

Tabla I

| CONCEPTO | IDEAS ALTERNATIVAS |
|--------------------|--|
| CALOR | Algo material, contenido en el cuerpo (sistema); cuanto más calor tiene el cuerpo más caliente estará. En los cuerpos el calor puede pasar de unas partes a otras o de unos cuerpos a otros. |
| CALOR / FRÍO | Son dos fluidos materiales y opuestos. La sensación calor/frío es consecuencia de la transferencia del calor/frío al cuerpo. |
| CALENTAR / ENFRIAR | Ganancia o pérdida de ese ente material llamado <i>calor</i> . |
| CALIENTE / FRÍO | Son propiedades características de los cuerpos. Por ejemplo, los metales son fríos por naturaleza. |
| TEMPERATURA | Temperatura = calor. Temperatura y calor son sinónimos y aquella, en todo caso, mide la cantidad de calor que tiene el sistema. La temperatura depende de la masa o del volumen. |
| DILATACIÓN | Paso de calor al interior del cuerpo haciéndolo más grande y, como consecuencia, más pesado. |

nes sobre la naturaleza y comportamiento de los objetos fríos y calientes que les rodean.

El uso de la palabra *calor* en el lenguaje ordinario en ejemplos como: «Cierra la ventana para que no salga el calor.» Unido a expresiones utilizadas en las aulas como *capacidad calorífica* o *calor ganado = calor perdido*, que pertenecen al mundo del lenguaje observacional y tienen su origen en antiguas teorías del calor, hacen más referencia a éstas que a las nuevas ideas con las que se quiere dotar al alumno. Esto lleva a creer que el calor es algo que se puede almacenar, transferir de un cuerpo a otro, o que pasa de una parte a otra de un mismo objeto como un fluido o ente material misterioso.

Uno de los objetivos claves de la enseñanza de las ciencias es el de dotar al alumno de una forma de pensar que le permita describir e interpretar la realidad circundante de manera objetiva y precisa (Claxton, 1993). Creemos, en este sentido, que un modelo de partículas de

la materia adquiere una importancia fundamental para diferenciar los conceptos de *calor* y *temperatura* y lograr así la integración de la descripción macroscópica del sistema (termodinámica) y de la microscópica (modelo cinético-molecular). La administración educativa así lo tiene en cuenta y, en la actualidad, en la mayoría de los diseños curriculares básicos se contempla:

«Utilizar la teoría cinética para explicar algunos fenómenos que se dan en la naturaleza, tales como la dilatación, los cambios de estado y los procesos de propagación del calor y para interpretar los conceptos [...] de temperatura [...]»

Los estudios sobre esta cuestión (Dieter, 1993; Lijnse, 1990; Cárdenas y Ragout de Lozano, 1996), así como los nuestros (Domínguez et al., 1992, 1996) han llevado a plantear hasta qué punto los estudiantes alcanzan este objetivo. Así, desde el punto de vista de la apropiación de un modelo de partículas de la materia o de la transfe-

Tabla II

| CONCEPTO | IDEAS ALTERNATIVAS |
|----------------------|--|
| MODELO DE PARTÍCULAS | Las partículas se pueden fundir, evaporar, disolver, expandir, contraer, dilatar... Entre las partículas hay aire. Es difícil de aceptar la idea de que no exista «algo» entre las partículas. Cuerpos fríos → partículas en reposo. Las partículas dejan de moverse al enfriarse, al llegar a 0° C. |

rencia del mismo a la explicación e interpretación de hechos y fenómenos, existen dificultades por parte de nuestros estudiantes. Un análisis de la literatura científica (Driver et al., 1984; Happs, 1980; Séré, 1985, 1991; Llorens, 1991; Sanmartí 1995) pone de manifiesto la existencia de ideas alternativas a las de la ciencia enseñada. Se sintetizan en la tabla II.

La mayor parte de la investigación revisada centra su atención en la adolescencia. Parece como si se diera por supuesto que en los niveles superiores de la enseñanza, después de años de instrucción, los elementos de un «sencillo» modelo dinámico de partículas han sido asimilados y que nuestros alumnos y alumnas tienen la capacidad de transferirlos a la interpretación y predicción de hechos y fenómenos cotidianos, independientemente de que se les pida o no de una manera explícita que lo hagan. Así, se realizan preguntas como: «¿Por qué se hincha un globo conectado a un matraz cuando éste se calienta?» «¿Por qué permanece constante la temperatura en el cambio de estado de hielo a agua líquida?»...

Se presentan resultados de un estudio transversal, llevado a cabo entre estudiantes de 12 a 23 años, en el que se explora, mediante mapas conceptuales, qué conocimiento de elementos básicos de un modelo dinámico de partículas tienen, no solamente los más jóvenes sino también nuestros universitarios, y qué uso hacen de él al interpretar fenómenos relacionados con la dilatación y la temperatura de los cuerpos cuando se les pide explícitamente que lo hagan. Se han obtenido, además, datos sobre ideas alternativas de los estudiantes relacionadas con los conceptos *calor* y *temperatura* que parecen indicar la resistencia al cambio de las mismas.

PREGUNTAS CENTRALES

- ¿Cuál es el conocimiento declarativo que tienen los estudiantes sobre un modelo de partículas de la materia?
- ¿Utilizan los estudiantes un modelo de partículas, aún indicándoles explícitamente que lo hagan, para interpretar la dilatación y temperatura de los cuerpos?
- ¿Existe una evolución de estas concepciones en función del nivel académico de los alumnos?

MÉTODO

Sujetos

Se presentan datos de una muestra ocasional de 500 estudiantes de siete niveles educativos diferentes, distribuidos en 15 grupos distintos, que estudian en centros de EGB, BUP, en la Escuela Universitaria de Magisterio (especialidad de Ciencias) y CAP (licenciados en química) de Santiago de Compostela, durante los cursos 1991-92, 1992-93. La distribución se indica en la tabla III.

Tabla III

| Nivel | Número de grupos | Número de alumnos | Edad (años) |
|------------------|------------------|-------------------|-------------|
| 7º de EGB | 3 | 95 | 12-13 |
| 2º de BUP | 3 | 81 | 15-16 |
| 3º de BUP | 2 | 64 | 16-17 |
| COU | 2 | 40 | 17-18 |
| 2º de Magisterio | 2 | 93 | 19-20 |
| 3º de Magisterio | 1 | 69 | 20-21 |
| CAP | 2 | 58 | 23-24 |

Medidas

Instrumento de recogida de datos

Se ha diseñado una ficha (Fig. 1) en la que se pide a los estudiantes que construyan un mapa conceptual con una lista cerrada de ocho palabras: *temperatura*, *energía*, *calor*, *agitación*, *partículas*, *dilatación*, *cuerpo* y *termómetro*. Estas palabras fueron seleccionadas de las propuestas en los diferentes currículos de los cursos investigados y aparecen en las proposiciones básicas a investigar, formando parte de nuestro mapa conceptual de referencia (Fig. 2). Utilizamos la palabra *cuerpo* en lugar de *sistema* por considerar esta última ajena al lenguaje de los estudiantes, sobre todo de los más jóvenes. Se han utilizado los mapas conceptuales que han realizado los estudiantes a partir de la ficha representada en la figura 1.

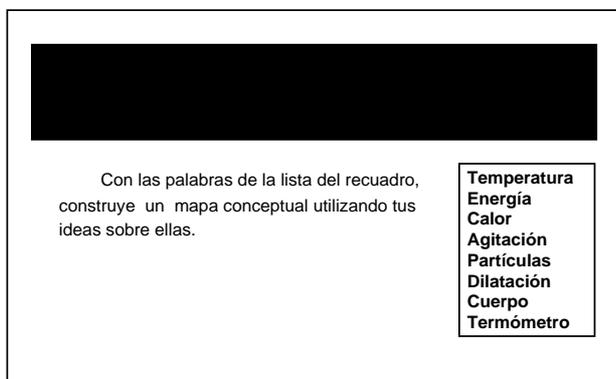
El uso de los mapas (Novak y Gowin, 1988; Moreira y Buchweitz, 1987) como instrumento de toma de datos es cada vez más frecuente en la investigación educativa. Tal es así que ha merecido la atención específica de un monográfico del *Journal of Research in Science Teaching* (Vol. 27, núm. 10, 1990). Sciaretta, y sus colaboradores (1990), Wallace y Mintzes (1990), Domínguez y sus colaboradores (1992, 1996), Roth y Roychoudhury (1993), Liu y Hinchey (1993), Songer y Mintzes (1994) y Markham y sus colaboradores (1994) indican que los mapas conceptuales resultan instrumentos válidos para investigar la adquisición del conocimiento.

Análisis de los resultados

Aunque existen muchas formas de analizar los mapas conceptuales (proposiciones, jerarquías, ramificaciones, relaciones cruzadas...), hemos elegido dos:

- 1) Un análisis cualitativo, como el que proponen Markham y otros (1994), de algunos mapas conceptuales significativos hechos por los estudiantes. Estos mapas conceptuales particulares son representaciones idiosincrásicas del conocimiento de cada alumno sobre un dominio específico; consecuentemente, no son representativos ni típicos de ningún grupo. Sin embargo, estos mapas ofrecen visiones de algunas de las características que se ven frecuentemente en los estudiantes con diferentes niveles de conceptualización.

Figura 1



2) Un análisis cuantitativo, variante del análisis que Wallace y Mintzes (1990) denominan *análisis de las relaciones críticas entre conceptos*, para categorizar las proposiciones elaboradas por los estudiantes. Hemos dividido las proposiciones en *proposiciones microscópicas*, en las que se establecen nexos entre conceptos implicados en el modelo de partículas, y *proposiciones macroscópicas*, en las que no aparecen elementos del modelo microscópico. A su vez, en una subcategoría, hemos clasificado las proposiciones como aceptables o alternativas. Para esta categorización hemos tomado como base nuestro mapa de referencia (Fig. 2).

El mapa conceptual de referencia

Dado el carácter específico y singular de los conceptos *calor* y *temperatura*, nos ha parecido conveniente proceder a su clarificación antes de elaborar nuestro mapa conceptual de referencia.

El calor y el trabajo no son funciones de estado, luego no tiene sentido preguntar cuánto calor (o trabajo) tiene un sistema; a menudo se dice que son formas de energía y esto puede inducir al error de tratarlos como funciones de estado. El calor y el trabajo están definidos sólo en términos de procesos; antes y después del proceso de transferencia de energía entre el sistema y su entorno, el calor y el trabajo no existen.

Como indica Levine (1995): «El calor es una transferencia de energía entre el sistema y su entorno, debido a una diferencia de temperatura. Calor y trabajo son formas de transferencia de energía». Siguiendo a Levine indicaremos lo siguiente:

- El trabajo es una transferencia de energía debida a la acción de fuerzas desde el punto de vista macroscópico.
- El calor es una transferencia de energía debida a la acción de fuerzas a nivel molecular: cuando cuerpos de temperatura diferente se ponen en contacto, las colisiones

entre sus moléculas provocan una transferencia de energía del cuerpo de mayor temperatura al de menor; el calor es trabajo realizado desde el punto de vista molecular.

- El calor y el trabajo son medidas de transferencia de energía y las dos tienen las mismas unidades que la energía.

En cuanto al concepto de *temperatura* diremos que es una magnitud intensiva, relacionada directamente con la energía cinética molecular media de las partículas y, en consecuencia, con la agitación de las mismas.

Hemos elaborado un mapa conceptual (Fig. 2) que servirá como referencia para categorizar las proposiciones de los estudiantes. En dicho mapa se representa el conocimiento científico enseñado:

- La idea macroscópica de que «los *cuerpos* tienen *energía* y la pueden transferir, mediante el proceso denominado *calor*, si existe diferencia de *temperatura* entre ellos. Un cuerpo se *dilata* al elevarse su temperatura».
- La idea microscópica de que «un *cuerpo* está formado por *partículas* que, al recibir *energía* mediante el proceso denominado *calor* [...], incrementan su *agitación*; consecuentemente el cuerpo se *dilata* y se puede producir elevación de su *temperatura*».

Procedimiento

Dado que los alumnos no tenían experiencia previa en la elaboración de mapas conceptuales, los profesores de cada uno de los cursos ilustraron con el mismo ejemplo (Fig. 3) el procedimiento y características a tener en cuenta para su realización; se dedicó una sesión de 50 minutos. Los alumnos elaboraron los mapas objeto de estudio, de acuerdo con la figura 1, durante una clase normal, posterior a la de entrenamiento, con la presencia del investigador y la del profesorado respectivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis cualitativo

Presentamos ejemplos de mapas conceptuales realizados por los estudiantes. Estos mapas conceptuales particulares son, como indicamos antes, representaciones idiosincrásicas del conocimiento en un dominio específico. Consecuentemente, no son *representativos*, ni *típicos* de ningún grupo. Sin embargo, estos mapas ofrecen visiones de algunas de las características que se ven frecuentemente en los estudiantes con diferentes niveles de conceptualización. Para una mejor lectura de los mismos se presentan diseñados por nosotros, pero respetando la estructura de los originales elaborados por los estudiantes.

Figura 2

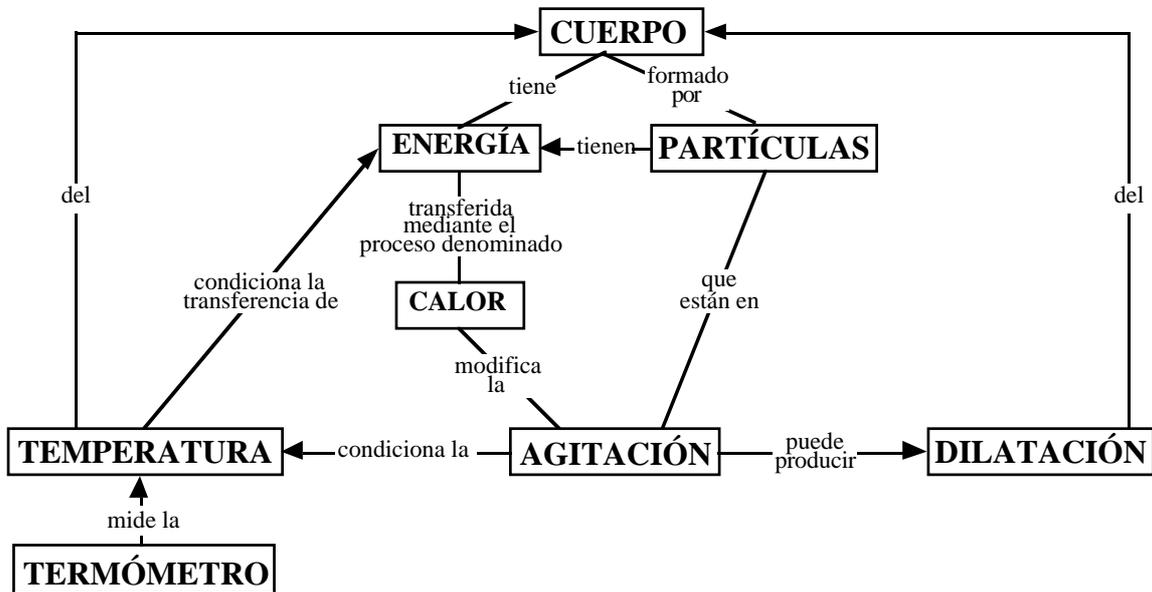


Figura 3

EJEMPLO DE MAPA CONCEPTUAL PARA ENTRENAMIENTO PREVIO DE LOS ALUMNOS

El profesor, antes de proponer a los alumnos la realización de los mapas conceptuales sobre calor y temperatura, entrenará a sus alumnos con el ejemplo que se expone.

Con las palabras de la lista del recuadro, construye un mapa conceptual utilizando tus ideas sobre ellas.

Fuego
Humo
Luz

1. Se escriben las palabras (conceptos) dentro de un recuadro y se ordenan de forma que se encuentre algún sentido a la ordenación (se puede prescindir de las que no se conozca). El alumno las reorganizará hasta que esté satisfecho con el mapa elaborado.
2. Los conceptos se relacionan mediante flechas escribiendo en la flecha la palabra o palabras que indiquen la relación que existe entre conceptos.
3. Existen múltiples posibilidades de ordenar estas ideas.

Ejemplos de mapas realizados por los alumnos:

Fuego

↓ a veces produce ↓

Humo

Fuego

↓ a veces produce ↓

Humo

↑ sale ↑

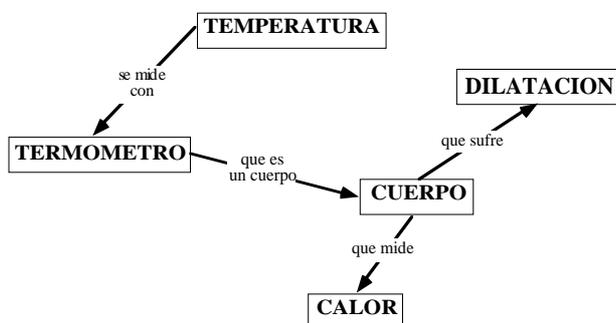
Luz

Fuego

↙ sale ↘ ↘ produce ↙

Luz ← dificulta el paso → **Humo**

Mapa 1
Alumno de 7º de EGB - 13 años.



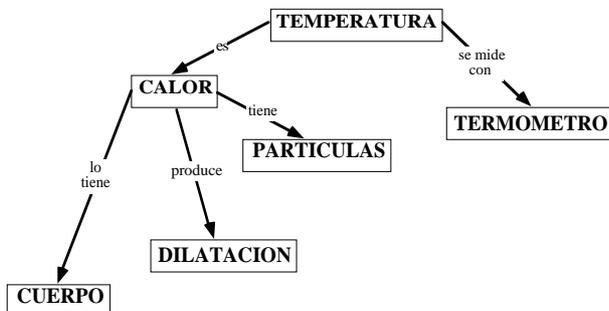
De este mapa parece deducirse que el alumno, de 7º de EGB, no utiliza el modelo de partículas. Ha prescindido de los términos *partículas* y *agitación* y, consecuentemente, no indica ninguna proposición en la que aparezcan.

Las proposiciones que establece son macroscópicas: «*termómetro* que es un *cuerpo*», «*temperatura* se mide con *termómetro*» y «*cuerpo* que mide *calor*». Parecen indicar que el termómetro sirve tanto para medir la temperatura como el calor, por lo que probablemente el alumno aún no ha establecido la diferenciación entre ambos conceptos.

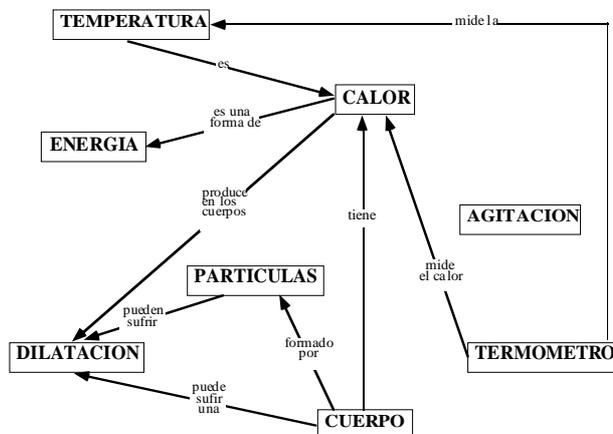
En el mapa 2 este alumno de 7º de EGB establece las proposiciones «*calor* lo tiene *cuerpo*» y «*calor* tiene *partículas*». Parece indicar que el calor es algo sustancial formado por partículas, entendido este término, en su aspecto macroscópico, como algo tangible.

Ha prescindido del término *agitación* y no establece proposiciones que relacionen entre sí los términos *cuerpo*, *partículas*, *agitación*, *dilatación*, elementos básicos de un modelo dinámico de partículas. Parece no conocer el modelo de partículas y, como consecuencia, no lo utiliza. Por otra parte, establece la proposición «*temperatura* es *calor*», indicando problemas de diferenciación entre ambos conceptos.

Mapa 2
Alumno de 7º de EGB - 13 años.



Mapa 3
Alumna de 2º de BUP - 15 años.



En este ejemplo, una alumna de 2º de BUP parece conocer el modelo de partículas. En su mapa conceptual establece la proposición «*cuerpo* formado *partículas*». Es un modelo estático, pues, aunque hace constar el término *agitación*, no establece ninguna proposición entre este término y los demás propuestos.

En la proposición «*partículas* pueden sufrir *dilatación*» atribuye propiedades macroscópicas a lo microscópico. Pero también aparece, independientemente de la anterior, la proposición «*cuerpo* puede sufrir una *dilatación*». Esta alumna parece considerar que los cuerpos se dilatan porque las partículas se dilatan y no porque éstas se agiten, creencia alternativa a las características del modelo de partículas que se utiliza en la instrucción escolar.

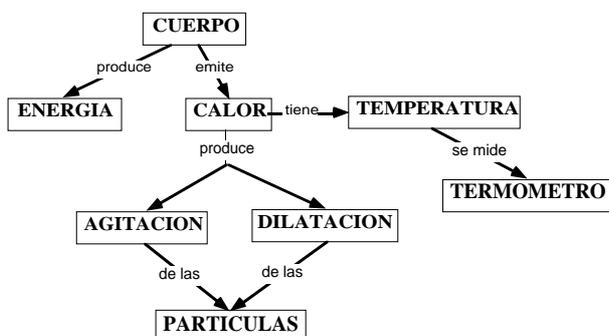
Establece la proposición «*temperatura* es *calor*» y de nuevo aparece que el termómetro sirve para medir tanto la temperatura como el calor; parece que tampoco ha logrado aún diferenciar ambos conceptos.

Establece las proposiciones «*cuerpo* tiene *calor*» y «*calor* es una forma de *energía*». Para ella calor y energía son equivalentes. Parece considerar el calor como «calórico», lejos aún de conceptualizarlo como una forma de transferir energía entre sistemas a diferente temperatura.

De este mapa, elaborado por una alumna de 3º de BUP, parece inferirse que conoce el modelo de partículas y lo utiliza, aunque de forma alternativa. Establece las proposiciones «*agitación* de las *partículas*» y «*dilatación* de las *partículas*», atribuyendo propiedades macroscópicas a lo microscópico, pero, además, ambas proposiciones son consideradas por ella como independientes, y no relaciona «*agitación* de *partículas*» con «*dilatación* del *cuerpo*». Estamos en el caso de otro modelo de partículas estático. Por una parte, *agitación* se relaciona macroscópicamente con *calor*, lo que podría esperarse de la instrucción escolar –los cuerpos se calientan cuan-

do se agitan (fricción), como resultado de la transformación de energía mecánica.

Mapa 4
Alumna de 3º de BUP - 16 años.



Aparece, como en casos anteriores, «calor tiene temperatura», idea alternativa que considera la temperatura como una manifestación del calor.

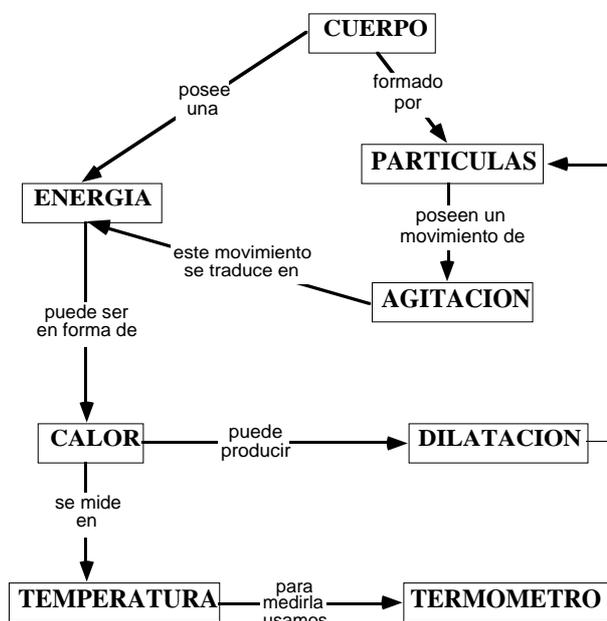
Del mapa de este estudiante de COU (ciencias) (Mapa 5) parece desprenderse que conoce el modelo de partículas y lo utiliza, pero aparecen otros problemas de aprendizaje. No ha logrado establecer la transferencia de los conceptos relacionados con el modelo dinámico de partículas a la interpretación de los conceptos implicados en el fenómeno de la dilatación de los cuerpos. Parece haber asimilado la idea microscópica de que las «partículas poseen un movimiento de agitación», pero no la utiliza en la explicación de la dilatación de los cuerpos y, consecuentemente, justifica el fenómeno indicando que las partículas se dilatan: el «calor puede producir dilatación partículas».

Con las proposiciones encadenadas: «cuerpo posee una energía –puede ser en forma de calor– se mide en temperatura», parece indicar, no solamente que concibe el calor como una forma de energía poseída por el cuerpo, sino también que tiene problemas para diferenciarlo del concepto de temperatura.

Este alumno de 2º curso de la especialidad de Ciencias de la Escuela Universitaria de Magisterio (Mapa 6), conoce el modelo de partículas, «cuerpo está formado por partículas», pero parece no utilizarlo. Establece una relación entre «partículas» y «energía» posiblemente para fundamentar el concepto de calor como una forma de energía resultado de la transformación de la energía que poseen las partículas, «energía se transforma en calor».

Estamos ante otro caso de modelo estático de partículas. No establece una proposición de enlace entre agitación

Mapa 5
Alumno de COU - 18 años.



y partículas. Pero, además, establece las proposiciones «partículas se dilatan con el calor-dilatación», «agitación supone calor». Por una parte, agitación es un término que se relaciona macroscópicamente con calor. Por otra atribuye propiedades macroscópicas a lo microscópico al considerar que las partículas se dilatan, pareciendo ignorar la relación entre agitación de las partículas y dilatación de los cuerpos.

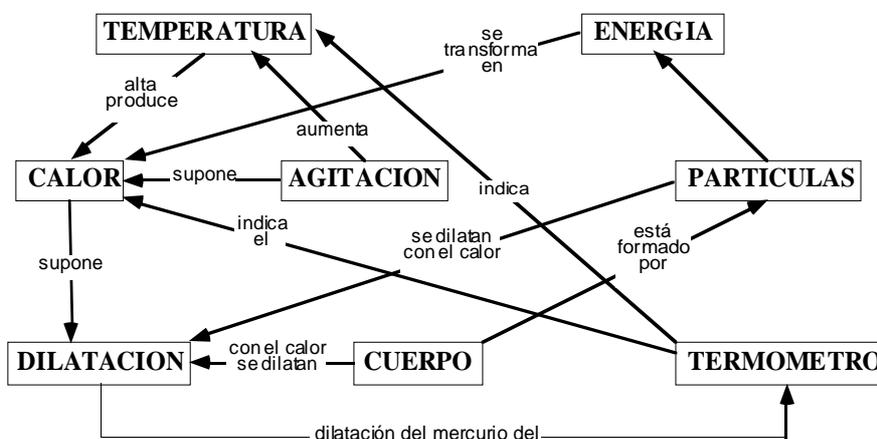
Aparecen, como en casos anteriores, problemas en el aprendizaje de los conceptos de temperatura y de calor, pues establece la proposición «temperatura alta produce calor».

Esta estudiante de magisterio de tercer curso de ciencias, que ha estudiado física general, el curso anterior (Mapa 7), parece no sólo conocer el modelo sino también utilizarlo de forma aceptable. Establece las proposiciones «cuerpo formado por partículas», «partículas pueden sufrir agitación» y la «agitación produce la dilatación». Pero también tiene algunos problemas de aprendizaje.

El primero se manifiesta al atribuir propiedades macroscópicas a lo microscópico, «partículas pueden sufrir dilatación». El segundo es que el concepto de calor aún no ha sido asimilado y diferenciado por esta estudiante; puede observarse como en el mapa conceptual establece las proposiciones «cuerpo tiene una determinada energía» y esta «energía es calor».

Establece «cuerpo tiene una determinada temperatura», «partículas tienen temperatura» y «partículas tienen

Mapa 6
Alumno de 2º de EU (ciencias) - 19 años.



energía», pareciendo considerar que la temperatura es un valor atribuible al cuerpo, que a su vez está relacionada con la energía de las partículas.

Este ejemplo (Mapa 8) ilustra el mapa conceptual de un licenciado en química de 23 años, estudiante del CAP (Curso de Aptitud Pedagógica). Parece conocer el modelo dinámico de partículas, pues establece las proposiciones «cuerpo está formado por partículas», «agitación de partículas»; sin embargo, no lo utiliza. Los procesos de agitación de partículas y dilatación del cuerpo no aparecen relacionados entre sí en su mapa conceptual.

Por otra parte aparecen problemas de aprendizaje de los conceptos de calor y temperatura. El concepto de calor, «energía puede expresarse en forma de calor», «cuerpo puede absorber o desprender calor», aparece como una forma de energía intercambiada lejos aún de ser considerado como una forma de transferencia de energía. Manifiesta la idea alternativa de que la temperatura es la medida del calor, «calor cuya magnitud es temperatura».

Análisis cuantitativo

En la tabla IV se presenta el porcentaje de estudiantes que, en cada nivel, establecen una determinada proposición en sus mapas conceptuales. Hemos categorizado las mismas, como indicábamos anteriormente, en «proposiciones microscópicas» –aquellas que establecen entre conceptos implicados en el modelo de partículas– y «proposiciones macroscópicas» –aquellas en las que no aparecen elementos del modelo microscópico–. En una subcategoría hemos clasificado aquellas proposiciones aceptables o alternativas, respecto del referencial (Fig. 2).

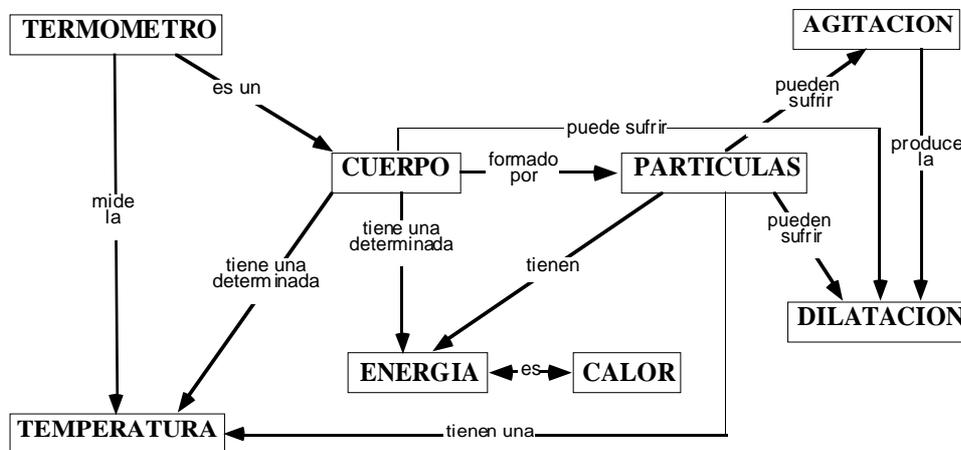
Proposiciones microscópicas

Los datos de la tabla IV pueden indicarnos en qué medida los alumnos conocen algunos elementos de un modelo de partículas de la materia y cómo lo utilizan para explicar fenómenos (en nuestro caso, la dilatación). También nos informan sobre el conocimiento declarativo de algunos conceptos termodinámicos que se muestran fundamentales para la descripción de un sistema y de su comportamiento.

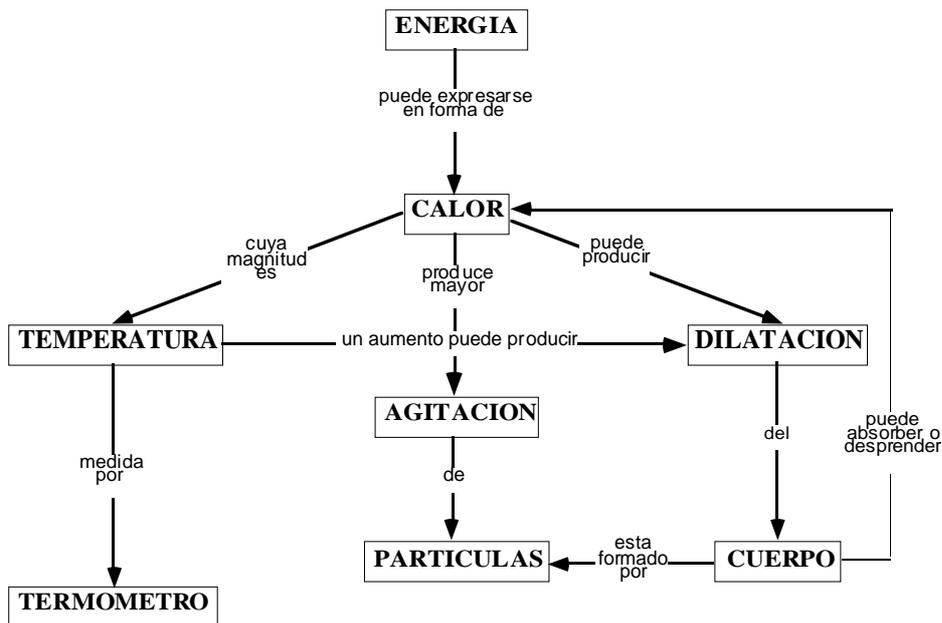
Vemos que las dos proposiciones sobre las que se fundamenta el modelo, «cuerpo formado por partículas» y «partículas están en agitación», sólo son establecidas en 7º de EGB por un 34% para la primera y por un 18% para la segunda. En los restantes niveles se obtienen, salvo pequeñas fluctuaciones, cada vez mejores resultados. Curiosamente los porcentajes más altos no se obtienen en los alumnos del CAP, licenciados en química, sino que corresponden a los de 3º de magisterio, donde llegan al 77% en la primera afirmación y al 88% en la segunda; aunque hay que decir que los futuros maestros habían tenido la ocasión de reflexionar sobre este tema en la asignatura de Didáctica de la Física y de la Química. En definitiva, a la vista de estos valores, podemos decir que, entre un 82% (7º de EGB) y un 23% (3º de magisterio), no utilizan estas proposiciones fundamentales del modelo.

Sin embargo, hay otras proposiciones que aún han tenido menos presencia. Así, «el calor produce agitación» sólo es usada entre un 13% de los estudiantes (7º de EGB) y un 55% (CAP de Química), siendo este último caso el único que supera el 50%. Porcentajes más preocupantes se obtienen para «partículas tienen energía», «agitación produce dilatación» y «agita-

Mapa 7
Alumna de 3º de EU (ciencias) - 22 años.



Mapa 8
Alumno licenciado en química - 23 años.



ción eleva la temperatura», donde hay que esperar a 3º de BUP o COU para encontrar un número mínimo de casos que lo recojan.

En relación con las «partículas tienen energía» sorprende que sólo el 19% de los licenciados la utilicen. Si bien

se podría argumentar que puede haber casos en los que no se explicita pero se dé «por supuesto», ciertamente no es suficiente para justificar tan bajo porcentaje. En todo ello, creemos que subyace que, cuando se utiliza el modelo, se hace desde una perspectiva bastante «estática».

Tabla IV

| PROPOSICIONES MICROSCÓPICAS | 7° EGB | 2° BUP | 3° BUP | COU | 2° MAG | 3° MAG | CAP |
|------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | N=95 % | N=81 % | N=64 % | N=40 % | N=93 % | N=69 % | N=58 % |
| ACEPTABLES | | | | | | | |
| CUERPO formado por PARTÍCULAS | 34 | 47 | 45 | 75 | 69 | 77 | 71 |
| PARTÍCULAS están en AGITACIÓN | 18 | 52 | 66 | 78 | 75 | 88 | 81 |
| PARTÍCULAS tienen ENERGÍA | 0 | 1 | 2 | 13 | 10 | 7 | 19 |
| CALOR produce AGITACIÓN | 13 | 26 | 34 | 38 | 43 | 33 | 55 |
| AGITACIÓN produce DILATACIÓN | 1 | 1 | 20 | 25 | 35 | 51 | 31 |
| AGITACIÓN eleva TEMPERATURA | 0 | 0 | 0 | 20 | 17 | 26 | 30 |
| ALTERNATIVAS | | | | | | | |
| PARTÍCULAS tienen CALOR | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| PARTÍCULAS sufren DILATACIÓN | 36 | 44 | 27 | 43 | 13 | 6 | 0 |
| PROPOSICIONES MACROSCÓPICAS | | | | | | | |
| ACEPTABLES | | | | | | | |
| AGITACIÓN produce CALOR | 1 | 9 | 8 | 38 | 23 | 30 | 25 |
| CUERPO tiene TEMPERATURA | establecida en la práctica totalidad de los casos | | | | | | |
| TERMÓMETRO mide la TEMPERATURA | establecida en la práctica totalidad de los casos | | | | | | |
| ALTERNATIVAS | | | | | | | |
| CALOR es ENERGÍA | 68 | 71 | 75 | 79 | 76 | 80 | 82 |
| CUERPO tiene CALOR | 48 | 34 | 19 | 10 | 12 | 8 | 0 |
| TEMPERATURA es CALOR | 41 | 28 | 15 | 7 | 14 | 5 | 2 |

En contraposición al escaso uso de algunas proposiciones, correctas desde una visión científica, habría que mencionar la utilización de «partículas sufren dilatación», con una presencia muy importante hasta COU. Esto resulta difícil de entender si analizamos los programas oficiales de los estudiantes de estas edades. Creemos que muchas veces algunos profesores y expresiones de libros de texto contribuyen a hacer equivalentes la dilatación de las partículas y la separación de las mismas (expansión), lo que justificaría algunos resultados.

En mucha menor medida, aparece la proposición alternativa «partículas tienen calor», lo que supone un aspecto positivo de nuestra exploración. No obstante, quisiéramos señalar que pocos estudiantes –incluso entre los universitarios no sobrepasan el 30%– han llegado a incorporar el concepto de *temperatura* relacionándolo con la agitación («agitación eleva temperatura») y, en definitiva, con la energía de las partículas del sistema, lo cual nos ratifica en la idea de que sólo un porcentaje pequeño ha asimilado un modelo dinámico, indispensa-

ble para una diferenciación conceptual entre calor y temperatura o para la interpretación de fenómenos como la dilatación o el cambio de estado.

Proposiciones macroscópicas

En estas proposiciones se ponen de manifiesto, si cabe con mayor claridad, las ideas alternativas de los estudiantes respecto a los conceptos de *calor* y *temperatura* y a los efectos que produce en las sustancias un incremento de esta última.

Observamos que las proposiciones «el cuerpo tiene calor» y «temperatura es calor» son establecidas por un número muy importante de alumnos de EGB y BUP; parece que esta concepción alternativa empieza a reducirse a partir de COU. No obstante, los programas oficiales insisten en la inclusión de estos contenidos desde los primeros niveles de la enseñanza. Podría considerarse «lógica» una confusión terminológica por la imposición

del lenguaje cotidiano al científico (primera de las proposiciones) pero, desde luego, no justifica la identificación conceptual explícita en la otra.

Ahora bien, si los resultados anteriores pueden resultar llamativos, los obtenidos en la proposición alternativa «*calor es energía*» son mucho más preocupantes. Los resultados ponen de manifiesto que más de las dos terceras partes de cada grupo realizan explícitamente en su mapa conceptual esta afirmación. Para mayor sorpresa, se observa una tendencia creciente en esta concepción a medida que aumenta el nivel educativo.

Se puede inferir que un elevado número de estudiantes considera que los cuerpos tienen una energía almacenada en forma de calor, que ésta es sustancial y que no está relacionada con las partículas –recordemos, por ejemplo, los resultados de «*partículas tienen energía*» en las proposiciones microscópicas. Parece como si los cuerpos estuvieran constituidos por dos sustancias distintas e independientes entre sí: las partículas y el calor. Esta idea alternativa está próxima a la teoría del calórico y, coherentemente con ella, «se puede transmitir», «el descenso de la temperatura es una pérdida del calor que contiene»...

Curiosamente no aparece ninguna proposición que establezca la temperatura como condicionamiento de la transferencia de energía entre sistemas. El calor es identificado como una forma de energía que se trasfiere pero no es definido en términos de proceso.

En contraposición a estas situaciones desfavorables hay dos proposiciones aceptadas y explicitadas en los mapas de casi la totalidad de los grupos: «*cuerpo tiene temperatura*» y la «*temperatura se mide con el termómetro*». Las posibles contradicciones entre estos resultados y otros ponen de manifiesto la falta de consistencia de las concepciones que los alumnos utilizan en esta temática.

Si bien la inestabilidad de los conocimientos «equivocados» puede considerarse útil de cara a una intervención intencionada, la falta de solidez de los mismos, después de una estancia tan larga en el sistema educativo, debiera hacernos reflexionar sobre otras variables del proceso de enseñanza: metodología de trabajo en el aula, actividades de aprendizaje, recursos utilizados... y, sobre todo, qué contenidos estamos enseñando a nuestros alumnos.

Contraste de resultados entre los grupos de la muestra

Aunque la tabla II pone de manifiesto algunas tendencias en la elaboración de los mapas conceptuales según la pertenencia a los diferentes grupos de la muestra, nos pareció conveniente estudiar la significación estadística de las diferencias existentes. Dado que las proposiciones pueden considerarse variables nominales, realizamos el contraste entre los valores obtenidos en cada grupo. En las tablas 5 y 6 se recogen los valores correspondientes de χ^2 de Pearson respecto a las proposiciones microscópicas y macroscópicas, respectivamente.

Como la «hipótesis natural» es la existencia de una evolución positiva de los resultados, tanto respecto al modelo de partículas como de las concepciones macroscópicas, parece lógico centrar los comentarios en aquellos casos en los que no existen diferencias estadísticamente significativas. Como el valor crítico de χ^2 de Pearson es 14.07 ($c = 0.05$), hemos señalado con * los valores «no esperados». Así, podemos decir:

a) En relación con las proposiciones microscópicas

– No existen diferencias estadísticamente significativas en los contrastes 7º de EGB-2º de BUP, 3º de BUP-COU, COU-2º de MAG, 2º de MAG-3º de MAG y CAP-3º de MAG.

– La muestra presenta un punto singular –el paso de 2º de BUP a 3º de BUP– pero, en los demás casos, proyecta la idea de una evolución paulatina y sin «sobresaltos» del modelo de partículas, que reduce las diferencias entre niveles próximos del sistema educativo.

– Destacan las escasas diferencias entre los diplomados de las titulaciones de magisterio y los licenciados en química.

La constatación de una evolución gradual puede interpretarse de muy diversas formas. Por un lado, se podría pensar en que la influencia escolar va modelando creencias y concepciones, de manera que los alumnos van ampliando, sustituyendo, modificando... sus ideas, acercándolas poco a poco al conocimiento académico deseable.

Sin embargo, si consideramos las exigencias cognitivas de los contenidos implicados en las proposiciones de nuestro trabajo, parece lógico pensar que una intervención intencionada y reflexiva sobre estos conocimientos debiera favorecer cambios más profundos (¿cambio conceptual?), lo que llevaría consigo la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre algunos niveles. Tomando como referentes nuestros resultados, la única «discontinuidad» aparece en 3º de BUP. ¿Puede pensarse que los contenidos de ciencias impartidos en este curso han favorecido modificaciones conceptuales de mayor envergadura?

Con los datos que poseemos no parece que sea así. Una revisión de los libros de texto utilizados pone de manifiesto diferencias entre los contenidos de temas como la «estructura de la materia», «calor y temperatura»..., pero creemos que no debieran afectar a las proposiciones microscópicas que estamos considerando; en cualquier caso, parece necesario profundizar en este aspecto.

El caso de la no diferenciación entre licenciados y diplomados resulta más fácil de interpretar, ya que existe un efecto directo de una intervención didáctica en una asignatura que posiblemente «compense» la mayor dedicación temporal de los primeros. Uno de los elementos que, quizás, habría que considerar en algunas titulaciones y asignaturas universitarias es la necesidad de revisar las concepciones que tienen los estudiantes res-

Tabla V

| | | | | | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|--------|------------|------------|
| 2º de BUP | 7,26* | | | | | |
| 3º de BUP | 29,90 | 19,06 | | | | |
| COU | 31,41 | 28,72 | 13,35* | | | |
| 2º de Magisterio | 74,36 | 60,39 | 20,82 | 12,07* | | |
| 3º de Magisterio | 88,04 | 76,87 | 34,11 | 24,03 | 7,44* | |
| CAP | 89,99 | 78,39 | 43,27 | 28,91 | 12,99* | 14,40 |
| | 7º de EGB | 2º de BUP | 3º de BUP | COU | 2º de Mag. | 3º de Mag. |

Tabla VI

| | | | | | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------|------------|------------|
| 2º de BUP | 9,93* | | | | | |
| 3º de BUP | 21,18 | 5,15* | | | | |
| COU | 55,41 | 24,02 | 13,62* | | | |
| 2º de Magisterio | 50,80 | 18,42 | 6,29* | 3,46* | | |
| 3º de Magisterio | 66,62 | 31,72 | 14,77 | 0,69* | 7,44* | |
| CAP | 70,50 | 38,72 | 22,48 | 8,04* | 12,53* | 5,55* |
| | 7º de EGB | 2º de BUP | 3º de BUP | COU | 2º de Mag. | 3º de Mag. |

pecto a los conceptos más elementales –pero también más inclusores–, ya que muchas veces son la causa de algunas dificultades de aprendizaje de conocimientos más complejos.

b) *En relación con las proposiciones macroscópicas*

– No existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles continuos (7º de EGB -2º de BUP, 2º de BUP -3º de BUP, 3º de BUP-COU...)

– A estas «no-diferencias» habría que añadir: 3º de BUP-2º de MAG, COU-2º de MAG, COU-3º de MAG, 2º de MAG-3º de MAG... y ¡COU-CAP!

Los resultados obtenidos difieren bastante de los anteriores y ello se traduce en una mayor homogeneidad en los porcentajes correspondientes a las proposiciones. Persiste la evolución gradual entre los niveles próximos, pero aparece una situación singular: a partir de COU no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Podría pensarse en que la simplicidad de las proposiciones pudiera favorecer la homogeneidad de respuestas (debido a la poca dificultad de las relaciones).

Sin embargo, los porcentajes de «*calor es energía*» no parecen deberse precisamente a la «facilidad» de la concepción.

Por otro lado, aunque sean minoritarios, hay casos en los que se mantiene la identificación conceptual entre calor y temperatura (*temperatura tiene calor*) o se dice explícitamente que los «*cuerpos tienen calor*», difíciles de entender en estos niveles de la enseñanza.

No obstante, pensamos que, si ampliáramos la relación de conceptos (cambio de estado, temperatura de cambio de estado, volumen, masa...), podrían percibirse mayores diferencias entre los últimos niveles, aunque obviamente esta afirmación habría que verificarla.

En todo caso, las diferencias de perfiles que representan los conocimientos implícitos entre estas proposiciones y las anteriores ponen de manifiesto que, aun después de varios años de instrucción, siguen activando con más facilidad los esquemas de razonamiento macroscópicos. ¿Será porque los consideran más útiles o simplemente porque desconocen otros argumentos interpretativos?

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EN LA ENSEÑANZA

Sobre el tema investigado

A la vista de los resultados obtenidos en nuestro trabajo, creemos que estamos en condiciones de dar respuestas a las preguntas centrales que nos planteamos; obviamente no queremos extrapolarlas más allá del contexto de nuestra experiencia.

Así, podemos decir que el conocimiento declarativo que poseen los estudiantes sobre un modelo de partículas tiene mayores limitaciones de las que eran predecibles a la vista de los programas oficiales y a sus experiencias extraescolares. Normalmente utilizan concepciones estáticas y, desde luego, atribuyen comportamientos macroscópicos a las partículas.

Persiste la influencia del lenguaje cotidiano en la utilización y verbalización de gran parte de las ideas y razonamientos, pero de una forma más clara se pone de manifiesto en las proposiciones macroscópicas. A estas dificultades habría que añadir las intrínsecas a conceptos como *calor* y *energía* que, aún en la actualidad, presentan controversias importantes en la propia comunidad científica.

Por otro lado, la escasa importancia que se da al papel del contenido en el razonamiento (Duschl, 1995) lleva a que los estudiantes memoricen una serie de elementos del modelo de partículas pero que no los utilicen y, si lo hacen, es en un contexto no real y alejado de fenómenos cotidianos y familiares que les son significativos.

Por último, existe una evolución gradual y positiva, tanto en sus concepciones microscópicas como macroscópicas, en función del nivel educativo; sin embargo, ambas evoluciones presentan características diferentes. Mientras los modelos de partículas apenas sufren modificaciones entre los niveles próximos, en la visión macroscópica existe una aparente discontinuidad a partir de COU. Obviamente estos resultados están condicionados por la relación de conceptos que pusimos en juego.

Creemos, en consecuencia, que no sólo sería necesario un cambio metodológico en la intervención sino que es preciso buscar alternativas a la selección de contenidos habituales en estos temas.

Sobre el instrumento utilizado

El mapa conceptual puede considerarse un instrumento útil para investigar qué sabe el alumno y cómo organiza su conocimiento. Al mismo tiempo, desde el punto de vista de nuestra experiencia, no presenta demasiados problemas para su uso por los estudiantes de secundaria y se interpreta sin excesiva dificultad por el investigador.

Aunque a medida que aumenta el nivel educativo aumenta la complejidad de los mapas, hay que señalar que

una instrucción continuada sobre sus distintos elementos constitutivos (Roth y Roychoudhury, 1993) podría haber tenido como consecuencia que se incrementase la calidad de la estructura jerárquica, así como el número y calidad de las ramificaciones y de las relaciones cruzadas.

También queremos señalar que un análisis cualitativo de los mapas de conceptos de los estudiantes ofrece una rica y detallada retroalimentación sobre el aprendizaje significativo resultante de la instrucción, lo que permite mejorar la enseñanza.

Sin embargo, como instrumento relacionado con las pruebas escritas, lógicamente también tiene sus limitaciones. Como hemos indicado en la discusión, nos ha surgido la duda al interpretar el significado que los estudiantes dan a la proposición «*partículas* sufren *dilatación*» y hemos sentido la necesidad de preguntárselo (entrevista).

Implicaciones en la enseñanza

Hemos de advertir que la existencia de ideas alternativas después de *n* períodos de instrucción, además de ser consecuencia de las características de resistencia al cambio que presentan se ve reforzada por algunas expresiones, muchas veces desafortunadas, que aparecen en algunos libros que utilizan nuestros alumnos. Summers (1983), por ejemplo, encuentra en textos anglosajones expresiones que, cuando menos, son insatisfactorias y, en algunos casos, incorrectas: «la cantidad de calor almacenada por un cuerpo...», «la cantidad de calor que tiene un cuerpo depende de...», «calor es una forma de energía llamada energía calorífica o térmica»...

Aunque se deba evitar la utilización en clase de expresiones que puedan reforzar las ideas intuitivas de los alumnos, algunos autores, como Heath (1976), proponen la supresión de la palabra *calor* como sustantivo y el uso del verbo *calentar* y los derivados de éste (*calentando*, *calentamiento*, ...). El enfrentamiento entre el lenguaje usado en la vida diaria y la terminología científica constituye una dificultad añadida para la consecución de aprendizajes significativos. El alumno ha de ser consciente de la necesidad del lenguaje científico y de sus diferencias con expresiones cotidianas.

Mitchell y Kellington (1982), en su estudio con niños de 12-13 años, recomiendan que «el modelo de partículas de la materia debe ser introducido de manera muy simple al principio y después desarrollarlo gradualmente» y Séré (1985, 1991) señala que la enseñanza del modelo cinético de partículas es muy provechosa para ayudar a los niños de 11 a 13 años a la adquisición del concepto de *presión*.

Piaget e Inhelder (1982) señalan la capacidad de interpretar, a edades tempranas, hechos significativos mediante un modelo de partículas: «hacia los 10 años algunos niños empiezan a explicar la disolución de azúcar en agua en términos de una idea primitiva atomís-

tica. Sin embargo para explicar el aumento del tamaño de una palomita de maíz creen que son las partículas las que crecen. La mayoría de los niños de 12 años aceptan la visión atomística y ya hablan de separación de las partículas en el caso de las palomitas».

Marín y Benarroch (1994) nos advierten, sin embargo, que los esquemas preatomísticos o atomísticos en los niños son frecuentes desde edades tempranas, entendiéndose por esto que aluden de forma natural a granos, polvo, partículas o trozos para dar significado a la mayoría de sus explicaciones. No obstante, indican que hay que esperar al estadio de las operaciones formales, cuando el sujeto admite la existencia de realidades no observables, para que se constituya un modelo corpuscular generalizado.

Duschl (1995) da un paso más indicando que hay profesores y diseñadores de currículo que, aplicando de forma limitada la teoría de los estadios de desarrollo cognitivo de Piaget, racionalizan las dificultades de aprendizaje y los fracasos de los estudiantes basándose exclusivamente en la falta de madurez cognitiva. Este punto de vista del aprendizaje de la ciencia consistente en rechazar los contextos innovadores para la enseñanza por razones como: «no se puede enseñar eso porque los niños no pueden hacerlo» o «no puedes hacer esa actividad porque los conceptos son demasiado abstractos», rechaza los contextos realistas para el aprendizaje por considerarlos demasiado abstractos para los alumnos jóvenes y esta actitud, como indica el citado investigador, ha provocado que los profesores y los redactores de currículos de ciencias hayan desprovisto las secuencias educativas de todas las «trampas» de practicar ciencia real

y de cualquier necesidad de hacer un examen de los principios directores de la ciencia. Los resultados, indica Duschl, muestran que, si la tarea es usada de tal modo que pueda ser utilizada en un contexto realista, contexto familiar y, por lo tanto, significativo para el alumno, entonces, el rendimiento mejora ostensiblemente.

Así también lo entiende la administración educativa pues el real decreto 1007/1991 por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la educación secundaria obligatoria, en su anexo I, al referirse a los criterios de evaluación, dispone como criterio 1:

«Utilizar la teoría cinética para explicar algunos fenómenos que se dan en la naturaleza, tales como la dilatación, los cambios de estado y los procesos de propagación del calor [...]

»Se trata de comprobar que el alumnado es capaz de explicar estos fenómenos naturales por el hecho de que la materia es discontinua, que sus partículas están en movimiento y que éste se puede modificar al aportarles energía. Se pretende averiguar, asimismo, si es capaz de interpretar cualitativamente [...] la temperatura, lo cual permite diferenciar esta última del concepto de calor [...]

AGRADECIMIENTOS

– A los profesores Enrique Fuentes, Juan Ramón Gallástegui, María Laura Illobre, José Mendoza, César Rodríguez, a sus alumnos y alumnas, su colaboración.

– A la Xunta de Galicia, la financiación del Proyecto AcAb.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROOK, A., BRIGGS, H., BELL, B. y DRIVER, R. (1984). *Aspects of Secondary Students' Understanding of Heat: Full Report. CLIS: Children's Learning in Science Project*. Leeds: Universidad de Leeds.
- CÁRDENAS, M. y RAGOUT DE LOZANO, S. (1996). Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 343-349.
- CERVANTES, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1), pp. 66-70.
- CLAXTON, G. (1993). *Mintheories: a preliminary model for learning science. Children's informal ideas in science*. Routledge: Black y Lucas.
- DIETER BARKE, H. (1993). Chemical Education and Spatial Ability. *Journal of Chemical Education*, 70(12), pp. 968-971.
- DOMÍNGUEZ, J.M., GARCÍA-RODEJA, E., LORENZO, F. (1992). *Los mapas de conceptos en la investigación del cambio de las ideas de los alumnos, calor y temperatura*. Actas de los XII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- DOMÍNGUEZ, J.M., GARCÍA-RODEJA, E., ARIAS, M.T., ILLOBRE, M.L., CASTRO FUCCI, M., GARCÍA, S. y ROCHA, A. (1996). La naturaleza corpuscular de la materia y su utilización en el campo conceptual calor y temperatura. Un estudio transversal mediante mapas de conceptuales. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(1), pp. 11-31.

- DRIVER, R., BROOK, A. y BRIGGS, H. (1984). *Aspects of Secondary Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter*. CLIS: Children's Learning in Science Project. Leeds: Universidad de Leeds.
- DUSCHL, R.A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 3-14.
- GARCÍA HOURCADE, J.L. y RODRÍGUEZ DE ÁVILA, C. (1985). Preconcepciones sobre el calor en 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), pp. 188-193.
- HAPPS, J. (1980). *Particles* (Working paper 18). Learning in Science Project. Hamilton: Universidad de Waikato.
- HEATH, N.F. (1976). Heating. *Physics Education*, 11, pp. 388-389.
- JARA GUERRERO, S. (1993). *Misconceptions on heat and temperature*. The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca: Misconceptions Trust.
- LEVINE, I.N. (1995). *Fisicoquímica*. Madrid: McGraw-Hill.
- LIJNSE, P.L., LICHT, P., VOS, W. de y WAARLO, A.J. (1990). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles. A central problem in secondary science education*. Utrecht: CD-B Press.
- LIU, X. y HINCHEY, M. (1993). *The validity and reliability of concept mapping as an alternative science assessment*. The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca: Misconceptions Trust.
- LLORENS MOLINA, J.A. (1991). *Comenzando a aprender química*. Madrid: Visor.
- MARÍN, N. y BENARROCH, A. (1994). A comparative study of Piagetian and constructivist work on conceptions in science. *International Journal of Science Education*, 16(1), pp. 1-15.
- MARKHAM, K., MINTZES, J., y JONES, M.G. (1994). The Concept Map as a Research and Evaluation Tool: Further Evidence of Validity. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), pp. 91-101.
- MITCHELL, A.C. y KELLINGTON, S.H. (1982). Learning difficulties associated with the particulate theory of matter in the Scottish Integrated Science Course. *European Journal of Science Education*, 4(4), pp. 429-440.
- MOREIRA, M.A. y BUCHWEITZ, B. (1987). *Mapas conceptuais*. São Paulo: Moraes.
- NOVAK, J.D. y GOWIN, D.B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca.
- PIAGET, J. e INHELDER, B. (1982). *El desarrollo de las cantidades en el niño*. Barcelona: Hogar del libro.
- ROTH, W.M. y ROYCHOUDHURY, A. (1993). The Concept Map as a Tool for Collaborative Construction of Knowledge: A Microanalysis of High School Physics Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(5), pp. 503-534.
- SANMARTÍ, N. e IZQUIERDO, M. (1995). The Substantialisation of Properties in Pupils' Thinking and in the History of Science. *Science & Education*, 4, pp. 349-369.
- SCIARETTA, M.R., STILLI, R. y VICENTINI-MISSONI, M. (1990). On the thermal properties of materials: common-sense knowledge of Italian students and teachers. *International Journal of Science Education*, 12(4), pp. 369-379.
- SÉRÉ, M.G. (1991). Guider le raisonnement d'élèves de collège avec des modèles particuliers de la matière. *Aster*, 7, pp. 72-102.
- SÉRÉ, M.G. (1985). *Análisis de las concepciones del estado gaseoso y de la presión que tienen los niños de 11 a 13 años, y propuesta de estrategias pedagógicas para facilitar la evolución*. París: Universidad Pierre et Marie Curie.
- SONGER, C.J. y MINTZES, J.J. (1994). Understanding Cellular Respiration: An Analysis of Conceptual Change in College Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), pp. 621-637.
- STRAUSS, S. (1983). *Educational-Developmental Psychology and Curriculum Development: The case Heat and Temperature*. International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics. Ithaca: Cornell University.
- SUMMERS, M.K. (1983). Teaching Heat an Analysis of Misconceptions. *School Science Review*, 64, pp. 670-676.
- THOMAZ, M.F., MALAQUIAS, I.M., VALENTE, M.C. y ANTUNES, M.J. (1993). *An Attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature*. The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca: Misconceptions Trust.
- VALCÁRCCEL, M.V., PRO, A., BANET, E. y SÁNCHEZ, G. (1990). *Problemática didáctica del aprendizaje de las ciencias experimentales*. Murcia: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- VÁZQUEZ DÍAZ, J. (1987). Algunos aspectos a considerar en la didáctica del calor. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(3), pp. 235-238.
- WALLACE, J. y MINTZES, J. (1990). The concept map as a research tool: exploring conceptual change in Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), pp. 1033-1052.

[Artículo recibido en enero de 1996 y aceptado en abril de 1998.]