



EDUCACIÓN Y DEPORTE

Un esquema para investigar
el progreso en la comprensión
de los alumnos sobre la naturaleza
de la materia

Ángel Blanco López
Teresa Prieto Ruiz

SEPTIEMBRE - DICIEMBRE 2004



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



UN ESQUEMA PARA INVESTIGAR EL PROGRESO EN LA COMPREENSIÓN DE LOS ALUMNOS SOBRE LA NATURALEZA DE LA MATERIA

ÁNGEL BLANCO LÓPEZ (*)
TERESA PRIETO RUZ (*)

RESUMEN. En este trabajo se propone un marco teórico para investigar el progreso en la comprensión de la naturaleza de la materia desde la perspectiva de las teorías de los alumnos en dominios específicos. Se parte de una elaboración teórica sobre la comprensión en este campo conceptual, basada en análisis de contenidos, históricos, y datos empíricos, y se concreta en lo que se denomina el mapa del dominio. Éste es entendido como el conjunto de dimensiones, y concepciones dentro de las mismas, que se consideran claves en el dominio en cuestión. A partir de dicho mapa, se formulan y describen cuatro teorías a las que hemos denominado: continua-macroscópica, macro-micro, partículas-vacío y escolar, respectivamente, las cuales son propuestas para investigar el aprendizaje de los alumnos en este dominio.

ABSTRACT. In this paper, a theoretical framework is suggested to investigate the progress in the understanding of the nature of matter from the perspective of the theories of students in specific domains. It begins with a theoretical elaboration about comprehension in this conceptual field, based on the analysis of historical content and empiric data, and it is carried out in what is called the map of the dominion. This is understood as the set of dimensions and conceptions within which keys to the dominion are found. From this map, four theories are formulated and described: continuous-macroscopic, macro-micro, empty particles and school-based, respectively, which are suggested to investigate the students' learning in that dominium.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo las investigaciones sobre concepciones de los alumnos, en concreto las destinadas a encontrar posibles vías para cambiarlas por las ideas científicas, han estado aportando datos y alumbrando dos tipos de conclusiones bastante generalizadas:

- El carácter persistente y resistente a la instrucción de las mismas y, por tanto, la enorme dificultad para sustituirlas por las correspondientes ideas científicas.
- La afirmación de inconsistencia en el uso que los alumnos hacen de ellas cuando intentan explicar un fenómeno en diferentes contextos o situaciones.

(*) Universidad de Málaga.

- Los argumentos de persistencia y resistencia al cambio parecen contradecir a las afirmaciones de inconsistencia en las ideas o en su uso. Si los alumnos son propensos a saltar de una explicación a otra, ¿por qué resulta tan difícil que abandonen una explicación alternativa a favor de la explicación científica?, ¿cómo puede ser que unas ideas tan fuertemente arraigadas carezcan en absoluto de consistencia?

Un importante debate en este campo, relacionado con las conclusiones anteriores, se refiere al nivel y a la forma en que están organizadas las concepciones en la mente de los alumnos. Los estudios muestran que se ha producido una evolución entre dos posturas:

- La que tiende a considerarlas como unidades aisladas. Por ejemplo, para (DiSessa, 1993) las concepciones de los alumnos deben ser analizadas concibiéndolas como un conjunto pequeño de ideas básicas que tienen su origen en la intuición y la experiencia, a las que denomina «fenomenológicos primarios».
- La que las considera como «constructos» más complejos y elaborados que han recibido entre otras denominaciones la de teorías, en las cuales, unas concepciones aparecen relacionadas con otras de tal forma que el producto, «la teoría», es algo más que la suma de dichas concepciones aisladas (Benlloch y Pozo, 1996; Vosniadou, 1994).

Con el tiempo y el desarrollo de la investigación, se ha prestado más interés a las relaciones que los alumnos establecen entre los conceptos implicados en la comprensión de determinados fenómenos y a la evolución en el tiempo de los mismos. Se ha afianzado la hipótesis, ya contrastada en algunos trabajos (Prieto, Watson y Dillon, 1992), de que en algunos dominios

específicos, no necesariamente en todos, los alumnos tienen «teorías» y no sólo «ideas aisladas o dispersas». Se entiende que esta visión más estructurada y dinámica de las concepciones de los alumnos puede ayudar a explicar los datos disponibles y a resolver las contradicciones antes reseñadas entre el fuerte arraigo de las mismas y, paralelamente, su falta de consistencia.

Desde esta perspectiva se torna relevante la investigación sobre el progreso en la comprensión de dominios específicos en los que el conocimiento de los alumnos puede considerarse organizado en teorías, productos del pensamiento cotidiano y/o de la interacción de éste con la instrucción escolar.

Al centrar la investigación en dominios específicos se espera que los resultados tengan implicaciones directas en la planificación y desarrollo de la enseñanza. Su objetivo es entender cómo cambian las estructuras conceptuales con el desarrollo y con la acumulación de experiencia (Vosniadou e Ioannides, 1998).

CONCEPTO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS TEORÍAS DE DOMINIO

La expresión *dominio específico* es entendida aquí como una parcela de conocimiento científico que posee sentido propio en la ciencia escolar y es enseñado como una unidad, pues se considera que los conceptos que abarca guardan una estrecha relación entre sí y, por tanto, los alumnos los aprenderán mejor de esta forma. Fuerzas, disoluciones, ecología, naturaleza de la materia, combustión, nutrición, etc., constituyen ejemplos de dominios específicos más o menos amplios (Prieto, Blanco y Brero, 2002).

Una teoría sobre un dominio específico (*teoría de dominio o teoría específica*, según los autores) consistiría en:

Un conjunto de proposiciones o creencias que describen las propiedades y comporta-

mientos de los objetos físicos (Vosniadou e Ioannides, 1998, p. 1.227), o un conjunto de representaciones de diverso tipo activadas por los sujetos ante contextos pertenecientes a un dominio dado (Pozo y Gómez, 1998, p. 106).

Se generan a través de la observación y/o de la información presentada por la cultura, bajo las restricciones de una teoría-marco (Vosniadou, 1994) o de una teoría implícita (Pozo, Puy, Sanz y Limón, 1992).

Aunque partimos de que la comprensión es un proceso continuo y multidimensional (White y Gunstone, 1992), y por tanto muy complejo, necesitamos encontrar alguna representación de la misma, siempre parcial e incompleta, que nos ayude a avanzar en su estudio. En este sentido, las propuestas de diversos autores (recogidas en Prieto et al. 2002) convergen en la idea de que la comprensión en un dominio concreto puede ser estudiada caracterizando nociones intermedias de tal forma que, aunque no sean correctas desde el punto de vista científico, el paso de una a otra reflejaría un progreso en la comprensión (Driver, 1989).

En un trabajo anterior (Prieto et al. 2002) se ha realizado una propuesta para la caracterización de las teorías y para el estudio de la progresión en un dominio específico. Con respecto a la caracterización de las teorías, planteamos la necesidad de:

- Establecer un marco teórico de lo que deberían contener dichas teorías, al cual denominamos el mapa del dominio.
- Identificar vertientes de progresión que permitan explicar los cambios que implicarían el paso de una teoría a otra y que justificarían, a su vez, la delimitación de cada una de ellas.

EL MAPA DEL DOMINIO

Establecer un marco teórico de un dominio determinado requiere identificar los aspectos clave (dimensiones) en la comprensión del mismo. Cada una de estas dimensiones vendría, a su vez, delimitada por estados discretos que representan etapas en la comprensión del aspecto al que alude dicha dimensión. El conjunto de dimensiones y aspectos incluidos en cada uno de ellos constituiría lo que hemos denominado «mapa del dominio». Se trata de una representación lo más aproximada posible del conjunto de ideas que los alumnos pueden manifestar. Dentro del mapa de dominio, cada una de las teorías que se pueden delimitar representaría una zona o territorio del mismo.

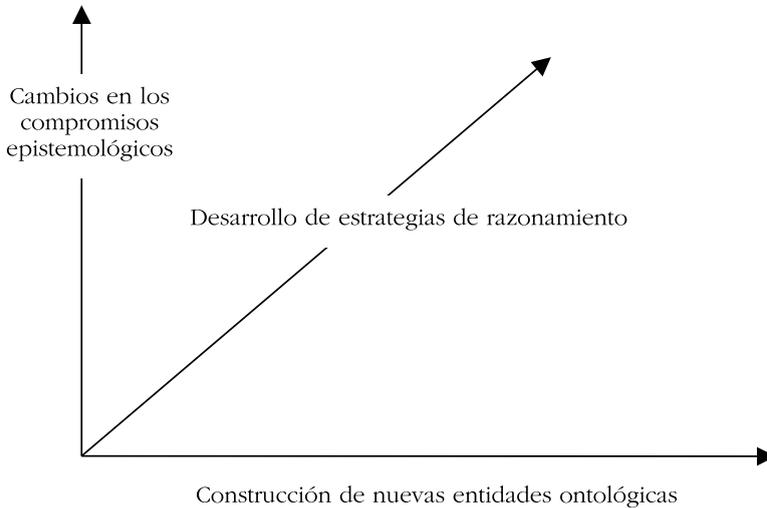
Desde el punto de vista metodológico la construcción del mapa del dominio puede surgir tanto de estudios empíricos sobre las concepciones de los alumnos como de elaboraciones teóricas. Mortimer (1995) considera dos fuentes para definir las distintas zonas de lo que denomina *perfil conceptual*¹: a) la historia de las ideas científicas para detectar las concepciones científicas y, b) los estudios sobre las concepciones de los alumnos para aquellas ideas pre-científicas que formen parte del perfil conceptual. En un sentido más general, consideramos que esta tarea requiere estudios sobre las concepciones de los alumnos y estudios teóricos, tales como análisis de contenido históricos y epistemológicos (Prieto et al. 2002).

VERTIENTES DE PROGRESIÓN

No sólo es necesario disponer del conjunto de ideas concretas que pueden representar las posibles concepciones sobre un

(1) Su concepto de «perfil conceptual» puede considerarse equivalente al repertorio de teorías, es decir, al conjunto de teorías que pueden identificarse sobre él. Su idea de «zona» dentro del perfil se correspondería con cada una de las teorías que lo constituyen.

FIGURA I
Vertientes consideradas por Driver et. al. (1994) en el progreso de la comprensión de dominios específicos



dominio específico, sino también de referencias que nos permitan explicar las diferencias entre teorías y que justificarían, a su vez, la delimitación de cada una de ellas como una entidad propia. A estas referencias las denominamos vertientes de progresión.

Diversos autores han planteado esta necesidad y han señalado algunos principios o factores a tener en cuenta. Así, (Driver, Leach, Scott y Wood-Robinson, 1994) recogen determinadas características generales del razonamiento de los estudiantes que emergen de los estudios transversales y que constituyen vertientes a lo largo de las cuales los alumnos progresan. En concreto, se refieren a la construcción de nuevas entidades ontológicas, al desarrollo de nuevas estrategias de razonamiento, y a cambios en los compromisos epistemológicos de los alumnos (véase figura I).

Pozo y Gómez (1998) identifican tres principios para caracterizar las teorías (ya sean científicas o de los alumnos): epistemológicos, ontológicos y conceptuales. Campanario y Otero (2000) consideran

necesario tener en cuenta, además del conocimiento conceptual, otros factores que expliquen las dificultades de aprendizaje que experimentan los alumnos: las pautas de pensamiento y razonamiento, sus concepciones epistemológicas y sus estrategias metacognitivas.

El desarrollo en cada una de estas vertientes de progresión no tiene por qué ser independiente de las otras, pero su consideración de forma aislada puede ayudarnos a explicar el progreso en la comprensión. Es decir, a los cambios de naturaleza implícita que los alumnos experimentan en estas vertientes, atribuiríamos los cambios en sus concepciones, y nos servirían a los investigadores para explicarlos y para valorar las dificultades asociadas a ellos.

Desde los planteamientos que se han realizado, se plantea en este artículo como hipótesis de trabajo, una caracterización de las posibles teorías sobre la naturaleza de la materia y un análisis de los requisitos necesarios para que los alumnos progresen en su comprensión.

LA NATURALEZA DE LA MATERIA

Cuando hablamos de «naturaleza de la materia» como un dominio escolar, no estamos refiriéndonos a las modernas teorías científicas sobre la misma, sino a una «versión escolar» o a una «síntesis adaptada» que es considerada, por educadores y profesores, como una buena adaptación del conocimiento científico, aunque no lo refleje en todos sus aspectos. Por tanto, su aceptación se basa no sólo en su grado de adecuación científica, sino en criterios educativos y didácticos. En (De Vos y Verdonk, 1996) puede encontrarse un análisis de los aspectos que, en la investigación y en la práctica docente, suelen considerarse básicos sobre la naturaleza de la materia y de los supuestos sobre la ciencia y el conocimiento científico en los que se basan.

La comprensión por parte de los alumnos de la naturaleza corpuscular de la materia constituye, sin duda, uno de los grandes objetivos de la educación científica actual. El aprendizaje sobre la materia, sus propiedades y transformaciones, resulta de gran relevancia para los alumnos por su carácter fundamental para entender e interpretar múltiples fenómenos cotidianos.

La noción fundamental de que toda la materia está compuesta de partículas y no es continua es de primordial importancia para toda explicación causal de cualquier tipo de cambio materia, (Nussbaum, 1989, p. 198).

Los conocimientos científicos sobre la naturaleza de la materia constituyen aspectos básicos de cualquier ciencia y, en especial de la Química (Prieto, Blanco y González, 2000). Por ejemplo, (Prieto et al., 1992) encuentran que las concepciones sobre la materia (más específicamente: qué es y qué no es materia, la masa y el peso que atribuyen a los gases, y la conservación de la masa durante el proceso) tienen un papel fundamental en las teorías que los alumnos manifiestan sobre la combustión.

Adicionalmente, en la explicación de la naturaleza de la materia por parte de los alumnos se presenta, para el investigador, un interesante caso de convivencia y relación entre conocimientos «intuitivos» y conocimientos «escolares». Es quizás por esto, por su importancia intrínseca y la dificultad que plantea la transposición didáctica de los conocimientos científicos en este dominio (Prieto y Blanco, 2000), por lo que tantos investigadores se han interesado por su estudio.

COMPRENSIÓN DE LA NATURALEZA DE LA MATERIA

El estudio de la comprensión del concepto de materia y su naturaleza por parte de los alumnos presenta vertientes muy diversas, ya que se trata de un dominio relacionado con gran cantidad de contenidos científicos en el currículum escolar. Ha sido pues, bastante abordado desde diferentes ángulos (véanse algunas revisiones bibliográficas recogidas en Andersson, 1990; Pozo, Gómez, Limón y Sanz, 1991; Krnel, Watson y Glazar, 1998; y Prieto et al. 2000). Por ejemplo, (Krnel et al., 1998) recogen más de 300 referencias de trabajos relativos a este campo. Una conclusión que se puede establecer a la luz de estas revisiones es que el dominio está muy descrito, existiendo abundancia de datos empíricos sobre conceptos y aspectos particulares del mismo (discontinuidad, vacío, características de las partículas...).

Desde comienzos de los noventa, vienen apareciendo trabajos que plantean la necesidad de una visión más global del dominio, de buscar esquemas (teorías, modelos..., según los autores) que ayuden a explicar, con mayor valor predictivo, cómo progresan los alumnos en su aprendizaje sobre la naturaleza de la materia.

En este sentido, (Renström, Andersson y Merton, 1990) describen seis modelos –que denominan concepciones– sobre la

naturaleza de la materia, obtenidos a partir de entrevistas con alumnos suecos de 13 a 16 años y a los que denominan: homogénea y continua; como una unidad (célula); como una unidad con «pequeños átomos»; como agregado de partículas; como partículas individuales; y como sistema de partículas. Estos autores consideran que las seis concepciones, en el orden en que se han descrito, constituyen un sistema jerárquico, implicando cada vez un mayor poder explicativo y una mayor comprensión de la materia.

Mortimer (1995) utiliza el concepto de «perfil conceptual» para referirse a un «sistema supraindividual de formas de pensamiento» que puede ser asignado a cualquier individuo dentro de una misma cultura. A pesar de la diferencia entre los perfiles individuales, las categorías o zonas por las cuales se caracteriza cada perfil conceptual son las mismas. El perfil conceptual es dependiente del contexto, porque está fuertemente anclado en el bagaje distintivo de cada alumno y dependiente del contenido, ya que se refiere a un concepto particular. Pero al mismo tiempo, sus categorías son independientes del contexto ya que, dentro de la misma cultura, nosotros tenemos las mismas categorías por las que se determinan las zonas del perfil.

Aplicando estas ideas al concepto de átomo, distingue tres zonas, a las que denomina, por este orden: realista; atomismo sustancialista y noción clásica del átomo (que se corresponde con la de la ciencia escolar). Para este autor, las tres categorías anteriores han sido suficientes para analizar las ideas atomísticas mostradas por los estudiantes (14-15 años) antes de la enseñanza. Al igual que en otros muchos estudios, sus alumnos no usaban otras categorías que caracterizan al atomismo clásico: movimiento-energía, interacción-ordenación. No obstante, Mortimer considera que existen otras zonas en las cuales el átomo es considerado como un sistema de partículas eléctricas o como un objeto cuántico.

Benloch (1997), en un estudio realizado con alumnos españoles entre 10 y 14 años, identifica distintas teorías utilizadas para explicar la dilatación del aire encerrado en un recipiente, de tal forma que cada una de ellas implica una versión diferente del concepto de aire. Esta autora encuentra que los alumnos mejoran de manera significativa a través de ellas con la edad, aunque se aprecia que las ideas sueltas, constituyentes de las teorías implícitas, no lo hacen, es decir, son las que presentan más resistencia al cambio.

Johnson (1998) realiza un estudio longitudinal sobre el progreso en la comprensión de una teoría corpuscular básica sobre la materia. Tomando en consideración trabajos anteriormente realizados, y en particular las concepciones sobre la materia informadas por Renström et al. (ya citadas), identifica en una muestra de alumnos ingleses de 11 a 14 años, cuatro modelos a los que denomina de la siguiente forma: sustancia continua (A); partículas en la sustancia continua (B); las partículas son la sustancia, pero con propiedades macroscópicas (C); las partículas son la sustancia pero las propiedades de la sustancia son debidas a las propiedades del colectivo de partículas (D).

Sus resultados sugieren que la secuencia B-C-D podría representar estados por los cuales los alumnos transitan para concluir en la teoría corpuscular. La escala de tiempo utilizada para valorar los posibles cambios constituye un aspecto importante. Aunque muchos alumnos permanezcan en la misma categoría durante un curso escolar o más, cuando se exploran sus ideas durante un periodo más largo aparecen evidencias de que la mayoría cambia su razonamiento y que un número considerable de alumnos lo hace hasta el modelo D.

Johnson distingue dos dimensiones: continua→corpuscular y macroscópica→colectiva, de forma que, con respecto a éstas, los modelos pueden verse como territorios

identificables. Los cambios en los alumnos, considerados individualmente, parecen producirse en una de las dimensiones y no en las dos a la vez. En primer lugar, se progresa en la dimensión continua-corporal mientras se permanece sin cambio en la macroscópica-colectiva, y después el progreso tiene lugar en esta segunda, donde el desarrollo significativo es el abandono de la asignación de las propiedades macroscópicas a las partículas individuales.

Finalmente, (Benarroch, 2000) diferencia cinco niveles explicativos sobre la naturaleza de la materia en las respuestas de alumnos españoles entre 9 y 22 años. Estos niveles, definidos por un cierto modelo de la materia y los tipos de explicaciones asociados al mismo, dibujan el progreso desde una imagen de la materia continua y estática hasta un modelo de la misma en el que se la concibe como un sistema de partículas que interaccionan entre sí y están en continuo movimiento, con sólo el vacío entre ellas.

Todos estos trabajos han supuesto un paso adelante en el estudio de la comprensión de los alumnos sobre la naturaleza de la materia con respecto a enfoques anteriores más descriptivos. No obstante, pensamos que, desde la perspectiva de las teorías de los alumnos, es mucho lo que queda por hacer y que la investigación, apoyándose en estos resultados, ha de ir más allá, superando algunas limitaciones que aún persisten.

En concreto, los diferentes modelos propuestos emanan, en la mayor parte de los casos, de datos empíricos. Esto puede implicar que los modelos recogidos en un trabajo determinado no representen todas las posibilidades, y que éstos dependan, bien de la naturaleza de los contextos y tareas utilizados en la recogida de datos, bien de las perspectivas—explícitas o implícitas— de los investigadores sobre las dimensiones que consideran objetivo principal en ese trabajo.

Por otra parte, cada estudio aborda un

conjunto discreto de contextos sobre la naturaleza de la materia, que puede ir desde escoger investigar sólo un aspecto muy concreto (como la dilatación del aire) hasta varios aspectos (estados de la materia y transformaciones diversas). Este hecho, junto con el de las diferencias entre los tramos de edad de las muestras utilizadas en los diferentes trabajos hace muy difícil la tarea de establecer comparaciones entre los modelos descritos y la propuesta de generalizaciones.

Aunque en los primeros pasos en el estudio de un dominio sean inevitables los enfoques parciales, pensamos que es el momento, gracias a la gran cantidad de datos acumulados, de que la teoría guíe e ilumine la investigación. En lo que sigue se delimita un marco teórico para la investigación del progreso de la comprensión de los alumnos sobre la naturaleza de la materia.

MARCO TEÓRICO PARA EL ESTUDIO DEL PROGRESO EN LA COMPRENSIÓN SOBRE LA NATURALEZA DE LA MATERIA

La perspectiva que hemos adoptado para el estudio del progreso en dominios específicos implica, como se ha dicho, la construcción del mapa del dominio y la definición del repertorio de teorías dentro del mismo.

MAPA DEL DOMINIO

Su construcción requiere comenzar por la identificación de las dimensiones que se consideran importantes en la comprensión de dicho dominio y que estarán constituidas por uno o varios conceptos íntimamente relacionados entre sí.

Cuando se aborda la confección de un listado de conceptos estrechamente relacionados para configurar posibles teorías sobre la naturaleza de la materia, son muchos los que vienen a la mente. Y hay

que tener presente que también las relaciones entre ellos deben ser tenidas en cuenta. Identificar posibles teorías supone, al mismo tiempo, indagar en la ecología conceptual en la que se inserta un concepto determinado, buscando no sólo los conceptos que le rodean y le son más próximos, sino las relaciones que se establecen entre ellos así como la forma en que se interfieren en su cambio o en su evolución.

El análisis de los estudios antes citados y de los contenidos científicos del dominio nos lleva a identificar cuatro dimensiones clave a lo largo de las cuales deben progresar los alumnos en su comprensión de la naturaleza de la materia:

- A. Imagen de la materia (continuidad-discontinuidad).
- B. Aceptación del vacío.
- C. Características de las partículas.
- D. Recurso a los niveles macroscópico/microscópico en las explicaciones.

El orden en que se citan no implica ninguna jerarquía desde el punto de vista científico ni desde el punto de vista del aprendizaje. Partimos de que una buena descripción del desarrollo de la comprensión podemos obtenerla si conocemos cómo se produce en cada una de estas dimensiones, consideradas, para este análisis, como si fuesen independientes unas de otras, aunque la afirmación de que los alumnos «tienen teorías» implica que sus concepciones sobre cada una de ellas están relacionadas.

A. *Dimensión A: Imagen de la materia (continuidad-discontinuidad)*

En nuestra concepción de la comprensión de la naturaleza de la materia, la «imagen» de la misma constituye un elemento importante. Las imágenes se han propuesto como una de las formas que las personas

utilizamos para representar mentalmente «constructos» complejos (White y Gunstone, 1992; y Brewer, 1999). Por otra parte, en el caso de muchos conceptos de naturaleza abstracta, las imágenes representan elementos clave para su comprensión.

La comprensión de los modelos mentales genéricos que los individuos utilizan para responder a una variedad de diferentes cuestiones relacionadas con un concepto dado, puede aportar información relevante con relación a las teorías que restringen los procesos de desarrollo del conocimiento. En algunos casos, se asume que los modelos son representados en términos de imágenes visuales mentales. No obstante, las imágenes, por sí solas, no son capaces de proporcionar la riqueza conceptual necesaria para dar cuenta de las teorías como una forma de representación mental (Brewer, 1999).

B. *Dimensión B: Aceptación del vacío*

La teoría corpuscular de la materia se basa en una noción esencial: la del «espacio vacío». La ciencia escolar utiliza la concepción de vacío de Newton. No obstante, la concepción alternativa, defendida por Aristóteles ha prevalecido durante la mayor parte de nuestra historia occidental y, como muestran numerosos trabajos, parece la más intuitiva para los alumnos. La historia muestra que para algunos filósofos y científicos destacados, «el vacío es imposible», «la naturaleza aborrece el vacío». Por tanto, si se crea momentáneamente un vacío, será «rellenado» de inmediato por las sustancias adyacentes, que «entrarán con gran rapidez, en donde se haya producido». Se creía que el movimiento de estas sustancias era causado por alguna «fuerza absorbente» originada en el vacío. Estas nociones fueron mantenidas por grandes estudiosos del pasado que confiaban en su intuición y elaboraron sus teorías sobre esta base.

La aceptación del vacío es considerada por todos los autores un aspecto clave para la comprensión de la naturaleza de la materia y, por tanto, es una de las dimensiones a considerar en las teorías sobre la misma.

C. *Dimensión C: Características de las partículas*

En la ciencia escolar se considera a las partículas como los constituyentes de la materia, los ladrillos básicos con que está hecha. Al tratarlas como objetos duros, sólidos e inmutables (De Vos y Verdonk 1996) se les asigna la misma categoría ontológica que a la materia macroscópica. Así, poseen las propiedades básicas de toda materia: masa y volumen. En la medida en que estos conceptos son adquiridos para la materia macroscópica son aplicables a las partículas, suponiendo esta transferencia una cuestión de magnitud, pero no de cualidad.

Aunque se asigna a las partículas el mismo estatus ontológico que a la materia macroscópica, no se les atribuyen todos los comportamientos de ésta. Así, fundirse, hervir, dilatarse... son resultantes del movimiento de las partículas en el vacío y de la interacción entre ellas. Consecuentemente, las partículas individuales no muestran propiedades tales como punto de fusión o punto de ebullición. Por otro lado, se les asignan dos propiedades características: movimiento intrínseco e interacción.

Las partículas cambian de categoría ontológica con la mecánica cuántica, en la que comienzan a verse a los átomos, no como partículas materiales sino como objetos cuánticos (Mortimer, 1995).

La aceptación, por parte de los alumnos, de las partículas y de sus características constituye pues otra dimensión a considerar.

D. *Dimensión D: Recurso a los niveles macroscópico/microscópico en las explicaciones*

Si una de las funciones de las teorías es explicar los fenómenos del dominio al que se aplican, parece lógico recoger la naturaleza y los tipos de explicaciones generadas por las mismas, como una de las dimensiones constituyentes.

La teoría corpuscular de la materia explica sus características y transformaciones en términos de las propiedades de las partículas y del comportamiento colectivo de ellas. Una vez construidos los conceptos de «partícula» y «vacío», es en la adecuada relación entre las propiedades macroscópicas de la materia y las propiedades de las partículas (las relaciones macro-micro) donde reside la capacidad predictiva y explicativa de esta teoría.

Aunque consideramos la comprensión como un proceso continuo y gradual, las investigaciones documentan un número discreto de concepciones de los alumnos que pueden interpretarse como etapas o niveles en el progreso en cada una de las dimensiones. De esta forma, en cada una de ellas puede plantearse una secuencia de conceptualizaciones (trayectoria conceptual según Driver et al. 1994) que comienza por aquella que parece más propia del pensamiento cotidiano, seguida por otras que suponen cierta mejora, finalizando con aquella que coincide con la concepción escolar. El resultado final es el mapa del dominio que se muestra en el cuadro I.

Las concepciones concretas recogidas en las distintas casillas han sido documentadas, en mayor o menor medida, en los estudios citados. La aparente simetría de esta representación no implica que dentro de una dimensión todos los tránsitos conlleven las mismas dificultades. Por el contrario, como más adelante se discute, la naturaleza de las dificultades asociadas a dichos tránsitos es muy diferente. Lo mismo podría decirse del tránsito de una teoría a otra.

CUADRO I
Mapa del dominio y repertorio de teorías sobre la naturaleza de la mater

NIVELES	DIMENSIONES				TEORÍAS
	Imagen de la materia (continuidad-discontinuidad)	Aceptación del vacío	Características de las partículas	Recurso a los niveles macroscópico/microscópico en las explicaciones	
1	Macroscópica y continua. <i>La materia por dentro es concebida igual que como se ve por fuera.</i>	No se admite la existencia del vacío, aunque se hable de huecos en la materia.	No se concibe su existencia o con el término «partícula» se alude a entidades macroscópicas.	No hay necesidad de explicar o se explica desde un punto de vista estrictamente macroscópico.	Continua- macroscópica
2	Mixta: «pastel de pasas». <i>Existen partículas que están incrustadas en la materia continua.</i>	El vacío podría ser una especie de materia más sutil (aire, polvo...).	Son microscópicas y tienen las mismas propiedades que la materia macroscópica. <i>Sustancialismo</i>	Lo que tiene lugar a nivel macroscópico es debido a que ocurre lo mismo a nivel microscópico.	Macro-micro
3	Agregado de partículas.	El vacío es entendido como ausencia total de materia.	Tienen algunas características de toda materia (masa, volumen) pero no otras.	Lo que ocurre a nivel macroscópico es debido a las características y comportamiento de las partículas.	Partículas-vacío
4	<i>La materia son las partículas.</i>				

REPERTORIO DE TEORÍAS

Si consideramos que los alumnos no tienen ideas aisladas en un dominio, sino que éstas se encuentran relacionadas, es de esperar que, sobre la naturaleza de la materia, las ideas recogidas en el mapa anterior puedan organizarse en teorías.

Las cuatro dimensiones recogidas en el cuadro I y, dentro de ellas, los diferentes niveles, nos sirven de herramienta para formular un repertorio de teorías con el que investigar las que los alumnos puedan manifestar en este dominio. Además, hay que considerar las vertientes de progresión, ya citadas, que nos ayudarán a dotar de identidad a estas teorías y explicar los requisitos para evolucionar de unas a otras. Así, hemos formulado cuatro posibles teorías tomando en consideración estos elementos:

- Continua-macroscópica
- Macro-micro
- Partículas-vacío
- Escolar

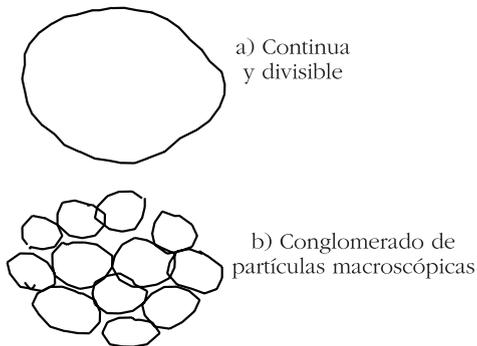
TEORÍA CONTINUA-MACROSCÓPICA

Estaría constituida por:

- A. *Una imagen macroscópica y continua de la materia o de partículas macroscópicas continuas [figura II a) y b)]*

FIGURA II

Imágenes macroscópicas de la materia



La materia es concebida según su apariencia, de tal forma que lo que no se percibe no se concibe. Pozo y Gómez (1998) consideran que las teorías cotidianas están organizadas en torno a lo que denominan, desde una perspectiva epistemológica, «realismo ingenuo», que implica una visión del mundo centrada en sus aspectos perceptivos. Aunque en el dibujo representado en b) se incorpore el término partícula, esta imagen no deja de ser macroscópica. Según (Albanese y Vicentini, 1997) se realiza un isomorfismo entre la materia tal como es apreciada y su constitución, excepto en una cuestión de escala.

B. *La no aceptación del vacío*

Esta idea es coherente con una imagen continua de la materia. Aunque los alumnos hablen de huecos en la materia, su concepción de la misma no implica la existencia del vacío:

Las partículas de aire se pueden acercar porque sus huecos están llenos de aire... en el agua: los huecos están llenos de agua y sus partículas no se pueden acercar; las partículas están pegadas y no se pueden acercar más, (Benarroch, 2000, p. 245).

La aceptación de la idea de vacío se constituye, según (Mortimer, 1995), como el obstáculo ontológico más importante para el desarrollo del atomismo científico, incluso a niveles elementales.

C. *No se utiliza la idea de partícula, o cuando se utiliza se refiere a entidades macroscópicas*

Cuando se inicia la enseñanza de la naturaleza de la materia (e incluso antes, véase el efecto de la televisión y la divulgación) las personas comienzan a impregnarse de la utilización de algunos términos científicos, sin que esto suponga ninguna modificación sustancial de la teoría subyacente.

Ejemplo 1: fragmento de una entrevista con un alumno de 13 años tras la enseñan-

za de la naturaleza de la materia (tomado de Serrano y Blanco, 1988, p. 22):

Profesor: ¿Dónde has utilizado el término «partícula»?

Alumno: En la clase de laboratorio.

Profesor: Hay partículas en la jarra de agua y hielo?

Alumno: Los cubitos de hielo.

Profesor: Y el agua, ¿tiene algo que ver con las partículas?

Alumno: Oh, las partículas se han derretido en el agua.

Ejemplo 2: Idea de la partícula macroscópica.

En el trabajo de (Scout, 1992, p. 214), una alumna, Sharron, muestra sus ideas sobre la continuidad de la materia gaseosa de una manera muy clara, en términos de una partícula que llena toda la habitación: «...es decir, toda la habitación está ocupada por una partícula de aire, sin huecos en ella, sin partículas individuales». Ante la pregunta del profesor: «¿puedes comprimir el gas si no hay huecos?», su respuesta es contundente: «Sí, el aire es ligero y no es muy fuerte».

Aunque las ideas atomísticas no sean generadas de forma espontánea por los alumnos, no se puede negar que los términos «átomo», «molécula», «partícula elemental»..., han podido trascender de la literatura divulgativa y los medios de comunicación a sus mentes, lo cual implicaría que pueden conocerlos y utilizarlos con significados bien distintos a los que tienen en la ciencia escolar. En este caso, como en tantos otros, hay que distinguir entre el lenguaje o la terminología y los significados que subyacen a ellos.

No parece muy difícil que los alumnos acepten y comiencen a hablar de las partículas como partes constituyentes de la materia. Se trata, en un primer nivel, de aceptar que existen entidades materiales que no se pueden ver (quizás ideas traídas de otros campos, por ejemplo, la existencia de microorganismos, pueden ayudar en un principio). En algunos casos, tienen dificultades para conceder estatus de materia a

átomos y moléculas, alegando que la materia se puede tocar y pesar y, puesto que no se puede hacer eso con átomos y moléculas, no son materia. A los 12-13 años, aproximadamente la mitad de los alumnos consideran que no lo son.

Aunque las alusiones a las partículas puedan entenderse como un progreso en la comprensión con respecto al hecho de no aludir a ellas, se trata en realidad de acomodar a la teoría continua macroscópica, las ideas recibidas a través de la enseñanza o del ámbito extraescolar.

D. *Ausencia de explicaciones en términos de partículas*

Es propio de los alumnos más jóvenes, no asumir la necesidad de ofrecer explicaciones de los cambios de la materia. Las cosas ocurren porque sí. Por ejemplo, ante la observación de que el aire es comprensible y el agua no, se dirá: «Es así. El aire se puede apretar y el agua no», (Benarroch, 2000, p. 245). Cuando consideran la necesidad de ofrecer explicaciones, lo hacen desde un punto de vista macroscópico, como en los casos siguientes:

- Algunos alumnos pueden considerar que el agua y el aire existen como una masa homogénea en todas las demás sustancias. Aceite, por ejemplo, puede concebirse como compuesto de agua y grasa. Los estudiantes creen que cuando el agua hierve, es el aire del agua el que escapa. La sal contiene agua y es esta agua el que fluye cuando la sal se funde (Renström et al. 1990).
- Se utilizan elementos percibidos (burbujas, huecos, pompitas etc.) para explicar los fenómenos observados. Un alumno puede concebir el agua como un continuo embutido de partículas y el aire como un continuo con huecos, intentando explicar las diferencias en la compresibilidad (Benarroch, 2000).

Esta teoría sería la propia, en términos generales, de los alumnos hasta los 10-11 años, antes de los primeros contactos con la enseñanza, aunque también se manifiesta en alumnos de edades superiores. Resumiendo, según el mapa del dominio, (cuadro D) esta teoría se manifiesta por las ideas correspondientes a los niveles 1 de cada una de las dimensiones.

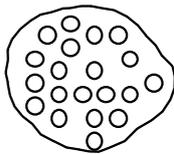
TEORÍA MACRO-MICRO

Vendría caracterizada por las siguientes ideas:

A. *Imagen «pastel de pasas» de la materia*

Los alumnos ofrecen una imagen de la materia considerada de naturaleza mixta entre lo macroscópico y lo microscópico, denominada mediante la analogía del «pastel de pasas» (figura III). En ella se reconoce la existencia de partículas microscópicas, las cuales estarían incrustadas en la materia continua.

FIGURA III
Imagen «pastel de pasas» de la materia



Continua con partículas microscópicas

Se trataría, con esta imagen, de conciliar una visión continua con la idea de que de la materia está formada por partículas discretas y, de esta manera, dar un paso adelante en cuanto a la concepción de las partículas, resolviendo además el gran problema del vacío. Llenando el espacio entre partículas con un conglomerado continuo,

los alumnos parecen estar evitando la idea de vacío en sus respuestas, aunque se les haya enseñado sobre ello, como muestran los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1: al representar la sal, algunos alumnos dibujan un esquema continuo con granitos y, cuando se les pregunta, responden que los granos son las partículas y que hay sal entre ellas. En otros casos consideran que entre partícula y partícula hay aire.

Ejemplo 2: Antes de la enseñanza, Sharron (Scott, 1992, p. 207) produce tres diagramas para los tres estados de la materia:

- En el sólido las partículas están apretadas y lo más juntas posible.
- En el líquido, las partículas están menos apretadas pero todavía muy juntas.
- En el gas las partículas están separadas.

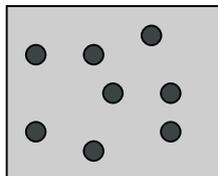
En respuesta a la pregunta ¿qué hay entre las de gas? responde: hidrógeno. Con respecto al sólido, esta alumna afirmaba que entre las partículas no había nada ya que estaban muy juntas.

Aunque este modelo sea fruto de la lógica del pensamiento de intentar acomodar lo nuevo y desconocido a los esquemas que ya se poseen, algunos estudios han llamado la atención sobre la influencia de la enseñanza en reforzarlo y anclarlo. La utilización de dibujos y diagramas mostrando partículas en un medio continuo (Anderson, 1990 y Blanco y Prieto, 1996) pueden inducir a los alumnos a su uso (figura IV).

Más aún, y quizás incluso más erróneas son frases tales como «las partículas en un sólido», que aparecen con frecuencia en las expresiones de la ciencia escolar (Johnson, 1998).

No se sabe si, para algunos alumnos, este modelo constituye una etapa necesaria en el desarrollo de sus ideas sobre la materia, o el resultado directo de una instrucción poco exitosa, que, con una enseñanza más adecuada, podría evitarse.

FIGURA IV
*«Las partículas en los gases» según
 las ilustraciones recogidas en algunos
 libros de texto de Educación Secundaria
 Obligatoria*



B. *El vacío como una especie de materia sutil*

El concepto de vacío como ausencia total de materia, queda todavía lejos del alcance de los alumnos, los cuales parecen abordarlo considerándolo *como una especie de materia más sutil* (aire, polvo...) que la comúnmente considerada como tal (sólida y líquida), compartiendo algunas propiedades de ésta (el vacío chupa, absorbe a otra materia...). Frases del lenguaje coloquial como «una persona se precipitó al vacío desde un décimo piso» parece aludir a esta idea de vacío referida a una zona del espacio relleno de «aire».

C. *Se atribuye a las partículas las mismas propiedades que a la materia macroscópica*

Los estudiantes, a pesar de usar partículas en sus representaciones, piensan en ellas como granos de materia, que pueden dilatarse, contraerse... Mortimer (1998) denomina «sustancialismo» a esta concepción.

Existe un paralelismo entre esta concepción y algunas de las etapas en el desarrollo del conocimiento tal como nos muestra la historia de la ciencia. Por ejemplo, el dualismo entre la naturaleza continua o discreta de la materia estaba profundamente arraigado incluso en las mentes de grandes científicos como Newton y Dal-

ton, que creían, como muchos estudiantes, que la dilatación o la compresión de un gas inducidos por los cambios de temperatura eran debidos a la expansión y a la contracción de sus partículas individuales (Lee et. al. 1993). Se trata simplemente de un desplazamiento conceptual desde una propiedad física macroscópica a un nivel microscópico obtenida por una regla simple de continuidad (Albanese y Vicentini 1997).

Es lógico suponer que si el concepto de partícula es considerado en la ciencia escolar con la misma naturaleza ontológica que la materia macroscópica, los alumnos la conciben con sus mismas propiedades. Ahora bien, puesto que esto podría significar una tendencia natural en el pensamiento de los alumnos, la enseñanza no debiera reforzarla, sino matizarla.

En este sentido, juegan un papel primordial las analogías y metáforas que se utilicen al respecto. La idea de que las partículas poseen todas las propiedades de la materia puede ser reforzada cuando, en la enseñanza, se parte de la materia macroscópica y, por un proceso de división sucesiva, uno se imagina que ha llegado hasta el final al punto de «no divisibilidad». Por el contrario, puede ser mitigada cuando se trabaja con la idea de «partículas» o «moléculas» como ladrillos constituyentes de la materia, de tal manera que los ladrillos son diferentes al producto final construido con ellos (así, el cemento sería equivalente a la interacción entre los ladrillos).

Por otra parte, si la pieza más pequeña posible de la materia es presentada como el estadio final de un proceso de división, no sorprende que los alumnos imaginen que ésta posee todas sus propiedades, y proyecten propiedades macroscópicas en los átomos y las moléculas: el fósforo es amarillo (por tanto, los átomos de fósforo son amarillos), el naftaleno huele (por tanto, los átomos de naftaleno huelen), el agua está caliente (por tanto, las moléculas de agua están calientes), un trozo de sólido es cúbico (por tanto sus moléculas son cúbicas)...

Ejemplo: fragmento de entrevista sobre los cambios de estado y estructura de la materia a un alumno de 14 años (tomado de Serrano y Blanco, 1988, p. 23).

Alumno: En el hielo y el agua deshelada los átomos son los mismos.

Profesor: ¿Hay algo más que átomos?, ¿algo que se hiele entre ellos?

Alumno: No... bueno, no lo sé... si, no, todo son átomos pero en el hielo están congelados.

Esta tendencia puede ser producto también de un esquema lógico simple que los alumnos posean desde edades tempranas y que pueden aplicar de forma espontánea. Por ejemplo, para el caso de la dilatación: la sustancia X se dilata al calentarse, la sustancia X está formada por moléculas, las moléculas de X se dilatan al calentarse.

D. *Explicaciones basadas en semejanzas entre los niveles macro-micro*

Se utilizan las partículas para explicar las propiedades y transformaciones de la materia a nivel macroscópico, pero las partículas tienen las mismas propiedades macroscópicas de la materia. De este modo, los cambios macroscópicos de la sustancia estudiada (color, aspecto, cambio estado...) son adjudicados a las partículas microscópicas.

Resumiendo, según el mapa de dominio (cuadro I) esta teoría se manifiesta por las ideas correspondientes a los niveles 2 de cada una de las dimensiones.

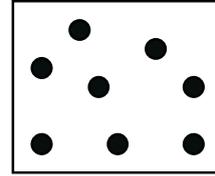
TEORÍA PARTÍCULA-VACÍO

Esta teoría supone un avance considerable respecto a las dos anteriores. Vendría caracterizada por:

A. *Una imagen de la materia netamente corpuscular*

Según esta imagen (figura V), «las partículas son la materia», idea muy diferente de «las partículas están en la materia».

FIGURA V
Representación corpuscular de un gas en un recipiente cerrado



B. *La aceptación del vacío como ausencia de materia*

Asumir el *vacío como ausencia de materia* conlleva importantes cambios en la naturaleza ontológica de este concepto. ¿Qué naturaleza ontológica tiene el concepto de vacío? Desde los planteamientos de (Chi, Slotta y Leeuw, 1994), quizás las dificultades detectadas sean debidas a que el concepto no posee una naturaleza ontológica muy clara. Si los alumnos parten del no reconocimiento del vacío y de la continuidad de la materia, parece lógico pensar que este concepto sea formado a partir del concepto de materia, como ausencia de ella, por un proceso de diferenciación conceptual (Benlloch, 1997), pudiendo tener, en los primeros momentos, algunas características asignadas a la materia.

Por otra parte, la aceptación del vacío puede conllevar también importantes cambios en los compromisos epistemológicos de los alumnos. No existen evidencias experimentales claras que faciliten la comprensión del mismo; al contrario, se trata de una concepción intelectual «contraintuitiva» que tiene sentido en el seno de una teoría para explicar el comportamiento de la materia. Aceptar el vacío supone aceptar que, en la ciencia, las entidades teóricas y los modelos se proponen para dar coherencia a las explicaciones. Esta visión de la ciencia es, como se ha dicho antes, una concepción que sólo en raras ocasiones es puesta de manifiesto por los adolescentes (Driver et al. 1994).

C. *La asimilación de la naturaleza ontológica que la ciencia escolar asigna a las partículas*

Los alumnos conciben a las partículas como materia, ya que poseen las propiedades generales de masa y volumen, pero carecen de cualquier otra propiedad asignada a la materia macroscópica. Esta adquisición supone un avance considerable con respecto a la teoría anterior. En primer lugar, porque los alumnos abandonan el recurso de atribuir propiedades macroscópicas a las partículas (color, se dilatan, se expanden...), aunque en algunos casos puedan encontrarse reminiscencias del mismo. En segundo lugar, porque han asimilado el carácter material de las partículas, aspecto no totalmente adquirido en la teoría anterior.

La naturaleza ontológica que la ciencia escolar asigna a las partículas implica la aceptación de dos propiedades que la diferencian de la materia macroscópica: movimiento intrínseco e interacción entre ellas. Se trata de dos conceptos de difícil adquisición.

La comprensión del movimiento intrínseco se encuentra en un estado incipiente. La idea de movimiento corpuscular existe, pero no se utiliza para explicar las propiedades de la materia a nivel macroscópico. La suposición sobre el movimiento de las partículas consiste en asignarles un comportamiento cinético análogo en muchos aspectos al «comportamiento mecánico de los cuerpos». Superficialmente, esta suposición puede parecer sencilla y con implicaciones claras, pero no es así para los alumnos, ya que el comportamiento mecánico de los cuerpos no tiene una descripción o interpretación sencillas, sino que puede ser explicado de forma diferente por distintas teorías alternativas (Viennot, 2002).

En este aspecto, la teoría cinética de partículas se refiere específicamente a la teoría de la mecánica de Newton, que incluye como característica fundamental el

concepto de movimiento de inercia en línea recta y a velocidad constante. La presunción de la idea del movimiento de inercia requiere la aceptación del «espacio vacío ilimitado» como noción necesaria. Cuando aplicamos la mecánica de Newton a las partículas gaseosas, las concebimos como moviéndose en líneas rectas en el vacío, chocando entre ellas y con las paredes del recipiente, y creando estadísticamente un movimiento aleatorio.

Ahora bien, cuando decimos a nuestros alumnos que las partículas tienen un movimiento intrínseco, ¿podemos dar por supuesto que piensan en el movimiento de las partículas en el contexto del marco newtoniano? Parece una suposición algo arriesgada. En muchas ocasiones, los alumnos estudian determinadas ideas sobre la naturaleza de la materia antes que la mecánica newtoniana. Incluso cuando han estudiado mecánica, las ideas relativas a fuerza y movimiento resultan difíciles de entender y de utilizar para la mayoría de los alumnos de la escuela secundaria. Precisamente, encontramos alumnos de secundaria, e incluso estudiantes universitarios, que utilizan ideas intuitivas o marcos alternativos que reúnen las características de modos de pensar anteriores a Newton. Por otro lado, (Albanese y Vicentini, 1997) afirman que a los alumnos rara vez se les dice que, en el estado sólido los átomos tienen movimiento, cuando se les presentan modelos cristalinos.

Resumiendo, si el posible marco de referencia (la mecánica de Newton) no es asimilado por los alumnos, difícilmente podemos esperar que lo apliquen al movimiento de las partículas. Se constituye pues esta idea como un obstáculo importante en la comprensión de la teoría cinético-molecular.

Con respecto a la idea de interacción entre moléculas, ésta puede ser reconocida por los alumnos en todos o en algún estado concreto de la materia, pero de ella no siempre se derivan propiedades macroscópicas.

Existen evidencias a nivel macroscópico de que la materia se atrae y se repele (interacciona) incluso sin contacto directo (atracciones electrostáticas, la gravedad y el magnetismo). Algunas de estas ideas podrían ser transferidas al mundo de las partículas, con la esperanza de que las interacciones entre estas puedan ser más fácilmente aceptadas, aunque no se comprenda claramente cuál es su naturaleza. Quizás sea esta una idea a la que no se dedica el tiempo necesario en la enseñanza (Johnson, 1998).

D. Escasa aplicación de las ideas de movimiento e interacción molecular para explicar las propiedades macroscópicas

En cuanto a los recursos explicativos, en esta teoría comienzan a superarse las explicaciones basadas en la semejanza entre los niveles macro-micro, y los alumnos comienzan a concebir lo que ocurre a nivel macroscópico como debido a las características y comportamientos de las partículas. Ahora bien, puesto que la asimilación de las propiedades características de las partículas es todavía incipiente, no es de esperar que los alumnos las utilicen de forma generalizada. Lo más normal es un uso aislado de alguna de ellas en función del contexto y sin que aparezcan asociadas a otros conceptos como el de vacío. La coordinación de estas ideas (movimiento, interacción y vacío) en esquemas explicativos se convierte pues en la adquisición que llevaría a la teoría escolar.

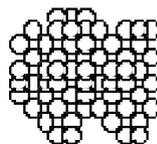
Esta teoría se manifiesta, según el mapa de dominio, por las ideas correspondientes al nivel 3 de cada una de las dimensiones (cuadro III).

TEORÍA ESCOLAR

Se trata de la teoría que pretendemos que los alumnos adquieran y apliquen. Podemos sintetizarla de la siguiente forma:

- Todas las sustancias están formadas por agregados de partículas extraordinariamente pequeñas, e indivisibles (figura VI).

FIGURA VI
Representación de la materia en estado líquido o sólido



Agregado de partículas microscópicas

- Entre las partículas existe vacío.
- El movimiento de las partículas y la interacción entre ellas son los responsables de las propiedades físicas de la materia (estado y volumen, aunque no de la masa) y sus transformaciones.

Debido a estas interacciones y comportamiento, el sistema de partículas resulta diferente a la suma (simple) de las mismas. Por tanto, las partículas tienen su comportamiento específico, diferente del de la materia a nivel macroscópico, el cual sería debido al comportamiento del sistema de partículas considerado a nivel colectivo.

Al analizar los razonamientos necesarios para realizar las explicaciones de las propiedades y transformaciones de la materia se puede tomar conciencia de las demandas que se hacen a los alumnos en este sentido. Un ejemplo de cómo este esquema sería utilizado es la siguiente explicación del aumento de tamaño al inflar un neumático, fenómeno que suele utilizarse con cierta frecuencia en los textos:

Al introducir aire en el interior de un neumático, este aumenta de tamaño (se expande). Esto se explica, desde la teoría cinético-molecular, recurriendo a alguna de las propiedades de las partículas y a

relaciones entre ellas que se consideran relevantes para esta situación. Así, al introducir más aire hay más partículas moviéndose en todas las direcciones y chocando con las paredes. El mayor número de choques por unidad de tiempo hace que la superficie del neumático se estire, produciendo un aumento del volumen interior. Por tanto, un efecto macroscópico observable (aumento de volumen) no se explica por un efecto similar a nivel microscópico. Hay que relacionar aquí el aumento del número de partículas con la frecuencia de los choques entre ellas y las paredes, y este con el aumento de su superficie y esto a su vez con el aumento del volumen anterior, sin entrar en las consideraciones de las partículas del neumático.

Como puede apreciarse, una explicación poco evidente para el sentido común. La diferenciación entre las propiedades de la materia y las propiedades de las partículas se convierte pues en un aspecto difícil de asimilar. Johnson (1998) considera que esta es la dimensión en la que de forma más tardía se produce el progreso de los alumnos. De forma similar, (Benarroch, 2000) sitúa en un nivel final la coordinación de las ideas de movimiento, interacción y vacío en un único esquema causal.

Asimilar y utilizar este esquema explicativo supone el salto cualitativo más importante respecto a la teoría anterior. Por una parte, los alumnos tienen que cambiar sus pautas de razonamiento para llegar a explicar los fenómenos en términos de interacción entre partículas y no en términos de características inherentes a las mismas, lo cual, como se ha dicho antes, es una de las características propias del pensamiento cotidiano. También implica un cambio en sus compromisos epistemológicos, de modo que han de reconocer que las entidades teóricas y los modelos, lejos de la dicotomía «verdadero-falso», son propuestos para dar coherencia a las explicaciones.

Resumiendo, según el mapa de dominio (cuadro I) esta teoría se manifiesta por

las ideas correspondientes al nivel 3 de las dimensiones A y B y al nivel 4 de las dimensiones C y D.

La enseñanza de esta teoría, con diferentes niveles de formulación, representación y aplicación, requiere de un periodo escolar amplio, trascendiendo el de la educación obligatoria. Si el objetivo con los alumnos de la ESO es que adquieran una primera versión, lo más simple posible, y la apliquen a la interpretación de fenómenos relativamente conocidos; en el Bachillerato, los alumnos van a profundizar en el conocimiento y uso de modelos atómicos y moleculares, y van a generalizar su aplicación.

LAS TEORÍAS DE LOS ALUMNOS Y EL PROGRESO EN LA COMPRESIÓN

El marco teórico descrito es propuesto como instrumento guía para la investigación en el dominio de la naturaleza de la materia. Desde esta perspectiva, investigar el progreso en la comprensión requiere identificar las posibles teorías de los alumnos y conocer como pueden cambiar con la edad y la instrucción. Ahora nos estamos refiriendo a las teorías que manifiesta cada alumno, y éstas no tienen por qué coincidir, en todo caso, con todas las que se han contemplado en el repertorio descrito.

Desde nuestro punto de vista, las teorías pueden ser consideradas como un puzzle que el investigador construye con el objetivo de dar sentido a las respuestas de los alumnos, de tal forma que estas teorías están en la base, aunque sea de forma implícita, de sus explicaciones y descripciones de los fenómenos en un dominio específico determinado.

Según este modelo del puzzle, las teorías se definen con un número de piezas igual al número de dimensiones que se consideran importantes en la comprensión del dominio. Este puzzle no es sólo una colección de piezas, sino también las

relaciones entre ellas necesarias para colocar cada una en su sitio y para producir, de forma colectiva, una peculiar interpretación del dominio. Distintos puzzles (teorías) pueden compartir piezas (concepciones concretas), y una pieza determinada debe ser analizada en el contexto del puzzle en el que se encuentra, ya que puede tener distinto sentido en distintos puzzles.

Este modelo tiene implicaciones trascendentales en la concepción del aprendizaje y de la progresión. Si una concepción sobre un fenómeno es considerada como un puzzle (teoría) resultará más difícil imaginar que el aprendizaje pueda consistir en el proceso de sustituir un puzzle por otro si no es de una forma gradual. Más bien, se puede entender que, a partir de un determinado puzzle (teoría 1), se van produciendo cambios paulatinos en determinadas piezas o en las relaciones entre ellas, de tal forma que, en un momento determinado, constituyen un nuevo puzzle (teoría 2).

La adquisición de una determinada teoría 2 no tiene por qué significar que el alumno deseché una previa teoría 1. Ambas pueden coexistir en la mente de los alumnos activándose una u otra según el contexto o el tipo de fenómeno que se quiere explicar.

La ausencia de una pieza, o de varias, no tiene por qué significar la ausencia de teoría, sino que ésta no está aún desarrollada completamente, pudiéndose así diagnosticar cuáles son las piezas que faltan. En un puzzle existen piezas cuya colocación resulta más fácil de realizar y otras de ubicación más difícil, hasta tal punto que para colocarlas sería aconsejable que el resto de las piezas ya estuviesen colocadas. Esto significa que, en el seno de una teoría determinada, pueden existir elementos que los alumnos adquieren de forma más fácil que otros, e incluso que algunos aspectos requieren de la asimilación previa de otros.

Volviendo al marco teórico propuesto, como tal marco, podrá y deberá ser modificado en la medida en que los datos

experimentales lo hagan necesario. Estas modificaciones podrían consistir, por ejemplo, en la incorporación de nuevas concepciones que representen pasos intermedios no contemplados en alguna de las dimensiones y/o en la modificación de alguna de las teorías descritas en el repertorio. Constituye también una guía desde el punto de vista metodológico. En primer lugar, señala con claridad las dimensiones sobre las que hay que indagar. La ausencia de información sobre alguna de ellas representaría una visión incompleta de la comprensión sobre la naturaleza de la materia de cualquier alumno. Los trabajos citados suelen centrarse en una o algunas de las dimensiones que han sido consideradas importantes por los autores, y en un rango limitado de tareas y contextos. En segundo lugar, la consideración de las concepciones de los alumnos como teorías requiere explorar sus explicaciones en un amplio rango de tareas y contextos, que permita a los investigadores identificarlas y reconocer la consistencia en sus usos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBANESE., A. y VICENTINI, M.: «Why do we believe that an atom is colourless? Reflections about the teaching of the particle model», en *Science & Education* 6 (1997), pp. 251-261.
- ANDERSSON, B.: «Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16)» en *Studies in Science Education*, 18, (1990), pp. 53-85.
- BENARROCH, A.: «El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia», en *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), (2000), pp. 235-246.
- BENLLOCH, M.: *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las ciencias*. Madrid, Aprendizaje Visor, 1997.
- BENLLOCH, M. y POZO, J.: «What changes in conceptual change?: from ideas to

- theories», en Welford, G.; Osborne, J. y Scott, P. *Research in Science Education in Europe*. London, Falmer Press, 1996.
- BREWER, W.: «Scientific theories and naive theories as forms of mental representations: psychology revived», en *Science & Education*, 8,(1999), pp.489-505.
- CAMPANARIO, J. Y OTERO, J.: «Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias», en *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 2, (2000), pp. 155-169.
- CHI, M., SLOTTA, J. y LEEUW, N.: «From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts», en *Learning and Instruction*, 4, 1 (1994), pp. 27-43.
- DE VOS Y VERDONK, A.: «The particulate nature of matter in science education and in science», en *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 6, (1996), pp. 657-664.
- DISSA, A.: «Towards an epistemology of physics», en *Cognition and Instruction*, 10, 2-3, (1993), pp.105-225.
- DRIVER, R.: «Students' conceptions and the learning of science», en *International Journal of Science Education*, 11, 5, (1989), pp. 481-490.
- DRIVER, R., LEACH, J., SCOTT, P. y WOODROBINSON, C.: «Young people's understanding of science concept: implication of cross-age studies for curriculum planning», en *Studies in Science Education*, 24, (1994), pp. 75-100.
- JOHNSON, P.: «Progression in children's understanding of a «basic» particle theory: a longitudinal study», en *International Journal of Science Education*, 20 4, (1998), pp. 349-412.
- KRNEL, D., WATSON, R. Y GLAZAR, S.: «Survey of research related to the development of the concept of matter», en *International Journal of Science Education*, 20, 3, (1998), pp. 257-289.
- LEE, O., EICHINGER, D., ANDERSON, C., BERTHEIMER, G. y BLAKESLEE, T.: «Changing middle school students' conceptions of matter and molecules», en *Journal of Research in Science Teaching*, 30, (1993), pp. 249-270.
- MORTIMER, E.: «Conceptual change or a conceptual profile change?», en *Science & Education*, 4, (1995), pp. 267-285.
- «Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter», en *International Journal of Science Education*, 20 (1), (1998), pp. 67-82.
- NUSBAUM, J.: «La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa», en En DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A.: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid, Morata, 1989, pp.196-224.
- POZO, J. Y GÓMEZ, M.: *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid, Morata. 1998.
- POZO, J., GÓMEZ, M., LIMÓN, M. y SANZ, A.: *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: ideas de los alumnos sobre la química*. Madrid, Servicio de Publicaciones del MEC, 1991.
- POZO, J., PUY, M., SANZ, A. Y LIMÓN, M.: «Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas», en *Infancia y aprendizaje*. 57, (1992), pp. 3-22.
- PRIETO, T. Y BLANCO, A.: «Visión escolar de la naturaleza y estructura de la materia», en *Alambique*, 26 (2000), pp.75-82.
- PRIETO, T., BLANCO, A. y BRERO, V.: «La progresión en el aprendizaje de dominios específicos: una propuesta para la investigación», en *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 1, (2002), pp. 3-14.
- PRIETO, T., BLANCO, A. y GONZÁLEZ, F. J.: *La materia y los materiales*. Madrid, Síntesis, 2000.
- PRIETO, T., WATSON, R. y DILLON, J.: «Pupils' understanding of combustion», en *Research in Science Education*, 22, (1992), pp. 331-340.
- RENSTRÖM, L., ANDERSSON, B. Y MARTON, F.: «Students' conceptions of matter», en

- Journal of Educational Psychology*, 82, 3, (1990), pp. 555-569.
- SCOTT, P.: «Pathways in learning science: a case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter», en DUIT, R., GOLDBERG, F. y NIEDDERER, H. *Research in Physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Germany, Institute for science education at the university of Kiel, (1992), pp. 203-224.
- SERRANO, T. Y BLANCO, A.: *Las ideas de los alumnos en el aprendizaje de la Ciencia*. Madrid, Narcea, 1988.
- VIENNOT, L.: *Razonar en Física. La contribución del sentido común*. Madrid, Antonio Machado libros, 2002.
- VOSNIADOU, S.: «Capturing and modelling the process of conceptual change», en *Learning and Instruction*, 4, 1, (1994), pp. 45-69.
- VOSNIADOU, S. y IOANNIDES, C.: «From conceptual development to science education: a psychological point of view», en *International Journal of Science Education*. 20 (10), (1998), pp. 1213-1230.
- WHITE, R. Y GUNSTONE, R.: *Probing understanding*. London, The Falmer Press, 1992.