

LA EVOLUCIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

Alicia Benarroch Benarroch *

Nicolás Marín**

Javier Perales*

*Universidad de Granada

** Universidad de Almería

1. INTRODUCCIÓN

Las concepciones sobre la naturaleza corpuscular de la materia (NCM) son unas de las más investigadas en la Didáctica de las Ciencias. Precisamente, uno de los primeros trabajos fue el de Doran (1972), preocupado por obtener buenos distractores en los ítems destinados a valorar la aceptación de la naturaleza atomística de la materia. Furió (1986) señaló la abundancia relativa de este tópico respecto a otros en el área de la Química. Sin embargo, Andersson (1990a; 1990b) señalaba ya hace unos años que *una cuestión importante aún sin resolver es el conocimiento de cómo tiene lugar la evolución de las concepciones de los estudiantes sobre la estructura de la materia*. En concreto, propone dos posibilidades para esta evolución: a modo de progresión unidimensional o de progresión multidimensional poniendo de manifiesto la laguna importante existente en este ámbito.

Éste ha sido uno de los objetivos principales de un trabajo reciente (Benarroch, 1998). El reto importante que se aborda es el de dilucidar si la evolución de las concepciones de los alumnos podría tener lugar con la edad, con el historial escolar o con capacidades cognoscitivas o si, por el contrario, podría esperarse más persistencia que evolución, asociándose una u otra forma de "ver la materia" a características más personales que evolutivas. Datos a favor de una postura y de otra no faltan: así, para Piaget, esta evolución debía darse de modo "natural" con el desarrollo de las capacidades cognoscitivas. Para los estudiosos de las concepciones alternativas, hay obstáculos epistemológicos que impiden esta evolución, incluso a veces después de la instrucción específica.

Un análisis exhaustivo de la abundante bibliografía sobre concepciones de la NCM arroja resultados más contradictorios que sugerentes. Algunas de las

contradicciones y cuestiones sin responder son:

- a) Por un lado, se sabe que los alumnos muestran desde los 10 años en adelante bastante familiaridad con ideas corpusculares. Sin embargo, se desconoce la frecuencia con que se usan dichas ideas corpusculares, pues distintos estudios ofrecen resultados contradictorios. Mientras que algunos señalan que dicha frecuencia es del orden del 70-80% (p.e. Brook y otros, 1984; Benarroch, 1989) otros dan porcentajes del orden del 20-30% (p.e. Llorens, 1988; Stavy, 1988).
- b) Se suele admitir que las mayores dificultades del modelo corpuscular se centran en los conceptos de vacío y de movimiento (Novick y Nussbaum, 1981; Meheut y Chomat, 1990). Sin embargo, se desconoce qué posturas o visión adoptan sobre la NCM los alumnos que niegan el vacío: ¿niegan también la existencia de huecos o solo la inexistencia de materia?
- c) Se sabe que los alumnos adjudican propiedades humanas (crecer, hacerse más gordas, etc.) y macroscópicas (dilatarse, fundirse, etc) a las partículas microscópicas (Brook y otros, 1984). Se desconoce el significado atribuido por los alumnos a los términos que usan cuando aluden a esas propiedades.
- d) Las ideas corpusculares son más frecuentes para gases que para sólidos y líquidos (Novick y Nussbaum, 1981; Stavy, 1988; Posada, 1993; 1995). Se desconoce si esto también es así para alumnos que tienen problemas para concebir los gases como materia (menores de 12 años).
- e) Las dificultades con los modelos corpusculares están originadas por la "dependencia de lo perceptivo" y por un razonamiento que iguala las causas a los efectos (Pozo y otros, 1991). Se desconoce por qué las concepciones sobre la NCM no evolucionan si lo hacen la capacidad perceptiva y el razonamiento causal de los sujetos.
- f) Se desconoce la relación entre las representaciones icónicas y la concepción corpuscular implicada. Para algunos autores (Barboux y otros, 1987), muchas producciones puntuales no implican concepciones discontinuas. Otros (p.e. Benson y otros, 1993) señalan justamente lo contrario, al argumentar que son los dibujos continuos los que pueden suscitar polémica al poder estar realizados simplemente a un nivel más bajo de resolución.

En definitiva, se podría afirmar, sin temor a equivocarnos, que estas aportaciones empíricas ofrecen un cuadro escasamente consolidado y concluyente. En este trabajo, pretendemos mostrar que, trabajando con una metodología adecuada,

no sólo ha sido posible conocer la evolución del conocimiento del alumno sobre la NCM. Se verá asimismo cómo estos datos pueden explicar las posibles discrepancias y lagunas encontradas en la abundante bibliografía sobre el tema.

2. METODOLOGÍA

Aunque el objetivo de este trabajo es presentar los niveles explicativos encontrados en la investigación aludida (Benarroch, 1998), una breve referencia a la secuencia metodológica resulta imprescindible para valorar el producto obtenido. Es deudora de la teoría piagetiana y, sobre todo, de los últimos trabajos sobre causalidad realizados por el Centro de Epistemología Genética (Piaget y García, 1973). Se fundamenta también en otras vertientes psicológicas que han inspirado el movimiento de las concepciones alternativas. No se olvidan las aportaciones teóricas de la Epistemología e Historia de los modelos de materia. De todo ello y, sobre todo, de la amplia bibliografía que versa sobre el conocimiento del alumno en esta área, se extraen las hipótesis del trabajo.

La metodología se materializa en entrevistas individuales a un número más bien limitado de sujetos (concretamente 43 sujetos) que pertenecen a distintos niveles escolares (9-22 años) y que tienen distintas capacidades. Los pasos a seguir fueron:

1. Realización de un estudio piloto ($N_1=330$ alumnos) para la selección de la muestra objeto de entrevista individual ($N_2=43$).
2. Diseño del cuestionario (conjunto de preguntas fijas que conforman la entrevista) con modificación de aspectos figurativos y estructurales.
3. Realización de las entrevistas individuales, con una duración de 3 horas por alumno.
4. Transcripción de las entrevistas en dos formas:
 - 1ª transcripción: literal.
 - 2ª transcripción: donde se recogen aspectos más sobresalientes.
5. Categorización de las respuestas (categorías empíricas).
6. Análisis estadístico y recategorización de respuestas (categorías estructurales).
7. Delimitación de los niveles explicativos a merced del contenido evolutivo común en las explicaciones de los sujetos ante las distintas situaciones físicas planteadas.

A continuación, debido al espacio disponible, se expone exclusivamente una de las conclusiones más relevantes de la investigación: los cinco niveles explicativos encontrados sobre la NCM.

3. NIVELES EXPLICATIVOS DE LOS ALUMNOS SOBRE LA NCM

Los resultados del trabajo apuntan hacia una progresión unidimensional formada por cinco niveles que podrían sintetizarse como sigue:

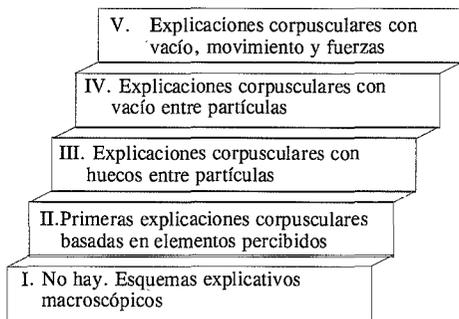


Figura 1. Cinco niveles explicativos en la evolución del conocimiento sobre la naturaleza corpuscular de la materia

Nivel 1

Se caracteriza por la ausencia de esquemas explicativos directamente relacionados con la NCM. Los esquemas explicativos utilizados en esta área son los derivados de un conocimiento macroscópico y descriptivo de las situaciones. Estos sujetos son incapaces por tanto de dar una explicación en el nivel de modelización quedándose en el nivel fenomenológico. Es mayoritario entre sujetos de 9 años de edad y menores.

Sus dibujos son fundamentalmente continuos (a veces "adornados" por burbujas o pompas de los líquidos correspondientes), aunque "suman" partículas a dichos continuos cuando se les compromete con la información científica sobre la naturaleza de la materia. Por tanto, sólo tras esta información, añaden sistemáticamente partículas a sus continuos, sin que esto les capacite para enriquecer sus explicaciones. Parece ser más una imitación debida al compromiso con los significantes gráficos del modelo que con el significado del mismo. Las partículas añadidas son sistemáticamente de idéntica naturaleza al fondo, y por tanto, también del color del fondo.

Nivel 2

Se conforma por esquemas que siguen siendo continuos pero que se ven enriquecidos por elementos percibidos (burbujas, huecos, pompitas, etc) para dar explicación a los datos empíricos. Por tanto, más que un enriquecimiento de la visión microscópica, lo que caracteriza a este nivel respecto al anterior es la tendencia o necesidad de explicar las situaciones físicas que se les presentan mediante modelos causales fundamentados en ciertos elementos percibidos. Este tipo de explicación será más frecuente cuando la situación física preste esas percepciones. Tras la presentación del modelo, se confirman los propios esquemas al identificar partículas en los dibujos y explicaciones. Esto es, las partículas de las que hablan los científicos son reconocidas por estos alumnos como las burbujas, huecos o pompitas que ellos usan espontáneamente.

Es el nivel más frecuente entre los sujetos de 6º EGB (11 años de media).

Nivel 3

Este nivel se caracteriza por esquemas corpusculares discontinuos (admisión de huecos entre partículas) pero sin concebir vacío necesario. Las explicaciones se pueden fundamentar en las hipotéticas partículas, las cuales, en ausencia de otros elementos del modelo corpuscular, se convierten en las protagonistas de todos los procesos que se intenta explicar (partículas que aumentan o disminuyen de tamaño), o bien, en los huecos de contenido etéreo al que se adjudican algunas de las propiedades de las sustancias macroscópicas (huecos con más o menos densidad, con más o menos extensión, etc.). Este tipo de explicación se favorece para situaciones donde se carecen de elementos percibidos. Tras la presentación del modelo, se admite como compromiso el vacío, pero este nuevo elemento no es integrado en los esquemas previos pues no se obtienen elementos novedosos en sus respuestas.

Aunque especialmente este nivel está representado por sujetos de todos los niveles escolares de esta investigación, es más frecuente entre los de 8º EGB y 2º BUP (13-15 años de media).

Nivel 4

Viene representado por concepciones de partículas y vacío necesario de forma espontánea (debido probablemente a la integración del esquema diferenciador entre materia y no materia). Este modelo rudimentario suele ser mantenido incluso cuando no se poseen respuestas adecuadas para ciertos datos empíricos, bloqueándose las explicaciones o proponiéndose explicaciones de compromiso.

Tras la presentación del modelo, se suelen incorporar a las explicaciones anteriores los nuevos elementos de interacciones y movimiento, aspectos que sólo son atendidos por este grupo de sujetos de la muestra.

Es el nivel más frecuente entre los sujetos de COU y 2º Magisterio (17-19 años de media).

Nivel 5

En este último nivel, los subesquemas de movimiento e interacción se coordinan con el de partículas-vacío, que caracteriza el anterior, en un único modelo causal explicativo de los procesos físicos de la materia.

Los anteriores niveles podrían ser interpretados como etapas sucesivas necesarias en la evolución cognoscitiva del individuo en esta área (ontogénesis de la naturaleza corpuscular de la materia). No obstante, para poder corroborar esto, tendría que plantearse otro tipo de estudio que, partiendo de estos resultados, rastrearía el conocimiento de un mismo grupo de sujetos durante un largo período de tiempo.

4. EJEMPLOS DE RESPUESTAS TÍPICAS DE LOS SUJETOS DE LOS DISTINTOS NIVELES ANTE LA OBSERVACIÓN DE LA COMPRESIBILIDAD DEL AIRE EN CONTRASTE CON LA DEL AGUA

Una de las tareas o situaciones físicas que han resultado ser más significativas para discernir los niveles explicativos de los alumnos sobre la NCM ha sido la experiencia de la compresibilidad del aire en contraste con la del agua. En ella, después de experimentar con el aire en un globo, comprobar su peso, se experimenta con el de una jeringa, "jugando" con el aire de su interior y comprobando que "5 ml se reducen a 1 ml". No ocurre lo mismo si en lugar de aire se introduce agua (a los ojos de los alumnos el agua no es compresible). Las preguntas realizadas fueron del siguiente tipo: ¿qué diferencia al aire y al agua?, ¿cómo verías al aire y al agua si tuvieras un microscopio muy potente?...

Las respuestas típicas asociadas a cada uno de los niveles explicativos son:

Nivel 1

Conciben tanto el aire como el agua continuos. La explicación de las distintas compresibilidades radica en la propia naturaleza de las sustancias.

Nivel 2

Modelos continuos con huecos solamente para el aire (agua continua) o modelos continuos con huecos para ambas sustancias.

Nivel 3

Modelos "discontinuos aparentes" (partículas/fondo lleno) para una de las dos sustancias. La otra sigue siendo continua. La sustancia continua se comporta así por su propia naturaleza. Para la "discontinua aparente" se hace una transposición de la propiedad macroscópica al fondo microscópico.

Modelos "discontinuos aparentes" (partículas/fondo lleno) para ambas sustancias, esto es, se hace una transposición de las propiedades observadas a los fondos microscópicos. Las explicaciones se basan en la naturaleza de esos fondos.

Modelos "discontinuos rudimentarios" (partículas/vacío) para el aire. El agua sigue siendo "discontinua aparente" (partículas de agua/fondo lleno). Las explicaciones intentan ser algo más elaboradas que la mera transposición al nivel microscópico.

Nivel 4

Modelos "discontinuos rudimentarios" (partículas/vacío) para ambas sustancias, a pesar de no constituir un sistema lo suficientemente explicativo como para dar cuenta de las distintas compresibilidades. Explicaciones bloqueadas.

Modelos "discontinuos rudimentarios" (partículas/vacío) para ambas sustancias, introduciendo estrategias o disposiciones (partículas de agua pegadas) que explican las distintas compresibilidades. Explicaciones desbloqueadas.

Nivel 5

Modelos discontinuos avanzados (partículas/vacío/fuerzas) para ambas sustancias, lo que se deduce de la necesidad de explicar las distintas compresibilidades.

Modelo académicamente aceptado (partículas/vacío/fuerzas/movimiento) tanto para el aire como para el agua. (partículas/vacío/fuerzas/movimiento) para ambas sustancias.

5. INTERPRETACIÓN DE LAS CONTRADICCIONES EMPÍRICAS DESDE LOS RESULTADOS DE ESTA INVESTIGACIÓN

Desde los resultados anteriores, es posible dar una explicación a las contradicciones aparentes y/o lagunas aludidas en el primer apartado de este trabajo.

Así, ante las notables discrepancias entre los diversos autores para fijar la frecuencia de los sujetos en utilizar el modelo corpuscular, uno de los motivos más importantes para ello podría ser "la concepción que los investigadores tengan del modelo corpuscular". La presencia de partículas es muy temprana dentro de la evolución cognoscitiva (desde el nivel 2, se hacen dibujos con puntitos, e incluso en el nivel 1 a veces aparecen manchas). El modelo corpuscular académico es, en cambio, una adquisición tardía, costosa y en muy pocos casos conseguida. No diferenciar entre niveles lleva a contradicciones entre los que simplemente identifican partículas en las explicaciones y/o dibujos, que encontrarán porcentajes elevados, y los que consideran modelos con mayores exigencias cognoscitivas, cuyos porcentajes serán bastante inferiores.

Respecto al obstáculo del vacío, se ha comprobado que realmente lo es para aquéllos alumnos que ya admiten la discontinuidad (nivel 3 de esquemas explicativos). Estos alumnos requieren de explicaciones específicas que les ayude a diferenciar entre lo que es y lo que no es materia. Una explicación de esta índole no tendría mucho sentido para aquéllos que no hubieran alcanzado el nivel 3, esto es, la necesidad de huecos entre partículas. Por esta razón, sólo supone un verdadero obstáculo para los sujetos del tercer nivel. Los de niveles anteriores carecen de esquemas adecuados para asimilar este concepto. Para los posteriores no puede suponer un obstáculo algo que ya se comprende.

También se ha dicho que las partículas de las que suelen hablar los alumnos no se corresponden con la visión científica de las mismas. En esta dirección se ha comprobado en esta investigación, que, desde los 9 años de edad, los sujetos no adjudican características humanas a las partículas, aun cuando utilicen terminologías engañosas que puedan inducir al investigador a creerlo y que, como los mismos niños reconocen cuando se les da la oportunidad de hacerlo, carecen del significado que a veces se les ha atribuido. La ausencia de un lenguaje más preciso les lleva a expresar con estas palabras significados más complejos.

En cambio, la atribución de características macroscópicas a las partículas microscópicas sí que parece indicar una cierta evolución en la construcción de las nociones corpusculares (nivel 3 de esquemas explicativos).

Si las nociones corpusculares son más frecuentes para gases que para só-

lidos y líquidos, es precisamente porque los primeros ayudan a concebir la existencia de los huecos entre partículas, esto es, favorecen la adquisición del nivel 3 de las nociones corpusculares. Este nivel actúa competitivamente con el anterior, derivado de elementos percibidos. Otros objetivos de esta investigación han mostrado que esta competencia sólo es posible a partir de un determinado sustrato de nivel cognoscitivo, que aunque no siempre está relacionado con una edad concreta, suele estar asociado a los 12-13 años de edad.

Por último, señalar el escaso significado de los dibujos realizados por los alumnos. Formas icónicas aparentemente idénticas representan nociones corpusculares muy diferenciadas y alejadas entre sí. Por ejemplo, los circulitos, puntitos, etc. muy usuales en las representaciones pueden significar huecos, burbujas similares a las percibidas, algunas partículas seleccionadas del continuo (formado por partículas "más disueltas") partículas representativas de la naturaleza de la sustancia, etc. Las formas icónicas, como significantes que son, evolucionan más lentamente que los significados atribuidos. La intuición del significado por parte del investigador lleva en cierta medida a las contradicciones expresadas en el primer apartado.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo, se presentan algunos de los resultados de una investigación reciente (Benarroch, 1998), referidos a:

- Los esquemas explicativos de los sujetos sobre la naturaleza corpuscular de la materia evolucionan unidimensionalmente desde lo macroscópico hasta lo microscópico, manifestando un acercamiento progresivo, sin alcanzarlo, al modelo admitido académicamente.
- Los niveles sucesivos de niveles explicativos sobre la naturaleza corpuscular de la materia encontrados son:
 - Nivel I: Continuo.
 - Nivel II: Continuo + Partículas.
 - Nivel III: Partículas y huecos llenos entre las mismas (discontinuidad).
 - Nivel IV: Partículas y huecos vacíos entre las mismas.
 - Nivel V: Partículas, vacío, movimiento e interacciones.
- Los esquemas explicativos acomodados al aire producen respuestas más elaboradas que para el agua. Los efectos perceptibles del aire favorecen esas respuestas.

- Las contradicciones entre resultados de investigaciones del MCA pueden ser explicadas desde la "ausencia de criterios diferenciadores entre los distintos niveles explicativos corpusculares de la materia".
- Los dibujos de los alumnos no son buenas herramientas discriminatorias de sus esquemas explicativos en relación con la naturaleza corpuscular de la materia. Concretamente, sujetos de distintos niveles (II, III y IV) hacen representaciones análogas. Se requiere conocer el significado atribuido a sus significantes.

REFERENCIAS

- ANDERSSON, B. 1990a. Pupil's conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, pp. 53-85.
- ANDERSSON, B. 1990b. Pupil's conceptions of matter and its transformations (age 12-16). En P.L. Linjse, P. Licht, W. de Vos y A.J. Waarlo (Eds). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles. A central problem in secondary science education*. (Universidad de Utrech, Utrech), pp.12-35.
- BARBOUX, M., CHOMAT, A., LARCHER, C. Y MEHEUT, M. 1987. *Modele particulaire et activites de modelisation en classe de 4ème*. Rapport de fin de recherche n° 12.09.84.87. L.I.R.E.S.P.T., Paris.
- BENARROCH, A. 1989. La naturaleza "particulativa" de la materia. Un estudio longitudinal de ideas previas. *Publicaciones*, n°15, pp. 135-148.
- BENARROCH, A. 1998. Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia. Descripción, análisis y predicción de características y dificultades. Tesis doctoral inédita. Universidad de Granada.
- BENSON, D.L., WITTRICK, M.C. Y BAUR, M. 1993. Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), pp. 587-597.
- BROOK, A., BRIGGS, H. Y DRIVER, R. 1984. *Aspects of secondary students understanding of the particulate nature of matter*. Children's Learning in Science Project, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, Universidad de Leeds.
- DORAN, R.L. 1972. Misconceptions on selected concepts held by elementary school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 9(2), pp. 127-137.
- FURIÓ, C. 1986. Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 73-77.
- LLORENS, J.A. 1988. La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, pp. 33-49.

- MEHEUT, M. Y CHOMAT, A. 1990. The bounds of children's atomism: an attempt to make children build up a particulate model of matter. En P.L. Linjse, P. Licht, W. de Vos y A.J. Waarlo (Eds). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles. A central problem in secondary science education*. (Universidad de Utrecht, Utrecht), pp.266-282.
- NOVICK, S. Y NUSSBAUM, J. 1981. Pupils understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. *Science Education*, 65(2), pp. 187-196.
- PIAGET, J. Y GARCÍA, R. 1973. *Las explicaciones causales*. (Barral, Barcelona). (Ver.orig. Les explications causales. Presses Universitaires de France, París. 1971).
- POSADA, J.M. 1993. Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias*. 11(1), pp. 12-19.
- POSADA, J.M. 1995. *Contenidos, actividades y/o estrategias de enseñanza de la química en la formación científica de ciudadanos*. (Encuentro Nacional de Profesores de Matemática, Física, Química y Biología, La Falta (Córdoba). Argentina).
- POZO, J.I. y otros. 1991. *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*. (Servicio de Publicaciones del MEC, Madrid)
- STAVY, R. 1988. Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*. 10(5), pp. 553-560.