

HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS



EL DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONOCIMIENTO SOBRE LAS DISOLUCIONES Y SU RELACIÓN CON LA TEORÍA CINÉTICO-MOLECULAR. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

BLANCO, ÁNGEL¹, RUIZ, LUCÍA² y PRIETO, TERESA¹

¹ Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Málaga

² Instituto Provincial de Formación de Adultos de Málaga

ablancol@uma.es

lucia11a@yahoo.com

ruz@uma.es

Resumen. El conocimiento sobre la naturaleza de la materia y sus propiedades tiene un papel importante en la educación científica. Los currículos en nuestro país incorporan la enseñanza de la teoría cinético-molecular (TCM), asumiendo que aspectos básicos de esta teoría pueden ser comprendidos, asimilados y aplicados por el alumnado de la Educación Secundaria Obligatoria. Al mismo tiempo, se han ido acumulando evidencias que muestran que el aprendizaje de la naturaleza de la materia presenta grandes dificultades, y se reconoce que una proporción alta de estudiantes no consigue una comprensión adecuada de aspectos básicos de ella.

En este artículo se intenta arrojar luz sobre esta cuestión recurriendo al análisis histórico. En primer lugar, se hace un recorrido a través de hitos importantes que han conducido a la construcción de la TCM. En segundo lugar, se analizan las teorías y modelos más utilizados a lo largo de la historia para explicar los fenómenos de disolución, relacionándolos con la TCM. Finalmente, se plantean algunas implicaciones didácticas.

Palabras clave. Naturaleza de la materia, teoría cinético-molecular, disoluciones, análisis histórico, Educación Secundaria Obligatoria.

The historical development of knowledge about the chemical solutions and its relation to the Kinetic-Molecular Theory. Educational implications

Summary. Knowledge about the nature of matter and its properties has got an important role in science education. The curricula in our country include the teaching of the kinetic-molecular theory (KMT), assuming that basic aspects of this theory can be understood, assimilated and used by pupils of compulsory secondary education. At the same time, evidences showing that the learning of the nature of matter presents great difficulties have been accumulated, and the fact that a high proportion of students do not get a proper understanding of basic aspects of nature of matter has been recognised. In this article, we attempt to shed light on this issue by resorting to historical analysis. First, a tour through important milestones that have led to the construction of the KMT is made. Second, theories and models used throughout history to explain the phenomena of dissolution are discussed in relation to the KMT. Finally, some educational implications are formulated.

Keywords. Nature of matter, kinetic-molecular theory, chemical solutions, historical analysis, compulsory secondary education.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento sobre la naturaleza de la materia y sus propiedades tiene actualmente un papel importante en la educación científica, en la que el desarrollo de aspectos básicos y claves para comprender la naturaleza corpuscular de la materia son considerados objetivos importantes (Prieto, Blanco y González, 2000).

Numerosos autores han analizado y enfatizado las características intrínsecas del conocimiento sobre la naturaleza de la materia que le hacen ocupar este papel central (véanse las revisiones de Benarroch, 1998; Krnel, Watson y Glazar; 1998 y Ruíz, 2009). Entre las más destacadas, se encuentra su gran poder explicativo y predictivo. Las teorías sobre la naturaleza de la materia permiten realizar explicaciones causales de los cambios materiales y de múltiples experiencias cotidianas. Permiten también explicar e interpretar observaciones de fenómenos relacionados con la materia y sus propiedades macroscópicas y establecer las relaciones adecuadas entre los niveles macroscópico y microscópico.

Paralelamente a este reconocimiento, se han ido acumulando un gran número de evidencias que muestran que el aprendizaje de la naturaleza de la materia presenta grandes dificultades y que una proporción alta de estudiantes no consigue una comprensión adecuada de aspectos básicos del mismo. A grandes rasgos, se puede afirmar que la visión continua de la materia está fuertemente arraigada en los estudiantes, y que conceptos como los de vacío, movimiento e interacción molecular –claves para entender la visión científica– se muestran muy difíciles de asimilar.

En suma, la relevancia de la enseñanza de la naturaleza de la materia junto con las dificultades de su aprendizaje plantea un gran desafío didáctico, de tal forma que conseguir que el alumnado de secundaria asimile, consolide y utilice una visión corpuscular de la materia constituye un reto para la educación científica en la actualidad.

Un buen número de investigaciones sobre la comprensión de la naturaleza de la materia y sus transformaciones eligen el contexto de las disoluciones (véanse las revisiones de Blanco, 1996; Çalýk, Ayas y Ebenezer, 2005 y Ruíz, 2009). Las observaciones de algunos casos concretos (por ejemplo, la disolución de sustancias coloreadas, la dilución de una disolución coloreada, la contracción de volumen en la disolución de alcohol y agua, etc.) han sido utilizadas, tanto en la enseñanza como en la investigación didáctica, como fuente de evidencias experimentales a partir de las cuales el alumnado puede inferir una concepción corpuscular de la materia.

En las conclusiones de algunos de estos trabajos se plantea que los fenómenos de disolución pueden ser explicados mediante modelos simples de la naturaleza de la materia, como el de la teoría cinético-molecular (en adelante TCM). Se considera a las disoluciones, desde esta perspectiva, como un campo adecuado de aplicación de dicha teoría.

En nuestro país, los currículos de la LOGSE introdujeron la enseñanza de la TCM desde los niveles iniciales de la Educación Secundaria Obligatoria (Real Decreto 1007/1991, de 14 de junio, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Enseñanza Secundaria Obligatoria). Así, por ejemplo, entre los criterios de evaluación del primer ciclo se recoge el de «Utilizar la Teoría Cinética para explicar algunos fenómenos que se dan en la Naturaleza, tales como la disolución, la compresibilidad de gases, la dilatación y los procesos de propagación del calor». Con el devenir de los años y los cambios curriculares, el actualmente vigente (Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Enseñanza Secundaria Obligatoria) prescribe la enseñanza de la TCM, ahora denominado modelo cinético, en el tercer curso de la ESO.

Así pues, los currículos en nuestro país han apostado por la enseñanza de la TCM como contenido importante de la educación científica obligatoria, entendiéndose que aspectos básicos de esta teoría pueden ser comprendidos y asimilados por el alumnado de esta etapa educativa, ayudándoles a realizar mejores explicaciones de fenómenos cotidianos relacionados con las transformaciones de la materia, como, por ejemplo, las disoluciones.

En este contexto se ha llevado a cabo una investigación (Ruíz, 2009) para indagar, entre otros aspectos, en la relación entre conocimientos sobre la TCM y su aplicación al contexto de las disoluciones por parte de alumnos de 14-18 años. Como parte de dicha investigación se ha considerado conveniente trazar una panorámica de dichos conocimientos a lo largo de la historia y de los científicos que contribuyeron a alumbrarlos.

La evolución del conocimiento científico sobre la naturaleza de la materia y sobre las disoluciones constituye un ejemplo de cómo, en ciencia, el avance en un área contribuye al de muchas otras. Es indudable su interés desde el punto de vista de la construcción del conocimiento científico y también como ilustración de las dificultades y avatares que están tras el conocimiento en su estado actual y las ideas, conceptos y teorías a las que los estudiantes han de encontrar sentido. Éstos nos ayudan a profesores e investigadores a comprender la lógica de los estudiantes y las dificultades que pueden encontrar a la hora de modificar sus puntos de vista (Saltiel y Viennot, 1985). A lo largo de este recorrido, es posible apreciar los procesos de construcción del conocimiento sobre el mundo como resultado de una aventura humana que tiene relación con la aventura de aprender (Izquierdo, 2000).

Tomando en consideración estas ideas, en primer lugar se hace un recorrido a través de hitos importantes que han conducido a la construcción de la TCM y posteriormente se analizan las teorías y modelos más utilizados a lo largo de la historia para explicar los fenómenos de disolución, relacionándolos con la TCM. Se analizan las principales vicisitudes que acompañaron a la evolución histórica de los conocimientos en estos dos ámbitos del conocimiento científico, así como las principales dificultades para su aceptación. Finalmente, se plantean algunas implicaciones didácticas.

LA CONSTRUCCIÓN DE LA TCM

En la enseñanza de la ciencia, bajo la denominación de «teoría cinético-molecular» se incluye un amplio abanico de conocimientos pertenecientes a campos de la física y de la química que, tomados conjuntamente, conforman la que puede ser considerada la visión más general y simple, dentro de lo posible, para explicar la naturaleza de la materia. Históricamente puede entenderse como la integración de ideas básicas de la teoría cinética de los gases (Ruíz y Blanco, 2004), y su extensión a los demás estados de la materia, con conocimientos sobre la estructura de la materia.

Como señalan De Vos y Verdonk (1996), esta descripción escolar de la naturaleza corpuscular de la materia no se refiere a las modernas teorías sobre la misma, sino que refleja una concepción clásica y micromecánica del mundo gobernada por las leyes de Newton y Coulomb. Desarrollos posteriores, que condujeron a la introducción de la incertidumbre y la relatividad como conceptos científicos, serán presentados mucho más tarde en la educación científica. No obstante, según estos autores, este conjunto de ideas se considera como una buena adaptación para la enseñanza de estos aspectos del conocimiento científico, aunque no los refleje todos.

Los conceptos y deducciones que conforman la TCM no son siempre simples, y muestran un esquema conceptual que surge de la labor de generaciones de científicos que utilizaron observaciones experimentales ampliamente dispersas, hipótesis sutiles, intuiciones penetrantes, aproximaciones simplificadoras, errores detectados y un sofisticado aparato matemático (Holton, 1993).

La descripción que se realiza a continuación de hitos importantes en la construcción de esta teoría se ha dividido en tres etapas: primeros intentos, desarrollo y consolidación.

Primeros intentos

Históricamente esta teoría hunde sus raíces en las primeras doctrinas atomistas del mundo griego que consideraban la materia formada por partículas discretas, «átomos», separados entre sí por vacío y en continuo movimiento (Sambursky, 1999). Desde entonces, el atomismo ha formado parte, con mayor o menor vigor, del devenir del pensamiento humano tal y como han puesto de manifiesto autores como Pullman (1998) o De la Llosa (2000).

Para los propósitos de este artículo vamos a situarnos a comienzos del siglo XVII en el que, con el Renacimiento, rebrotaría la doctrina atomista en medio de grandes obstáculos. Así, por ejemplo, La Sorbona declaró en 1624 que esta doctrina es falsa, temeraria *et in fide* errónea, promoviendo una violenta reacción contra la misma.

El atomismo sería retomado con el estudio de las propiedades del aire atmosférico y el establecimiento de su naturaleza física. En esta época, primero Evangelista Torricelli (1608-1647) y después Blaise Pascal (1623-1662)

constataron la formación natural de vacío en el extremo del tubo de un barómetro de mercurio. A la vista de estos experimentos, Robert Boyle (1627-1691) admitiría, en 1661, que el aire puede estar constituido por corpúsculos parecidos a hilos de lana delgados, flexibles y separados por espacio vacío que, como muelles, se pueden doblar, torcer o estirar. Aunque este modelo sólo estaba constituido por corpúsculos y espacio vacío, unos años después (en 1666) Boyle elaboraría un modelo de partículas completamente cinético (Nussbaum, 1998).

Isaac Newton (1642-1727), que también tuvo un papel destacado en este ámbito, se adelantaría casi un siglo a las ideas atomísticas modernas al considerar, por extensión de su teoría gravitatoria, que entre las partículas de la materia actúan fuerzas a distancia, las cuales utilizó para explicar fenómenos físicos y químicos tales como la capilaridad, las fuerzas de adhesión o de cohesión, o el calentamiento producido cuando un ácido o una base reaccionan con el agua. El modelo mecánico de Newton combina corpúsculos y fuerzas, de modo que permite tender el primer puente de naturaleza cuantitativa entre lo microscópico y lo macroscópico.

Algunos años después de que apareciera la obra de Newton, Daniel Bernouilli (1700-1782) publicó en 1738 un desarrollo cuantitativo de un tipo «lucreciano» de modelo cinético de los gases. Pensaba Bernouilli que los corpúsculos de un gas poseían movimiento rápido en todas las direcciones, chocaban unos con otros y también con las paredes del recipiente de modo que la presión de un gas sobre las paredes de la vasija se debería al incesante choque de millones de estos corpúsculos (Holton, 1993).

Este modelo, el tipo de razonamiento y los resultados obtenidos con él son semejantes a los que, más de un siglo después, resolverían, simultáneamente, los problemas principales de la naturaleza de los gases, del calor y de la química. En aquel momento, el trabajo de Bernouilli fue ignorado. Posiblemente, Bernouilli había efectuado dos enormes saltos en el pensamiento para los que no estaba preparada la gran mayoría de científicos de su época. Por un lado, la visión atomística y el movimiento de las partículas en el vacío; por otro, la equivalencia directa del calor con el movimiento interno. Admitir que el calor no es más que el movimiento de las partículas era una idea revolucionaria que chocaba frontalmente con la teoría del calórico. Por otra parte, también estaba lejos de las teorías entonces en vigor (Holton, 1993) la idea de que una relación numérica bien definida, como la ley de Boyle, podía deducirse de la imagen caótica de las partículas moviéndose al azar.

El modelo de Bernouilli es un ejemplo de ideas científicas que parten de unos supuestos cuya naturaleza es muy distinta de la realidad perceptible que tratan de explicar.

Hasta 1847, más de un siglo después de las aportaciones de Bernouilli, fueron pocos los científicos que expresaron puntos de vista favorables a la teoría de átomos moviéndose libremente, ni siquiera en los gases. Se aceptaba que vibraban alrededor de posiciones fijas, captados

en un medio compuesto de calórico o éter. Incluso John Dalton (1766-1844), que publicó la teoría atómica en 1808, no llegó a admitir el movimiento intrínseco de los átomos, ni el concepto de vacío.

Entre los pocos científicos que aceptaron la teoría cinética en esta época se encuentran John Herapath (1790-1869) y John James Waterston (1811-1883), que vislumbraron aspectos de la misma que sólo serían aceptados ya muy avanzado el siglo XIX. Ambos sufrieron la incompreensión de los representantes de la ciencia oficial de su momento, y el rechazo a sus ideas podrían ser explicadas por motivos de origen sociológico y no tanto científico. Herapath era editor de una revista de ferrocarriles y Waterston era un oficial del servicio civil británico en la India y, por tanto, considerados por los miembros del *establishment* científico británico como *amateurs* en el campo de la ciencia (Casado, 1999).

El caso del escocés James Prescott Joule (1818-1889) podría haber sido similar al de su contemporáneo Herapath. Joule era, como éste, un completo *outsider* en el *establishment* científico de su época, pero encontró un valedor energético y constante en William Thompson (1824-1907), Lord Kelvin, y las cosas le rodaron mucho mejor. Había publicado trabajos sobre la naturaleza del calor desde 1844. Sin embargo, la lectura de un libro de Herapath le indujo a adoptar la hipótesis de que es el movimiento de traslación y no el de rotación el responsable de las propiedades de los gases. Concluyó que la temperatura del gas es proporcional al cuadrado de la velocidad y, por tanto, a la energía cinética de las partículas. Los trabajos de Joule sobre la teoría cinética tampoco ejercieron influencia en los círculos científicos de su época (Casado, 1999).

Desarrollo

En la década 1850-1860 la teoría cinética de los gases se estableció rápidamente y con bases firmes. Se considera que el derrumbamiento de la teoría del calórico y su sustitución por una teoría «dinámica» del calor crearon las condiciones favorables para el resurgimiento de la teoría cinética de los gases (Brush, 2003).

Los trabajos matemáticos necesarios para realizar ensayos cuantitativos de esta teoría en función de datos experimentales serían realizados en muy poco tiempo, a partir de 1857, por Rudolf Clausius (1822-1888) en Alemania, James Clerk Maxwell (1831-1879) en Inglaterra y Ludwig Boltzmann (1844-1906) en Austria.

Las hipótesis básicas de la teoría cinética de los gases se reflejan en algunos pasajes del artículo «Sobre la naturaleza del movimiento que llamamos calor» publicado por Clausius en 1857, cuyas suposiciones se corresponden con nuestras ideas actuales:

La presión de un gas contra una superficie fija viene producida por el choque y el rebote de las moléculas en gran número..., y esta presión es, a volumen constante, proporcional a la energía cinética del movimiento de traslación de las moléculas... Por otra parte, sabemos

por la ley de Gay-Lussac, que a volumen constante, la presión de un gas perfecto crece en igual proporción que la temperatura absoluta calculada desde -273 °C. De lo anterior se deduce que la temperatura absoluta es proporcional a la energía cinética del movimiento de traslación de las moléculas (p. 115).

Aunque no hacía cálculos detallados, Clausius sugería que, en el estado sólido, las moléculas vibran en torno a posiciones fijas de equilibrio y giran alrededor de sus centros de gravedad. En el estado líquido, las moléculas no poseen posiciones definidas de equilibrio, sino que pueden desplazarse de un lugar a otro debido a las fuerzas que ejercen las moléculas próximas. En cambio, en el estado gaseoso las moléculas escapan de la influencia de sus vecinas y se desplazan en línea recta. Si dos moléculas chocan, rebotan según las leyes de las colisiones elásticas.

Debemos a Maxwell (1831-1879) la introducción del enfoque estadístico en la teoría cinética de los gases. Aunque reconocería trabajos anteriores como los de Bernouilli y Herapath, se acepta que el punto de arranque de su trabajo fue el artículo de Clausius de 1857 (Garber, Brush y Everitt, 1986).

La hipótesis básica de Maxwell era que las numerosas colisiones entre los moléculas de un gas, en vez de tender a igualar la velocidad de todas las moléculas, tal y como algunos científicos suponían, producirían una distribución de velocidades en la cual cualquier velocidad podría darse con una probabilidad conocida. Mas tarde Boltzman justificó esta hipótesis y obtuvo una ecuación para la evolución de la función de distribución de velocidades (Brush, 2003).

Maxwell (1866) construyó la teoría cinética sobre un modelo para los gases del que se extraen consecuencias lógicas aceptables y que es útil porque explica leyes conocidas del comportamiento de los gases y engendra nuevos resultados cuantitativos. Achinstein (1987) considera que el trabajo de Maxwell recoge una serie de simplificaciones básicas que describen lo que actualmente se conoce como «modelo de gas ideal». Estas simplificaciones son (Niaz, 2000):

1. Los gases están compuestos por diminutas partículas en rápido movimiento.
2. Estas partículas son esferas perfectamente elásticas.
3. Una partícula actúa sobre otra sólo durante el impacto.
4. El movimiento de las partículas está sujeto a las leyes de la mecánica de Newton.
5. La velocidad de las partículas aumenta con la temperatura.
6. Las partículas se mueven con velocidad uniforme y chocan con las paredes produciendo una presión.
7. Las componentes X, Y y Z de la velocidad son independientes.

Esta metodología de investigación, introducida por Galileo y basada en la idealización, que permite construir modelos simples para sistemas complejos, es una característica importante de la ciencia moderna no aristotélica. Mediante ella, es plausible interpretar la simplificación básica de Maxwell en los siguientes términos: a) la diversidad de la naturaleza se reduce hasta ser manejable y b) la influencia de impedimentos (por ejemplo, hechos causales que afectan al proceso en estudio de modo que no sean de interés) se elimina o disminuye hasta que puedan ser ignorados (McMullin, 1985).

El punto de vista estadístico de Maxwell y Boltzmann preparó el camino de la teoría cuántica que llegaría a reemplazar, en el siglo xx, las ideas mecanicistas y deterministas del mundo derivadas de la mecánica newtoniana (Holton, 1993).

Consolidación y generalización

El estudio de las propiedades de los gases sufriría una nueva revisión a finales del siglo xix cuando Henri Victor Regnault (1810-1878), mediante medidas meticulosas, demostró que al elevar la presión o al bajar la temperatura los gases no seguían del todo la ley de Boyle y su comportamiento se alejaba del de los gases perfectos o ideales.

Teniendo en cuenta estos resultados, Johannes Diderik Van der Waals (1837-1923) elaboraría una ecuación –denominada de los gases reales– que relacionaba la presión, el volumen y la temperatura de un gas, incluyendo dos valores constantes diferentes para cada gas que daban cuenta del tamaño de sus partículas y las atracciones entre ellas. Esta vuelta a la realidad no significaría un abandono de la teoría cinética de los gases ni del modelo de gas ideal. En 1873, Van der Waals demostró que la teoría cinética podría explicar no sólo las propiedades de los gases, sino también, al menos aproximadamente, la transición de gas a líquido. A comienzos del siglo xx, Josiah Willard Gibbs (1839-1903) había desarrollado un método general de mecánica estadística que podía aplicarse a los tres estados de la materia (Holton, 1993).

De este modo, el campo de aplicación de la teoría cinética, propuesta en un principio para los gases, se extendió a todos los estados de la materia, conociéndose desde entonces como la teoría cinética de la materia. Así formulada, esta teoría permite interpretar y profundizar en el conocimiento de un amplio abanico de propiedades macroscópicas de la materia tales como elasticidad, cambios de estado, tensión superficial, disolución, etc.

Todo esto sucedía a la vez que la comunidad científica del siglo xix debatía intensamente sobre la realidad física de los átomos. Esta controversia, que duró más de un siglo, constituye sin duda un episodio muy importante tanto desde el punto de vista histórico (Moreno, 2006) como filosófico (Diéguez, 1998). Aunque se reconocían a los átomos como entidades que permiten la explicación de fenómenos y propiedades de la materia, todavía se dudaba de su realidad física, una de las presunciones básicas en el desarrollo de la teoría cinética de la materia.

Es importante hacer notar que, aunque actualmente la teoría cinética es reconocida como uno de los principales logros del siglo xix en el ámbito científico, fue sujeto de considerables críticas por los científicos más destacados de la época. La teoría cinética y la termodinámica química fueron programas de investigación rivales (Niaz, 2000). Las simplificaciones asumidas por Maxwell, que se reconocen como el «núcleo» de su programa de investigación por los filósofos de la ciencia actuales, eran consideradas como arbitrarias por algunos científicos termodinámicos influyentes del siglo xix, especialmente Ernst Mach (1838-1916) y Wildhem Ostwald (1853-1932) que no admitían que se pudiera trabajar basándose en un movimiento inobservable de partículas inobservables.

DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONOCIMIENTO SOBRE LAS DISOLUCIONES

Con el término disolución se suele denominar a un amplio campo de fenómenos y sistemas materiales conocidos desde la antigüedad. El fenómeno de la solubilidad de una sustancia en otra ha mantenido la fascinación tanto de los científicos como del público en general durante toda la historia (Letcher y Battino, 2001) y ofrece una buena oportunidad para que los estudiantes puedan considerar diferentes modelos y las evidencias en las que se apoyan (Selley, 1998).

Los fenómenos de disolución, fundamentalmente de sustancias sólidas en líquidos, plantean cuestiones acerca de: las causas de la desaparición del soluto, la transparencia de la disolución, la constancia de la masa, la no conservación del volumen, la alteración de la temperatura o la saturación. En el intento de dar respuesta a estas cuestiones se han generado teorías y modelos que han ido evolucionando a lo largo de la historia. Algunos de ellos –muy aceptados en su momento– se han desarrollado, en general, en paralelo al concepto de materia o como consecuencia de los cambios y evoluciones que éste ha sufrido. No obstante, hasta el último tercio del siglo xix fueron relativamente pocos los científicos que se centraron en la investigación de la naturaleza de las disoluciones como un problema en sí mismo (Dolby, 1976).

Tomando en consideración la bibliografía disponible, y en especial la propuesta de Holding (1987), se pueden diferenciar tres vertientes en la evolución histórica del conocimiento sobre las disoluciones, teniendo en cuenta los aspectos más importantes en los que se han centrado los modelos y teorías que caracterizan a cada una de ellas. Estas vertientes son:

- Naturaleza continua/discontinua de las disoluciones.
- Interacción entre las entidades presentes en disolución.
- Atribución de movimiento a las entidades presentes en disolución.

Aunque estas tres vertientes no suponen etapas históricas en sentido estricto, su secuenciación representa el orden temporal en que la comunidad científica abordó los problemas planteados en ellas.

Naturaleza continua/discontinua de las disoluciones

Una de las primeras explicaciones de las disoluciones, aceptada durante un largo periodo de tiempo, fue la teoría «de la transustancialización» de Aristóteles (384-322, a.C.). Esta teoría, que asumía como real lo que parece ocurrir al soluto cuando se disuelve (por ejemplo, que la sal al disolverse parece convertirse en agua), conlleva un modelo continuo de materia. De aquí que en la Edad Media, en una aplicación de esta teoría, se considerara que si una gota de vino cayera al agua acabaría por convertirse en agua. Se conoce también como teoría de la licuefacción (Selley, 1998).

La incontestable autoridad de Aristóteles en la filosofía natural y la dilatada permanencia en el tiempo de sus ideas hicieron que se descartaran durante muchos siglos las ideas atomísticas de la materia que darían lugar, en su momento, a nuevas teorías sobre las disoluciones.

A pesar de lo dicho anteriormente, posiblemente la primera teoría corpuscular de disolución que se recuerda sea la «de intersticios atómicos» de Platón (427-347 a.C.), anterior a la de Aristóteles, que explicaba la desaparición del soluto por un proceso de interpenetración que supone la aceptación de la idea de vacío.

Posteriormente, Demócrito de Abdera (460-370 a.C.) propone que la materia está constituida por átomos y vacío. Basándose en esta teoría, Herón de Alejandría (aprox. 10-70 d.C.) enseñaba que la miscibilidad del agua con el vino era evidencia de la existencia de espacios entre los átomos de ambas sustancias (Selley, 1998). Obviamente, estas teorías sobre las disoluciones, al igual que las teorías atomísticas de las que partían, quedaron «olvidadas» durante muchos siglos.

En el siglo XVII, el filósofo, matemático y científico francés Paul Gasendi (1592-1655) revivía las ideas atomísticas de Demócrito, proponiendo un modelo de «poros con formas» para las disoluciones. Suponía, por ejemplo, que los cristales de sal estaban compuestos de pequeñas partículas, llamadas corpúsculos, y que, al igual que los cristales visibles, éstas tenían forma de cubo. También hacía conjeturas sobre un modelo de poros para el agua suponiendo que contenía poros con espacios vacíos en forma de cubo. De este modo explicaba el proceso de disolución diciendo que los corpúsculos de sal se metían en los poros cúbicos del agua. Es decir, que en el proceso de disolución, la forma de los poros debía coincidir con la forma de los corpúsculos. De acuerdo con este modelo, cuando todos los poros del agua estaban ocupados ya no se podía disolver más sal y se alcanzaba la saturación.

Gasendi comprobó, no obstante, que una disolución saturada de sal común podía disolver cristales de alúmina, u otras sustancias, lo que explicaba sugiriendo que el agua

tenía también poros en forma de octaedros (la forma de los cristales de alúmina). Gasendi justificaba este punto de vista considerando que lo que es cierto para el total es cierto para la parte. Esta idea es la que con frecuencia utilizan los escolares, aunque de forma implícita, cuando asignan a las partículas propiedades macroscópicas (Holding, 1987). Esta explicación implicaba también asumir que los corpúsculos de alúmina eran más pequeños que los de sal, por eso podía encontrar espacio suficiente en una disolución saturada de sal (Selley, 1998).

Con el tiempo, el número de diferentes formas cristalinas conocidas por los científicos llegó a ser tan grande que el modelo de «poros con formas» para explicar las disoluciones comenzó a perder credibilidad. Con el desarrollo de la teoría atómica en el siglo XIX, el modelo de poros evolucionaría hacia la consideración del vacío, no como intersticios dentro de la materia, sino como espacio no ocupado por esta.

Interacción entre las entidades presentes en disolución

Para encontrar las primeras ideas sobre este aspecto, clave para comprender la naturaleza de las disoluciones como se verá más adelante, hay que remontarse hasta la segunda mitad del siglo XVII. Un gráfico de esta época (1672) representa el proceso de disolución como un cañoneo del sólido por las partículas en rápido movimiento del agua y el consecuente movimiento de las partículas del soluto hacia los huecos del agua. Esta explicación de las disoluciones se conoce también como teoría «del asalto» —que implica un modelo de poros— y que llegó a ser ampliamente aceptada y fue la explicación estándar hasta comienzos del siglo XIX (Selley, 1998).

Rivales de la teoría «del asalto», basada en la idea de interacción de tipo mecánico, fueron varias teorías que proponían la existencia de fuerzas de atracción entre las entidades en disolución.

Tras el éxito de la explicación de los cuerpos celestes en términos de fuerzas gravitatorias, Newton marcó un nuevo hito en la historia de las disoluciones químicas al atribuir a «los cuerpos diminutos» en disolución una fuerza atractiva para cortas distancias. Este modelo trataba de explicar, de alguna manera, las razones de la «afinidad» entre ciertas sustancias. Desde su punto de vista, en las disoluciones debía existir una combinación de fuerzas atractivas y repulsivas. Antes de Newton, sólo se había postulado la posibilidad de que entre «cuerpos diminutos» aparecieran fuerzas de repulsión, responsables de la rápida dispersión del material disuelto (Holding, 1987).

De acuerdo con este modelo, una sal puede disolverse en agua si las partículas de la sal muestran mayor atracción por las moléculas del agua que por las suyas. El concepto de interacción entre las entidades presentes en disolución aparece con un poder de explicación mayor que el de otras teorías anteriores y, a partir de entonces, sería el soporte de otras nuevas teorías.

En el siglo XVIII, el naturalista francés Georges Louis Leclerc (1707-1788), conde de Bufón, postuló que la «forma» de la supuesta interacción entre «cuerpos minúsculos» sería importante si llegara a actuar entre partículas próximas. Proponía como hipótesis que las sustancias de similares características estarían constituidas por «cuerpos» de igual «forma», que cumplirían los requisitos necesarios para la disolución. Se basaba en la observación de experiencias en las que las sustancias solubles entre sí parecían tener características (físicas-químicas) similares, de modo que parecía cumplirse una regla general: lo semejante disuelve a lo semejante (*similia similibus solvuntur*).

Actualmente se utiliza una regla similar cuando se afirma que «los líquidos polares disuelven a los sólidos polares y los líquidos no polares disuelven a los sólidos no polares». Bufón, sin embargo, fue incapaz de especular sobre la naturaleza de las fuerzas de interacción entre soluto y disolvente. Las teorías al respecto acarrearón mucha controversia y un importante campo de investigación en el siguiente siglo.

En esta época, el químico francés Claude Luvois Berthollet (1749-1822) desarrolló la teoría de la combinación química entre soluto y disolvente. Esta teoría mantenía la proposición de Newton de que todas las fuerzas de «afinidad» que producen cambios son en esencia atracciones gravitatorias modificadas, pero introducía la idea de que las sustancias podían reaccionar en cualquier proporción (Holding, 1987). En consecuencia, no hizo distinción entre compuestos y disoluciones (Dolby, 1976). Berthollet pensaba que los «cambios realmente químicos» iban siempre acompañados de la disolución de alguna sustancia en agua y que no tenía sentido que las sustancias reaccionaran en proporciones constantes.

Constituye un capítulo muy conocido de la historia de la química su desacuerdo con el químico Joseph-Louis Proust (1754-1826) quien, en 1779, afirmaba que: un compuesto es una sustancia a la que la naturaleza asigna ratios fijas... un ser cuya naturaleza nunca crea otra proporción más que la establecida (Holding, 1987). Proust no mostraba seguridad sobre la naturaleza de las fuerzas de atracción en la disolución, pero sí sobre su convencimiento de la composición definida de un compuesto.

Esta controversia tuvo lugar en un momento en que los científicos estaban tratando de establecer los criterios para definir y clasificar cada tipo de cambio como físico o químico. Los químicos se preguntaban si las disoluciones, particularmente las acuosas, deberían entenderse como sistemas formados por especies químicas definidas producidas por la combinación de la sustancia disuelta y el agua, o explicarse en términos puramente físicos.

Algunos de los que se apoyaban en la «afinidad química entre soluto y disolvente», propuesta por Berthollet, la continuaron hasta la mitad del siglo siguiente. Desde este punto de vista se suponía, por ejemplo, que la disminución de volumen que se producía en las disoluciones era una manifestación de «una inmensa presión externa» que conducía a una condensación de materia próxima a

una combinación (química) (Dolby, 1976). También se apoyaban en Berthollet quienes atribuían los intercambios de calor en la disolución a una combinación química (Holding, 1987).

Entre 1860 y 1880 el químico ruso Dimitri Ivanovic Mendeléyev (1834-1907) propuso y difundió la teoría «de los hidratos», según la cual podrían formarse compuestos (hidratos) entre soluto y agua con una proporción definida. El hidrato se difundiría a través de la masa de líquido formando una disolución homogénea. Este trabajo tuvo gran repercusión y contribuyó a reactivar la investigación de las disoluciones. Mendeléyev consideraba que la teoría de hidratación era el método más plausible para explicar los cambios físicos que parecían ser consecuencia de las combinaciones químicas que acompañan la formación de una disolución (Dolby, 1976).

En la década de 1870 los estudios realizados en termoquímica constituían una de las principales fuentes de información sobre el estado de las sustancias en disolución, ya que ofrecían datos experimentales sobre el calor de disolución y el calor de fusión de las sustancias disueltas en agua. Para muchos químicos como Marcellin Berthelot (1827-1907) era más plausible atribuir la liberación de calor a la combinación química de la sustancia disuelta con el agua.

Berthelot presentó un desarrollo completo de la teoría «de los hidratos» en 1879. Consideraba que (...) los fenómenos de la disolución normal están en cierto modo en una situación intermedia entre la simple mezcla y la verdadera combinación. (...). Sin embargo, parece probable que, el punto de partida, de la disolución propiamente dicha, reside en la formación de ciertas combinaciones definidas entre el disolvente y el cuerpo disuelto. Tales serían los hidratos formados en el líquido e idénticos a los conocidos en estado cristalizado... y cada disolución estaría formada por la mezcla de una parte de disolvente libre con una parte del cuerpo disuelto, combinada ésta con el disolvente según la ley de las proporciones definidas (...) íntegramente o en una parte, y el todo constituye un sistema disociado en el que el cuerpo anhidro coexiste con el agua y su hidrato (...) pudiendo existir en una disolución, a la vez, varios hidratos de un mismo cuerpo, unos estables y otros disociados. Constituyen entonces un sistema en equilibrio, en el cual las proporciones relativas de cada hidrato varían con la cantidad de agua, la temperatura, la presencia de otros cuerpos, etc. (Nicol, 1883, p. 91).

La concepción de Berthelot de la importancia de los hidratos en disolución fue representativa de las posiciones de los químicos que mantenían una visión química de las disoluciones. En la década de 1880-1890, el más eminente defensor de la teoría de los hidratos fue Mendeléyev.

A pesar de la popularidad de esta teoría, William Nicol (1855-1929) rechazaba la idea de que las moléculas del agua se unieran químicamente al soluto de forma análoga al agua de cristalización, y propuso, en 1883, la teoría de «interacción mutua» entre las moléculas del soluto y del disolvente. Suponía que una disolución se

forma cuando la atracción entre las moléculas del agua y del soluto es mayor que la atracción entre las moléculas del soluto e implicaba una recuperación de las ideas de Newton, aunque ahora la naturaleza de las fuerzas entre las moléculas no era gravitatoria. Nicol recopiló, en diferentes trabajos realizados en la década 1880-1890, un buen número de evidencias experimentales en apoyo de su teoría.

Esta teoría explicaba la saturación considerando que las fuerzas que favorecen la disolución de las moléculas de sal y las moléculas de agua (fuerzas entre moléculas diferentes) se equilibran con las fuerzas que tienden a mantenerlas separadas (fuerzas entre moléculas iguales). También ofrecía una explicación plausible de los datos experimentales de contracción del volumen total de la disolución de sal en agua.

Aproximadamente en la misma época, Svante August Arrhenius (1859-1927), en su entonces revolucionaria tesis doctoral sobre la teoría iónica (1884), proponía que al disolver el cloruro de potasio en agua, los iones cloro y potasio se formaban sin necesidad de corriente eléctrica. La idea que prevalecía al respecto entre los químicos de la época era la de Michael Faraday (1791-1867), a saber: los iones se producen por el paso de la corriente eléctrica a través del electrolito. Precisamente la palabra electrolito significa «destruido por la electricidad». Arrhenius mandó copia de esta tesis a importantes científicos de la época que la acogieron de maneras muy diversas.

Habrían de pasar unos veinte años para que las teorías de interacción mutua y la iónica, basadas en modelos moleculares, fueran aceptadas, a pesar de que se complementan en la explicación de las disoluciones. Por ejemplo, Wilhelm Ostwald (1853-1932), que apoyó inicialmente a Arrhenius, no las mencionaba en su tratado sobre disoluciones (Selley, 1998). Por su parte, la teoría de las disociaciones electrolíticas de Arrhenius fue atacada duramente, y las nuevas teorías sólo pudieron emerger cuando murieron los principales representantes de la escuela de Ostwald (Dolby, 1976).

Pero la teoría de los hidratos aún tenía sus defensores. En medio del duro debate entre los defensores de los criterios termoquímicos (especialmente por la escuela de Ostwald) y las teorías moleculares (como la teoría de interacción o la teoría iónica), Spencer Pickering (1858-1920) lograba un gran triunfo en 1889 al conseguir cristalizar un hidrato no identificado hasta entonces ($H_2SO_4 \cdot 4H_2O$) (Dolby, 1976).

La teoría de hidratación de las disoluciones se mantendría todavía durante varias décadas más y, en 1907, la Faraday Society, presidida por Pickering, organizaría un debate general sobre los hidratos en las disoluciones en el que se desarrollaría una fuerte confrontación entre sus defensores y los seguidores de la escuela de Ostwald. No obstante, parte de este debate derivaría hacia la teoría de disociación electrolítica que, en esos momentos, gozaba de mayor simpatía entre los químicos británicos (Dolby, 1976).

Atribución de movimiento a las entidades presentes en disolución

Durante la segunda mitad del siglo XIX, los físicos y los químicos desarrollaron, como se ha visto en la sección anterior, la teoría cinética de los gases haciendo posible la explicación de los aspectos cuantitativos del estado gaseoso y los procesos reversibles en los que intervienen los gases. Las primeras aplicaciones de esta teoría al estado líquido fueron de naturaleza especulativa, por lo que los científicos tardaron mucho tiempo en conseguir una adecuada comprensión de los procesos reversibles de disolución y en relacionar las disoluciones con los gases.

El trabajo de Leander Dossios (1847-1883) es representativo de la primera fase del desarrollo de la teoría cinética en el ámbito de las disoluciones, previamente a la aplicación de la termodinámica. En 1867, Dossios consideraba que un tratamiento satisfactorio para las disoluciones podría derivarse de una teoría cinética —que asume que la energía cinética de una molécula es mayor que la atracción entre dos moléculas vecinas pero menor que la atracción total de todas las demás moléculas sobre ella—. Esta teoría le permite explicar la saturación, que ocurre cuando el número de moléculas que pasan a la disolución es igual al de moléculas que precipitan, o el hecho de que la solubilidad aumente con la temperatura, que hace que se incremente el movimiento molecular (Dolby, 1976).

Este modelo de la energía cinética proporcionaba una «imagen» que podía dar sentido a la apariencia estática de las disoluciones, y además permitía incluir otras propiedades conocidas. Nicol (1883) asume esta explicación de las disoluciones mediante la teoría cinética y la fundamenta con la aportación de datos experimentales.

La concepción de que las partículas de las disoluciones están en movimiento procede de la analogía con el «movimiento browniano». En 1827 el botánico Robert Brown (1773-1858) observó que pequeños granos de polen, suspendidos en el agua, ejecutaban movimientos característicos. Este movimiento se incrementaba si las partículas eran más pequeñas, o si el medio era más fluido, o si aumentaba la temperatura. El movimiento browniano se consideró análogo al de las moléculas de los gases.

Desde finales del siglo XIX se acumularon una gran cantidad de investigaciones experimentales sobre las propiedades de las disoluciones, así como modelos matemáticos. Entre éstos, por ejemplo, el modelo matemático del movimiento browniano desarrollado por Albert Einstein (1879-1955) que permitía afrontar una teoría cinético-molecular de las disoluciones, o la gran cantidad de trabajos experimentales que acumuló Jean Baptiste Perrin (1870-1942), muchos de ellos sobre las disoluciones.

Sin embargo, las evidencias sobre el movimiento de las «moléculas» en disolución tendría aún que esperar hasta el siglo XX con el trabajo de Theodor Svedberg (1884-1971) en 1923 (Holding, 1987).

Posteriormente, se han generado teorías más complejas que estudian las disoluciones partiendo de criterios termodinámicos, como son las variaciones de entropía, de entalpía, de energía libre de Gibbs (Letcher y Battino, 2001, Van der Sluys, 2001). Con este bagaje teórico se aborda actualmente la explicación de las disoluciones en cualquier estado de agregación.

IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

El desarrollo de hitos importantes en estos dos ámbitos científicos muestra cómo en cada momento histórico pueden convivir diversos modelos y/o teorías que corresponden a corrientes de pensamiento difíciles de superar. Pero, finalmente, tanto en el caso de la TCM como en el de las disoluciones, se mantienen sólo aquellas que están en consonancia con las observaciones experimentales y las interpretaciones que se hacen de ellas en cada época y en cada colectivo.

Aspectos como éstos ponen de manifiesto cómo, a lo largo de la historia, la aceptación de algunas teorías ha significado una auténtica revolución en el pensamiento científico que ha requerido mucho tiempo. Éstos hechos pueden ser útiles para ilustrar al profesorado la dificultad cognitiva que implica la aceptación de estos conceptos y así valorar mejor las dificultades del alumnado para su comprensión.

Las teorías y modelos sobre las disoluciones han ido evolucionando en función de las nuevas concepciones que surgían en cada momento sobre la naturaleza de la materia, pero con cierto desfase temporal que va desde unas décadas hasta siglos. Centrándonos en los tres conceptos que se consideran clave en la enseñanza de la TCM: vacío, movimiento e interacción molecular (Ruíz, 2009), se aprecia que han jugado diferentes papeles en dichas teorías y modelos.

La idea de vacío, tal y como hoy se concibe, no parece haber jugado un papel importante en el desarrollo histórico del conocimiento de las disoluciones. No obstante, los modelos y teorías basados en ideas de huecos y/o poros en una visión estática de la materia sí han servido a los científicos en épocas tempranas para avanzar en la comprensión de la naturaleza de las disoluciones. Esto ha hecho plantear a algunos autores (Selley, 1998, Oversby, 2000) la conveniencia de utilizarlos en la enseñanza, aunque no reflejen los conocimientos más actuales.

El concepto de interacción molecular, por el contrario, se ha mostrado como un aspecto clave para el avance del conocimiento sobre las disoluciones. Ha recibido gran atención durante un amplio periodo de tiempo (desde el siglo XVII en adelante) y ha supuesto un esfuerzo enorme delimitar la naturaleza de las fuerzas de interacción

existentes entre las entidades, átomos, moléculas o iones, presentes en disolución.

El concepto de movimiento molecular tuvo, como se ha visto, una aplicación tardía al ámbito de las disoluciones. Las evidencias experimentales de este aspecto son difíciles de realizar. No obstante, en los niveles iniciales de la enseñanza, en los que no se diferencia entre disoluciones y coloides, se hace referencias al movimiento browniano como evidencia de movimiento intrínseco de las entidades en disolución.

Estas consideraciones permiten realizar algunas reflexiones sobre las relaciones entre la comprensión de la naturaleza de la materia y las disoluciones que, habitualmente, se hacen en el ámbito didáctico.

En primer lugar, encontramos la idea de utilizar en la enseñanza determinados aspectos de las disoluciones como evidencias experimentales a partir de las cuales los estudiantes pueden inferir y asumir la concepción corpuscular de la materia. Sin embargo, el análisis histórico muestra que los científicos no utilizaron los fenómenos de disolución, excepto con algunas excepciones en momentos iniciales del desarrollo de estos conocimientos, como contexto para la formulación y desarrollo de teorías corpusculares sobre la materia. La naturaleza del calor y de la naturaleza y estructura de los gases se mostró como un contexto más fructífero para esta finalidad. Posteriormente se extendió a los otros dos estados de agregación de la materia. Las disoluciones, como sistemas formados por dos o más sustancias habitualmente en estado líquido, se han mostrado como sistemas más complejos para esta tarea.

Si esto fue así para los científicos, cabe esperar que los estudiantes muestren dificultades para inferir a partir de los fenómenos de disolución una concepción de la materia tal y como la concibe la TCM.

En segundo lugar, tenemos la idea de que la TCM puede ayudar a los estudiantes de la educación obligatoria a realizar mejores explicaciones de fenómenos cotidianos relacionados con las transformaciones de la materia. El análisis histórico muestra que se necesitó cierto tiempo para que la comunidad científica aplicase al contexto de las disoluciones los conceptos claves de la TCM. Esto puede ayudar al profesorado a considerar las dificultades que manifiestan los estudiantes para utilizar los aspectos básicos de la TCM en la explicación de las disoluciones, tal y como se ha puesto de manifiesto en un buen número de trabajos (Blanco, 1996; Selley, 2000; Çalik, Ayas y Ebenezer, 2005 y Ruíz, 2009).

Todas estas consideraciones apuntan a la necesidad de ajustar las demandas de uso de la TCM y de su aplicación al contexto de las disoluciones que se plantean a los estudiantes de la educación obligatoria desde la enseñanza de las ciencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHINSTEIN, P. (1987). Scientific discovery and Maxwell's kinetic theory. *Philosophy of Science*, 54: 409-434. Citado en Niaz, M. (2000). A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. *Instructional Science*, 28(1), pp. 23-50.
- 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. Universidad de Granada.
- BLANCO, A. (1996). *Estudio de las concepciones de los alumnos sobre algunos aspectos de las disoluciones y de los factores que influyen en ellas*. Tesis doctoral publicada en microfichas. Málaga: SPICUM de la Universidad de Málaga.
- BERTHELOT, M. (1879). *Mécanique Chimique*, ii. p. 160 et seq. Citado en Nicol, W. (1883). Nature of solution. *Philosophical Magazine*, 15(92), pp. 91-10.
- BRUSH, S. (2003). *The kinetic theory of gases: an anthology of classic papers with historical commentary*. Londres: Imperial College Press.
- CASADO, J. (1999). La teoría cinética antes de Maxwell. *Argumentos de razón técnica*, 2. En <<http://www.argumentos.us/es/casado.htm>>. Última consulta realizada el 16 de abril de 2009.
- ÇALÝK, M., AYAS, A. y EBENEZER, J. (2005). A review of solution chemistry studies: Insights into students' conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), pp. 29-49.
- CLAUSIUS, R. (1875). The nature of the motion which we call heat. *Philosophical Magazine*, 14, pp. 108-27. Reproducido en el capítulo 8 parte I de Brush, S. (2003). *The kinetic theory of gases: an anthology of classic papers with historical commentary*. London: Imperial College Press, pp. 111-134.
- DE LA LLOSA, P. (2000). *El espectro de Demócrito. Atomismo, disidencia y libertad de pensar en los orígenes de la ciencia moderna*. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- DE VOS, W. y VERDONK, A. (1996). The Particulate Nature of Matter in Science Education and in Science, *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), pp. 657-664.
- DIÉGUEZ, A. (1998). *Realismo científico: una introducción al debate actual en la filosofía de la ciencia*. Málaga: SPICUM de la Universidad de Málaga.
- DOLBY, R. (1976). Debates over the Theory of Solution: A study of Dissent in Physical Chemistry in the English-Speaking World in the Late Nineteenth and Early Twentieth Centuries. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 7, pp. 297-404.
- GARBER, E., BRUSH, S. y EVERITT, C. (eds.) (1986). *Maxwell on Molecules and Gases*. Cambridge, MA: MIT Press. Citado en Niaz, M. (2000). A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. *Instructional Science*, 28(1), pp. 23-50.
- HOLDING, B. (1987). Investigation of school children's understanding of the process of dissolving with special reference to the conservation of matter and the development of atomic ideas. Tesis doctoral inédita. Leeds: University of Leeds.
- HOLTON, G. (1993). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En Perales, F. y Cañal, P. (eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Editorial Marfil.
- KRNEL, D., WATSON, R. y GLAZAR, S. (1998). Survey of research related to the development of the concept of «matter». *International Journal of Science Education*, 20(3), pp. 257-289.
- LETCHER, T. y BATTINO, R. (2001). An Introduction to the Understanding of Solubility. *Journal of Chemical Education*, 78(1), pp. 103-111.
- MAXWELL, J. (1866). On the dynamical theory of gases. *Philosophical Magazine*, 32, pp. 390-393. Reproducido en el capítulo 1 de la II parte de Brush, S. (2003). *The kinetic theory of gases: an anthology of classic papers with historical commentary*. London: Imperial College Press.
- McMULLIN, E. (1985). Galilean idealization. *Studies in History and Philosophy of Science*, 16, pp. 247-273. Citado en Niaz, M. (2000). A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. *Instructional Science*, 28(1), pp. 23-50.
- MORENO, A. (2006). Atomismo versus energetismo: controversia científica a finales del siglo XIX. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(3), pp. 411-428.
- NIAZ, M. (2000). A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks. *Instructional Science*, 28(1), pp. 23-50.
- NICOL, W. (1883). Nature of solution. *Philosophical Magazine*, 15(92), pp. 91-101.
- NUSSBAUM, J. (1998). History and philosophy of science and the preparation for constructivist teaching: the case of particulate theory. En Mintzes, J., Wandersee, J. y Novack, J. (eds.). *Teaching Science for Understanding. A Human Constructivist View*. Academic Press. S. Diego, California, USA.
- OVERSBY, J. (2000). Good explanations for dissolving. *Primary Science Review*, 63. (Mayo/Junio), pp. 16-19.
- PRIETO, T., BLANCO, A. y GONZÁLEZ, F. (2000). *La materia y los materiales*. Madrid: Editorial Síntesis
- PULLMAN, B. (1998). *The atom in the history of human thought*. Nueva York: Oxford University.
- RUIZ, L. (2009). Conocimientos básicos de la Teoría Cinético-Molecular. Su aplicación por alumnos de 14-18 años en el contexto de las disoluciones y su tratamiento en los libros de texto. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Málaga.

- RUÍZ, L. y BLANCO, A. (2004). La teoría cinética de los gases. *Spín Cero*, 8, pp. 3-7.
- SALTIEL, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas de las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), pp. 137-144.
- SAMBURSKY, S. (1999). *El mundo físico de los griegos*. Filosofía y Pensamiento. Ensayos. Madrid: Alianza Editorial.
- SELLEY, N. (1998). Alternative models for dissolution. *School Science Review*, 80(290), pp. 79-83.
- SELLEY, N. (2000). Students' spontaneous use of a particulate model for dissolution. *Research in Science Education*, 30(4), pp. 389-402.
- VAN DER SLUYS, W. (2001). The Solubility Rules: Why Are All Acetates Soluble? *Journal of Chemical Education*, 78(1), pp. 111-115.

[Artículo recibido en mayo de 2009 y aceptado en junio de 2010]

The historical development of knowledge about the chemical solutions and its relation to the Kinetic-Molecular Theory. Educational implications

BLANCO, ÁNGEL¹, RUIZ, LUCÍA² y PRIETO, TERESA¹

¹ Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Málaga

² Instituto Provincial de Formación de Adultos de Málaga

ablancol@uma.es

lucial1a@yahoo.com

ruz@uma.es

Summary

Knowledge about the nature of matter and its properties has an important role in science education currently.

Curricula in Spain include the teaching of kinetic molecular theory (KMT), assuming that basic aspects of this theory can be understood, assimilated and applied by compulsory secondary schools students.

Parallel to this recognition, a large body of evidence showing that learning the nature of matter is challenging and that a high proportion of students do not get a proper understanding of basic aspects of it has been accumulated.

This paper attempts to shed light on this issue through historical analysis.

First we make a journey through important milestones that have led to the construction of the KMT distinguishing three stages: first attempts, development and consolidation.

Then we analyze the theories and models which have been used throughout history to explain the phenomena of solution, relating to the KMT. From this perspective, three aspects have been considered important: nature -continuous / discontinuous- of solutions, interaction between the entities which are present in a solution and assignment of motion to them.

Development of important milestones in these two fields of science shows that different models and / or theories related to flows of knowledge, which are difficult to overcome, can coexist in every historical period.

Theories and models of solutions have evolved throughout history, as new concepts about the nature of matter were emerging in each moment, but with some time lag ranging from decades to centuries.

Three concepts that are seen as key in teaching KTM: vacuum, molecular motion and interaction. They have

played different roles in these theories and models throughout history.

Based upon these considerations, we suggest some educational implications.

Firstly, we consider the convenience of using certain aspects of the solutions as experimental evidence from which students can infer and assume the corpuscular conception of matter.

However, historical analysis shows that scientists did not use the phenomena of solution as a context for the formulation and development of corpuscular theories on the subject, except from some exceptions at the early stages of development of this knowledge. Nature of heat and nature and structure of gases revealed as most fruitful contexts for this purpose. Subsequently their application was extended to the other two states of aggregation of matter, while solutions, as systems of two or more substances usually in liquid form, were revealed as more complex systems for this task.

If this was true on scientists, what can we expect on students? One can imagine serious difficulties for them to infer a conception of matter as it was conceived by the KTM from the phenomena of solution.

Secondly, we have the idea that KTM can help students in compulsory education in order to make better explanations of everyday phenomena related to the transformations of matter.

Historical analysis shows that the scientific community needed time to implement the key concepts of KTM to the explanation of solutions. This may help teachers to consider the difficulties manifested by students in using the basics of KTM in the explanation of the solutions, as has been claimed in a number of papers.

These considerations suggest the need to adjust the demands of use of KTM and its application to the context of solutions that from science education, we pose to our compulsory education students.