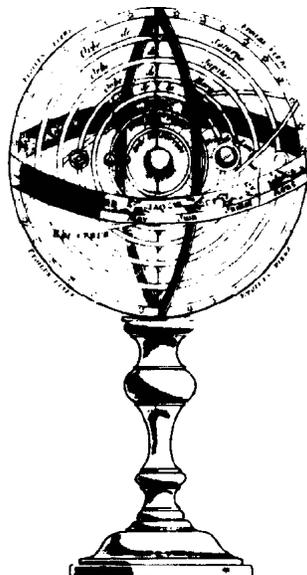


INNOVACIONES DIDÁCTICAS



EL DIÁLOGO, UN GÉNERO LITERARIO OLVIDADO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

MARTÍNEZ TORRES, E.

Departamento de Química Física. Universidad de Castilla - La Mancha.
EÚ de Magisterio. Ronda de Calatrava, s/n. 13003 Ciudad Real.

SUMMARY

The use of dialogue in the teaching of Science is proposed in this paper. This literary form is an organised exposition of contrasting intellectual attitudes that has long been used as a vehicle for the expression of ideas in Philosophy, Science, Art, etc. However, in spite of the advantages that the dialogue offers, it has been forgotten in the teaching of Science.

Para mí, el pensar es una especie de discurso que desarrolla el alma en sí misma acerca de las cosas que examina. [...] Así se me parece el alma en el acto de pensar; esto y no otra cosa es el diálogo, las preguntas y respuestas que el alma se dirige a sí misma, unas veces afirmando y otras negando.

Platón (Teeteto, 190a).

INTRODUCCIÓN

En la literatura científica, incluida la destinada a fines docentes, se acostumbra a utilizar un lenguaje formal, aséptico, conciso, estandarizado, con expresiones impersonales y empleando la voz pasiva. Este estilo sirve para resaltar la objetividad, la racionalidad y la precisión que caracterizan el conocimiento científico así como el elevado grado de rigor y especialización de quienes lo practican (Ziman, 1986). Sin embargo, en la literatura científica existen otras formas de expresión, de estilo diferente al anterior, que podrían ser de gran utilidad en la enseñanza; entre éstas cabe mencionar el diálogo, cuyo uso como herramienta didáctica se enmarcará dentro de las actuales tendencias constructivistas.

El diálogo es un género literario en donde se simula una conversación o controversia, cuidadosamente organizada por el autor, entre varios personajes ficticios que intercambian y crean ideas sobre un determinado tema. Se distingue de otros géneros en que muestra alternativamente las diversas facetas de una cuestión, lo que permite huir de las exposiciones dogmáticas. Además, presenta las ideas de forma viva por estar teñidas de las cualidades de los interlocutores: astucia, ingenio, estupididad, terquedad, etc.; de esta manera se evita la aridez y solemnidad que caracterizan a las exposiciones convencionales. En resumen, las ventajas de este género son claras: ideas expresadas de un modo formal podrían ser abstrusas, en el diálogo, llegan a ser concretas y adquieren vida y fuerza dramática (Rallo, 1988).

USO DEL DIÁLOGO EN LA CIENCIA A LO LARGO DE LA HISTORIA

Gracias al humanismo renacentista, el diálogo fue un medio de expresión bastante común a lo largo del siglo XVI en toda clase de obras didácticas (Shea, 1983). En oposición a la escolástica, que mostró más interés por el conocimiento técnico de los especialistas, el humanismo tuvo preferencia por la divulgación de los conocimientos y por su aplicación a la vida práctica (Garin, 1984, 1987). El diálogo demostró ser un vehículo más eficaz para divulgar los conocimientos de cualquier disciplina que los convencionales tratados científicos. Por estas razones, el diálogo didáctico está asociado al movimiento pedagógico que supuso el humanismo renacentista (Rallo, 1987). Tanto es así que, a principios del siglo XVII, Comenius (1986) recomendó en su *Didactica Magna* que los libros destinados a la enseñanza se escribieran en forma dialogada.

Se pueden encontrar numerosos ejemplos de diálogos de autores españoles del siglo XVI, en donde se tratan temas científicos y técnicos de muy diversa naturaleza (López Piñero, 1979; López Piñero, Glick, Navarro y Portela, 1993). Entre ellas cabe destacar la obra teológica *Christianismi Restitutio* de Miguel Servet (Gómez, 1988), en cuyas páginas se encuentra la primera descripción impresa de la circulación menor de la sangre.

No hay duda de que Galileo (1981, 1994) utilizó la forma dialogada para hacer comprensibles sus ideas a un mayor número de lectores; de esta manera logró que alcanzasen mayor difusión. Así, en la *Historia general de las ciencias* de René Taton (1971) puede leerse:

«*El diálogo*, libro accesible al gran público, tuvo gran éxito. Las obras de Kepler, más difíciles de leer y entender, no tuvieron esta gloria.» (Vol. II, p. 325).

Con posterioridad, el diálogo didáctico fue un género al que se recurrió frecuentemente para popularizar la ciencia. Una obra importante, publicada en 1768, es *Entretiens sur la Pluralité des Mondes* (Taton, 1971), de Fontenelle, en donde se divulga de forma muy amena la teoría de los vértices cartesianos y que contribuyó más que ninguna otra obra a asegurar la aceptación del sistema copernicano. De finales del siglo XVIII son los *Diálogos científicos en seis volúmenes para niños*, de Jeremiah Joyce, que ayudó a popularizar las diferentes partes de la física (Rouseau, 1990). Otra obra interesante publicada en 1809 es *Conversations on Chemistry*, de la inglesa Jane Marcet, texto de introducción a la química, muy popular, que contribuyó de manera eficaz a la difusión de esta ciencia durante la primera mitad del siglo XIX (Knight, 1990). De la misma autora es *Conversations on Natural Philosophy*, publicada en 1819, que en 1880 había alcanzado veinte ediciones (Rouseau, 1990).

En la literatura científica contemporánea no se pueden dejar de mencionar las fascinantes obras autobiográficas de Heisenberg (1975, 1979). En ellas se recrean de forma sugerente las conversaciones que el autor mantuvo con científicos relevantes (Bohr, Einstein, Plank, Born, Rutherford, Dirac, Pauli, Fermi...) sobre asuntos relacionados con el nacimiento, desarrollo y aspectos filosóficos de la mecánica cuántica.

También hay que hacer referencia a la conocida obra dialogada de Jauch (1985), *Sobre la realidad de los cuantos*, en la que se discuten diversos problemas conceptuales suscitados por la mecánica cuántica: indeterminismo, existencia de variables ocultas, influencia del observador, naturaleza de la realidad, etc. La conveniencia de emplear el diálogo para tratar estas cuestiones es subrayada por el autor:

«La forma dialogada resultó ser un vehículo ideal para reproducir el proceso dialéctico de lograr una comprensión más profunda de los enigmas que nos plantea la mecánica cuántica.» (p. 16).

En resumen, el uso del diálogo ha perseguido una finalidad didáctica y divulgativa, empleándose también en épocas de revolución científica para señalar las diferencias existentes entre paradigmas rivales con objeto de poner en evidencia la superioridad de uno de ellos.

ARGUMENTOS QUE APOYAN EL USO DEL DIÁLOGO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

A pesar de la gran tradición histórica con la que cuenta, el empleo didáctico del diálogo en la enseñanza de las ciencias es muy escaso actualmente, siendo excepcionales los libros de texto que los incluyen en algunos de sus capítulos para ser leídos por los alumnos (García, 1997). Sin embargo, es fácil encontrar un buen número de argumentos que aconsejan su uso didáctico y anticipar algunas de sus posibles aplicaciones:

1) El diálogo, gracias a sus peculiaridades, permite hacer uso de las posibilidades que ofrece el lenguaje coloquial; cualquier contenido se puede adaptar a las características del lector al que vaya destinado.

2) Ante un texto expositivo convencional cabe la actitud pasiva. Por el contrario, frente a uno dialogado, en el que se alternan las palabras de los interlocutores, el lector se ve obligado a jerarquizar el texto y sus personajes y a mantener una actitud dialéctica (Bobes, 1992).

3) En el diálogo se tratan los aspectos puramente conceptuales de una cuestión en perjuicio de los algorítmicos. Se ha denunciado repetidas veces que la enseñanza de la física y de la química suele hacer hincapié en la resolución de problemas numéricos en detrimento del aprendizaje conceptual, de tal manera que los estudiantes tienden a memorizar ecuaciones y algoritmos en lugar de comprender los conceptos involucrados (Frank, Baker y Herron, 1987; Nurrenberg y Pickering, 1987; Sawrey, 1990; Phels, 1996). Es evidente que el diálogo –que hace más hincapié en el proceso mismo de reflexión, en el modo de llegar a la solución, y no en el resultado– es un instrumento eficaz para potenciar el pensamiento conceptual.

4) En un diálogo se exponen diversos puntos de vista, de manera que al lector le resulta fácil identificar aquél que coincide con el suyo; es decir, el lector se ve retratado en el personaje que sostiene aquello en lo que él cree, lográndose así que sus ideas salgan a la luz. Por tanto, el diálogo podría utilizarse para diagnosticar la presencia de ideas previas.

5) La misión tradicional del diálogo didáctico ha sido persuadir, convencer o poner al lector en condiciones de comprender. Por tanto, el diálogo podría ser un medio auxiliar eficaz para facilitar en el alumno el cambio de paradigma que lo lleve desde sus ideas previas hasta las científicamente correctas.

6) El empleo en los diálogos de argumentos que se hayan presentado a lo largo de la historia de la ciencia permite hacer reconstrucciones históricas de los conceptos objeto de discusión. De esta manera se puede aprovechar con fines didácticos el paralelismo que existe entre muchas de las ideas previas de los alumnos y las teorías científicas de épocas pasadas (Brumby, 1979; Whitaker, 1983; Saltier y Viennot, 1985; Sanmartí y Casadellà, 1987; Furió, Pérez y Harris, 1987; Landau y Lastres, 1996).

7) Una de las consecuencias de la excesiva compartimentación de los contenidos es la dificultad que encuentran los alumnos a la hora de relacionar conceptos estudiados en contextos diferentes. La flexibilidad del texto dialogado, que permite hacer uso de los argumentos y conceptos más dispares relacionados con una determinada cuestión, puede ayudar a paliar esta situación.

8) El diálogo es el lugar natural donde utilizar experimentos mentales como medio de argumentación y hacer un uso didáctico del gran valor heurístico que éstos poseen (Koyré, 1977; Kuhn, 1983, Popper, 1962). Precisamente podemos encontrar bellos ejemplos de este tipo de argumentos en los *Diálogos* de Galileo.

9) Existen diferencias entre el modo en que se desarrolla la ciencia y la manera en que se presentan las teorías en los libros de texto (Ziman, 1980). Esto es consecuencia de que la enseñanza suele transcurrir dentro de los límites del contexto de justificación, en detrimento del contexto de descubrimiento (Reichenbach, 1938). El diálogo podría ayudar a mitigar esta situación, ya que proporciona una idea más certera de cómo discurre el proceso dialéctico que conduce al conocimiento científico de las exposiciones ya acabadas en que se da una visión estática de la ciencia.

10) Escribir un diálogo obliga a rebuscar en la mente ideas contradictorias relacionadas con una determinada cuestión para hacerles entablar una lucha dialéctica. De esta manera, la elaboración de diálogos sería una actividad útil para profundizar en la comprensión de los conceptos científicos.

ELABORACIÓN DE DIÁLOGOS

Como ya se ha puesto de manifiesto, el diálogo didáctico cuenta con una larga tradición; por tanto, conviene extraer de esa experiencia acumulada algunas recomendaciones que podrían ser útiles a la hora de redactarlos (Cuevas, 1986; Gómez, 1988; Vian, 1988; Rallo, 1988, 1996).

– No es preciso hacer referencia al *lugar* en el que se desarrolla el diálogo. Si se hace, éste ha de ser un entorno agradable y sosegado que invite a la conversación y la reflexión.

– El diálogo se puede limitar a que los personajes hagan, a través del coloquio, una mera exposición de ideas acerca de una materia dada. Sin embargo, por las características de esta forma literaria, es mucho más interesante el diálogo dialéctico: el que se utiliza para poner de manifiesto el contraste entre concepciones diferentes y conduce a una síntesis o a hacer evidente la superioridad de una de ellas.

– El diálogo debe transcurrir de forma amistosa entre el *maestro* o personaje principal –que por sus más amplios conocimientos actúa como conductor de la conversación y suele reflejar en sus palabras los juicios y opiniones del

autor– y uno o varios de sus *discípulos*. Cuando sólo interviene un discípulo, la discusión se suele convertir en una sucesión monótona de preguntas y respuestas o de réplicas y contrarréplicas, de manera que la incorporación de algún interlocutor da mayor flexibilidad al debate. Por tanto, a no ser que se desee presentar un mayor número de opiniones, tres suele ser el número ideal de personajes. En este caso se acostumbra a hacer participar, además del maestro, a dos discípulos, uno de ellos fiel a las ideas de aquél, mientras que el otro representa posturas contrarias.

– Es conveniente que las discusiones giren en torno a ideas y razonamientos que sean cercanos a los alumnos y se hallen extendidos entre ellos. De esa manera se consigue que se sientan protagonistas del coloquio durante su lectura. Las discusiones reales en el aula constituyen una fuente apropiada de inspiración para este fin. Además, por razones que ya se ha señalado, también se debe recurrir a ideas que tuvieran relevancia histórica.

– Los interlocutores, así como el lector, deben ser inducidos a llegar a las ideas correctas por sí mismos. Esto se puede lograr a través de un proceso mayéutico de preguntas y respuestas a través del cual se conduce al interlocutor a la verdad, o bien contraponiendo argumentos que resulten evidentes para todas las partes. Uno de los problemas que se plantea durante la redacción es decidir el momento en que el interlocutor acepta ideas diferentes a las que inicialmente mantenía. Como afirmó Kuhn (1975), el cambio de paradigma es una «iluminación repentina» o una especie de «conversión religiosa» que viene determinado por factores psicológicos. Por tanto, son aconsejables los interlocutores obstinados y con habilidad para defender sus convicciones aun cuando sus errores sean bastante evidentes.

– Para dar más o menos contundencia a determinados argumentos o manipular el texto con el fin de obtener la reacción deseada en el lector, conviene tener cierta habilidad en el uso de la retórica y de las estrategias dialécticas, ya que «la verdad objetiva de una proposición y la validez de la misma en la aprobación de los contendientes y oyentes son dos cosas distintas» (Schopenhauer, 1996, p. 17). Este punto esencial quizá sea el más difícil de llevar a la práctica por las personas pertenecientes a la llamada «cultura científica» (Mortara, 1991).

DESCRIPCIÓN DE UNA EXPERIENCIA PRACTICA LLEVADA A CABO CON ALUMNOS UNIVERSITARIOS

Con objeto de detectar ideas erróneas en torno al principio de conservación de la masa entre alumnos de primer curso de la licenciatura de químicas, se les hizo responder a un cuestionario publicado por esta revista (Oñorbe y Sánchez, 1992). En concordancia con la tendencia que reflejaban los resultados obtenidos por dichos autores en cursos inferiores, un porcentaje significativo de alumnos (28 de 78) respondió incorrectamente a una sencilla

cuestión (cuestión A) que hacía alusión a la combustión del papel dentro de un recipiente cerrado (ver inicio del diálogo en el anexo).

Se indujo un debate para que los estudiantes defendieran sus respuestas ante el resto de sus compañeros. Fue suficiente que algunos alumnos invocasen el principio de conservación de la masa para que los que habían respondido incorrectamente reconocieran inmediatamente su error.

La reflexión posterior llevó al autor al convencimiento de que, a pesar de que todos los alumnos habían aceptado convencidos las respuestas correctas, en muchos de ellos no se había operado un auténtico cambio conceptual. El debate no había sido lo suficientemente profundo como para que los estudiantes sacasen a la luz todos sus pensamientos, entre otras causas porque es difícil que alumnos universitarios mantengan posturas que supongan una violación del principio de conservación de la masa.

Esas sospechas se vieron confirmadas dos meses después cuando los mismos alumnos respondieron a otro cuestionario, también publicado por esta revista (Gentil et al., 1989), en donde en un contexto diferente aparecen algunas preguntas referentes al principio de conservación de la masa. Un porcentaje también significativo (19 de 72) respondía incorrectamente a una cuestión en donde se preguntaba si variaría el peso de un matraz cerrado lleno de gas al calentarlo (cuestión B). Las respuestas incorrectas hacían referencia a que «el gas caliente asciende y pesa menos».

Consciente de la dificultad que tiene el producir en el aula un diálogo profundo, en el que los alumnos saquen a la luz sus ideas erróneas y las superen a través de la confrontación con puntos de vista diferentes, el autor se propuso escribir un diálogo entre personajes ficticios tal como sería deseable que transcurriesen las discusiones reales en el aula. Fruto de ello fue el diálogo que aparece en el anexo.

En él se hace intervenir a tres personajes:

– Raúl: Es un alumno que, aunque conoce el principio de conservación de la masa, prefiere recurrir a su intuición para explicar los fenómenos físicos, lo que le induce a mantener ideas erróneas respecto al peso de los gases. Estas ideas, además de ser frecuentes entre los estudiantes, tuvieron relevancia histórica (Furió, Hernández y Harris, 1987). Raúl recurre a todo tipo de argumentos para defender su opinión.

– Ana: Es una alumna aventajada que representa la postura científicamente correcta. A pesar de ello es puesta en aprietos por Raúl en alguna ocasión.

– El profesor: Es un personaje paternalista que representa la autoridad científica. Es el encargado de iniciar, dirigir y finalizar el coloquio. Comprende los puntos de vista de ambos alumnos, por lo que es capaz de llevarlos a su terreno.

En el diálogo se ha pretendido hacer uso de la mayor parte de los argumentos, tanto macroscópicos como microscópicos, que pueden hacer creer erróneamente a los alumnos que los gases no pesan. Esto se ha aprovechado para emplear a lo largo del diálogo conceptos que son estudiados en contextos diferentes (gases, hidrostática, teoría cinética, termodinámica, etc.). De esta manera se ha intentado resaltar la coherencia y la unidad del conocimiento científico, en oposición a la inconsistencia de las ideas intuitivas. Se ha hecho uso de recursos que pudieran ser dialécticamente útiles, como analogías (similitud entre humo/aire y corcho/agua o entre gato dormido / gato despierto y molécula de sólido / molécula de gas), experimentos mentales (balanza que pesa una molécula), etc. El diálogo conduce al final a cuestiones que podrían ser atractivas para el lector, como es la imposibilidad de hacer mediciones exactas; así se pone de manifiesto la utilidad del razonamiento puramente conceptual para tratar aspectos fundamentales.

Una vez leído por los alumnos con cierto entusiasmo, hubo unanimidad en considerar la lectura de diálogos como una actividad interesante (la mayor parte de las opiniones hacían referencia a que «obliga a pensar y se sale de lo normal»). El diálogo sirvió de catalizador de una discusión que giró en torno a debatir gran parte de los argumentos presentes en él, los cuales se intentaron mejorar o sustituir por otros más idóneos. Esto ponía de manifiesto que el diálogo puede servir de texto base sobre el cual reflexionar y a su vez discutir. En el transcurso del debate, algunos alumnos admitieron que, aunque conocían y sabían aplicar correctamente el principio de conservación de la masa en la resolución de

problemas, en sus mentes había ideas contradictorias con él; la lectura del diálogo las había aclarado en gran parte.

Las críticas al diálogo hicieron referencia a que parecía poco real: «los alumnos no hablan así», «el lenguaje es algo académico», «Raúl es demasiado inteligente para ser un mal estudiante», etc.

En el curso académico posterior y con un número similar de alumnos, la lectura y discusión del diálogo se efectuó inmediatamente después de realizar la prueba con el primer cuestionario. Dos meses después se efectuó la segunda prueba. En la figura 1 se pueden ver los resultados obtenidos comparados con los del curso anterior. Puede apreciarse una reducción llamativa de las respuestas erróneas a la cuestión B, lo cual es atribuible al efecto producido por la previa lectura del diálogo y su discusión.

CONSIDERACIONES FINALES

En este artículo se propone el uso del diálogo en la enseñanza de las ciencias. Su valor didáctico queda puesto de manifiesto por el gran uso que se ha hecho de él en la literatura científica a lo largo de la historia. Además, se han presentado un buen número de argumentos que apoyan su empleo y se describe una experiencia con alumnos universitarios que parece demostrar su efectividad como herramienta para provocar el cambio conceptual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOBES, M.C. (1992). *El diálogo. Estudio pragmático, lingüístico y literario*. Madrid: Gredos.
- BRUMBY, M. (1979). Problems in learning the concept of natural selection. *Journal of Biological Education*, 13, pp. 119-122.
- COMENIUS, J.A. (1986). *Didáctica magna*, Madrid: Akal.
- CUEVAS, C. (1986). Introducción, en Fray Luis de León, *De los nombres de Cristo*. Madrid: Cátedra.
- FRANK, D.V., BAKER, C.A. y HERRON, J.D. (1987). Should Students Always Use Algorithms To Solve Problems? *Journal of Chemical Education*, 64, p. 514.
- FURIÓ, C.J., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H.H. (1987). Parallels between adolescents' conception of gases and the history of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(7), pp. 616-618.
- GALILEO (1981). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Madrid: Editora Nacional.
- GALILEO (1994). *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Madrid: Alianza.
- GARCÍA, M (1997). *Ciencias de la naturaleza* (2º ESO). Valencia: Ecir.
- GARIN, E. (1984). Los humanistas y la ciencia, en *La revolución cultural del renacimiento*. Barcelona: Crítica.
- GARIN, E. (1987). *La educación en Europa 1400-1600*. Barcelona: Crítica.
- GENTIL, C., IGLESIAS, A. y OLIVA, J.M. (1989). Nivel de apropiación de la idea de discontinuidad de la materia en los alumnos de bachillerato. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, pp. 126.

- GÓMEZ, J. (1988). *El diálogo en el renacimiento español*. Madrid: Cátedra.
- HEISENBERG, W. (1975). *Diálogos sobre la física atómica*. Madrid: Ed. Católica.
- HEISENBERG, W. (1979). *Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos*. Madrid: Alianza.
- JAUCH, J.M. (1985). *Sobre la realidad de los cuantos*. Madrid: Alianza.
- KNIGHT, D. (1990). La popularización de la ciencia en la Inglaterra del siglo XVIII, en Ordóñez, J. y Elena, A. (comp.), *La ciencia y su público*. Madrid: CSIC.
- KOYRÉ, A. (1977). *El «De motu gravium» de Galileo: del experimento imaginario y de su abuso. (Estudios de historia del pensamiento científico)*. Madrid: Siglo XXI.
- KUHN, T.S. (1975). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- KUHN, T.S. (1983). *La tensión esencial*. México: Fondo de Cultura Económica.
- LANDAU, L. y LASTRES, L. (1996). Cambios químicos y conservación de la masa ... ¿Está todo claro? *Enseñanza de las Ciencias*, 14, pp. 171-174.
- LÓPEZ PIÑERO, J.M. (1979). *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*. Barcelona: Labor.
- LÓPEZ PIÑERO, J.M., GLICK, T.F., NAVARRO, V. y PORTELA, E. (1993). *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*. Barcelona: Península.
- MORTARA, B. (1991). *Manual de retórica*. Madrid: Cátedra.
- NURRENBERG, S. y PICKERING, M. (1987). Concept Learning versus Problem Solving: Is there a Difference? *Journal of Chemical Education*, 64, pp. 508-510.
- OÑORBE, A. y SÁNCHEZ, J.M. (1992). La masa no se crea ni se destruye. ¿Estáis seguros? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), pp. 165-171.
- PHELPS, A.J. (1996). Teaching to Enhance Problem Solving. *Journal of Chemical Education*, 73, pp. 301-304.
- PICKERING, M. (1990). Further Studies on Concept Learning versus Problem Solving. *Journal of Chemical Education*, 67, pp. 254-255.
- POPPER, K. (1962). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- RALLO, A. (1987). *La prosa didáctica del siglo XVI*. Madrid: Taurus.
- RALLO, A. (1988). *La prosa didáctica del siglo XVII*. Madrid: Taurus.
- RALLO, A. (1996). *La escritura dialéctica: estudios sobre el diálogo renacentista*. Málaga: ICE Universidad de Málaga.
- REICHENBACH, H. (1938). *Experience and Prediction*. Chicago: Univ. Of Chicago Press.
- ROUSEAU, G.S. (1990). Los libros científicos y sus lectores en el siglo XVIII, en Ordóñez, J. y Elena, A. (comp.), *La ciencia y su público*. Madrid: CSIC.
- SALTIER, E. y VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3, pp. 137-144.
- SANMARTÍ, N. y CASADELLA, J. (1987). Semejanzas y diferencias entre las concepciones infantiles y la evolución histórica de las ciencias: el ejemplo del concepto de fuerza y especialmente el de fuerza de gravedad. *Enseñanza de las Ciencias*, 5, pp. 53-58.
- SAWREY, B.A. (1990). Concept Learning versus Problem Solving: Revisited. *Journal of Chemical Education*, 67, pp. 253-254.
- SHEA, W. (1983). *La revolución intelectual de Galileo*. Barcelona: Ariel.
- SHOPENHAUER, A. (1996). *El arte de tener razón. Expuesto en treinta y ocho estratagemas*. Madrid: Edaf.
- TATON, R. (1971). *Historia general de las ciencias*. Barcelona: Destino.
- WHITAKER, R.J. (1983). Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion, *American Journal of Physics*, 51, pp. 352-357.
- ZIMAN, J. (1986). *Introducción al estudio de las ciencias*. Barcelona: Ariel.
- ZIMAN, J. (1980). *Teaching and Learning about Science and Society*. Cambridge: Cambridge University Press.

ANEXO

Diálogo acerca del peso de los gases.

PROFESOR. El asunto que nos ocupa hoy es dar respuesta a una sencilla cuestión. Imaginemos un recipiente herméticamente cerrado, colocado sobre una balanza que marca 520 g. Dentro de él hay un papel que comienza a arder y oxígeno suficiente para que arda completamente. ¿Cuánto marcará la balanza cuando se haya completado la combustión?

RAÚL. Yo pienso que menos de 520 g.

ANA. Estás en un error. Según el principio de conservación de la masa, la balanza debe seguir marcando 520 g.

RAÚL. Una cosa es la teoría y otra, la realidad. La teoría en este caso no funciona porque hay un hecho indiscutible: las cenizas pesan menos que el papel.

PROF. En efecto, las cenizas son mucho más ligeras que el papel. Sin embargo... creo que olvidas algo.

ANA. Olvida los gases originados en la combustión. Se quedan dentro del recipiente y eso hace que el peso se mantenga constante, ya que la masa es la misma. ¡Está muy claro!

RAÚL. No tan claro. Los gases formados en la combustión se quedan flotando. De manera que al principio hay papel que pesa y al final hay cenizas que pesan menos y gases que no pesan. ¡Es puro sentido común!

PROF. Vamos a intentar poner orden en la discusión. Díme Raúl, ¿aceptas el principio de conservación de la masa?

RAÚL. ¡Claro que sí! Lo he estudiado infinidad de veces.

PROF. Entonces, puesto que la cantidad de materia dentro del recipiente es constante, ¿por qué no crees que la balanza seguirá marcando 520 g?

RAÚL. Porque, como usted nos ha enseñado, una cosa es la masa y otra el peso. Los gases tienen masa pero no pesan.

ANA. ¡Eso es una burrada! ¿En qué te basas para afirmar eso?

RAÚL. No hay que explicar nada, sólo usar los ojos y las manos. Cualquiera que haya visto cómo asciende el humo de un cigarro, que después se queda flotando en la habitación o cualquiera que haya cogido un globo inflado con las manos sabe a qué me refiero.

ANA. El que un gas ascienda no significa que no pese, sino que es menos denso que el aire que lo rodea.

RAÚL. Estoy harto de ver en televisión globos aerostáticos que se elevan. Eso es lo contrario de pesar, porque para que algo pese tiene que caer.

ANA. ¡Eres un duro de mollera! La materia es atraída por la gravedad terrestre, por lo tanto todo pesa. Si algo no cae es porque se encuentra en un medio más denso, pero eso no significa que no pese.

RAÚL. No me convences.

PROF. Ana, ten en cuenta que las ideas de Raúl tienen cierta lógica. Todos las hemos tenido en algunos momentos de nuestras vidas. Además, se asemejan a lo que pensaban los científicos hasta el siglo XVII. Para convencer a Raúl no basta con enfrentar tus ideas a las suyas, sino que hay que conducirlo a la verdad. Raúl, contesta a esta pregunta: ¿pesa el corcho?

RAÚL. Claro que sí.

PROF. ¿Qué le ocurre cuando está sumergido en el agua?

RAÚL. Asciende hasta la superficie y se queda flotando.

PROF. Ahora imagina que fuésemos animales marinos y nunca hubiésemos salido del fondo de los océanos. Siempre veríamos el corcho ascender y eso nos llevaría a pensar que el corcho no tiene peso.

RAÚL. Pero el corcho asciende a causa del agua, mientras que el humo lo hace por sí solo.

PROF. ¿Nunca te has parado a pensar que la causa por la que el humo asciende en el aire es la misma por la que el corcho asciende en el agua?

RAÚL. Entonces... si no hubiese aire... ¿el humo no ascendería?

PROF. ¡Claro que no! El humo no asciende por sí solo, sino que el aire, al ser más pesado, se coloca debajo de él, empujándolo hacia arriba. En clase ocurre algo parecido, los buenos alumnos tienden a ocupar las primeras filas y desplazan a los menos aplicados hacia las últimas.

RAÚL. Ya comprendo. El humo asciende porque la gravedad lo atrae con menos fuerza que al aire, pero eso no quiere decir que no lo atraiga y que, por lo tanto, no tenga peso.

PROF. Tu confusión se ha originado al no interpretar correctamente la experiencia cotidiana. Has observado cómo asciende el humo de los cigarros y chimeneas, da la sensación de que asciende por sí mismo, y no se repara en que es el aire quien, oculto al sentido de la vista, lo hace elevar. En cambio, cuando vemos el corcho emerger del agua no cometemos ese error porque la presencia y acción del líquido es evidente a los sentidos. Si fuésemos animales acuáticos y viviésemos en el fondo de los mares, estaríamos tan acostumbrados a la presencia del agua que no repararíamos en ella y pensaríamos que el corcho no tiene peso y asciende por sí solo.

RAÚL. Ahora sí que lo veo claro. Sin embargo... no estoy plenamente convencido. Hay otras razones que me hacen pensar que los gases no deberían pesar.

PROF. Vamos allá con ellas.

RAÚL. Si no estoy equivocado, cuando un gas está encerrado en un recipiente, ejerce presión en todas las direcciones y lo mismo que empuja sobre el fondo también empuja sobre la pared superior, con lo cual, la resultante de las fuerzas que el gas ejerce sobre el recipiente es nula y, por lo tanto, el gas no debería pesar.

PROF. ¡Buen argumento! Sin embargo, no es correcto del todo.

ANA. No es correcto porque, como consecuencia del peso del gas, la presión sobre el fondo del recipiente es algo mayor que sobre la pared superior.

RAÚL. ¡Cómo! Hasta ahora, todos los profesores me han enseñado que la presión de un gas es la misma en todos sus puntos.

PROF. Tienes razón. Pero ocurre que la diferencia de presión de la que habla Ana es tan pequeña que en las situaciones convencionales, en las que los recipientes son pequeños, se puede despreciar y suponer que la presión es la misma en todos los puntos.

ANA. Pero el que los gases no tienen la misma presión en todos sus puntos no es ningún secreto. Todo el mundo sabe que la presión atmosférica varía con la altura.

PROF. En efecto. La presión atmosférica es consecuencia del peso de la atmósfera. Por eso, cuando subimos a una montaña, tenemos menos aire encima y la presión es menor.

RAÚL. Tengo una duda. Si, cuando pesamos un recipiente cerrado, también pesamos el aire que hay dentro de él, ¿por qué no tenemos la precaución de extraerlo?

PROF. Sería absurdo. Fuera del recipiente hay aire y éste ejerce presión sobre sus paredes y, por las razones que antes discutíamos, esa presión es mayor sobre la pared inferior que sobre la superior. En consecuencia, el aire del exterior empuja el recipiente hacia arriba. ¡Recuerda el principio de Arquímedes! Por tanto, es necesario que dentro del recipiente haya aire para que su peso contrarreste este empuje.

RAÚL. Ya lo veo. Además, el principio de Arquímedes también serviría para explicar la ascensión del corcho en el agua y la del humo en el aire.

PROF. Todo encaja a la perfección como las piezas de un rompecabezas.

RAÚL. Sin embargo, hay algo que no termina de estar claro. Veamos cómo lo explico: Un gas está formado por partículas que se mueven libremente dentro del recipiente que lo contiene. ¿Cómo pueden pesar esas partículas si no están apoyadas sobre el fondo? ¿Cómo sabe la balanza que las partículas están ahí?

PROF. ¡Excelente pregunta!

ANA. Olvidas que las partículas de gas chocan contra las paredes. Por efecto de la gravedad, éstas se mueven con aceleración positiva cuando se dirigen hacia abajo y negativa cuando lo hacen hacia arriba. De tal manera que golpean con más violencia la pared inferior que la superior. El resultado es un empuje hacia abajo. Ese empuje es igual al peso del gas. Es lo mismo que antes: la presión sobre el fondo es superior a la que hay sobre el techo.

RAÚL. Pero esos choques sólo ocurren ocasionalmente y duran un instante. Las moléculas pasan casi todo el tiempo moviéndose en el vacío. En cambio, las partículas de los sólidos descansan directamente sobre el fondo del recipiente. Entonces, ¿cómo es posible que un gas y un sólido que tengan la misma masa pesen lo mismo? El sólido debería pesar más.

ANA. No, porque los choques de las partículas gaseosas sobre las paredes son muy violentos y eso compensa su corta duración.

RAÚL. Sí, pero imagina que el sólido y el gas contienen una sola partícula. La partícula sólida siempre está pesando porque reposa sobre el fondo del recipiente. En cambio, la partícula de gas se pasa el tiempo de un sitio a otro chocando contra las paredes y la balanza dará una indicación positiva cuando la partícula choque contra el fondo; negativa, cuando choque contra el techo; y cero, cuando esté a medio camino entre una pared y otra. Es igual que si pesamos en una caja dentro de la cual hay un gato que no para de saltar, la balanza tampoco pararía de oscilar. En cambio, si el gato está dormido, la balanza daría una indicación estable. Esto demuestra que un sólido y un gas no pesan igual.

ANA. Si el gato tiene igual peso dormido que despierto, la molécula de gas debe tener igual peso que la de sólido.

RAÚL. Podremos estar de acuerdo en que tienen igual masa, pero eso no quiere decir que tengan igual peso. Para saber lo que pesa algo, hemos de utilizar un instrumento adecuado como es la balanza. Y yo he demostrado que la balanza no indica lo mismo cuando pesamos en ella una molécula de gas que cuando pesamos una de sólido, ¡aunque tengan la misma masa!

ANA. La verdad... no sé qué decir.

PROF. Raúl, parece que estás saliendo airoso. Sin embargo, tu razonamiento tiene un punto débil. Dejemos de lado el hecho de que sólo tiene sentido hablar de estado sólido y líquido cuando hay grandes conjuntos de partículas. Haciendo un cálculo sencillo, se podría demostrar que esa molécula gaseosa golpearía las paredes del recipiente más de mil veces cada segundo. La balanza promediaría el resultado de todos esos choques y ofrecería una indicación estable que coincidiría con el peso de la partícula. Por lo tanto, la balanza no sería capaz de distinguir entre la molécula gaseosa y la molécula sólida.

RAÚL. Pero podríamos construir una balanza muy sensible y de respuesta muy rápida que sí pudiese distinguirlos.

ANA. Yo pienso que la técnica no está tan avanzada.

PROF. Supongamos que esa balanza existe. Al pesar un cuerpo con ella no obtendríamos como resultado un número, sino un conjunto de números que estarían distribuidos en torno a un valor medio. Esa distribución, que dependería de la temperatura, sería más ancha para un gas que para un sólido y su valor medio coincidiría con el peso que obtendríamos con una balanza de respuesta lenta.

RAÚL. De manera que, si el peso viene dado por el valor medio, una misma molécula tiene el mismo peso en un gas que en un sólido.

PROF. ¡Efectivamente! Pero hay que añadir que esa balanza tan sensible no sería útil por culpa del segundo principio.

RAÚL. ¿Qué tiene que ver el segundo principio?

PROF. Una balanza tan sensible ofrecería indicaciones que estarían afectadas por el movimiento de los átomos del material del que esté construida. Ese movimiento se podría eliminar, aunque no del todo, si la enfriamos hasta el cero absoluto, algo prohibido por el segundo principio. Esto demuestra que los aparatos de medida no pueden ser perfectos porque hemos de utilizar materia para construirlos y, como afirmó Platón, la materia carece de la perfección que poseen las ideas. Pero ya es tarde. Despidámonos y dejemos este interesante tema para la próxima jornada.