

¿Átomos o moléculas? El legado de Stanislao Cannizzaro en el bicentenario de su nacimiento. Historia de una transposición didáctica pendiente en el aula de Física y Química· Luis Moreno Martínez

Todo profesor de Física y Química, especialmente en 2.º y 3.º ESO, se ha encontrado con la dificultad terminológica de designar a las entidades que conforman las sustancias químicas en diversos sistemas materiales. Por ejemplo, cuando se introduce la teoría cinética de la materia para explicar sus estados de agregación, nos encontramos ante la tesitura de recurrir a dichas entidades para justificar, por ejemplo, si varía o no la forma y el volumen de sólidos, líquidos y gases. Estas entidades suelen ser denominadas en ocasiones como moléculas, en una acepción generalizada de dicho concepto estructurante de la física y de la química que puede llegar a incluir a los propios átomos (entendidos como moléculas monoatómicas). Incluso algunos autores han promulgado abandonar la disyuntiva entre átomo y molécula y hablar de átomos como moléculas mononucleares.¹ La cuestión se complica más aun cuando en los cursos superiores se aborda el enlace químico y se aplica la acepción restringida de molécula como entidad que resulta de la unión de un número discreto de átomos por enlace covalente. Aunque se encuentran con frecuencia numerosos trabajos que abogan por el uso generalizado primero y más específico después del término “molécula”, debo confesar -quizá para horror de algunos autores, físicos de partículas y didactas de la ciencia- que hasta la fecha encuentro útil el término “partícula”. Ello es debido a que este término, intencionadamente ambiguo, permite hablar de cualquier tipo de sistema material sin incurrir en denominaciones que, cursos después, pueden derivar en otros errores conceptuales y terminológicos, como hablar de la masa molecular de sustancias iónicas. En cualquier caso, progresar en el conocimiento de la física y la química es descubrir que las “partículas”, dependiendo del sistema o fenómeno objeto de estudio, pueden ser desde átomos aislados, átomos formando redes o moléculas a partículas subatómicas, culminando en el modelo estándar en la materia de Física de 2.º Bachillerato. Avanzar en el aprendizaje de la física y la química es, también, refinar y pulir su terminología, que siempre presenta limitaciones.

Esta tesitura didáctica en torno al término molécula, familiar para quienes enseñamos Física y Química a adolescentes, no es en absoluto actual, sino que hunde sus raíces en un periodo vibrante de la historia de la ciencia: el siglo XIX. Este siglo, caracterizado por la transición desde la filosofía natural hacia las disciplinas científicas actuales, fue testigo de un importante proceso de transformación del lenguaje científico. Es en este punto donde el Apunte de Historia de la Ciencia de este número de *Faraday* parte de una efeméride quizá no demasiado popular, el bicentenario del nacimiento del químico italiano Stanislao Cannizzaro, para ilustrar de forma práctica la utilidad de la historia de la física y la química para su profesorado. Se trata de un periodo en el que átomo y molécula fueron no solo términos no diferenciados como en el contexto actual, sino que se llegaron a emplear como sinónimos.² Asimismo, el siglo XIX estuvo caracterizado por la convivencia de un atomismo físico, que asumía los átomos como entidades reales, y un atomismo químico, que los entendía como recursos explicativos de interés para interpretar cuantitativamente las reacciones químicas.³ Esta cuestión suele pasar desapercibida en el contexto escolar. Por el contrario, las leyes ponderales y volumétricas de las combinaciones químicas sí están presentes, especialmente en 1.º Bachillerato. Es frecuente que numerosos libros de texto aborden el conflicto entre la teoría atómica de Dalton (que justificaba de forma satisfactoria las leyes ponderales de las combinaciones químicas) y la ley de volúmenes de combinación de Gay-Lussac (que no encontraba respuesta en la teoría daltoniana). La hipótesis de Avogadro se presenta como la solución a este conflicto, atribuyendo al científico italiano la idea de que los elementos que participan en las reacciones estudiadas por Gay-Lussac (habitualmente, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y cloro) no están formados por átomos aislados, sino por moléculas diatómicas (H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2 ...). Como se abordará, esta cuestión representa un ejemplo del divorcio entre la historia de la ciencia en contextos escolares y los trabajos de investigación en historia de la ciencia al que se aludía en el editorial de este número.⁴

Stanislao Cannizzaro (1826-1910)

Es en este punto de la historia en la que entra en acción el protagonista de esta efeméride: el químico italiano Stanislao Cannizzaro, nacido el 13 de julio de 1826 en Palermo (Italia), en cuya universidad comenzó a estudiar medicina, para finalmente decantarse por la química. Continuó su formación en París junto a destacados químicos de la época como Dumas (1800-1884) y Wurtz (1817-1884). De vuelta a Italia, fue profesor de Física y Química en el Colegio Nacional de Alejandría en Piamonte entre 1851 y 1855. Después, se incorporó a la Universidad de Génova, donde trabajó no sin dificultades, como una importante falta inicial de recursos para investigar. En 1862 se trasladó a la Universidad de Palermo, donde impulsó los estudios de química, y de la que llegó a ser rector. En 1871 fue nombrado catedrático de Química de la Universidad de Roma. En la capital italiana desarrollará su carrera docente y política (pues fue senador) hasta su fallecimiento el 10 de mayo de 1910.



Figura 1. Stanislao Cannizzaro (1826-1910). Fuente: Science History Institute.

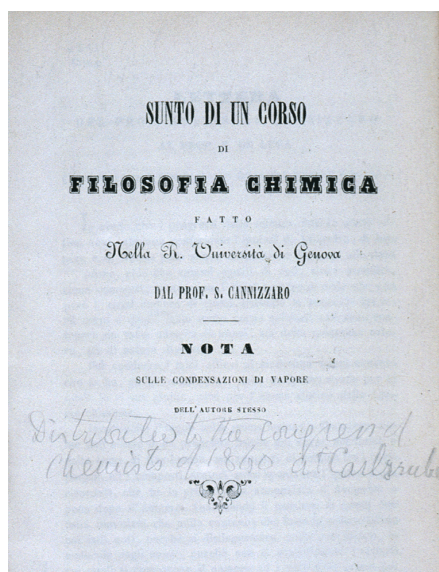


Figura 2. Célebre trabajo publicado por Cannizzaro en 1858. Fuente: *From Alchemy to Chemistry. Five Hundred Years of Rare and Interesting Books. University of Illinois.*

Sus restos descansan en el Panteón de Hombres Ilustres de Sicilia, junto a los de su esposa Enriqueta Whithers (1827-1892), con quien tuvo dos hijos (Mariano y Franca).⁵ Cannizzaro hizo notables aportes a la química, pero sin duda su mayor contribución se recoge en el artículo que publicó en 1858 bajo el título *Sunto di un Corso di Filosofia Chimica*, en el que hizo uso de las leyes de volúmenes de combinación de Gay-Lussac y la hipótesis de Avogadro para determinar pesos atómicos. Pero si hay un hito en la historia de la química que se atribuye a Cannizzaro es su labor de divulgación de las ideas de Avogadro entre los químicos de la época. En este punto, cabe destacar la celebración del primer congreso internacional de química, el cual tuvo lugar en la ciudad alemana de Karlsruhe del 3 al 5 de septiembre de 1860. De los 140 químicos convocados, asistieron 127, entre los que se encontraba Cannizzaro y su colaborador, Angelo Pavesi (1830-1896), profesor de Química de la Universidad de Pavia.⁶ Al término del congreso, Pavesi distribuyó entre los asistentes varias copias de un folleto informativo elaborado por Cannizzaro en el que aclaraba algunas cuestiones que vertebraron las discusiones del congreso, como la determinación de pesos atómicos y moleculares o la disyuntiva terminológica entre átomos y moléculas, entendiendo los primeros como unidades mínimas de combinación y las segundas como mínimas unidades capaces de existir en estado libre.² Muchos químicos leyeron el trabajo de Cannizzaro de vuelta a sus países, gracias a la pericia de Pavesi. Entre los químicos que lo leyeron y lo valoraron positivamente cabe destacar al químico alemán Lothar Meyer (1830-1895), quien lo elogió por su claridad.⁶

Con todo ello, Cannizzaro trató de convencer a los químicos asistente al congreso de Karlsruhe de la validez y utilidad de los trabajos de Avogadro. Además, es muy posible que Cannizzaro promoviera la idea de las moléculas diatómicas de elementos gaseosos, atribuyéndola a Avogadro. Algunos historiadores de la química se hicieron eco de esa idea, que posteriormente se incorporó a los libros de texto del siglo XIX, sobreviviendo hasta la actualidad. La idea de moléculas diatómicas de H_2 , Cl_2 , N_2 y O_2 que encontramos habitualmente para explicar la relación de volúmenes en la síntesis del cloruro de hidrógeno, el amoníaco y el agua no es pues una idea original de Avogadro, sino de Cannizzaro. La importancia de los trabajos de Avogadro radica en que contempló el posible fraccionamiento de moléculas de los gases elementales en dos o más partes para justificar la evidencia experimental. A fin de interpretar los experimentos de Gay-Lussac, Avogadro planteó que los elementos gaseosos estarían formados por «moléculas reunidas en una sola por atracción», es decir, por moléculas constituidas a su vez por otras moléculas elementales (átomos en nuestra visión actual).⁷ Si bien la labor de Cannizzaro en el Congreso de Karlsruhe de 1860 fue de gran importancia, debe evitarse entender este momento como un punto de inflexión en la historia de la química. Así, antes del congreso ya había químicos, como Charles Frédéric Gerhardt (1816-1856), que consideraban la existencia de fórmulas químicas como el H_2 o el Cl_2 , por su utilidad para explicar ciertas reacciones químicas. Después de Karlsruhe, el avance en química orgánica (donde era frecuente que un mismo elemento manifestara afinidad hacia sí mismo) contribuyó al abandono del dualismo electroquímico promulgado por el destacado químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), el cual veía inverosímil la existencia de moléculas diatómicas de un mismo elemento.³

A modo de conclusión: De la historia de la ciencia al aula de Física y Química

La transposición didáctica de los trabajos de Avogadro es un reto pendiente en la enseñanza de la física y la química.^{7,8} Así, si bien muchos libros denominan hipótesis de Avogadro a la afirmación «volúmenes iguales, de gases distintos, en las mismas condiciones de presión y de temperatura, contienen el mismo número de moléculas», lo cual es cierto; no es menos cierto que muchos continúan atribuyendo a Avogadro la idea de moléculas diatómicas de elementos gaseosos para justificar las leyes de los volúmenes de combinación de Gay-Lussac.⁷ Es aquí donde conviene detenernos, rescatar a Cannizzaro y al congreso de Karlsruhe, mostrando que detrás de conceptos aparentemente sencillos en la actualidad (como la distinción entre átomo y molécula) se esconde el esfuerzo colectivo y centenario de numerosas personas dedicadas a la ciencia. Si bien estas cuestiones suelen trabajarse en 1.º Bachillerato, curso en el que la materia de Física y Química tiene una extensión difícilmente abarcable, conviene mencionar la pertinencia curricular de lograr que el alumnado valore la importancia que tuvieron las leyes de las combinaciones químicas.⁸

En un contexto en el que átomo y molécula se usaban de manera indistinta, donde no se conocía a ciencia cierta la fórmula química de las sustancias (incluso Dalton pensaba que el agua era HO), no se conocían los mecanismos del enlace químico (que hoy nos

permiten explicar de manera sencilla por qué el hidrógeno o el oxígeno se encuentran en la naturaleza como H_2 y O_2) y en el que no se disponía de la magnitud cantidad de sustancia como puente entre la masa y el número de partículas (que tan útil nos es actualmente para los cálculos estequiométricos), los químicos tuvieron que hacer frente al estudio cuantitativo de las reacciones químicas «a ciegas» coligiendo, tras muchas décadas de esfuerzos, aprendizajes que hoy se adquieren en unos pocos años de formación. La Figura 3 ofrece una sencilla secuencia didáctica para el abordaje didáctico de esta cuestión en la materia de Física y Química de 4.º ESO o de 1.º Bachillerato, la cual ha sido publicada *in extenso* en otro trabajo publicado recientemente en *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*.⁸ Una modesta muestra del todavía largo recorrido que tenemos por delante para acercar didáctica e historia de la física y la química a nuestras aulas; una labor fundamental para mejorar la enseñanza de ambas ciencias mostrando a nuestro alumnado cómo se construye el conocimiento científico, así como la dimensión humana de la física y la química.

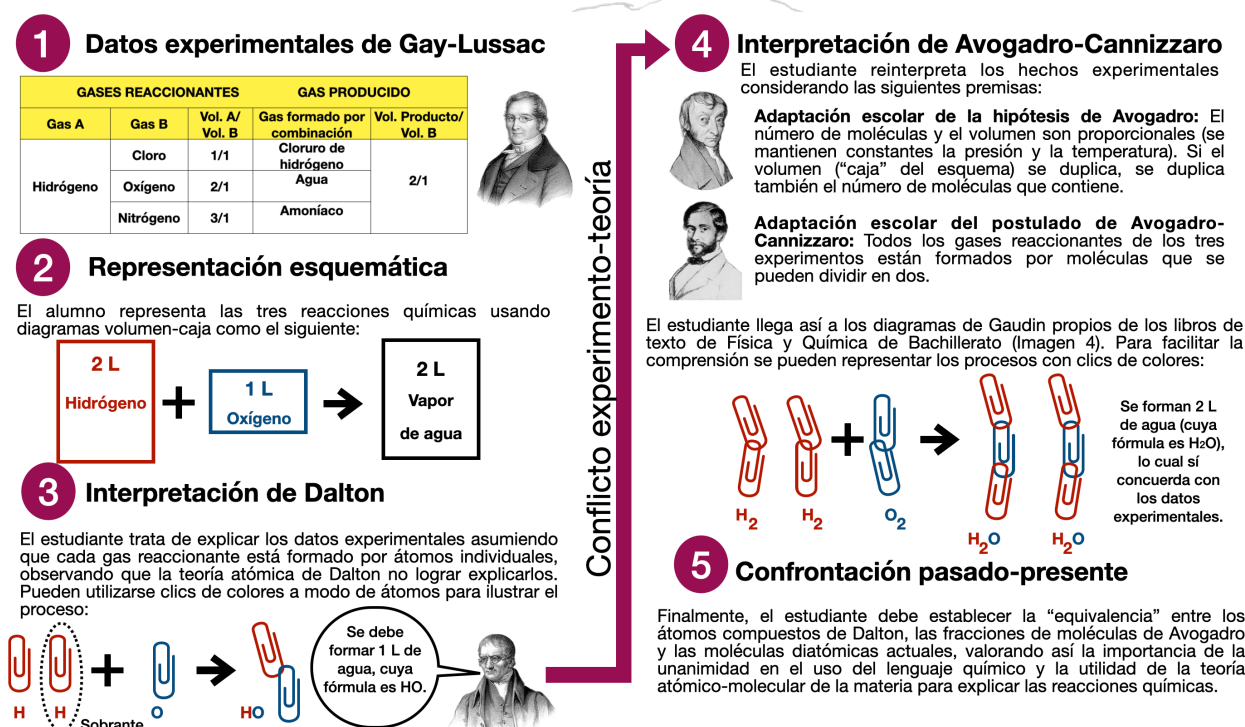


Figura 3. Secuencia didáctica para el abordaje de la teoría atómico-molecular en 4.º ESO y/o 1.º Bachillerato incorporando su desarrollo histórico. Fuente: Elaboración propia.⁸

Bibliografía

1. Chamizo, J. A. (2025). Moléculas mononucleares o átomos en la enseñanza de la química. *Anales de Química*, 121(3), pp. 173-178.
2. Bensaud-Vincent, B., Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamericana.
3. Brock, W. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Alianza.
4. Moreno Martínez, L., Calvo Pascual, M. A. (2018). ¿Cómo presentan la historia de la química los libros de texto de Educación Secundaria? Un análisis desde la didáctica y los estudios históricos de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), p. 1101.
5. Mieli, A. (1947). *La teoría atómica química moderna*. Buenos Aires: Espasa Calpe.
6. Aragón De la Cruz, F. (2004). *Historia de la Química*. Madrid: Biblioteca Nueva.
7. Muñoz Bello R.; Bertomeu Sánchez, J. R. (2003). La historia de la ciencia en los libros de texto: la(s) hipótesis de Avogadro. *Enseñanza de las ciencias*, 21(1), pp. 147-159.
8. Moreno Martínez, L. (2026). El largo camino en la aceptación del atomismo. De Dalton al congreso de Karlsruhe. Implicaciones para la enseñanza de la teoría atómico-molecular. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 124, pp. 32-42.

Luis Moreno Martínez
IES Enrique Tierno Galván (Parla, Madrid)
GEDH, RSEF-RSEQ
luis.morenomartinez@educa.madrid.org