

HISTORIA DE LA QUÍMICA 2

Se considera que el químico inglés Robert Boyle (1627-1691) apartó definitivamente a la química de la alquimia al mejorar su método experimental.⁴⁸ Aunque su investigación tiene sus raíces claramente en la tradición alquímica, actualmente se reconoce a Boyle como el primer químico moderno, y por ello uno de los fundadores de la química moderna, y uno de los pioneros del método científico experimental moderno. Se le conoce principalmente por la ley de Boyle que presentó en 1662,⁴⁹ aunque Boyle no fue su descubridor original. La ley describe la relación inversamente proporcional que existe entre la presión y el volumen de un gas, si se mantiene constante la temperatura en un sistema cerrado.^{50 51}

Se reconoce como un hito científico la publicación de la obra de Boyle *The Sceptical Chymist: or Chymico-Physical Doubts & Paradoxes* (*El químico escéptico: o las dudas y paradojas quimio-físicas*) en 1661, que se considera un pilar fundamental del campo de la química. En la obra Boyle presenta su hipótesis de que todos los fenómenos son el resultado de la colisión de las partículas en movimiento. Boyle apela a los químicos para que experimenten y afirma que los experimentos contradicen que los elementos químicos se limiten a los cuatro elementos clásicos. También declaró que la química debería dejar de estar subordinada a la medicina o la alquimia, y debería alzarse al estatus de ciencia por sí misma. Destaca su defensa de la experimentación científica rigurosa. Boyle creía que todas las teorías deberían probarse experimentalmente antes de ser consideradas ciertas. Su obra además contiene algunas de las primeras ideas modernas sobre átomos, moléculas y reacciones químicas, por lo que marcó el inicio de la historia de la química moderna.

Boyle también trató de purificar las sustancias químicas para obtener reacciones reproducibles. Fue un defensor de la filosofía mecánica propuesta por René Descartes para explicar y cuantificar las propiedades e interacciones de las sustancias químicas. Boyle era un atomista, pero prefería la palabra *corpúsculo* a *átomo*. Puntualizó que la división más pequeña de la materia a la que se mantenían las propiedades era a nivel de los corpúsculos. Además realizó numerosas investigaciones con una bomba de aire. Observó que al sacar el aire las llamas se extinguían y se morían los animales situados dentro, y también hacía descender los niveles del barómetro. Boyle repitió los tres experimentos de van Helmont, y fue el primero en usar indicadores que cambiaran de color con la acidez. Por todo ello Boyle ayudó a asentar los pilares de la revolución química con su filosofía corpuscular mecánica.⁵²

A finales del siglo XVII y principios de XVIII se propuso la teoría del flogisto para intentar explicar los procesos de combustión y oxido-reducción mediante la pérdida o transferencia, respectivamente, de un supuesto fluido denominado flogisto.⁵³ La teoría fue propuesta inicialmente por Johann Becher y desarrollada por Georg Stahl, ambos químicos alemanes. Becher postuló otra reforma de la teoría de los cuatro elementos en la que solo la tierra y el agua serían componentes de las materias, en distintas proporciones, y el fuego y el aire serían meramente agentes de las transformaciones. A su vez existirían tres tipos distintos de tierras, cada una de ellas portadora de una propiedad: el aspecto vítreo, la fluidez o volatilidad, y el carácter inflamable. Para esta última Georg Stahl acuñó el término flogisto en 1702. Toda sustancia susceptible de sufrir combustión

contendría cierta cantidad de flogisto, y el proceso de combustión consistiría básicamente en la pérdida de dicha sustancia.

Se conocía desde la antigüedad que algunas sales metálicas podían ser transformadas de nuevo en los metales de partida. Stahl explicó este proceso suponiendo que los metales estaban formados por una cal y un principio inflamable carente de masa, el flogisto, por lo que la calcinación, es decir, la formación de la cal, se podía explicar, al igual que la combustión, como un desprendimiento de flogisto, el cual se liberaba del metal y dejaba la cal al descubierto en las cenizas. El proceso inverso, la reducción de la cal al metal, podía ser igualmente explicada como una adición de flogisto. Si una sustancia rica en flogisto, como el carbón, era puesta en contacto con una cal metálica, podía transferirle su flogisto y dar lugar a la formación del metal.

Joseph Priestley usó la teoría del flogisto en sus experimentos de química neumática para explicar las transformaciones de los gases. Priestley denominó al residuo de aire que quedaba tras un proceso de combustión «aire flogistizado» (en realidad, una mezcla de nitrógeno y dióxido de carbono), pues pensaba que durante la combustión dicho aire había absorbido todo el flogisto que tenía capacidad de albergar, y por eso cesaba la combustión. Siguiendo esta línea de razonamiento, cuando Priestley calentó la cal roja de mercurio y recogió un tipo de aire que podía mantener más tiempo la combustión lo denominó «aire desflogistizado». Posteriormente Lavoisier lo llamaría oxígeno.

La teoría del flogisto fue popular durante el siglo XVIII hasta que Antoine Lavoisier la refutó en su obra *Réflexions sur le phlogistique, pour servir de suite à la théorie de la combustion et de la calcination* (Reflexiones sobre el flogisto, para formar parte de la teoría de la combustión y la calcinación) publicada en 1777. Según Stahl cualquier sólido liberaba flogisto bajo la acción del fuego, luego tras la combustión perdería masa o la mantendría (según el flogisto tuviera masa o no). Sin embargo, Lavoisier hizo experimentos calcinando metales y después de la calcinación en algunos el peso del residuo (los óxidos) era mayor que el cuerpo inicial. En estos casos el flogisto tendría un peso negativo, lo que resultaba absurdo, y demostraba la inconsistencia de la teoría del flogisto,

En el siglo XVIII se multiplicaron los descubrimientos de nuevos elementos, gracias al cambio en los métodos de investigación. Un hecho sin precedentes desde la antigüedad, ya que en los dos milenios anteriores se habían descubierto solo cinco (arsénico, antimonio, zinc,⁵⁵ bismuto y fósforo). Alrededor de 1735 el químico sueco Georg Brandt analizó un pigmento azul oscuro encontrado en la mena del cobre descubriendo lo que posteriormente conoceríamos como cobalto. En 1748 el español Antonio de Ulloa publicó la descripción de un nuevo metal, el platino.⁵⁶ En 1751 un discípulo de Stahl, Axel Fredrik Cronstedt, identificó en una impureza del mineral del cobre otro nuevo metal, el níquel. A Cronstedt se le considera uno de los fundadores de la mineralogía moderna.⁵⁷ En 1766 el químico inglés Henry Cavendish aisló el hidrógeno, al que llamó «aire inflamable». En 1773 el sueco Carl Wilhelm Scheele descubrió el oxígeno, al que llamó «aire de fuego»,⁵⁸ aunque al no publicar inmediatamente su hallazgo dio tiempo a Joseph Priestley a publicarlo 1774, tras haber descubierto el mismo gas independientemente al cual llamó «aire

deflogistizado».59 En 1783 los hermanos españoles Juan José y Fausto Elhuyar consiguieron aislar el wolframio a partir del mineral wolframita.60 61

En el siglo también se descubrieron destacados compuestos. En 1754 el escocés Joseph Black aisló el dióxido de carbono, al que llamó «aire invariable».62 En 1757 el francés Louis Claude Cadet de Gassicourt, mientras investigaba los compuestos del arsénico creó el líquido fumante de Cadet, que posteriormente se sabía que contenía óxido de cacodilo, y por ello es considerado el primer compuesto organometálico que se logró sintetizar.63 Y además en 1758 Joseph Black formuló el concepto de calor latente para explicar los cambio de estado.64

Aunque la investigación química se puede remontar a la antigua Babilonia, Egipto, y especialmente a Persia y Arabia de la Edad de Oro del islam, la química floreció a partir de la época de Antoine Lavoisier, un químico francés reconocido como el «padre de la química moderna». En 1789 Lavoisier estableció formalmente la ley de conservación de la materia, que en su honor también se conoce como «Ley Lomonósov-Lavoisier».65 Para demostrarla realizó múltiples experimentos. Demostró con medidas meticulosas que las transmutaciones no eran posibles, por ejemplo, no se transformaba el agua en tierra, sino que el sedimento que se observa al hervir agua procedía del contenedor; o que al quemar al aire fósforo y azufre, probó que aunque los productos pesaban más, el peso ganado procedía del aire.

Repitiendo los experimentos de Priestley demostró que el aire estaba compuesto de dos partes (no era un elemento), y una de ellas se combinaba con los metales para formar las cales. En *Considérations Générales sur la Nature des Acides* (1778) demostró que la parte del aire responsable de la combustión también era la fuente de la acidez en disoluciones. Al año siguiente nombró a esta parte oxígeno (del griego formador de ácidos), y a la otra *azote* (sin vida). Por ello se considera a Lavoisier el descubridor del oxígeno junto a Priestley y Scheele. También observó que el «aire inflamable» descubierto por Cavendish al combinarlo con oxígeno producía una condensación, como informó Priestley, que parecía ser agua (luego tampoco el agua era un elemento), por ello denominó a este gas hidrógeno (del griego «formador de agua»).

Como se indicó en el apartado anterior, en *Reflexions sur le Phlogistique* (1783) Lavoisier refutó la teoría del flogisto para la combustión. En Rusia Mikhail Lomonosov independientemente llegó a conclusiones similares sobre la conservación de la materia y el flogisto. Además Lomonosov anticipó la teoría cinética de los gases, al considerar que el calor provenía de una forma de movimiento.

Lavoisier trabajó con Claude Louis Berthollet y otros para idear un sistema de nomenclatura química que fue la base del sistema moderno de nombrar compuestos químicos. En su *Methods of Chemical Nomenclature* (1787), Lavoisier inventó la forma de nombrar y clasificar compuestos que se usa principalmente en la actualidad, que incluye nombres como ácido sulfúrico, sulfatos y sulfitos. En 1785 Berthollet determinó la composición elemental del amoniaco. Ese mismo año Berthollet fue el primero en usar el gas cloro como blanqueante comercial, y en 1789 fue el primero en fabricar lejía al burbujear gas a través de una solución de carbonato de sodio, consiguiendo una solución de hipoclorito sódico. También estudió y fue el primero en producir otro fuerte oxidante y blanqueante de cloro, el clorato de potasio (KClO_3), conocido como sal de Berthollet. Berthollet

también es conocido por sus contribuciones a la teoría del equilibrio químico a través del mecanismo de reacción reversible.

La obra de Lavoisier *Traité Élémentaire de Chimie (Tratado elemental de química, 1789)* fue el primer libro de texto de la química moderna, y presentaba un punto de vista unificado de las nuevas teorías químicas, contenía una declaración clara de la ley de conservación de la masa, y negaba la existencia del flogisto. Además presentaba una lista de elementos, o sustancias que no podían descomponerse, que incluía al oxígeno, el nitrógeno, el hidrógeno, el fósforo, el mercurio, el zinc y el azufre. Sin embargo, en su lista también se incluía la luz y el calórico, que él creía que eran sustancias materiales. En la obra Lavoisier remarcó que la observación era la base de su química, afirmando que:

He intentado (...) llegar a la verdad reuniendo hechos, para suprimir en lo posible el razonamiento, que a menudo es el responsable de engañarnos, para seguir en lo posible la luz de la observación y del experimento.

Lavoisier demostró que los organismos vivos descomponían y recomponían el aire atmosférico de la misma forma que lo hacía una llama. Junto a Pierre-Simon Laplace, Lavoisier usó un calorímetro para estimar el calor por unidad de dióxido de carbono producido en una combustión. Y descubrió unas medias similares para las llamas y los animales, lo que indicaba que los animales producían energía por medio de un tipo de combustión. Además descubrió que el diamante era una forma cristalina del carbón.

Sin embargo como es lógico, en su obra no todo fueron aciertos. Lavoisier no creía en el atomismo y pensaba que la existencia real de los átomos era filosóficamente imposible. Lavoisier creía en la teoría de los radicales y pensaba que los radicales funcionaban como un solo grupo que se combinaría con el oxígeno en las reacciones. Creía que todos los ácidos contenían oxígeno. A pesar de ello, la labor de Lavoisier fue fundamental para la ciencia química. Al impulso que se produjo en la investigación basado en su ley de conservación de la masa, su teoría sobre la combustión mediante el oxígeno, además de la teoría corpuscular mecánica, se conoce como revolución química. Tras su obra la química adquirió una naturaleza estrictamente cuantitativa, lo que permitiría hacer predicciones fiables. Su contribución a la revolución química fue el resultado principalmente de su esfuerzo consciente de encajar todos sus experimentos en el marco de una sola teoría. Estableció de forma consistente el uso del equilibrio químico, usó el descubrimiento del oxígeno para refutar la teoría del flogisto y desarrolló un nuevo sistema de nomenclatura química. Lamentablemente su brillantez y autoridad científica no evitaron que Lavoisier fuera decapitado durante la Revolución francesa.

El físico italiano Alessandro Volta fue uno de los pioneros en los estudios sobre la electricidad. En 1775 Volta perfeccionó y popularizó el electróforo, un dispositivo con dos discos metálicos separados por un conductor húmedo, pero unidos con un circuito exterior, capaz de producir electricidad estática. En 1794 Volta revisó los estudios sobre la «electricidad animal». En 1780 Luigi Galvani había observado que al poner en contacto dos metales diferentes con el músculo de una rana se originaba la aparición de corriente eléctrica. A Volta le interesó la idea y comenzó a

experimentar con metales únicamente, y llegó a la conclusión de que el tejido muscular animal no era necesario para producir la corriente eléctrica. Este hallazgo suscitó una fuerte controversia entre los partidarios de la electricidad animal y los defensores de la electricidad metálica, pero la demostración, realizada en 1800, del funcionamiento de la primera pila eléctrica certificó la victoria del bando favorable a las tesis de Volta.⁶⁶

Su pila voltaica de 1800 consistía en un apilamiento de varios pares de discos de cobre y zinc alternados (electrodos) separados por una capa de tela o cartón empapada en salmuera (electrolito) para incrementar la conductividad.⁶⁷ Cuando se conectaba la parte superior y la inferior con un cable separados, y perdía poca carga con el tiempo cuando no se la utiliza, con lo que Volta consiguió la primera batería eléctrica para producir electricidad. Por ello se considera a Volta el fundador de la electroquímica.⁶⁸ A partir de entonces se usarán las pilas voltaicas (o galvánicas) en el estudio las reacciones redox y sus productos. Además Alessandro Volta entre 1776 y 1778 se dedicó al estudio de la química de los gases y fue el descubridor del metano.

Tras haber estado aparcado el atomismo desde la antigüedad y únicamente esbozado en los modelos mecánicos corpusculares, la teoría atómica es retomada por John Dalton, quien postuló que los átomos eran partículas indivisibles que permanecen inalteradas en los compuestos, a partir de lo cual se pudieron establecer las leyes estequiométricas, base de la actual estequiometría.

A lo largo del siglo XIX la química estuvo dividida entre los seguidores y detractores de la teoría atómica de Dalton, como Wilhelm Ostwald y Ernst Mach. Los impulsores más decididos de la teoría atómica inicial fueron Amedeo Avogadro, Ludwig Boltzmann, entre otros, que consiguieron grandes avances en la comprensión del comportamiento de los gases. La disputa sobre la existencia de los átomos se zanjaría definitivamente con la explicación del efecto browniano por Albert Einstein en 1905 y los respectivos experimentos de Jean Perrin. Muchos fueron los investigadores que trabajaron bajo la hipótesis atómica. Svante Arrhenius intuyó en parte la estructura interna de los átomos proponiendo su teoría de la ionización en las disoluciones. Aunque su verdadera estructura no se vislumbraría hasta principios del siglo XX, a partir de los trabajos de Ernest Rutherford, seguidos por el modelo atómico de Bohr.