

Personages

Antoine Laurent de Lavoisier

Isaac Newton

James Watt

Charles Robert Darwin

Dmitri Ivánovich Mendeléiev

Robert Boyle

Joseph Louis Gay-Lussac

Antoine Laurent de Lavoisier (1743–1794), químico francés, considerado el fundador de la química moderna.

Nació el 26 de agosto de 1743 en París y estudió en el Instituto Mazarino. Fue elegido miembro de la Academia de Ciencias en 1768. Ocupó diversos cargos públicos, incluidos los de director estatal de los trabajos para la fabricación de la pólvora en 1776, miembro de una comisión para establecer un sistema uniforme de pesas y medidas en 1790 y comisario del tesoro en 1791. Lavoisier trató de introducir reformas en el sistema monetario y tributario francés y en los métodos de producción agrícola. Como dirigente de los campesinos, fue arrestado y juzgado por el Tribunal Revolucionario y guillotinado el 8 de mayo de 1794 (*véase* Revolución Francesa).

Lavoisier realizó los primeros experimentos químicos realmente cuantitativos. Demostró que en una reacción química, la cantidad de materia es la misma al final y al comienzo de la reacción. Estos experimentos proporcionaron pruebas para la ley de la conservación de la materia (*véase* Leyes de conservación). Lavoisier también investigó la composición del agua y denominó a sus componentes oxígeno e hidrógeno.

Algunos de los experimentos más importantes de Lavoisier examinaron la naturaleza de la combustión, demostrando que es un proceso en el que se produce la combinación de una sustancia con oxígeno. También reveló el papel del oxígeno en la respiración de los animales y las plantas. La explicación de Lavoisier de la combustión reemplazó a la teoría del flogisto, sustancia que desprendían los materiales al arder.

Con el químico francés Claude Louis Berthollet y otros, Lavoisier concibió una nomenclatura química, o sistema de nombres, que sirve de base al sistema moderno. La describió en *Método de nomenclatura química* (1787). En *Tratado elemental de química* (1789), Lavoisier aclaró el concepto de elemento como una sustancia simple que no se puede dividir mediante ningún método de análisis químico conocido, y elaboró una teoría de la formación de compuestos a partir de los elementos. También escribió *Sobre la combustión* (1777) y *Consideraciones sobre la naturaleza de los ácidos* (1778).

Antoine Laurent de Lavoisier

Isaac Newton



1. INTRODUCCIÓN

Isaac Newton (1642–1727), matemático y físico británico, considerado uno de los más grandes científicos de la historia, que hizo importantes aportaciones en muchos campos de la ciencia. Sus descubrimientos y teorías sirvieron de base a la mayor parte de los avances científicos desarrollados desde su época. Newton fue, junto al matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz, uno de los inventores de la rama de las matemáticas denominada cálculo. También resolvió cuestiones relativas a la luz y la óptica, formuló las leyes del movimiento y dedujo a partir de ellas la ley de la gravitación universal. *Véase Mecánica.*

Nació el 25 de diciembre de 1642 (según el calendario juliano vigente entonces; el 4 de enero de 1643, según el calendario gregoriano vigente en la actualidad), en Woolsthorpe, Lincolnshire. Cuando tenía tres años, su madre viuda se volvió a casar y lo dejó al cuidado de su abuela. Al enviudar por segunda vez, decidió enviarlo a una escuela primaria en Grantham. En el verano de 1661 ingresó en el Trinity College de la Universidad de Cambridge y en 1665 recibió su título de bachiller.

Después de una interrupción de casi dos años provocada por una epidemia de peste, Newton volvió al Trinity College, donde le nombraron becario en 1667. Recibió el título de profesor en 1668. Durante esa época se dedicó al estudio e investigación de los últimos avances en matemáticas y a la filosofía natural, que consideraba la naturaleza como un organismo de mecánica compleja. Casi inmediatamente realizó descubrimientos fundamentales que le fueron de gran utilidad en su carrera científica.

2. EL MÉTODO DE LAS FLUXIONES

Newton obtuvo en el campo de las matemáticas sus mayores logros. Generalizó los métodos que se habían utilizado para trazar líneas tangentes a curvas y para calcular el área bajo una curva, y descubrió que los dos procedimientos eran operaciones inversas. Uniéndolos en lo que él llamó el método de las fluxiones, Newton desarrolló en el otoño de 1666 lo que se conoce hoy como cálculo, un método nuevo y poderoso que situó a las matemáticas modernas por encima del nivel de la geometría griega.

Aunque Newton fue su inventor, no introdujo el cálculo en las matemáticas europeas. En 1675 Leibniz llegó de forma independiente al mismo método, al que llamó cálculo diferencial; su publicación hizo que Leibniz recibiera en exclusividad los elogios por el desarrollo de ese método, hasta 1704, año en que Newton publicó una exposición detallada del método de fluxiones, superando sus reticencias a divulgar sus investigaciones y descubrimientos por temor a ser criticado. Sin embargo, sus conocimientos trascendieron de manera que en 1669 obtuvo la cátedra Lucasiana de matemáticas en la Universidad de Cambridge.

3. ÓPTICA

La óptica fue otra área por la que Newton demostró interés muy pronto. Al tratar de explicar la forma en que surgen los colores llegó a la idea de que la luz del Sol es una mezcla heterogénea de rayos diferentes

representando cada uno de ellos un color distinto y que las reflexiones y refracciones hacen que los colores aparezcan al separar la mezcla en sus componentes. Newton demostró su teoría de los colores haciendo pasar un rayo de luz solar a través de un prisma, el cual dividió el rayo de luz en colores independientes.

En 1672 Newton envió una breve exposición de su teoría de los colores a la Royal Society de Londres. Su publicación provocó tantas críticas que confirmaron su recelo a las publicaciones, por lo que se retiró a la soledad de su estudio en Cambridge. En 1704, sin embargo, publicó su obra *Óptica*, en la que explicaba detalladamente su teoría.

4. LOS PRINCIPIOS

En agosto de 1684 la soledad de Newton se vio interrumpida por la visita de Edmund Halley, un astrónomo y matemático con el que discutió el problema del movimiento orbital. Newton había estudiado la ciencia de la mecánica como estudiante universitario y en esa época ya tenía ciertas nociones básicas sobre la gravitación universal. Como resultado de la visita de Halley, volvió a interesarse por estos temas.

Durante los dos años y medio siguientes, Newton estableció la ciencia moderna de la dinámica formulando las tres leyes del movimiento. Aplicó estas leyes a las leyes de Kepler sobre movimiento orbital formuladas por el astrónomo alemán Johannes Kepler y dedujo la ley de la gravitación universal. Probablemente, Newton es conocido sobre todo por su descubrimiento de la gravitación universal, que muestra cómo a todos los cuerpos en el espacio y en la Tierra les afecta la fuerza llamada gravedad. Publicó su teoría en *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687), obra que marcó un punto de inflexión en la historia de la ciencia, y con la que perdió el temor a publicar sus teorías.

La aparición de *Principios* también implicó a Newton en un desagradable episodio con el filósofo y físico Robert Hooke. En 1687 Hooke afirmó que Newton le había robado la idea central del libro: que los cuerpos se atraen recíprocamente con una fuerza que varía inversamente al cuadrado de la distancia entre ellos. Sin embargo, la mayor parte de los historiadores no aceptan los cargos de plagio de Hooke.

En el mismo año de 1687, Newton apoyó la resistencia de Cambridge contra los intentos del rey Jacobo II de Inglaterra por convertir la universidad en una institución católica. Después de la Revolución Gloriosa de 1688, que expulsó a Jacobo II de Inglaterra, la universidad eligió a Newton como uno de sus representantes en una convocatoria especial del Parlamento británico. Los cuatro años siguientes fueron de gran actividad para Newton, que animado por el éxito de *Principios*, trató de compendiar todos sus primeros logros en una obra escrita. En el verano de 1693 Newton mostró síntomas de una severa enfermedad emocional. Aunque recuperó la salud, su periodo creativo había llegado a su fin.

Las conexiones de Newton con los dirigentes del nuevo régimen de Inglaterra le llevaron a su nombramiento como inspector y más tarde director de la Casa de la Moneda en Londres, donde vivió hasta 1696. En 1703 fue elegido presidente de la Royal Society, un cargo que ocupó hasta el final de su vida. Como presidente, ordenó la inmediata publicación de las observaciones astronómicas del primer astrónomo real de Inglaterra John Flamsteed. Newton necesitaba estas observaciones para perfeccionar su teoría lunar; este tema le ocasionó ciertos conflictos con Flamsteed.

Newton también se implicó en una violenta discusión con Leibniz acerca de la prioridad de la invención del cálculo. Utilizó su cargo de presidente de la Royal Society para que se formara una comisión que investigara el tema, y él, en secreto, escribió el informe de la comisión que hacía a Leibniz responsable del plagio. Newton incluso recopiló la relación de acusaciones que esta institución había publicado. Los efectos de la disputa se alargaron casi hasta su muerte.

Además de su interés por la ciencia, Newton también se sintió atraído por el estudio de la alquimia, el misticismo y la teología. Muchas páginas de sus notas y escritos especialmente en los últimos años de su carrera están dedicadas a estos temas. Sin embargo, los historiadores han encontrado poca relación entre estas inquietudes y sus trabajos científicos

James Watt

James Watt (1736–1819), inventor e ingeniero mecánico escocés de gran renombre por sus mejoras de la máquina de vapor. Nació el 19 de enero de 1736, en Greenock, Escocia. Trabajó como constructor de instrumentos matemáticos desde los 19 años y pronto empezó a interesarse en el perfeccionamiento de las máquinas de vapor, inventadas por los ingenieros ingleses Thomas Savery y Thomas Newcomen, que se utilizaban en aquel momento para extraer agua de las minas. Watt determinó las propiedades del vapor, en especial la relación de su densidad con la temperatura y la presión, y diseñó una cámara de condensación independiente para la máquina de vapor que evitaba las enormes pérdidas de vapor en el cilindro e intensificaba las condiciones de vacío. La primera patente de Watt, en 1769, cubría este dispositivo y otras mejoras de la máquina de Newcomen, como la camisa de vapor, el engrase de aceite y el aislamiento del cilindro con el fin de mantener las altas temperaturas necesarias para una máxima eficacia.

En esa época, Watt era socio del inventor británico John Roebuck, que financió sus investigaciones. En 1775, sin embargo, Roebuck entró en contacto con el fabricante británico Matthew Boulton, propietario en Birmingham del Soho Engineering Works, y Watt y él comenzaron a fabricar máquinas de vapor. Watt continuó con sus investigaciones y patentó otros muchos e importantes inventos, como el motor rotativo para impulsar varios tipos de maquinaria; el motor de doble efecto, en el que el vapor puede distribuirse a uno y otro lado del cilindro, y el indicador de vapor que registra la presión de vapor del motor. Se retiró de la empresa en 1800 y desde entonces se dedicó por completo al trabajo de investigación.

La idea extendida pero equivocada de considerar a Watt como el verdadero inventor de la máquina de vapor se debe al gran número de aportaciones que hizo para su desarrollo. El regulador centrífugo o de bolas que inventó en 1788, y que regulaba automáticamente la velocidad de una máquina, tiene especial interés en nuestros días. Incorpora el principio de retroalimentación de un servomecanismo, al articular el circuito de salida con el de entrada, que es el concepto básico de la automatización. La unidad eléctrica vatio (*watt*) recibió el nombre en su honor. Fue también un afamado ingeniero civil, que hizo varios estudios sobre vías de canales. En 1767 inventó un accesorio para adaptarlo a los telescopios que se utilizaba en la medición de distancias. Murió el 19 de agosto de 1819 en Heathfield, Inglaterra.

Charles Robert Darwin

1. INTRODUCCIÓN

Charles Robert Darwin (1809–1882), científico británico que sentó las bases de la moderna teoría evolutiva, al plantear el concepto de que todas las formas de vida se han desarrollado a través de un lento proceso de selección natural. Su trabajo tuvo una influencia decisiva sobre las diferentes disciplinas científicas, y sobre el pensamiento moderno en general.

Nació en Shrewsbury (Shropshire), el 12 de febrero de 1809. Fue el quinto hijo de una acomodada y sofisticada familia inglesa. Su abuelo materno fue el próspero empresario de porcelanas Josiah Wedgwood; su abuelo paterno fue el famoso médico del siglo XVIII Erasmus Darwin. Tras terminar sus estudios en la Shrewsbury School en 1825, estudió Medicina en la Universidad de Edimburgo. En 1827 abandonó la carrera e ingresó en la Universidad de Cambridge con el fin de convertirse en ministro de la Iglesia de Inglaterra. Allí conoció a dos influyentes personalidades: el geólogo Adam Sedgwick y el naturalista John Stevens Henslow.

Este último no sólo ayudó a Darwin a ganar confianza en sí mismo, sino que también inculcó a su alumno la necesidad de ser meticuloso y esmerado en la observación de los fenómenos naturales y la recolección de especímenes. Tras graduarse en Cambridge en 1831, el joven Darwin se enroló a los 22 años en el barco de reconocimiento HMS *Beagle* como naturalista sin paga, gracias en gran medida a la recomendación de Henslow, para emprender una expedición científica alrededor del mundo.

2. EL VIAJE DEL *BEAGLE*

Su trabajo como naturalista a bordo del *Beagle* le dió la oportunidad de observar variadas formaciones geológicas en distintos continentes e islas a lo largo del viaje, así como una amplia variedad de fósiles y organismos vivos. En sus observaciones geológicas, Darwin se mostró muy sorprendido por el efecto de las fuerzas naturales en la configuración de la superficie terrestre.

En aquella época, la mayoría de los geólogos defendían la teoría catastrofista, que mantenía que la Tierra era el resultado de una sucesión de creaciones de la vida animal y vegetal, y que cada una de ellas había sido destruida por una catástrofe repentina, por ejemplo una convulsión de la corteza terrestre (véase Geología: *Siglos XVIII y XIX*). Según esta teoría, el cataclismo más reciente, el diluvio universal, había acabado con todas las formas de vida no incluidas en el arca de Noé. Las demás sólo existían en forma de fósiles. En opinión de los catastrofistas, cada especie había sido creada individualmente y era inmutable, es decir, no sufría ningún cambio con el paso del tiempo.

Este punto de vista (aunque no la inmutabilidad de las especies) había sido cuestionado por el geólogo inglés sir Charles Lyell en su obra en dos volúmenes *Principios de Geología* (1830–1833). Lyell sostenía que la superficie terrestre está sometida a un cambio constante como resultado de fuerzas naturales que actúan de modo uniforme durante largos periodos de tiempo.

A bordo del *Beagle*, Darwin descubrió que muchas de sus observaciones encajaban en la teoría uniformitaria de Lyell. No obstante, durante su viaje por Sudamérica, también observó gran diversidad de plantas, animales y fósiles, y recogió gran número de muestras que estudió a su regreso a Inglaterra. En las islas Galápagos, situadas frente a la costa de Ecuador, observó especies estrechamente emparentadas pero que diferían en su estructura y en sus hábitos alimenticios, y concluyó que estas especies no habían aparecido en ese lugar sino que habían migrado a las Galápagos procedentes del continente. Darwin no se dio cuenta en ese momento que los pinzones de las diferentes islas del archipiélago pertenecían a especies distintas. Más tarde, ya en Inglaterra, llegaría a la conclusión de que, cuando los pinzones llegaron al archipiélago desde el continente encontraron gran variedad de alimento, y al no tener competidores y estar aislados geográficamente, sufrieron una rápida adaptación a los distintos ambientes; con lo cual aparecieron nuevas especies que descendían todas ellas de un antepasado común.

3. LA TEORÍA DE LA SELECCIÓN NATURAL

Tras su regreso a Inglaterra en 1836, Darwin comenzó a recopilar sus ideas acerca del cambio de las especies en sus *Cuadernos sobre la transmutación de las especies*. La explicación de la evolución de los organismos le surgió tras la lectura del libro *Ensayo sobre el principio de la población* (1798) del economista británico Thomas Robert Malthus, que explicaba cómo se mantenía el equilibrio en las poblaciones humanas. Malthus sostenía que ningún aumento en la disponibilidad de alimentos básicos para la supervivencia del ser humano podría compensar el ritmo de crecimiento de la población. Este, por consiguiente, sólo podía verse frenado por limitaciones naturales, como las hambrunas o las enfermedades, o por acciones humanas como la guerra.

Darwin aplicó de inmediato el razonamiento de Malthus a los animales y a las plantas, y en 1838, había elaborado ya un bosquejo de la teoría de la evolución a través de la selección natural. Durante los siguientes

veinte años trabajó sobre esta teoría y otros proyectos de historia natural. Darwin disfrutaba de independencia económica y nunca tuvo necesidad de ganarse la vida. En 1839 se casó con su prima, Emma Wedgwood, y poco después se instalaron en la pequeña propiedad de Down House, en Kent. Allí tuvieron diez hijos, tres de los cuales murieron durante la infancia.

Darwin hizo pública su teoría por primera vez en 1858, al mismo tiempo que lo hacía Alfred Russel Wallace, un joven naturalista que había desarrollado independientemente la teoría de la selección natural. La teoría completa de Darwin fue publicada en 1859 como *El origen de las especies por medio de la selección natural*. Este libro, del que se ha dicho que conmocionó al mundo, se agotó el primer día de su publicación y se tuvieron que hacer seis ediciones sucesivas.

En esencia, la teoría de la evolución por selección natural sostiene que, a causa del problema de la disponibilidad de alimentos descrito por Malthus, los jóvenes miembros de las distintas especies compiten intensamente por su supervivencia. Los que sobreviven, que darán lugar a la siguiente generación, tienden a incorporar variaciones naturales favorables (por leve que pueda ser la ventaja que éstas otorguen), al proceso de selección natural, y estas variaciones se transmitirán a través de la herencia. En consecuencia, cada generación mejorará en términos adaptativos con respecto a las anteriores, y este proceso gradual y continuo es la causa de la evolución de las especies. La selección natural es sólo parte del amplio esquema conceptual de Darwin. Introdujo también el concepto de que todos los organismos emparentados descienden de antecesores comunes. Además ofreció un respaldo adicional al antiguo concepto de que la propia Tierra no es estática sino que está evolucionando.

4. REACCIONES A LA TEORÍA

Las reacciones ante *El Origen de las especies* fueron inmediatas. Algunos biólogos adujeron que Darwin no podía probar su hipótesis. Otros criticaron su concepto de variación, sosteniendo que ni podía explicar el origen de las variaciones ni cómo se transmitían a las sucesivas generaciones. Esta objeción en concreto no encontró respuesta hasta el nacimiento de la genética moderna a comienzos del siglo XX (véase Leyes de Mendel). Fueron muchos los científicos que siguieron expresando sus dudas durante los ochenta años siguientes. Sin embargo, los ataques a las ideas de Darwin que encontraron mayor eco no provenían de sus contrincantes científicos, sino de sus oponentes religiosos. La idea de que los seres vivos habían evolucionado por procesos naturales negaba la creación divina del hombre y parecía colocarlo al mismo nivel que los animales. Ambas ideas representaban una grave amenaza para la teología ortodoxa.

5. LOS AÑOS SIGUIENTES

Darwin pasó el resto de su vida ampliando diferentes aspectos de los problemas planteados en *El Origen de las especies*. Sus últimos libros, entre los que se encuentran *La variación de los animales y de las plantas bajo la acción de la domesticación* (1868), *La descendencia humana y la selección sexual* (1871), y *La expresión de las emociones en el hombre y en los animales* (1872) eran exposiciones detalladas sobre temas que sólo disfrutaban de un espacio limitado en *El origen de las especies*. La importancia de su trabajo fue ampliamente reconocida por sus coetáneos. Darwin fue elegido miembro de la Royal Society (1839) y de la Academia Francesa de las Ciencias (1878). Tras su muerte en Down, el 19 de abril de 1882 se le rindió el honor de ser enterrado en la abadía de Westminster.

Dmitri Ivánovich Mendeléiev

Dmitri Ivánovich Mendeléiev (1834–1907), químico ruso conocido sobre todo por haber elaborado la tabla periódica de los elementos químicos. Esta tabla expone una periodicidad (una cadencia regular) de las propiedades de los elementos cuando están dispuestos según la masa atómica.

Mendeléiev nació en Tobolsk (Siberia), estudió química en la Universidad de San Petersburgo y en 1859 fue enviado a estudiar a la Universidad de Heidelberg. Allí conoció al químico italiano Stanislao Cannizzaro, cuyos planteamientos sobre la masa atómica (*véase* Átomo) determinaron su opinión. Mendeléiev regresó a San Petersburgo y fue profesor de química en el Instituto Técnico en 1863 y profesor de química general en la Universidad de San Petersburgo en 1866. Escribió los dos volúmenes de *Principios de química* (1868–1870), uno de los primeros libros de texto sobre química, que se convirtió en un clásico.

Durante la elaboración de este libro, Mendeléiev intentó clasificar los elementos según sus propiedades químicas. En 1869 publicó la primera versión de la tabla periódica. En 1871 publicó una versión corregida en la que dejaba huecos para elementos todavía desconocidos. Su tabla y sus teorías ganaron una mayor aceptación cuando posteriormente se descubrieron tres de estos elementos: el galio, el germanio y el escandio.

Entre las investigaciones de Mendeléiev también hay que mencionar el estudio de la teoría química de la disolución, la expansión térmica de los líquidos y la naturaleza del petróleo. En 1887 emprendió un viaje en globo en solitario para estudiar un eclipse solar.

En 1890 abandonó la universidad como consecuencia de su postura política partidaria de reformas sociales. En 1893 fue director del departamento de Pesas y Medidas de San Petersburgo, cargo que desempeñó hasta su muerte.

La tabla periodica

1. INTRODUCCIÓN

Sistema periódico o **Tabla periódica**, esquema de todos los elementos químicos dispuestos por orden de número atómico creciente y en una forma que refleja la estructura de los elementos. Los elementos están ordenados en siete hileras horizontales, llamadas periodos, y en 18 columnas verticales, llamadas grupos. El primer periodo, que contiene dos elementos, el hidrógeno y el helio, y los dos periodos siguientes, cada uno con ocho elementos, se llaman periodos cortos. Los periodos restantes, llamados periodos largos, contienen 18 elementos en el caso de los periodos 4 y 5, o 32 elementos en el del periodo 6. El periodo largo 7 incluye el grupo de los actínidos, que ha sido completado sintetizando núcleos radiactivos más allá del elemento 92, el uranio (*véase* Elementos transuránicos).

Los grupos o columnas verticales de la tabla periódica fueron clasificados tradicionalmente de izquierda a derecha utilizando números romanos seguidos de las letras A o B, en donde la B se refiere a los elementos de transición. En la actualidad ha ganado popularidad otro sistema de clasificación, que ha sido adoptado por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, siglas en inglés). Este nuevo sistema enumera los grupos consecutivamente del 1 al 18 a través de la tabla periódica.

2. LEY PERIÓDICA

Esta ley es la base de la tabla periódica y establece que las propiedades físicas y químicas de los elementos tienden a repetirse de forma sistemática conforme aumenta el número atómico.

Todos los elementos de un grupo presentan una gran semejanza y, por lo general, difieren de los elementos de los demás grupos. Por ejemplo, los elementos del grupo 1 (o IA), a excepción del hidrógeno, son metales con valencia química +1; mientras que los del grupo 17 (o VIIA), exceptuando el astato, son no metales, que normalmente forman compuestos con valencia -1.

3. DESARROLLO HISTÓRICO

Como resultado de los descubrimientos que establecieron en firme la teoría atómica de la materia en el primer cuarto del siglo XIX, los científicos pudieron determinar las masas atómicas relativas de los elementos conocidos hasta entonces. El desarrollo de la electroquímica durante ese periodo por parte de los químicos británicos Humphry Davy y Michael Faraday condujo al descubrimiento de nuevos elementos.

En 1829 se habían descubierto los elementos suficientes para que el químico alemán Johann Wolfgang Döbereiner pudiera observar que había ciertos elementos que tenían propiedades muy similares y que se presentaban en triadas: cloro, bromo y yodo; calcio, estroncio y bario; azufre, selenio y telurio, y cobalto, manganeso y hierro. Sin embargo, debido al número limitado de elementos conocidos y a la confusión existente en cuanto a la distinción entre masas atómicas y masas moleculares, los químicos no captaron el significado de las triadas de Döbereiner.

El desarrollo del espectroscopio en 1859 por los físicos alemanes Robert Wilhelm Bunsen y Gustav Robert Kirchhoff, hizo posible el descubrimiento de nuevos elementos. En 1860, en el primer congreso químico internacional celebrado en el mundo, el químico italiano Stanislao Cannizzaro puso de manifiesto el hecho de que algunos elementos (por ejemplo el oxígeno) poseen moléculas que contienen dos átomos. Esta aclaración permitió que los químicos consiguieran una lista consistente de los elementos.

Estos avances dieron un nuevo ímpetu al intento de descubrir las interrelaciones entre las propiedades de los elementos. En 1864, el químico británico John A. R. Newlands clasificó los elementos por orden de masas atómicas crecientes y observó que después de cada siete elementos, en el octavo, se repetían las propiedades del primero. Por analogía con la escala musical, a esta repetición periódica la llamó ley de las octavas. El descubrimiento de Newlands no impresionó a sus contemporáneos, probablemente porque la periodicidad observada sólo se limitaba a un pequeño número de los elementos conocidos.

3.1. Mendeléiev y Meyer

La ley química que afirma que las propiedades de todos los elementos son funciones periódicas de sus masas atómicas fue desarrollada independientemente por dos químicos: en 1869 por el ruso Dmitri I. Mendeléiev y en 1870 por el alemán Julius Lothar Meyer. La clave del éxito de sus esfuerzos fue comprender que los intentos anteriores habían fallado porque todavía quedaba un cierto número de elementos por descubrir, y había que dejar los huecos para esos elementos en la tabla. Por ejemplo, aunque no existía ningún elemento conocido hasta entonces con una masa atómica entre la del calcio y la del titanio, Mendeléiev le dejó un sitio vacante en su sistema periódico. Este lugar fue asignado más tarde al elemento escandio, descubierto en 1879, que tiene unas propiedades que justifican su posición en esa secuencia. El descubrimiento del escandio sólo fue parte de una serie de verificaciones de las predicciones basadas en la ley periódica, y la validación del sistema periódico aceleró el desarrollo de la química inorgánica.

El sistema periódico ha experimentado dos avances principales desde su formulación original por parte de Mendeléiev y Meyer. La primera revisión extendió el sistema para incluir toda una nueva familia de elementos. Este grupo comprendía los tres primeros elementos de los gases nobles o inertes, argón, helio y neón, descubiertos en la atmósfera entre 1894 y 1898 por el matemático y físico británico John William Strutt Rayleigh y el químico británico William Ramsay. El segundo avance fue la interpretación de la causa de la periodicidad de los elementos en términos de la teoría de Bohr (1913) sobre la estructura electrónica del átomo.

4. TEORÍA DE LA CAPA ELECTRÓNICA

En la clasificación periódica, los gases nobles, que no son reactivos en la mayoría de los casos (valencia = 0), están interpuestos entre un grupo de metales altamente reactivos que forman compuestos con valencia +1 y un

grupo de no metales también muy reactivos que forman compuestos con valencia -1 . Este fenómeno condujo a la teoría de que la periodicidad de las propiedades resulta de la disposición de los electrones en capas alrededor del núcleo atómico. Según la misma teoría, los gases nobles son por lo general inertes porque sus capas electrónicas están completas; por lo tanto, otros elementos deben tener algunas capas que están sólo parcialmente ocupadas, y sus reactividades químicas están relacionadas con los electrones de esas capas incompletas. Por ejemplo, todos los elementos que ocupan una posición en el sistema inmediatamente anterior a un gas inerte, tienen un electrón menos del número necesario para completar las capas y presentan una valencia -1 y tienden a ganar un electrón en las reacciones. Los elementos que siguen a los gases inertes en la tabla tienen un electrón en la última capa, y pueden perderlo en las reacciones, presentando por tanto una valencia $+1$.

Un análisis del sistema periódico, basado en esta teoría, indica que la primera capa electrónica puede contener un máximo de 2 electrones, la segunda un máximo de 8, la tercera de 18, y así sucesivamente. El número total de elementos de cualquier periodo corresponde al número de electrones necesarios para conseguir una configuración estable. La diferencia entre los subgrupos A y B de un grupo dado también se puede explicar en base a la teoría de la capa de electrones. Ambos subgrupos son igualmente incompletos en la capa exterior, pero difieren entre ellos en las estructuras de las capas subyacentes. Este modelo del átomo proporciona una buena explicación de los enlaces químicos.

5. TEORÍA CUÁNTICA

El desarrollo de la teoría cuántica y su aplicación a la estructura atómica, enunciada por el físico danés Niels Bohr y otros científicos, ha aportado una explicación fácil a la mayoría de las características detalladas del sistema periódico. Cada electrón se caracteriza por cuatro números cuánticos que designan su movimiento orbital en el espacio. Por medio de las reglas de selección que gobiernan esos números cuánticos, y del principio de exclusión de Wolfgang Pauli, que establece que dos electrones del mismo átomo no pueden tener los mismos números cuánticos, los físicos pueden determinar teóricamente el número máximo de electrones necesario para completar cada capa, confirmando las conclusiones que se infieren del sistema periódico.

Desarrollos posteriores de la teoría cuántica revelaron por qué algunos elementos sólo tienen una capa incompleta (en concreto la capa exterior, o de valencia), mientras que otros también tienen incompletas las capas subyacentes. En esta última categoría se encuentra el grupo de elementos conocido como lantánidos, que son tan similares en sus propiedades que Mendeléiev llegó a asignarle a los 14 elementos un único lugar en su tabla.

6. SISTEMA PERIÓDICO LARGO

La aplicación de la teoría cuántica sobre la estructura atómica a la ley periódica llevó a reformar el sistema periódico en la llamada forma larga, en la que prima su interpretación electrónica. En el sistema periódico largo, cada periodo corresponde a la formación de una nueva capa de electrones. Los elementos alineados tienen estructuras electrónicas estrictamente análogas. El principio y el final de un periodo largo representan la adición de electrones en una capa de valencia; en la parte central aumenta el número de electrones de una capa subyacente.

Robert Boyle

Robert Boyle (1627–1691), científico británico, uno de los primeros defensores de los métodos científicos y uno de los fundadores de la química moderna.

Nació en Lismore, Irlanda, y estudió en Ginebra, Suiza. Se estableció en Inglaterra y se dedicó a la investigación científica. Boyle es considerado uno de los fundadores de los métodos científicos modernos porque creyó en la necesidad de la observación objetiva y de los experimentos verificables en los laboratorios,

al realizar los estudios científicos.

Boyle fue el primer químico que aisló un gas. Perfeccionó la bomba de aire y sus estudios le condujeron a formular, independientemente de su colega francés Edme Mariotte, la ley de física conocida hoy como ley de Boyle–Mariotte. Esta ley establece que a una temperatura constante, la presión y el volumen de un gas son inversamente proporcionales. En el campo de la química, Boyle observó que el aire se consume en el proceso de combustión y que los metales ganan peso cuando se oxidan. Reconoció la diferencia entre un compuesto y una mezcla, y formuló su teoría atómica de la materia basándose en sus experimentos de laboratorio. En su obra *El químico escéptico* (1661), Boyle atacó la teoría propuesta por el filósofo y científico griego Aristóteles (384–322 a.C.) según la cual la materia está compuesta por cuatro elementos: tierra, aire, fuego y agua. Propuso que partículas diminutas de materia primaria se combinan de diversas maneras para formar lo que él llamó corpúsculos, y que todos los fenómenos observables son el resultado del movimiento y estructura de los corpúsculos. Boyle fue también el primero en verificar las diferencias entre ácidos, bases y sales (véase Ácidos y bases). Entre sus obras están *Origen de formas y características según la filosofía corpuscular* (1666) y *Discurso de las cosas más allá de la razón* (1681). Boyle fue uno de los miembros fundadores de la Royal Society de Londres.

Joseph Louis Gay–Lussac

Joseph Louis Gay–Lussac (1778–1850), químico y físico francés conocido por sus estudios sobre las propiedades físicas de los gases. Nació en Saint Léonard y estudió en la École Polytechnique y en la École des Ponts et Chaussées de París. Después de impartir la enseñanza en diversos institutos fue, desde 1808 hasta 1832, profesor de física en la Sorbona.

En 1804 realizó una ascensión en globo para estudiar el magnetismo terrestre y observar la composición y temperatura del aire a diferentes altitudes. En 1809 formuló la ley de los gases que sigue asociada a su nombre. La ley de Gay–Lussac de los volúmenes de combinación afirma que los volúmenes de los gases que intervienen en una reacción química (tanto de reactivos como de productos) están en la proporción de números enteros pequeños. En relación con estos estudios, investigó junto con el naturalista alemán Alexander von Humboldt, la composición del agua, descubriendo que se compone de dos partes de hidrógeno por una de oxígeno. Unos años antes, Gay–Lussac había formulado una ley, independientemente del físico francés Jacques Alexandre Charles, que afirmaba que el volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta si la presión se mantiene constante; hoy se conoce como ley de Charles y Gay–Lussac.

En 1809 Gay–Lussac trabajó en la preparación del potasio y el boro e investigó las propiedades del cloro y del ácido cianhídrico. En el campo de la industria química desarrolló mejoras en varios procesos de fabricación y ensayo. En 1831 fue elegido miembro de la Cámara de los Diputados y en 1839 del Senado.