

EN TORNO A BOYLE: SU MUNDO Y SU OBRA CIENTÍFICA

INTRODUCCIÓN

Cuando escuchamos el nombre de Boyle casi todos, de forma inmediata, lo asociamos a una de las leyes de los gases. Pero, ¿cuál fue el resto de su obra científica? y ¿qué aportaciones más significativas hizo a la ciencia? No es muy general conocer la respuesta a esos interrogantes y, mucho menos, saber detalles de su biografía o del momento histórico en que vivió.

Por ello, bien vale la pena detenernos en los aspectos más sobresalientes de su pensamiento y del mundo en el que desarrolló su valiosísima contribución a la evolución de la química. Porque Boyle, en pleno siglo XVII, marcó un punto de inflexión en esa evolución al introducir una cuidada experimentación unida a la observación y al razonamiento. Y esta introducción de la razón en el pensar y en el hacer químico fue básicamente una consecuencia de la nueva corriente cultural que había supuesto el Renacimiento y que también trascendió al terreno de la química.

Su obra científica es, en definitiva, fruto de su pensamiento. Y su pensamiento, a su vez, viene determinado en gran medida por sus circunstancias personales y sociales, es decir, por su mundo, por lo cual es importante analizar éste último para poder comprender esa obra.

EL MUNDO DE BOYLE

El ambiente familiar de toda gran figura científica, su educación, sus círculos sociales, los acontecimientos biográficos más significativos o los acontecimientos históricos que le han rodeado son, generalmente, piezas sumamente útiles para



Soledad Esteban Santos

Dpto. de Química Orgánica y Biología – Facultad de Ciencias – UNED
C/ Senda del Rey, 9- E-28040 Madrid e mail: sesteban@ccia.uned.es

poder analizar y comprender su aportación a la ciencia. Y en el caso de Boyle esta utilidad se convierte casi en una necesidad a fin de poder conseguir una explicación que nos revele su formación y la trayectoria de sus ideas.

Su vida

Robert Boyle (1627-1691) nace en Lis-

more, en Munster, Irlanda, séptimo hijo de una familia muy rica perteneciente, además, a la aristocracia anglo-irlandesa (su padre fue primer conde de Cork) de sólida filiación protestante. Recibe una esmerada educación en muy diversas materias, estudiando desde latín y francés ya en sus primeros años, hasta lógica, retórica, álgebra y geometría en su edad adolescente. En este sentido, a los nueve años a fin de que prosiguiera sus estudios le envían a Inglaterra, concretamente a Eton (ciudad cuyo "college" sigue teniendo hoy en día un enorme prestigio) y después se traslada al continente europeo -viajando por Italia, Francia y Suiza- para completar su educación, siendo Ginebra el lugar donde principalmente esto se llevó a cabo. También allí, precisamente, una tormenta fortísima provoca en Boyle una impresión tal que le reafirma en sus convicciones religiosas, lo cual le conducirá en el futuro a tomar una decidida actitud ética y moral ante todas las manifestaciones de la vida. Y esto le influirá también sensiblemente en su posterior labor científica. De esta manera, cuando pasado el tiempo comienza a interesarse por la química, lo hace no tanto por el valor de ésta en sí misma sino porque podía ayudarle a comprender mejor a Dios y la naturaleza. En 1643 muere su padre, siendo ello el

motivo de que un año después, cuando contaba diecisiete de edad, volviese a Inglaterra y se instalase en la mansión que heredara de aquél, ubicada en la región de Dorsetshire, hasta 1655. Sin embargo, justo en el momento de su retorno, en 1644, vivió una temporada en Londres al lado de su hermana Lady Catherine Ranelagh, por un espacio de tiempo que aunque breve -no llegó a un año- resultó ser uno de los más decisivos en la formación de su pensamiento e ideas. La casa de su hermana, mujer de espíritu independiente y de gran inteligencia y personalidad, era frecuentada por muchos intelectuales de la sociedad londinense. Y, además, también acudía lo que podría considerarse como el ala políticamente progresista de entonces, representada por radicales y parlamentaristas y gran número de puritanos que coincidían en su rechazo a la monarquía absolutista de los Estuardo. Esto dio la oportunidad a Boyle de entrar en contacto con el mundo de la ciencia y de la filosofía a través de ilustres personajes del momento, como John Milton (1608-1674), que ha quedado para la posteridad como el gran poeta de las letras inglesas y, sobre todo, de Samuel Hartlieb ((1600-1662)). Estas relaciones dibujan en su vida nuevos horizontes, abriéndole rutas que marcarán las líneas de su pensamiento y de su futura actividad científica.

Por otra parte, desde 1649 Boyle comienza a realizar experimentos de química -e, incluso, también ensayos de tipo alquímico- gracias a disponer de un laboratorio que preparó en su propia casa de Dorset. Esta actividad le llegará a atraer tanto que le hace decidirse definitivamente por la ciencia. Fue creciendo así su reputación como científico, de tal manera que en 1653 es invitado a Oxford por John Wilkins (1614-1672), una importantísima figura de la Inglaterra de aquellos tiempos por su

talla intelectual y por sus conexiones políticas y sociales.

Sobre Oxford hay que matizar que era ya por entonces una ciudad de un enorme prestigio por sus ideas y ambiente cultural. Cuando el rey de Inglaterra Carlos I fue depuesto, hecho prisionero y ejecutado en 1649 por Oliver Cromwell (1599-1658) y los puritanos durante la guerra civil inglesa iniciada en 1648, muchos intelectuales partidarios del rey sufrieron también la represión puritana, con lo que se vieron obligados a exiliarse en Oxford, que los acogió abiertamente. De esta manera en su universidad confluieron gran número de hombres ilustres, desde médicos como William Harvey (1578-1657) hasta arquitectos como Christopher Wren (1632-1723) o pensadores como John Locke (1632-1704). Esta concentración de científicos, artistas y filósofos fomentó el intercambio de ideas y abrió una época brillantísima para esa ciudad, que se convirtió en un centro de enorme relevancia, tanto en las letras como, y sobre todo, en las ciencias. Prueba de esto último es la fundación en 1661 de la Royal Society de Londres, una de las primeras sociedades científicas, que tanto ha promovido la comunicación de los avances y novedades en las diferentes ciencias. Y en su creación la figura de Boyle tuvo una notable contribución. Boyle, pues, se trasladó a Oxford en 1656 y allí estuvo hasta 1668, un total de doce años, que resultaron los más fructíferos de toda su vida, como se analizará después. De Oxford regresó a Londres, de nuevo a la casa de su hermana, donde permaneció hasta el final de sus días, veintitrés años después, en 1691 (Figura 1) Murió, pues, a la edad de sesenta y cuatro años y fue enterrado en Saint Martin-in-the-Fields, iglesia por otra parte tan conocida por los buenos aficionados a la música clásica.

Su pensamiento científico

Boyle vive en un ambiente en el que las ideas de van Helmont (1579-1644) estaban en plena efervescencia. Los seguidores de van Helmont defendían la experimentación como camino para conocer el comportamiento del mundo, si bien se trataba de una experimentación unida a la iluminación. Esas ideas llegaron a los filósofos de la naturaleza de Inglaterra principalmente a través de Hartlieb y su círculo de intelectuales, los cuales aceptaron y divulgaron muchas de ellas. Y es así como Boyle va recibiendo todas



Figura 1.- Robert Boyle a los sesenta y tres años.

esas esa influencias, incluyendo la de la alquimia, ya que era un mundo en el que aún existían muchos fervientes seguidores de aquella. Pero a su llegada a Oxford, donde había un importante grupo de filósofos de la naturaleza que defendían los principios mecanicistas, Boyle empieza a sentir una profunda atracción por las teorías del físico Francis Bacon (1561-1626). Éste mantuvo ante todo la necesidad de *experimentar* y de *observar* para recoger datos con los que poder crear las teorías mediante un proceso inductivo, lejos de los argumentos lógico-retóricos tan característicos de los silogismos aristotélicos. Pues para Bacon la ciencia no podría avanzar de otra manera y así lo comprendió Boyle, que inició en Oxford una importante etapa de investigación sobre la naturaleza de la materia a través de la experimentación. El conjunto de todas esas ideas, teorías y corrientes marcaron, pues, el pensamiento científico de Boyle.

Su pensamiento religioso

Pero, además, a esta formación científica "mixta" hay que unir su espíritu profundamente religioso y devoto, que le llevó a pretender realizar un nexo entre ciencia y religión. Sin embargo, no creía como los helmontistas en la iluminación divina como fuente de conocimiento: éste vendría a través de la experimentación, mas aunque Dios no iluminara al investigador lo protegía en sus experimentos contra posibles accidentes. El universo era de Dios y en ese universo todos los cuerpos de la naturaleza habían sido creados y puestos en movimiento por Él, que los gobernaba mediante unas leyes. Por esto

también el estudio de la naturaleza era como un deber religioso, como una obligación impuesta por Dios para poder llegar a conocerle, lo cual enlaza muy directamente con la cultura protestante, en la que la idea del destino o la predestinación está tan implicada¹. Todo este sentir se ve también reflejado en su obra escrita de carácter religioso y moral, con numerosos sermones, conferencias, estudios sobre las Sagradas Escrituras y temas de acción misionera, de un volumen mayor, incluso, que el de sus textos de carácter científico^{2a}. En la misma dirección, contribuyó también -o al menos sufragó- a la traducción de la Biblia a diversos idiomas, entre ellos el gaélico.

LA OBRA CIENTÍFICA DE BOYLE

Su aportación científica capital la constituye su teoría corpuscular de la materia, con la que pretendió explicar todo el comportamiento de ésta. Pero antes de adentrarnos en esa teoría de Boyle es conveniente realizar una revisión de la teoría atómica de la materia a lo largo de la Edad Media y del Renacimiento para situarla en los tiempos de Boyle.

La teoría atómica en los inicios del renacimiento^{3, 4}

Geber, que parece corresponder al nombre latinizado del alquimista árabe Djibir Ibn Ajan (780-840), había recogido la doctrina de los *minima naturalia* (o partículas químicas más pequeñas) de Aristóteles en su obra *Summa Perfectionis*, muy difundida en la Edad Media. Por otra parte, hay que tener en cuenta que en el Renacimiento se redescubren los escritos del mundo clásico, a lo que hay que añadir la difusión de los textos que permitió la invención de la imprenta, en 1450. Así, en 1473 se publica el poema de Lucrecio (Tito Lucrecio Caro, 95-55 a.C.) *De Rerum Natura*, que contenía las ideas de la corriente filosófica de los epicúreos. Y en 1575, la *Pneumatica* de Herón (aprox. s. I a.C.), en la que se expone una teoría atómica no epicúrea, según la cual entre las partículas de la materia existirían unos pequeños vacíos que justificarían las propiedades de las distintas sustancias: al existir esos espacios las partículas podrían agitarse, con lo que se explicaría también la noción de calor. Esto conferiría un gran interés a esta teoría como alternativa a la filosofía epicúrea, uno de cuyas ideas básicas era la aceptación del vacío absoluto, idea que la teoría aristotélica no podía admitir,

pues no concebía el movimiento en el espacio vacío, siendo el movimiento una pieza fundamental en el aristotelismo.

Todo esto conlleva a que, de una manera o de otra, ya en los primeros años del Renacimiento la idea de la materia como constituida por corpúsculos fuese familiar para los filósofos naturales, si bien más en la línea de los *minima naturalia* de Aristóteles. Dicha idea fue utilizada tanto por físicos, así Galileo Galilei (1546-1642), René du Perron Descartes (1596-1650) y Francis Bacon, o por químicos, como el mismo van Helmont. Por ejemplo, para Descartes en la materia habría tres grados: la materia terrestre; la materia celeste, más sutil y que llenaba los huecos de la materia terrestre, y una materia aun más sutil o corpúsculos, que seguirían llenando los huecos más pequeños. Posteriormente, el filósofo francés Pierre Gassendi (1592-1655), dio un impulso realmente novedoso a esta postura de la filosofía natural al defender la idea del vacío y con ella la teoría atómica epicúrea frente a las ideas aristotélicas, lo cual posteriormente tendrá una influencia decisiva en los trabajos de Boyle.

A todo esto hay que añadir el crecimiento del interés por la ciencia que el descubrimiento de América trajo consigo, al abrir un "nuevo mundo", con nuevos minerales, plantas y fauna por explorar y estudiar.

La teoría corpuscular de Boyle

Cuando Boyle irrumpe en el mundo científico la situación respecto a la teoría de la materia era, en definitiva, la resultante de haberse ido fraguando los principios de una filosofía mecanicista con la aceptación de la interpretación del mundo en términos de unos átomos o corpúsculos y de su movimiento. Esto le proporcionará una base teórica fundamental para la explicación de sus cuidadosos experimentos.

Durante su etapa en Oxford, Boyle había llegado a un nivel y madurez en su pensamiento científico que le llevaron a realizar una profunda crítica a los conceptos de Aristóteles (384-323 a.C.) -con su teoría de los cuatro elementos, aire, agua, tierra y fuego- y también a los de Paracelso (1493-1541) -con su teoría de los tres elementos fundamentales, sal, mercurio y azufre-, en cuanto a la idea en ambos de la preexistencia de unas formas

THE SCEPTICAL CHYMIST: OR CHYMICO-PHYSICAL Doubts & Paradoxes,

Touching the
SPAGYRIST'S PRINCIPLES
Commonly call'd
HYPOSTATICAL,
As they are wont to be Propos'd and
Defended by the Generality of
ALCHYMISTS.

Wherunto is promis'd Part of another Discourse
relating to the same Subject.

B Y

The Honourable ROBERT BOYLE, Esq;

L O N D O N,

Printed by J. Cadwell for J. Crooke, and are to be
Sold at the Ship in St. Paul's Church-Yard.
M D C L X I.

Figura 2.- Portada de "The Sceptical Chymist", según la edición original.

y cualidades generales, responsables de las propiedades de cada una de las sustancias de la naturaleza. Esta crítica la plasma en su obra cumbre, *The Sceptical Chymist*^{2b} (*El Químico Escéptico*), publicada en 1661 (fig. 2) y escrita en forma de una conversación entre cuatro personajes más o menos ficticios, aunque a través de uno de ellos (Carneades) se vislumbra al mismo Boyle.

Fue un escritor extraordinariamente fecundo, autor de numerosos escritos, con una literatura muy interesante, pero confusa y de difícil lectura. Aunque a primera vista parece una escritura desorganizada, leyendo detenidamente y en detalle se observa que el autor sí sigue un sistema. *El Químico Escéptico* tiene también esas características, por lo que no es muy fácil de leer por su gran cantidad de divagaciones, pero resulta importantísima para el desarrollo del cuerpo teórico de la química, debido a las conclusiones hacia las que Boyle apunta. Propone que muchos de los cuerpos que tomamos como elementos no son tales, sino que son compuestos o "cuerpos mixtos", como él los llama. Pero, ante todo, hay que tener presente el proceso mental seguido por Boyle: *va dudando* de todas las propuestas -de ahí su escepticismo- y exige su evidencia experimental. Otro de sus grandes méritos fue, pues, que *había que comprobar* experimentalmente toda

propuesta que se hiciera.

Una prueba muy frecuente en aquellos tiempos para demostrar la existencia de los cuatro elementos era el llamado "análisis del fuego", mediante el cual se estudiaban los productos a los que la combustión de diferentes materiales daba lugar. De esta forma, uno de las pruebas más clásicas de este tipo era la combustión de la madera, con la que se pretendía demostrar la existencia de los cuatro elementos aristotélicos: al quemar un trozo de madera se desprenderían unos vapores (*aire*), también se formaban unos productos líquidos (*agua*), quedaba un residuo sólido (*tierra*) y el *fuego* mismo era el que daba lugar a esa transformación. Tras analizar numerosísimos materiales con esta técnica, llegó Boyle a sus interesantes conclusiones: en caso de que existieran esos principios elementales, podrían separarse y recombinarse de diferente manera en la misma prueba del

fuego, resultando de ello nuevos cuerpos que constituirían los "cuerpos mixtos", con lo cual ponía en duda que ésa fuera una prueba fidedigna de la demostración de la composición última de los cuerpos. Y aunque estas propuestas no fueran del todo originales, ya que Gassendi también las había manifestado con anterioridad, tal vez el mayor éxito de Boyle sea su aceptación de una *teoría corpuscular* en cuanto a los corpúsculos como integrantes de los principios de todos los cuerpos. Respecto a la idea de van Helmont de la existencia de un solo elemento, el agua, aunque pudiese parecer que Boyle la apoyaba, en verdad no era así. Opinaba que con gran probabilidad el agua era una aglomeración de partículas y que, en definitiva, no actuaría como elemento generador único de todos los demás. A esta conclusión le llevaron de nuevo meticulosos experimentos realizados tanto con organismos vivos (semillas o plantas, como es, entre otros, su repetición del famoso "experimento del sauce" de van Helmont, en el que se estudiaba cuidadosamente el crecimiento de un joven sauce por acción del agua) como con productos de origen orgánico (néctares, perfumes...) o inorgánico (minerales y metales). Para Boyle, como químico y también filósofo mecanicista, la explicación final de la naturaleza de la materia -es decir, de las propiedades químicas de las sus-

tancias- residiría en unos principios mecánicos (de *movimiento*) y otros geométricos (de *tamaño y forma*) de las partículas constituyentes. Y estos últimos más bien tomados en el sentido de que las propiedades químicas dependerían de la manera en que las partículas de un cuerpo estuvieran dispuestas para reaccionar con las de otro cuerpo. Esos corpúsculos estarían en continuo movimiento, el cual iría aumentando con la temperatura. Sin embargo, las propiedades de los cuerpos no podían justificarse tan sólo por unas características mecánicas y geométricas de sus corpúsculos, como pretendía la filosofía mecanicista clásica. Por ejemplo, para Descartes la forma geométrica en sí misma era lo fundamental y los tres elementos de Paracelso serían en realidad tres formas: la irregular (equivalente al azufre), la masiva y sólida (la sal) y la larga y delgada (el mercurio). Para Boyle lo esencial era que esos corpúsculos o *minima naturalia* (moléculas en nuestro lenguaje actual) además interaccionarían, plasmándose su interacción en los fenómenos químicos. Es decir, para él serían muy importantes esas interacciones, existiendo un "algo" que uniría esos corpúsculos entre sí, con lo cual hizo en cierto modo una predicción del enlace químico.

Boyle conjugaba todas esas ideas científicas con la religión, alegando que Dios era el que había dotado a esas partículas de su movimiento, tamaño y forma. Opinaba al igual que Descartes -aunque "sus" corpúsculos no coincidieran con la idea de partículas de éste último- que en la naturaleza todos los fragmentos de materia estarían en comunicación con los demás, sometidos a diversas fuerzas. Las distintas materias no estarían aisladas sino constituyendo un conjunto, un todo, como "una gran obra de reloj" en la que, para Boyle, Dios sería el gran relojero. Este aspecto era importante, pues la teoría corpuscular clásica había sido considerada hasta ese momento como atea debido a su materialismo. La filosofía epicúrea proponía que el mundo no era más que una combinación de átomos: no habría separación entre el cuerpo y el alma, estando ésta también constituida por átomos, con lo que se negaba su inmortalidad. Esto fue motivo de que esta doctrina fuera condenada por el cristianismo. Pero gracias a la contribución de Boyle, la filosofía mecanicista o corpuscular fue aceptada y tenida en cuenta en

el mundo científico. Porque aunque la teoría atómica fuera una de las teorías de la materia más antiguas -sus principios datan del siglo IV A.C.- permaneció olvidada durante muchísimo tiempo y sólo fue aceptada por la comunidad científica hacia mediados del siglo XVII. Y, muy posiblemente, Boyle optó por el término "corpúsculo" en lugar del término "átomo" para evitar las connotaciones tan negativas de este último. Por otra parte, en todo este proceso no hay que olvidar un notable hecho perteneciente al ámbito de la tecnología. Se trata del desarrollo del microscopio compuesto, llevado a cabo por el ayudante de Boyle, Robert Hooke (1635-1701), que contribuyó enormemente al éxito de la teoría corpuscular. Y esto fue así porque permitió percibir lo diminuto y, con ello, que el hombre aceptara la existencia de aquello que no podía ver a simple vista. He aquí un buen ejemplo de la estrecha relación entre la tecnología y la ciencia.

Siguiendo con las ideas de Boyle, con su sistema corpuscular se podían explorar e interpretar muchísimos fenómenos y, además, *verificarlos por medio de experimentos*. Abrió el camino en química a la dialéctica teoría/experimentación. Con esta sencilla teoría corpuscular de Boyle no era necesario recurrir a ninguna de las ideas del tipo de los elementos aristotélicos o de principios generales de la materia. Por el contrario, el término de *elemento* adquirió un nuevo significado, pues ya no tenía por qué ser una sustancia

omnipresente en la naturaleza, sino que elementos serían simplemente aquellos cuerpos que ya no se podían descomponer en otros.

El estudio de Boyle con gas

Interesado en estudiar los fenómenos de la combustión y de la respiración, Boyle en 1658 construye -ayudado de nuevo por su joven colaborador Hooke- una variación de la *máquina neumática* inventada por el alemán Otto von Guericke (1602-1686) poco antes (fig. 3). Von Guericke, hacia 1650, realizó ante los habitantes de la ciudad de Magdeburgo una interesantísima demostración con esta máquina. Con ella extrajo el aire del interior de una esfera metálica constituida por dos semiesferas unidas, aunque separables; sin embargo, estos hemisferios no lograron ser separados entre sí ni por la fuerza de dieciséis caballos. Con este espectacular experimento (cuyo modelo suele exponerse en muchos museos de la ciencia) logró demostrar lo que ya había descubierto en su laboratorio, la fuerza de compresión que la atmósfera ejercía sobre esa esfera. Después, en 1657, el mismo von Guericke publicó el desarrollo de su máquina, que en realidad no es otra cosa que una bomba de vacío.

El invento de esta máquina neumática (cuya denominación proviene de la palabra griega *pneuma*, aire, respiración, alma) tuvo unos resultados verdaderamente revolucionarios: en el terreno práctico abrió un camino fundamental para el trabajo experimental con gases y en el terreno teórico contribuyó a demostrar la existencia del vacío, con lo cual evidenció el error de la filosofía aristotélica sobre la materia en su negación de aquél. Y esto último, a su vez, proporcionó a Boyle, de forma indirecta, un firme apoyo a su teoría corpuscular. En este aspecto, conviene recordar que poco antes el físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) había puesto de manifiesto el vacío por primera vez, en los trabajos que dieron lugar a su invención del barómetro, en 1643.

Empleando esta máquina Boyle pudo realizar un enorme número de experimentos en los que intervenía el aire, tanto con ratones y pájaros como con velas. Observó así que parte del aire desaparecía durante los procesos de respiración de esos animales o en la combustión de las velas; es decir, se consumía. Consideró asimismo que el aire transportaba las impurezas desde los pulmones al exterior.

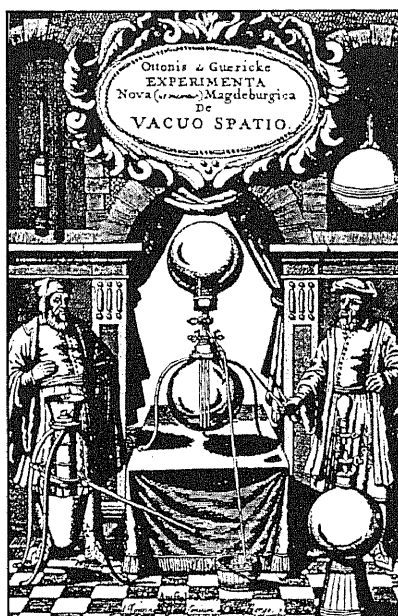


Figura 3.- Grabado de la máquina neumática de Otto von Guericke.

Con todo esto demostró que para la combustión se necesitaba aire y, además, muchas de las características físicas de éste. Publicó estos resultados en 1660, *New Experiments Physico-Mechanical, Touching the Spring of the Air and its Effects*^{2c}. También realizó un importante descubrimiento: el aumento de peso que sufrían los metales durante su proceso de calcinación, en la cual pasaban a lo que entonces se denominaban "cales", que no eran otra cosa que el óxido correspondiente.

Sin embargo, lo más sobresaliente de esos experimentos con aire fue que le condujeron a enunciar la ley sobre la comprensibilidad de los gases, la famosa la *ley de Boyle*. Esta ley, de tipo empírico y con la que relacionó la presión con el volumen ocupado por el aire, fue establecida por Boyle al observar en múltiples experimentos que siempre se cumplía una relación inversamente proporcional entre ambas variables, introduciendo una expresión matemática que expresaba dicha relación. La publicó primero en 1660 y poco después, en 1661, leyó un informe sobre ella ante la Royal Society. Sin embargo, de manera totalmente independiente fue también descubierta por el monje francés Edmé Mariotte (1620-1684), tan sólo dieciséis años después, por lo que muchas veces recibe el nombre de *ley de Boyle-Mariotte*. En cualquier caso, este descubrimiento pudo ser llevado a cabo por la utilización en esos experimentos del tubo en U que Torricelli puso a punto cuando construyó el primer barómetro.

Por otra parte, es interesante incidir en que posteriormente el mismo Isaac Newton (1642-1727), tan influido por las ideas de Boyle, logró deducir de forma matemática la ley de Boyle, simplemente partiendo del supuesto de que los gases estaban constituidos por partículas.

La universalidad de Boyle

Como acabamos de ver, las investigaciones de Boyle sobre el aire fueron fruto de sus experimentos para analizar los fenómenos de combustión y respiración. Esto nos muestra cómo en aquellos tiempos era muy común el estudio de muy diversos procesos de la naturaleza, ya fuesen del ámbito estricto de la química, de la biología, de la física, de la fisiología, de la medicina... Tal es el caso de Locke^{5, 6}, amigo también de Boyle y con el que coincidió en su estancia en Oxford. A pesar de ser uno de los grandes maestros

en filosofía política, tuvo enorme afición por la investigación científica y por la astronomía, llegando a realizar experimentos químicos y estudiando incluso medicina. Eran hombres que sentían curiosidad por muy distintas áreas del saber, curiosidad a la que unían una gran formación. Boyle es otro ejemplo de esta universalidad. Así, ya hacia 1648 había realizado una interesante incursión en fisiología en conexión con la química, como refleja en su obra *Some Considerations Touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy*^{2c} (1663 y 1671), en la que se muestra partidario de la idea de Paracelso de considerar la digestión como un proceso químico y propone aplicar el análisis químico a la sangre y a la orina. Otra prueba de ello son también sus estudios sobre el papel de la sangre en los pulmones: William Harvey, que fue médico del rey Carlos I, había demostrado el fenómeno de la circulación de la sangre en 1628. Cuando Boyle se instala en Oxford ya gozaba de prestigio como químico y su presencia despierta en todos aquellos intelectuales el interés por la química, poniéndose de manifiesto una tendencia a buscar en ella la explicación a los fenómenos fisiológicos. Tal era el caso del papel de la sangre en el organismo, ya que la muerte de Harvey había dejado este estudio sin concluir. El desarrollo de la química recibe así un enorme impulso, que anima a Boyle a seguir trabajando en Oxford en sus experimentos y a rodearse de interesantísimos discípulos. Tales son Peter Stahl⁶ (o Stael), inmigrante alemán de Alsacia y al que no hay que confundir con Georg Stahl, creador de la teoría del flogisto, John Mayow (1641-1679) o Robert Hooke, del que ya se ha tratado en varias ocasiones. Todos ellos imparten clases de química y continúan investigando, sobre todo en los fenómenos de combustión.

Así, Robert Hooke desarrolla la curiosa *teoría nitro-aérea*, que relaciona la pólvora con la combustión y con los fenómenos meteorológicos de las tormentas. Los truenos serían semejantes a la explosión de la pólvora y los relámpagos, a la luminosidad que se produce en el fogonazo correspondiente. Hooke suponía que en el aire, disolvente universal, existirían además de cuerpos sulfurosos una sustancia muy similar a la que existe en el nitro o salitre (en esto no se equivocó, ya que evidentemente previó la presencia en el aire de lo que se conocería des-

pués como "oxígeno"). Otro de sus discípulos, el médico de Cornualles John Mayow continuó con esta teoría, explicando con ella muchos fenómenos químicos, ambientales y fisiológicos. El azufre y el nitro serían los principios responsables de todos esos fenómenos, con lo que resultaba en el fondo una teoría dual (como, por ejemplo, la del ying y yan del taoísmo chino).

Investigaciones sobre química, biología, física o fisiología son muestras de la universalidad de Boyle. Otro ejemplo podríamos encontrarlo en otros de sus trabajos relacionados también con la química, aunque en un campo diferente: se trata de los relativos al análisis químico, que por su importancia merecen capítulo aparte.

Boyle y el análisis químico

En este terreno llevó a cabo también una valiosísima aportación y no sólo en el aspecto más práctico de posibilitar el análisis de ciertas sustancias, sino también en el teórico. Y, concretamente, en la química de ácidos y bases jugó Boyle un importante papel al dar un nuevo sentido al concepto de ácido a partir de que él mismo obtuviera un *indicador*, el concentrado o jarabe de violetas, el cual tomaba coloración roja con los ácidos y verde con los álcalis, según expuso en su escrito *Experiments and Considerations Touching Colours*^{2d} (1664). Definió así y caracterizó los ácidos en virtud del color rojo que hicieran tomar a ese indicador, terminando con la prueba de acidez tan antigua y confusa, la de la efervescencia. Realizó también una clasificación experimental de las disoluciones en ácidas, alcalinas y neutras, que resultó de gran valor para los analistas químicos. Posteriormente, en 1675, en su obra *Reflections upon the Hypothesis of Alkali and Acidum*, realiza en relación a la teoría de los dos elementos de Silvio (1614-1672) y Tachenio (1620-1690) -según la cual la propiedad fundamental para la clasificación de las sustancias residiría en su carácter ácido o alcalino- una profunda crítica.

Siguiendo en el terreno de la química analítica, introdujo nuevos reactivos para caracterizar ciertas sustancias. Tales fueron el gas amoníaco para el ácido clorhídrico o el nitrato de plata para los cloruros.

Boyle y la alquimia

Boyle siempre había sentido respeto por la alquimia e, incluso, creía en las

transmutaciones -lo cual puede parecer paradójico si se piensa en su método, basado en el razonamiento más estricto- aunque como procesos impregnados de una idea sobrenatural. Así, lo expresó en sus escritos *The Generation and Transmutation of Metals*, de 1670, y *A Historical Account of the Degradation of Gold by an Antielixir*^{2e}, donde describió una transmutación de oro en plata. No obstante, últimamente se han realizado algunas investigaciones⁷ que ponen en duda la sinceridad de la postura de Boyle ante la alquimia, proponiendo que tal vez su adhesión a ésta era tan sólo una especie de excusa para atraer a los alquimistas hacia la filosofía corpuscular.

Conclusiones

Con Boyle se entra, pues, en la época de cambio profundo en la evolución de la química. Y esto porque a una cuidada experimentación unió la observación y el razonamiento. Las dos herramientas

clave de sus estudios fueron su gran sentido crítico, por una parte, y la meticulosidad y cuidado con los que llevaba a cabo todos sus experimentos, por otra. Por eso él mismo es el "químico escéptico" que nada cree de antemano, sino que sistemáticamente se pregunta el porqué, para comprobarlo experimentalmente, razonar los resultados y hallar así la respuesta.

Es el gran químico del siglo XVII, de ideas y trayectoria muy diferentes a los anteriores, pese a lo cual no dejase de estar influido por ellos. Con Boyle puede decirse que la química entra dentro de la filosofía natural y es considerada como algo "serio", con lo que abandona sus hábitos de misterio, secretismo y oscurantismo de ciencia oculta. Sin embargo, muchos de los principios y estudios alquimistas seguían subsistiendo, incluso en él mismo.

En el aspecto teórico, su gran triunfo es la teoría corpuscular. Pero en cuanto a la química práctica, del hacer en un

laboratorio, los químicos no hicieron tanto caso a esta teoría puesto que, aunque explicaba las reacciones, no era capaz de predecirlas ni de dar una diferenciación en el plano de lo real entre sustancias simples y sustancias complejas. Por este motivo, muchos químicos siguieron aceptando la teoría de los elementos en el sentido aristotélico como se venía haciendo desde las épocas alquimistas, aunque admitieron que podían ser más de cuatro, con lo que su número fue aumentando poco a poco. Pese a ello, con Boyle el concepto de elemento adquiere una nueva dimensión, predecesora de la futura definición de elemento de Lavoisier (1743-1794). Y con su teoría corpuscular, a través de la cual pretendía explicar todo el comportamiento de la materia, marcó las pautas para la teoría atómica de Dalton (1766-1844).

Por lo cual, muchos autores atribuyen a Boyle el comienzo de lo que suele llamarse revolución química.

Bibliografía

1. Grell, O.P. "Protestantism, Natural Philosophy and the Scientific Revolution", *Studies in History and Philosophy of Science*, 1992, 23, 519-527.

2. Hunter, M y Davis, E.B. (ed.) (1999): "The Works of Robert Boyle". London, Pickering & Chatto, 14 vols. 2 a: vol. 1, 51-

139; vol. 2, 380-488; vol. 8, 3-118 y 233-314; vol. 11, 281-366; vol. 14, 173-283. 2 b: vol. 2, 205-378. 2 c: vol. 1, 141-301; vol. 6, 27-188; vol. 9, 121-264; 2 d: vol. 3, 189-559; vol. 13, 289-361. 2e: vol. 4, 3-201.

3. Boas, M.(1976): "Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry". N. York. Kraus Reprint Co., 75-107.

4. Pellón González, I. An.REQ Quim., 1999, 95(2), 34-42.

5. Meynell, G., "Locke, Boyle and Peter Stahl", *Notes and Recordings of the Royal Society of London*, 1995, 49, 185-192.

6. Introducción por Rodríguez Aranda, L. en: Locke, J. (1973): "Ensayo sobre el Gobierno Civil". Madrid, ed. Aguilar.

7. Phillips, P.S. y Pennington, M. "Boyle and the Demise of Alchemy", *Educ. in Chem.*, 1994, 11, 151-153.

FUENTES

Bensaude, B. y Stengers, I. (1997): "Historia de la Química". Madrid. Addison-Wesley Iberoamericana Española, S.A.

- Beretta, M. (1993): "The Enlightenment of Matter". N. York. Science History Publications.

- Brock, W.H. (1992): "Historia de la Química". Madrid. Alianza Editorial.

- Esteban Santos (2001): "Introducción a la Historia de la Química". Madrid. Cuadernos de la Uned. Ediciones Uned

- Hofer, F. (1866): "Histoire de la Chimie". Paris. Gutenberg Reprints.

- Ihde J.I. (1984): "The Development of Modern Chemistry". New York. Dover Publications, Inc

- Leicester H.M. (1968): "Source Book in Chemistry". Cambridge, Massachusetts. Harvard University Press.

- Levere, T.H. (1971): "Affinity and Matter. Elements of Chemical Philosophy 1800-1865". Oxford. Clarendon Press.

- Lucrecio (1969): "De la Naturaleza de las Cosas". Madrid. Espasa-Calpe.

- Multhaupt, R.P. (1966): "The Origins of Chemistry". London. Oldbourne.

- Ostwald, W. (1916): "L'Évolution d'une Science, La Chimie". Paris. Ernest Flammarion Ed.

- Partington, J.R. (1961-1970): "A History of Chemistry". London, Macmillan & Co. Ltd. 4 vols.

- Sánchez Ron, M. (1999): "Como al León por sus Garras". Madrid. Ed. Debate.

- Sarton, G. (1959): "Historia de la Ciencia. La Ciencia durante la Edad de Oro griega. Ciencia y Cultura en los últimos tres siglos A.C." Buenos Aires. Ed. Universitaria de B.Aires.

- Taton, R. (ed.) (1989): "Historia General de las Ciencias". Barcelona. Destino.

- Wojtkowiak, B. (1986): "Historia de la Química". Zaragoza. Ed. Acribia.