

Lavoisier y la Revolución Francesa

JOSE LUIS VILLAVECES C.*



Retrato de Lavoisier que figura en el frontispicio de una de las Ediciones de sus Oeuvres (1864).

Cuando Henry Le Chatelier, uno de los fundadores de la termodinámica química, prologó una de las ediciones del Tratado Elemental de Química de Lavoisier, afirmó que de su publicación "date l'existence de la Chimie en tant que Science Veritable". La afirmación de Le Chatelier contrasta fuertemente por la hecha por Kant cinco años antes de la publicación del tratado, cuando afirmó que "la química debe permanecer definitivamente excluida de aquellas disciplinas que se conocen como Ciencias Naturales (Naturwissenschaften)". Hay así en el campo de la química una revolución tan importante como la que se da en el campo de la política de la afirmación tajante de que no podía ser una ciencia, a su nacimiento como "Ciencia Verdadera".

* Grupo de Química Teórica. Departamento de Química U. N. Miembro de número de la Academia Colombiana de Ciencias.

Antes de estudiar cual fue el aporte de Lavoisier, que tan drásticamente cambió la condición epistemológica de la Química, es interesante anotar que el impacto de este cambio fue inmediatamente percibido por sus contemporáneos, franceses y extranjeros. Hasta en las lejanas montañas de Nueva Granada, el joven Francisco José de Caldas escribe a su amigo Santiago Arroyo en Santa Fe: "vea usted si se pueden conseguir los libros siguientes: Química de Lavoisier en dos tomos,...". Y en la primera carta que escribe desde Quito, en enero de 1802, después de conocer a Humboldt, comenta:

"¡Cuántas luces sobre los asombrosos descubrimientos de Lavoisier!... "Pero, volviendo a Francia, podemos citar, por ejemplo, del informe rendido por Fourcroy ante la Sociedad Real de Medicina en el mismo año de la revolución:

"La sociedad nos ha encargado a M. Horne y a mí a examinar la obra de Lavoisier... Como este tratado, que hemos leído con el más vivo interés, ofrece un método elemental diferente a todos los que se hayan seguido en obras del mismo género, hemos creído necesario dar cuenta muy detallada a la compañía...". "...Los físicos y todos los que se consagran al estudio de la filosofía natural saben que es a las experiencias de Lavoisier que se debe la revolución que la química experimenta hace algunos años".

La revolución en la química y la revolución en la sociedad se dan al mismo tiempo y son los académicos franceses quienes denuncian que aquella ocurre y la atribuyen a Lavoisier. Este mismo es perfectamente consciente de la simultaneidad de las dos revoluciones: en febrero de 1790 escribió a Benjamin Franklin, a quien había conocido en París cuando buscaba salitre y pólvora para los revolucionarios americanos. Después de explicarle los principios de su nueva química, la forma en que estos echan por tierra la teoría del flogisto y la manera en que han sido aceptados por varios químicos muy importantes, continúa:

"He aquí, pues, una revolución que ha experimentado la química después de vuestra partida de Europa y la tendrá por bastante avanzada, e incluso, totalmente hecha si os encontráis entre nosotros.

Después de haberlos comentado lo que pasa en la química, viene el caso que os hable de nuestra revolución política. Nosotros la consideramos como realizada y sin posibilidad de vuelta atrás. Existe aún, sin embargo, un partido aristocrático que hace esfuerzos vanos y que es evidentemente el más débil. El partido democrático es el más numeroso y tiene de su lado a la instrucción, la filosofía y las luces".

La lucidez de Lavoisier es total. Desde 1773 cuando elaboró un plan de trabajo para consagrarse totalmente al estudio del papel de los gases en las reacciones químicas, declaró que le parecía ésto tan importante "como para producir una revolución en física y química".

La Revolución Química: de lo cualitativo a lo cuantitativo

Continúa el informe de Fourcroy comentando que Lavoisier conoció las experiencias de Priestley sobre las "diferentes especies de aire" y se consagró a repetirlas, sintiendo sobre todo que "el arte de hacer experiencias verdaderamente útiles y de contribuir a los progresos de la ciencia del análisis consiste en no dejar escapar nada, en recoger todo, en pesar todo... Este método experimental tan exacto y tan diferente de los procedimientos empleados otrora por los químicos no ha cesado desde 1772 de hacerse entre las manos de lavoisier y de los químicos que han seguido la misma ruta, fuente fecunda de descubrimientos".

Es el uso de recipientes cuidadosamente cerrados y, sobre todo, el uso de la balanza (no dejar escapar nada, pesar todo), lo que traza la ruta fecunda de Lavoisier.

Método que proviene de su absoluta fe en el positivismo, en el inductivismo, característica de la ilustración y aprendida por él de su maestro de química, Rouelle, como declara en el *Traité*.

"Nihil est in intellectu quod non prius fuerit in sensu: grande e importante verdad que nunca deben olvidar tanto los que aprenden como los que enseñan, y que el célebre Rouelle había hecho grabar con grandes caracteres en el lugar más visible de su laboratorio".

Y en el discurso preliminar afirma: "Esta ley rigurosa que no debo transgredir, de no deducir nada más allá de lo que las experiencias muestren, de no suplir nunca lo que los hechos silencien, no me ha permitido incluir en esta obra aquella parte de la química más susceptible quizá de llegar a ser un día una ciencia exacta: la que trata de las afinidades químicas o atracciones electivas": casi palabra por palabra el "hypothesis non fingo" de Newton.

Pero en esto seguía la ruta de muchos de sus predecesores, la ruta trazada por Bacon y los empiristas ingleses. De hecho, la ruta que en cierta forma, era responsable de la tajante afirmación de Kant que mencionamos más arriba. Los químicos, que desde Boyle (autodenominado "el químico escéptico" en la más famosa de sus obras) se habían propuesto combatir el misticismo de la alquimia, se habían consagrado a una experimentación cuidadosa y sin absolutamente ninguna hipótesis. Lograron acumular cantidades inmensas de datos que no decían nada. Tablas y Tablas de resultados, de fórmulas, de recetas, sin ninguna síntesis, sin ninguna ordenación Priestley, Scheele, Rouelle fueron grandes experimentadores, que hicieron descubrimientos fundamentales cuya importancia en buena medida les pasó desapercibida.

A diferencia de ellos. Lavoisier no se perdió en una extensa cantidad de experimentos cualitativos, sino que se limitó a la definida tarea de investigar el mecanismo de la combustión en el aire, que consideraba capital para la teoría química. Su obra fue precisa, ordenada y cuantitativa del principio al fin. Y fue esto lo que la distinguió de la de sus predecesores y lo que causó la revolución en la química. La química había sido hasta entonces el imperio de la cualidad. Los principios el de lo húmedo y el de lo seco, el de lo frío y el de lo cálido, los cuatro elementos aristotélicos o la triada prima de Paracelso, el principio de la acidez o de lo metálico, el fuego poderoso, concretado en el flogisto, eran la mejor expresión de muchos siglos de intentar explicar la inmensa variedad de las sustancias, así como todos los cambios que en ellas observamos y producimos, mediante la clasificación paciente de todas las cualidades de los cuerpos, de las compartidas por muchos y de las más peculiares a unos pocos. La química en el siglo XVIII se encontraba en un callejón muy diferente de la amplia avenida emprendida por la física después de la Revolución Copérnicana y Newtoniana. Y Lavoisier, con su balanza, no dejando escapar nada, recogiendo todo, pesando todo, haciendo entrar a la masa como cantidad fundamental, pasando el trabajo cualitativo al cuantitativo, produjo la revolución.

La descomposición del aire: del descubrimiento del oxígeno al descubrimiento del oxígeno

Desde Empédocles, en el siglo VI antes de Cristo, el aire era considerado como un elemento. Los elementos eran principios presentes en todas las sustancias más que piezas fundamentales con las cuales se armaban ellas. Con el auge del mecanismo, la idea de principios presentes en todos los cuerpos fue cediendo paso a la idea de átomos, bloquesitos materiales, con los cuales se armaban las moléculas más complejas. Boyle anunció la definición moderna, operacional, de elemento como punto final del análisis: si una sustancia puede descomponerse no será una sustancia elemental; cuando no se la pueda descomponer más habremos llegado al elemento. Lavoisier adoptó esta definición pero, con mucha claridad, afirmó que era operacional: "Me contentaré, con decir, pues, que si por el nombre de elementos queremos designar a las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que las ignoremos; pero si, por el contrario, unimos al nombre de elementos o principios de los cuerpos la idea del último término al que se llega por vía analítica, entonces todas las sustancias que hasta ahora no hemos podido descomponer por cualquier medio serán para nosotros a otros tantos elementos; con esto no queremos asegurar que los cuerpos que consideramos como simples no se hallen compuestos por dos o mayor número de principios, sino que como nunca se ha logrado separarlos o, mejor dicho, faltándonos los medios para hacerlo, debemos considerarlos cuerpos simples y no compuestos hasta que la experiencia y la observación no demuestren lo contrario".

Pues bien, entre 1770 y 1775 se descompuso el aire. Y, al descomponerse el aire, la idea de los cuatro elementos clásicos, ya bastante deteriorada, perdió todo su peso. Carl Wilhelm Scheele, químico sueco, en una serie de experimentos realizados entre el otoño de 1770 y 1773, obtuvo lo que hoy llamamos oxígeno de varias fuentes: al descomponer el "magnesio negro" (el dióxido de manganeso) con ácido sulfúrico o con ácido arsénico, al descomponer la "cal de mercurio" (óxido de mercurio) mediante fuego, y por otras formas, pero no publicó sus resultados sino en 1777 y, mientras tanto, en Inglaterra, Priestley produjo "un aire" calcinando el óxido de mercurio, y encontró, con sorpresa, que una vela ardía en este aire con llama "sorprendentemente vigorosa" y un ratón vivía en él el doble de tiempo que en la misma cantidad de aire común, mientras en 1773 Lavoisier en Francia, al quemar fósforo o al calcinar metales en aire, notó que los productos aumentaban en peso, cosa que ya habían demostrado y explicado Black y Boyle aduciendo que absorbían partículas de fuego. La principal diferencia está en que Lavoisier hizo sus experimentos en un recipiente cerrado y encontró que la combustión no producía aumento de peso, por lo tanto, no había "partículas de fuego" que entraran, pero al abrir su frasco, el aire entraba y el peso aumentaba en una cantidad igual al aumento de peso del metal al calcinarse.

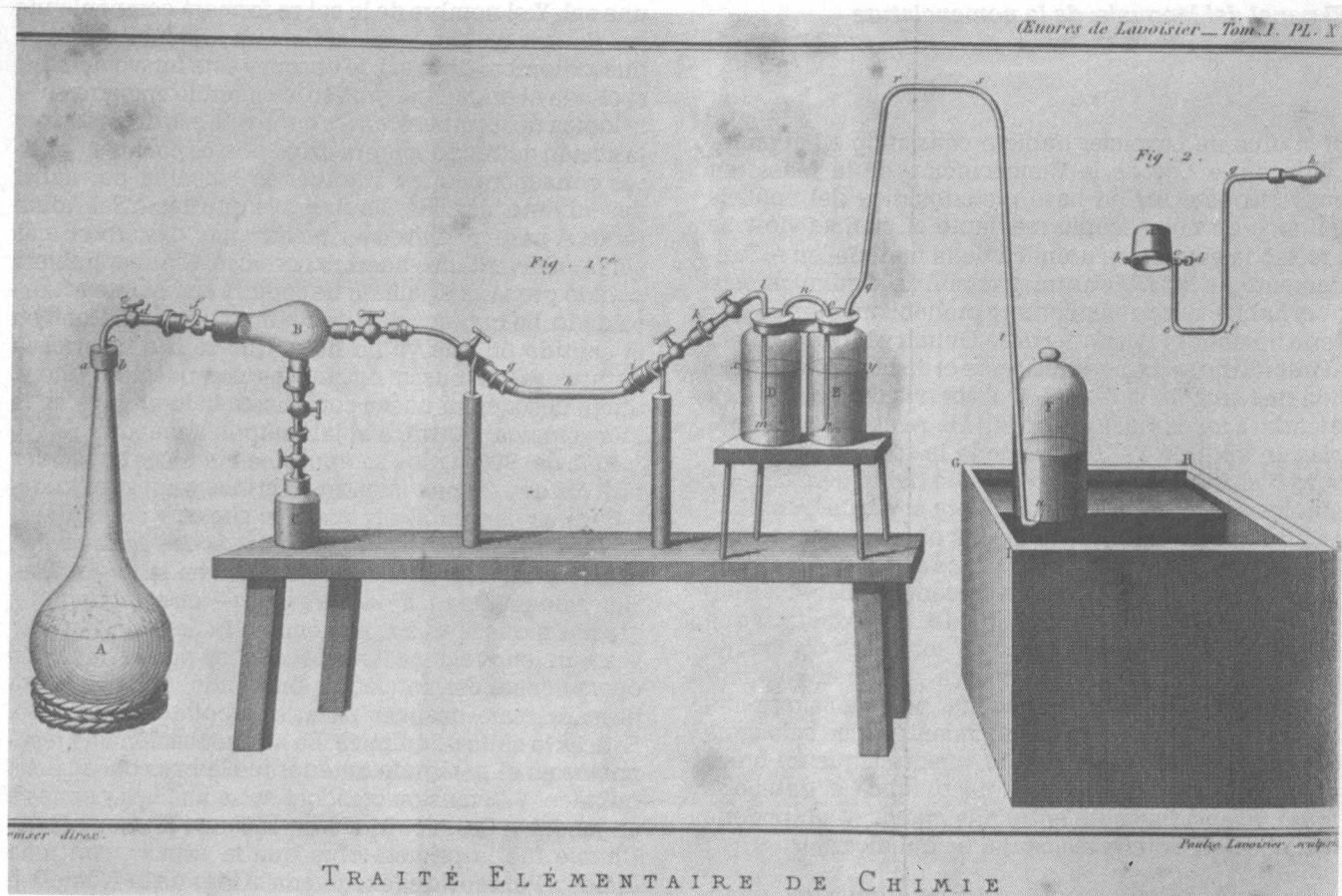
Los historiadores de la ciencia han mantenido la querella sobre la primacía del descubrimiento del oxígeno entre Priestley y Scheele. Es seguro que Lavoisier lo encontró después de la visita de Priestley en octubre de 1774 a París, cuando este contó sobre su nuevo aire, extremadamente puro y como el mismo narra, "toda la compañía se sorprendió y M. y Mme. Lavoisier tanto como todos los demás". Personalmente prefiero la interpretación de Kuhn: Scheele y Priestley simultáneamente encontraron una nueva sustancia, un gas que se desprendía de algunos compuestos y que tenía algunas propiedades similares a las del aire. Scheele creyó que era el "aire del fuego" y Priestley que era el "aire de flogisticado". Quien se dio cabal cuenta de que era una parte del aire, que era retirada en la combustión, que intervenía en todos los procesos de oxidación, en los cuales se combinaba con los metales en la misma cantidad que se retiraba del aire, quien asumió completamente las consecuencias, encontrando que el aire dejaba de ser un elemento, que la combustión se podía explicar mediante él, sin necesidad de invocar el problemático flogisto, quien, resumiendo, gracias a sus experiencias cuantitativas, hizo del descubrimiento del oxígeno la base de una nueva química, fue Lavoisier, por ello puede afirmarse que Priestley y Scheele descubrieron el oxígeno pero fue Lavoisier quien lo inventó.

En 1773, ya era Lavoisier consciente de la importancia de la nueva química neumática y particularmente de la fijación del aire como un hecho material. Fue entonces cuando anunció que esta era la base para "realizar una revolución en la física y en la química". Posteriormente, habiendo oído del descubrimiento del oxígeno por Priestley, comprendió que el gas de Priestley era la parte del aire que se fijaba en la combustión y consiguió mostrar que era el único agente de la combustión, que consistía simplemente en la adición de oxígeno —originalmente le principie oxygine, el producto de ácidos, término que acuñó con este fin— al cuerpo que se quemaba, al metal que se oxidaba o al no-metal que se convertía en ácido. Esto contradecía totalmente la teoría del flogisto, y Lavoisier no vaciló en asumir todas las consecuencias. Se cuenta que en 1782, con gran pompa, se celebró el entierro del flogisto, con Mme. Lavoisier vestida de Sacerdotisa, quemando las obras de Beche y Stahl.

La conservación de la masa y la aritméticación de la química

Si Lavoisier hubiera trabajado sin plantearse ninguna hipótesis, como él mismo declaraba, sus logros habrían sido muy inferiores y seguramente no habría hecho más que quienes acumularon tablas de datos y de fórmulas. Gran parte de su trabajo se explica, porque sí asumió la validez de un axioma general para orientarlo:

"...pues nada es creado en las operaciones del arte o de la naturaleza, y puede tomarse como un axioma que en cada operación existe una cantidad igual de materia antes y después de la operación, que la cualidad y cantidad de los principios es la misma y que sólo ocurren cambios y modificaciones. Todo el arte de hacer experimentos en química se funda en este principio: debemos suponer siempre una exacta igualdad o ecua-



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE CHIMIE

SOCIETÉ DE GOUVERNEMENT DE

Paulin Lavoisier, sculps.

Ilustraciones del Traité élémentaire de chimie

ción entre los principios de los cuerpos examinados y los de los productos de su análisis".

Este es el "Principio de conservación de la masa", enunciado por primera vez en el tratado. En realidad, era un principio muy viejo, basado en un axioma de tendero: la suposición de que la masa mide la cantidad de materia. No con otro fin usaban la balanza los feniños. Se necesitó, sin embargo, el triunfo de la concepción burguesa del mundo, toda la organización de una nueva sociedad hecha, precisamente, por la clase de los comerciantes, de los burgueses, para eliminar el creacionismo, para que se impusiera la suposición de que la materia estaba creada de una vez por todas desde el principio de los tiempos y no podía crearse ni desaparecer en la retorta del químico. Aceptado este principio, la balanza debe medir la cantidad de materia presente antes y después del experimento y debe dar una *igualdad o ecuación*.

Pero Lavoisier, con su balanza, encuentra la manera de formular ecuaciones en el análisis químico. Aceptada su norma de que "la suma de los pesos de todas las sustancias que entran en la reacción es igual a la suma de los pesos de todos los productos", es posible plantear una primera ecuación en química. Muy pronto surgirá la pregunta por las proporciones en que entran estos

pesos cuya suma es constante y la respuesta será admirable: *en un mismo compuesto químico, cualquiera que sea la forma de su obtención, las proporciones ponderales de los elementos componentes son siempre las mismas*. Proust, enunciador de la ley de las proporciones definidas, como se conoce el enunciado anterior, es también un hombre de la revolución, miembro del equipo de José Bonaparte, enseñó la nueva química en Madrid durante el reinado de éste. Enunciada esta ley, la química entraba en el camino de la matematización. Se podían escribir las ecuaciones de lavoisier y las proporciones de los elementos reflejaban una armonía interna, íntima, de la naturaleza. Los compuestos ya no eran mezclas al azar, en todas las proporciones, como las que puede uno realizar entre el agua y el azúcar, sino que en el fondo de todo había una ley armónica profunda, para formar un compuesto, sus dos constituyentes entran siempre en las mismas proporciones. Armado con esta ley, Dalton reformuló la teoría atómica, el análisis químico se hizo ciencia exacta, las moléculas se descompusieron y se entrevió la descomposición del átomo, o al menos la existencia de su estructura interna. Y la química entró en el siglo XIX con la frente en alto, reconocida como una de las ciencias fundamentales de la naturaleza.

El papel del lenguaje: de la nomenclatura química a la nueva química

Si la obra de Lavoisier hubiera consistido en el enunciado de la Ley de la Conservación de la Masa, en convertir esta ley en base metodológica del análisis químico en microscopio mediante el cual se vió y se precisó la estructura atómica de la materia, en el fundamento, en fin, de la aritmétización de la química, esta obra habría sido fundamental y probablemente su autor sería llamado el Fundador de la Química Moderna. Pero el tratado no se detuvo ahí. Desde el discurso preliminar con que se abre el libro, Lavoisier nos dice que, escribiendo la memoria que leyó ante la Academia de Ciencias en abril de 1777 y que sería la semilla de la cual surgió el tratado, "sentí que yo no había evidenciado aún los principios establecidos por el Abate Condillac en su lógica y en algunas de sus obras. En ellas establece él que "no pensamos más que con el auxilio de las palabras; que las lenguas son verdaderos métodos analíticos; que el álgebra más sencilla, más exacta, y que mejor se adapte a su objeto de todas las formas de enunciarlo, es a la vez una lengua y un método analítico; en fin, que el arte de razonar no es más que una lengua bien hecha y en efecto, mientras que sólo creía ocuparme de la nomenclatura, mientras que mi único objeto era perfeccionar la lengua química, el trabajo se tornó insensiblemente entre mis manos, y sin poderlo evitar, en un tratado elemental de química.

Doscientos años después podemos afirmar que, mientras sólo creía ocuparse de la nomenclatura, el trabajo de Lavoisier se tornó insensiblemente entre sus manos en la Ciencia Química. Es difícil dar cuenta de esta importante afirmación en unas pocas líneas, pero tal vez basta con imaginar lo que era estudiar química antes de Lavoisier. Las sustancias se denominaban según su origen geográfico, según sus propiedades fisiológicas, según su apariencia física, según el nombre de su descubridor o según los caprichos de este. Debia aprenderse que la acción del aceite de vitriolo sobre la magnesia producía la sal de Epson y otra infinitud de recetas en las cuales intervenían nombres tan pintorescos como el aire imperial, la tierra de alumbre, la manteca de antinomio, el ácido de limón, las flores de benjul o la sal sedativa de Homberg, sin que hubiera más recurso que memorizar todo este saber.

No es de extrañar que a Kant le pareciera imposible hacer una ciencia seria, a imagen de la física newtoniana, a partir de este galimatías.

Al colocar el oxígeno como eje de la nueva química, Lavoisier organiza las ideas: hay elementos y compuestos. Los elementos son metales y no-metales. Los primeros se combinan con el oxígeno para dar óxidos y los segundos para dar ácidos. Y los compuestos pueden nombrarse a partir de esta composición, como óxido o como ácido del elemento correspondiente. La magnesia pasa a ser óxido de magnesio y el aceite de vitriolo será ácido sulfúrico: el ácido del azufre. Y ahora pasa a un nuevo nivel: un óxido y un ácido se unen para formar

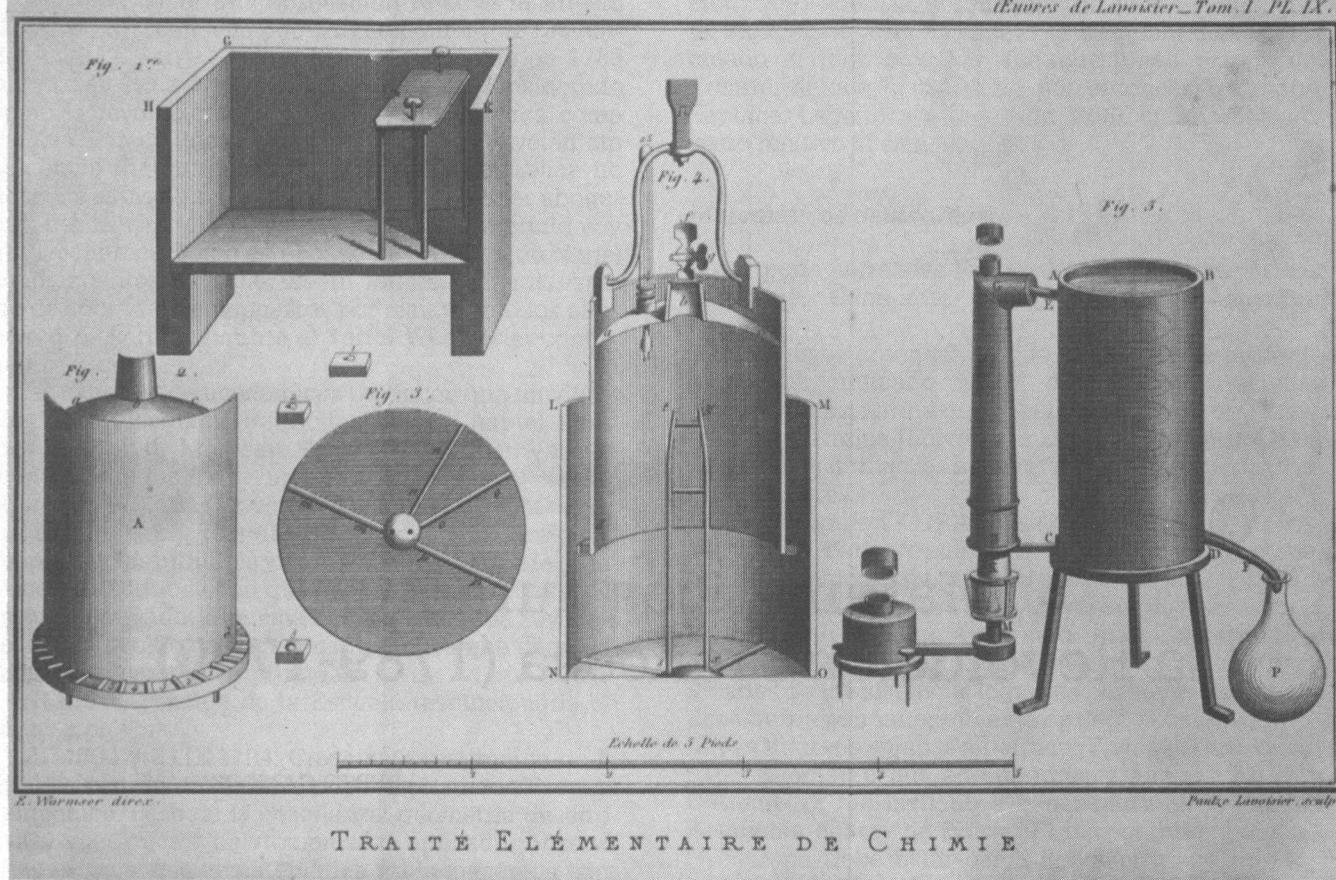
una sal. Y el nombre de la sal se formará componiendo los de sus progenitores: sulfato de magnesio será el nuevo nombre de la sal de epsom y este nuevo nombre, si olvida el origen geográfico, en cambio encierra en él la lógica del compuesto, nos narra que está formado por la acción del ácido sobre el óxido y éstos por los elementos correspondientes. Glauber se recuerda por haber descubierto la sal de Glauber, a la que llamó Sal Admirable. A partir de Lavoisier, no hay que "descubrir" más sales, ni inventarles nombre hermoso. Glauber hubiera podido preparar el sulfato de sodio, y su nombre estaba ya dado. La química dejó de ser una Ciencia Natural en el sentido en que ya no hubo que salir a recorrer la naturaleza en busca de nuevos compuestos. Ahora, quien deseara un nuevo compuesto lo formulaba en la nueva lógica y entraba al laboratorio a prepararlo.

Más del 90% de los compuestos químicos conocidos hoy, los que forman nuestros vestidos y nuestros materiales, los que fertilizan nuestros suelos y curan nuestras enfermedades, no existían en la época de Lavoisier, ni hubieran sido jamás encontrados en la naturaleza. Han sido preparados —sintetizados— en el laboratorio, gracias a que la nueva nomenclatura de Lavoisier pioneró un lenguaje mediante el cual se pudieron hacer las operaciones del intelecto, buscando el compuesto deseado, para después pasar al laboratorio a crearlo. Esta es la síntesis química. La aritmétización que resumimos en el párrafo anterior fue la base del análisis químico. Y la tensión creadora entre análisis y síntesis engendró la Química Moderna. El *Traité Elementaire de Chimie* fue la primera obra que la expuso, con toda lucidez. Por eso no es exagerada la idea de Le Chatelier: en 1789 nació la química.

Lavoisier: fermier general

Antoine Laurent Lavoisier nació en París el 26 de agosto de 1743, en la familia de un acaudalado comerciante que lo educó en el prestigioso *College des Quatre Nations*. Su origen acomodado le permitió estudiar Derecho y dar rienda suelta a su pasión por la ciencia, tan de moda entre la aristocracia y la alta burguesía de su tiempo. Así, estudió astronomía con La Caille, botánica con Jussieu y química con Rouelle.

Sin embargo, no era tanta su fortuna como para haberle permitido vivir de la renta y adelantar sus experimentos. Necesitaba trabajar para vivir y fue así como en 1768 aprovechó la herencia que le dejó su abuela para comprar su participación en la *Ferme Generale*, compañía financiera que cobraba los impuestos indirectos del Estado mediante el pago adelantado a este mediante una determinada cantidad de dinero. Desposó en 1771 a Marie Anne Pierrete Paulze, hija de uno de sus superiores en la Ferme, y él mismo alcanzó el cargo de *Fermier Generale* en 1780 y algo más tarde el de Inspector de Pólvora y Salitre. Es decir, durante más de 20 años —durante los 20 años que precedieron a la Revolución Francesa—, fue Lavoisier cobrador de impuestos del Rey y, con su enorme talento, desarrolló una excelente labor administrativa que dio gran fuerza a la Ferme.



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE CHIMIE

Ilustraciones del Traité élémentaire de chimie

Dentro de sus funciones de fermier recorrió todo el reino, aprovechando para adelantar sus observaciones sobre la geología del país y para tomar contacto con muchos otros académicos de la provincia francesa, llegando a ser muy conocido como Fermier. Esta institución de financiamiento de los impuestos reales no podía sobrevivir a la revolución. El 24 de noviembre de 1793, once meses después del regicidio, la Convención ordenó el arresto de todos los miembros de la Ferme Generale. El 8 de mayo de 1794 comparecieron varios miembros de la Ferme ante el tribunal revolucionario, que los condenó a todos a muerte.

En la tarde de aquel día, dice Le Chatellier, "la brillante carrera de Lavoisier fue bruscamente interrumpida por la guillotina. Víctima de la mala reputación de los fermiers généraux, de la ignorancia de los locos furiosos que gobernaban entonces a Francia y un poco también de la cobardía de sus colegas que por temor de comprometerse no hicieron gran esfuerzo por salvarlo, murió a la temprana edad de 51 años". Parece que la tímida intervención del matemático Borda y del mineralogista Hauy, invocando las capacidades de Lavoisier en su defensa, produjo la tristemente célebre frase — "La revolución no necesita sabios; la justicia debe seguir su curso" — que quien realizó con Lavoisier los experimentos que lo llevaron a enunciar la Ley de la

Conservación de la Masa fue altamente respetado por los gobiernos revolucionarios y por Napoleón. Lagrange, amigo del químico y quien al día siguiente de su muerte afirmó: "Ha bastado un instante para cortar esta cabeza y tal vez cien años no bastarán para reproducir una parecida", fue el físico y matemático de la revolución, como que presidió a partir de 1790 y por encargo de la Asamblea Constituyente la Comisión para establecer el Sistema Métrico, de la cual fue miembro Lavoisier. La frase famosa fue pronunciada por un juez que, en pleno periodo del terror no podía perdonar la vida al Fermier Generale del Rey por muchos que fueran sus méritos académicos.

