

CIENCIA Y GUERRA EN LOS ALBORES DE LA QUÍMICA COMO DISCIPLINA: PROGRAMA FRANCÉS PARA LA PRODUCCIÓN DE PÓLVORA *

RAÚL CABELLO VÁZQUEZ

Universidad Autónoma de Madrid

La *Régie des Poudres*, de la que Lavoisier fue uno de los responsables entre 1775 y 1792, constituye un excelente ejemplo de los métodos de trabajo y de la multiplicidad de tareas que desempeñó el promotor de la, por muchos así llamada, revolución química. Lavoisier actuó como *savant*, estudiando las reacciones implicadas en la producción de salitre o la detonación de la pólvora, racionalizando las recetas empíricas de los salitreros e intentando aplicar los descubrimientos de la investigación fundamental a la producción. Actuó también como financiero, transformando el ineficaz monopolio estatal en una creciente fuente de ingresos para el Tesoro Real. Lavoisier se convirtió así en un excelente administrador, organizando un servicio público eficaz a partir de una empresa semiprivada mal dirigida y proporcionando uno de los ejemplos más tempranos de política industrial moderna. Finalmente, ejerció como docente, poniendo en marcha el primer sistema de enseñanza teórica y práctica adaptada a una labor técnica, haciendo del grupo de comisarios de pólvoras un verdadero cuerpo de ingenieros químicos.

(*) Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Departamento de Educación, Universidades e Investigación del Gobierno Vasco, a través del programa de Formación de Personal Investigador 2006-2008.

En la historiografía reciente podemos notar una llamada de atención acerca del carácter colectivo de la revolución química, así como una rehabilitación de los partidarios más tardíos de la teoría del flogisto (Crosland, 1973). Sin embargo, los trabajos de Lavoisier seguirán siendo, ineludiblemente, el centro del pensamiento sobre dicha etapa, pues proporcionaron un marco teórico mejor adaptado a los hechos experimentales, clave de la renovación de la química según criterios modernos de medida, precisión y matematización. Lejos de quitarle prestigio por la necesaria puesta en contexto con perspectiva histórica, nuestra comprensión del personaje no hace sino profundizar en su integración en la época y la sociedad en las que vivió. Si bien ya no podemos seguir viéndolo como el legendario padre fundador de la química, si que podemos comprenderlo como el director de orquesta de su refundación teórica e institucional. Como nos descubre la biografía de Donovan (Donovan, 1993), Lavoisier no fue solo un químico o un *savant*, sino también un administrador, un reformador político y un pedagogo, representando a un hombre de las luces en toda su complejidad, enfrentado a sus propias contradicciones, al servicio de un estado incapaz de emprender las reformas que necesitaba con urgencia. Su actividad como regidor de pólvoras y salitres, largo tiempo eclipsada por su trabajo científico o su pertenencia a la *Ferme générale*, nos muestra a la perfección las diferentes facetas del personaje.

Creación de la *Régie des Poudres et Salpêtres*¹

Un siglo de gestión del monopolio de pólvoras y salitres por la *Ferme des Poudres* dejaba claro lo inadecuado del sistema de administración diseñado por Colbert en 1665. Por un lado, los gestores de la compañía de recolección obtenían beneficios desorbitados con la producción y comercialización de la pólvora, especialmente con aquella destinada a la caza. Por otro, el Tesoro Real no obtenía sino retribuciones insignificantes, y el aprovisionamiento de pólvora de guerra para la artillería y la marina resultaba totalmente insuficiente, situación que condujo, entre otras causas, a la derrota francesa en la Guerra de los Siete Años (1756-1763). La producción nacional de salitre (nitrato potásico) por raspado

(1) En este apartado seguiré especialmente a BRET (1994), DONOVAN (1993) y MÜLTHAUF (1971).

de suelos y paredes húmedas de establos, cuevas y sótanos, según el privilegio conocido como *droit de fouille*, no solo era incapaz de satisfacer las necesidades nacionales, sino que también conducía inevitablemente al abuso y la corrupción, por no hablar de su impopularidad. La importación de salitre desde la India o Egipto, de gran provecho económico para la *Ferme*, resultaba imprescindible, haciendo depender a Francia de las importaciones ultramarinas de un producto estratégico.

Tras perder sus colonias en la India, la total dependencia de las importaciones holandesas resultaba aún más preocupante. Empezando por Montesquieu, se elevaron muchas voces que pedían el control de la *Ferme* por la oficina general de finazas. Finalmente, tuvo que ser el ministro reformador Turgot el encargado de crear la *Régie des Poudres et Saltpetres* (Administración de Pólvoras y Salitres), que reemplazó la *Ferme* el uno de Julio de 1775. El nombramiento de Lavoisier como regidor es un claro síntoma de la originalidad de esta medida: por primera vez se recurría a la ciencia para conducir una reforma administrativa y mejorar la producción de un recurso vital para el país. Lavoisier, por su parte, era plenamente consciente de que el nombramiento le permitiría cumplir mejor con la función social de la Academia, y participaba sin prejuicios de la visión utilitaria de la ciencia que profesaba Turgot. En una carta al “fisiócrata” Baudeau, Lavoisier se regocija de que un gobierno “llame a los *savants* al seno de la administración, pues esa es la verdadera meta de nuestra institución” (Lavoisier, 1993). La vida de Lavoisier se vio profundamente influida por el ministerio de Turgot; como él, creía que Francia necesitaba desesperadamente reformas económicas y administrativas que racionalizaran la acción de gobierno. Aceptando la responsabilidad de reformar el sistema de producción de pólvora, Lavoisier hacía algo más que ofrecer su talento para resolver un problema técnico; implicaba declarar públicamente su compromiso con el programa reformista, lo que exigió una gran habilidad política cuando, apenas un año más tarde, Turgot cayó en desgracia. Lavoisier se las arregló para mantener en marcha el programa y, en pocos años, Francia sería capaz de suministrar pólvora a los revolucionarios americanos en su lucha contra Gran Bretaña. El sistema de la *Régie* no solo consiguió superar la crisis de los setenta, sino que fue la clave del abastecimiento durante las largas campañas revolucionarias y napoleónicas.

La vida política francesa se transformó por completo durante los primeros años de la revolución; muchas figuras públicas, entre las que se incluía Lavoisier, que se habían sentido frustradas por la ineficacia de la monarquía, dieron la bienvenida al nuevo espíritu racionalista en la administración (Metzner, 1998). No era descabellado pensar que el nuevo gobierno retomaría el programa reformista de Turgot, lo que animaba a Lavoisier y DuPont a continuar sus esfuerzos tecnocráticos. Aunque despreciaba la retórica en la ciencia, Lavoisier la utilizaba sin complejos para defender sus ambiciones institucionales. La ciencia comienza con especulaciones y termina con hechos, comienza con disputas y termina con consenso. Desde su punto de vista, era la acumulación de hechos indiscutibles lo que lograba ese acuerdo, y no la lógica o las matemáticas. Una ciencia madura, emparejada con la autoridad política, era imprescindible para mantener la paz, y por ello el gobierno tenía que ayudar a la ciencia financiando agencias que se ocuparan de racionalizar los hechos. Tal y como los hechos podían transformar la ciencia en conocimiento positivo, la ciencia podría transformar la política en administración. Ese parecía ser el sueño de Lavoisier, un exitoso *fermier* del antiguo régimen comprometido con ideas de una revolución que siempre devora a sus propios hijos. En 1792 seguía ocupado con los persistentes problemas de suministro de salitre, pero cuando la *Régie* se disolvió definitivamente, en julio de 1794, esta ya había prescindido de los servicios de Lavoisier, arrestado como *fermier générale* y ejecutado en Mayo del mismo año.

La pólvora en el pensamiento científico²

El estudio químico de la detonación de la pólvora en la primera mitad del siglo XIX encuentra sus antecedentes en las discusiones sobre la explosión de nitratos, a lo largo del XVIII. Estas tuvieron una gran influencia en el desarrollo del concepto de estado gaseoso y la termoquímica por parte de Lavoisier, mientras dedicaba gran parte de su tiempo a la dirección de la *Régie des Poudres*. En la etapa previa a la “Revolución Química”, la detonación de la pólvora atrajo mucha atención sobre el tema de los posibles estados de la materia y los cambios

(2) Ver, sobre todo, MAUSKOPF (1988). También HOLMES (1985) y MORRIS (1972).

que esta sufría en las reacciones químicas, pues era una consecuencia espectacular de algún “aire” con gran capacidad de expansión que se producía a partir de un sólido. Ya durante las décadas de 1770 y 80, la discusión encontró su lugar natural en la teoría termoquímica de Lavoisier, su colaboración con Laplace y la polémica con Berthollet sobre el flogisto. De forma paralela al contexto industrial y militar, el interés por la manufactura y control de calidad de la pólvora tuvo una influencia decisiva en el debate científico.

Durante la primera mitad del siglo XVIII podemos encontrar tres tradiciones explicativas de la detonación de la pólvora: la “aérea”, la “vaporosa” y la “acuosa”. Todas ellas intentaban dar cuenta de la presión ejercida por un aire o fluido elástico procedente de un sólido durante una detonación. Tras los intentos de Jean Bernoulli o Francis Hauksbee por medir la fuerza de la explosión y la cantidad de aire producida, encontramos una primera síntesis de la teoría aérea en la obra *New principles of gunnery*, del matemático y experto en fortificaciones Benjamin Robins, publicada en 1742. Este libro fue un hito en la historia del problema, pues proponía, por primera vez, el uso del péndulo balístico para medir la fuerza de la explosión, y hablaba ya en términos de presión. Robins estaba convencido de haber demostrado que un fluido elástico permanente se producía *in vacuo* a partir de la pólvora. La tradición vaporosa, por su parte, proviene de la cuestión n.º 10 de la *Óptica* de Newton, donde este propone la conversión en vapores de todos los componentes de la pólvora durante la detonación. En la memoria de 1750, *Expériences sur quelques effets de la poudre à canon*, Duhamel presenta ya las explicaciones vaporosa y aérea como distintas y competitivas, junto al tercer modelo corriente a mediados de siglo, el acuoso, apoyado por Stahl y los químicos franceses del flogisto. Las ventajas que estos veían en la explicación acuosa eran de índole tanto física como química. La ventaja física residía en la mayor capacidad de expansión del vapor de agua, que explicaría la tremenda presión generada en la explosión; la ventaja química se refería fundamentalmente a la posibilidad de explicar, en términos de la teoría del flogisto, la producción de vapor de agua a partir de los componentes de la pólvora, lo que condujo a los primeros intentos de fabricar pólvora sin azufre. El primero en proponer una teoría alternativa será Giuseppe Angelo, Conde de Saluzzo, quien escribe a partir de 1759 una serie de comunicaciones en las que defiende la generación de otro

fluido elástico permanente distinto del aire. Entre los admiradores de los experimentos y opiniones de Saluzzo podemos encontrar a un jovencísimo Lavoisier, que encuentra ya en él problemas cruciales de su pensamiento posterior.

Ya durante la “revolución química”, Berthollet demostró que la detonación de la pólvora implicaba la rápida producción de dos gases: nitrógeno (aire mefítico o azoe) y dióxido de carbono (aire fijo). Así, aquellos químicos interesados en la neumática y la termoquímica encontraron en el fenómeno de detonación de la pólvora un tema de estudio de interés capital. Lavoisier, en concreto, se esforzó por comprender la detonación de una manera acorde con sus ideas neumáticas, y la detonación pasó a ser uno de los combates fronterizos entre la química del flogisto y el nuevo sistema que condensaría en el *Traité élémentaire de chimie*.

Dado el interés profesional que Lavoisier tenía como director de la *Régie*, resultaría sorprendente que el análisis de la pólvora ocupara un lugar menor entre su producción científica, como a menudo nos hace creer la literatura secundaria. Sin embargo, en el propio *Traité* asegura haber realizado una larga serie de experimentos sobre la naturaleza de los fluidos elásticos liberados durante la deflagración del nitrato, en combinación con carbón, azufre o muriato oxigenado de potasio (Lavoisier, 1789). Como demuestran diversas anotaciones, la cuestión de la pólvora rondaba constantemente la mente de Lavoisier durante los años cruciales en los que llevaba a cabo sus experimentos sobre calcinación y combustión. Más aún, ya en la década de 1780 utilizó sus ideas sobre la detonación para hacer frente a las críticas de Berthollet a su termoquímica.

La referencia más temprana de Lavoisier a la detonación aparece en una memoria de 1773 que incluye su propia teoría de los tres estados de la materia (basada en Turgot) y los recientes trabajos sobre combustión (Mauskopf, 1988). En ella, Lavoisier empezaba a dar forma a su teoría del cambio de estado: toda sustancia podía ser licuada o vaporizada si se combinaba con el suficiente “fluido ígneo”, y viceversa, los vapores y los líquidos podían ser fijados en sólidos si perdían este imponderable. La combustión y la calcinación serían ejemplos de este último proceso. Es necesario notar que, en esta época, Lavoisier aún no había abandonado la teoría del flogisto, y creía que solo el aire, y ningún otro fluido elástico,

participaba en estas reacciones. Quizá por ello optaba por la explicación aérea de la detonación como causa material, influido por Saluzzo, aunque también tomaba ciertas ideas de la teoría acuosa tal y como era utilizada por los “flogicistas” franceses, pues aún necesitaba del flogisto como causa eficiente. En cualquier caso, parece que sus primeras investigaciones sobre detonación estaban guiadas por las ideas de Saluzzo.

El siguiente desarrollo de la teoría de la detonación aparece en un manuscrito titulado *Sur la détonation du nitre*, fechado en febrero de 1775³. Por entonces Lavoisier se encontraba inmerso en los esfuerzos por dar coherencia a los descubrimientos y transformaciones conceptuales de los años anteriores, y a punto de ser nombrado director del proyecto de emergencia para la producción de pólvora. En vez de la explicación aérea de 1772, proponía ahora un modelo neumático más complejo, afirmando que el nitrato se convertía en aire común y aire fijo (dióxido de carbono). Comprendía ahora la detonación como algo más parecido a la combustión que a la reducción de sales típica del marco flogístico, en la línea de coherencia que intentaba dar a sus ideas sobre el fuego y el cambio de estado. Lavoisier aún veía los fluidos elásticos como diferentes solo en función de la cantidad de materia ígnea que contenían, y no como especies químicas diferentes. Aunque aún no tenía clara la química de la detonación, al menos había dirigido su atención hacia los productos gaseosos e, insatisfecho con la explicación puramente aérea, intentaba integrar conceptos térmicos y químicos sugiriendo que la materia ígnea interactuaba químicamente con el nitrato para producir dos productos gaseosos. La idea de que la fuente de materia ígnea durante la combustión era el aire y no el combustible aparece apuntada ya en este escrito, y resultaría fundamental en el pensamiento de Lavoisier sobre la combustión a principios de los ochenta, durante sus discusiones sobre termoquímica con Berthollet.

Los tres años siguientes vieron producirse rápidos cambios en la teoría química de Lavoisier, que ya había abandonado definitivamente el paradigma del flogisto. Esta fase de intensa reelaboración se inauguró con la presentación de la famosa *Memoria de Pascua*, pre-

(3) Antoine-Laurent LAVOISIER, *Sur la détonation du nitre*, p.1, Archives de l'Académie des Sciences, 169. Citado en MAUSKOPF (1988, pp. 35-36).

sentada ante la Academia en abril de 1775. En el penúltimo párrafo se discutía la detonación de nitratos, con puntos de vista muy similares a los expuestos en la memoria de febrero. Sin embargo, en la reedición que la Academia publica en 1778, los nuevos descubrimientos y las transformaciones conceptuales habían llevado a Lavoisier a cambiar drásticamente sus ideas acerca de la naturaleza del aire fijo y su producción en la detonación del nitrato. Ahora sostenía que la detonación implicaba una conversión del aire respirable en fijo, del cual formaba parte el carbón como componente químico. Para 1778, por lo tanto, el *savant* ya había integrado su teoría de la detonación en el marco general de las distintas especies químicas de gases⁴. La química del proceso resultaba comprensible como combustión de carbón con aire respirable (oxígeno), pero esto tuvo su precio: con el abandono de la explicación flogística, la causa física de la detonación quedaba sin explicación. Fueron Cavallo y Berthollet los que sacaron el problema a la palestra e intentaron darle solución. Ambos eran aún adeptos a la teoría del flogisto, aunque bien informados de las ideas de Lavoisier (Grapí, 2001; LeGrand, 1975; LeGrand, 1976; Sadoun-Goupil, 1977). En consonancia con ello, ambos propusieron modelos explicativos que interpretaban los recientes avances en química neumática en términos del flogisto, imitando el estilo de Priestley. Estos modelos son interesantes en sí mismos como ejemplos de la capacidad que tenía la teoría del flogisto a la hora de explicar nuevos descubrimientos neumáticos en fechas tan tardías como 1780. El discurso de Berthollet sobre la detonación resulta aún más significativo, pues lo convirtió en el centro de la comparación entre la teoría del flogisto y la nueva química de Lavoisier. Berthollet, que sería el primer converso al “lavoisierismo” hacia 1785, percibía aún en 1781 la detonación como una seria anomalía para la termoquímica. En sus elaborados experimentos sobre deflagración, Berthollet se aferraba a la superioridad física del flogisto: argüía que la teoría de Lavoisier sobre el cambio de estado estaba en flagrante contradicción con el fenómeno, pues no podía explicar la vaporización y la evolución térmica al mismo tiempo, cosa que sí podía hacer un flogisto contenido en el combustible.

(4) Según Gillispie, el objetivo último de Lavoisier en los experimentos de dilucidación de los gases de detonación era comprender la composición del ácido nítrico y los nitratos, con el fin de producir salitre artificial. Ver GILLISPIE (1980, pp. 66).

Aunque, por parte de Lavoisier no cabía la posibilidad de una vuelta atrás hacia el flogisto, Berthollet había señalado una anomalía que el primero no podía obviar. Lavoisier tenía en mente las críticas de Berthollet cuando abordó el problema de la detonación en su pionero estudio *Mémoire sur la chaleur*, escrito conjuntamente con Laplace. Los autores citan explícitamente el problema de la vaporización con desarrollo de calor, y lo relacionan con la efervescencia y producción de aire fijo en las reacciones ácido-álcali. Lavoisier intenta explicar este tipo de procesos como reacciones que producen más calor del necesario para vaporizar los productos, señalando el calor de reacción como fuente de dicha evolución térmica. Inmersos en su segunda etapa de colaboración, Lavoisier y Laplace habían ampliado considerablemente el marco conceptual y experimental, incorporando a su trabajo conceptos térmicos cuantificables ausentes en etapas anteriores (Golinski, 1994 y 1997). El calor latente, la capacidad calorífica y el calor específico, así como el calor de reacción, podían medirse mediante el calorímetro de hielo, instrumento que permitió todo un programa de investigación experimental cuantitativa. La combustión de la pólvora era examinada en la *Mémoire sur la chaleur* como parte del estudio de los calores de combustión y respiración, precedido por la teoría térmica general de la combustión. Según esta, el calor generado en la reacción provenía de la fijación del “aire puro” en el combustible, dando “aire fijo”. Es en el curso de estos análisis térmicos de la detonación con carbón cuando Lavoisier desarrolla su teoría madura, con una química similar a la memoria de 1778, pero incorporando una explicación a los problemas físicos señalados por Berthollet, lo que le permite descartar definitivamente la necesidad de recurrir al flogisto. Para 1786 Berthollet ya estaba completamente convencido de la corrección de los argumentos de Lavoisier y Laplace. Según las narraciones al uso, fue la sensacional demostración de la síntesis del agua a partir de los aires “vital” e “inflamable” (hidrógeno y oxígeno) lo que lo atrajo definitivamente al terreno de la nueva química, pero la teoría de la detonación desempeñó también un papel fundamental en esta conversión.

En el *Traité élémentaire de chimie*, Lavoisier trata una vez más el problema de la detonación de la pólvora, haciendo hincapié en que los productos de las reacciones químicas tenían la misma masa que los reactivos (ley de conservación de la masa). La hipótesis que se escon-

día tras esta afirmación era que solo los constituyentes ponderables representaban un papel químico en la detonación. Por lo demás, el modelo térmico es similar al de memorias anteriores, aunque ya utiliza el término “calórico”, propio de la física laplaciana.

Esta teoría madura de la combustión gozó de una acogida bastante cálida, similar a la de su química general, entre los académicos franceses. Sin embargo, pasó prácticamente desapercibida en el extranjero hasta bien entrado el siglo XIX. En 1797, Benjamín Thomson, Conde de Rumford, se mostraba escéptico ante la explicación del calórico, y basaba su comprensión de la detonación en los trabajos de Robins, escritos cincuenta años antes, argumentando que un cañón no era sino una máquina de vapor construida de un modo particular. Rumford fue contestado por Berthollet en la gran obra *Essai de statique chimique*, donde desarrollaba con gran detalle la explicación termoquímica de la detonación.

Podemos concluir, por tanto, este apartado, destacando que, si bien hay cierta continuidad entre Lavoisier y sus antecesores en la investigación y teorización sobre la detonación de la pólvora, este elevó el discurso a un nuevo nivel de integración teórica en el marco general de su termoquímica y su neumática. Fueron las preguntas química (¿Cuál es la naturaleza del fluido elástico producido durante la detonación?) y física (¿Cómo se produce ese fluido elástico y cómo genera semejante presión y calor?) las que guiaron su investigación, que unía directamente los dos campos que más tiempo le mantuvieron ocupado en su madurez: la transformación del marco teórico y experimental de la química y el servicio al estado como responsable de aliviar la crisis de producción de pólvora. Lo que convierte este tema en algo tan esclarecedor para comprender el desarrollo de las ideas de Lavoisier es precisamente la dificultad que presentaba a la hora de acomodarlo en su termoquímica. Fue Berthollet quien afiló la contradicción entre el fenómeno de la detonación (vaporización y producción de calor) y la concepción general de cambio de estado de Lavoisier (calor absorbido por la vaporización). Si su termoquímica hubiera permanecido en el ámbito cualitativo, esta contradicción hubiera supuesto un problema irresoluble para Lavoisier: su propuesta de que el calórico estaba fijado en el nitrato hubiera parecido insosteniblemente *ad hoc* si la colaboración con Laplace no le hubiera permitido presentar evidencias cuantitativas que la apoyaran. Por lo tanto, la calorimetría, el trabajo

experimental de precisión, desempeñó un papel fundamental en la resolución de la polémica, permitiendo una comprensión más profunda de la detonación. De forma complementaria a este argumento cuantitativo y térmico, podemos encontrar el químico, basado en determinaciones gravimétricas con la balanza de precisión. Gracias a estos dos instrumentos, el flogisto perdía definitivamente su papel explicativo en el estudio de la materia, y en especial en la teoría de la detonación. El caso de la pólvora constituye un ejemplo particularmente elegante de cómo la metodología cuantitativa permitió a Lavoisier convertir en un éxito lo que podía haber sido una grave anomalía de su química antiflogística. La detonación le obligó a refinar su modelo original de cambios de estado, y sus trabajos al respecto fueron la base de toda la investigación sobre el tema desarrollada durante la etapa napoleónica, extendiéndose por Europa a medida que avanzaba el siglo XIX.

De la investigación a la aplicación⁵

Las memorias de Lavoisier nos dan una idea aproximada del reparto inicial de tareas entre los regidores. En un documento acerca de la redacción del artículo para el diccionario de artillería de la Enciclopedia, asigna las tareas administrativas a Le Facheaux, la recolección y refinado del salitre, a Cluet, quedando la fabricación de pólvora para Le Tors. Lavoisier se reserva las competencias en temas de carácter químico y físico sobre detonación y composición (Lavoisier, 1988-1993). Los regidores, responsables tanto de los fondos como de los trabajadores del Arsenal, debían llevar una contabilidad rigurosa, organizada en cuotas mensuales y anuales de materiales y productos. Una caja general, una oficina de cuentas y otra de correspondencia completaban la administración central. Los cuatro regidores se reunían periódicamente con los cuarenta comisarios encargados de los diversos departamentos. Los comisarios de primera clase realizaban la labor de controlar las entregas de los salitreros, el proceso de refinado y mezcla, y organizar la comercialización de la pólvora. Los de segunda y tercera clases no eran más que almaceneros encargados de la recepción y venta

(5) En este apartado seguiré especialmente a AMAIBLE (1989), BRET (1994), DONOVAN (1993) y MULTHAUF (1971).

del producto. Las pólvoras de guerra y minería se vendían exclusivamente en los almacenes de la *Régie*, mientras que la de caza era distribuida por las tiendas que disponían de licencia para ello.

La obra científica de Lavoisier sobre la detonación de la pólvora y la manufactura de salitre se enmarca a la perfección dentro de los intereses para la *Régie*. El método utilizado por el *savant* para investigar sobre la mejora de la producción de salitre es sensiblemente diferente del que sigue en sus investigaciones personales sobre la detonación de pólvora. Su trabajo en el bien equipado laboratorio del Arsenal no era el de un químico solitario y hermético; le rodeaba un grupo de buenos investigadores con los que compartir tiempo y trabajo. A la vista de las exigencias prácticas del programa, Lavoisier dedica un gran esfuerzo a reunir el conocimiento químico existente sobre los nitros (nitratos) y sus ácidos, prestando gran atención a la experiencia de tipo artesanal, tanto nacional como extranjera, en la producción de salitre y otras técnicas relevantes para la obtención de pólvora.

La pólvora era básicamente una mezcla de nitrato potásico, carbón y azufre a razón de 6:1:1, que ardía rápidamente aun en ausencia de aire pues, como el propio Lavoisier apunta a finales de los setenta, el nitrato libera oxígeno durante la combustión. Este era obtenido por disolución y recristalización de salitre, que después había que purificar y refinar antes de mezclarlo perfectamente con azufre y carbón en un molino diseñado a tal efecto. Este proceso resultaba fácil de mecanizar, pero bastante peligroso, pues la mezcla se calentaba mucho con la fricción. Según el grado de pureza del nitrato o la calidad de la molienda la pólvora obtenida se destinaba a diferentes tipos de armas y usos.

Dada la importancia de la pólvora para la guerra moderna, las monarquías europeas necesitaban asegurarse un suministro adecuado y constante de salitre, mena del nitrato potásico. En su estado natural, el salitre consta de diversas sales, y se puede encontrar en distintos lugares. A menudo cristaliza en paredes húmedas de sótanos o establos, donde el nitrógeno proviene de los desperdicios animales. También se puede preparar a partir de rocas de nitrato cálcico, añadiendo potasa (carbonato potásico) en forma de carbón vegetal o salitre marino. La mezcla se disolvía y recristalizaba una y otra vez con el fin de purificar el nitrato potásico. Los rendimientos así obtenidos podían llegar al 5% con las rocas indias, muy ricas en nitratos, pero rara vez superaban el 1% en Europa.

Antes de emprender su investigación personal sobre la obtención de salitre a partir de las aguas madres salinas, Lavoisier reunió toda la literatura sobre el tema por medio del comité para el premio de la Academia, incluyendo trabajos de Schelhammer, Agrícola, van Helmont y Stahl, e incluso alguna descripción de viajeros que habían visto cómo “la naturaleza engendra nitratos en abundancia extraordinaria en piedras particulares”. Esta recensión reflejaba la inquietud por conocer las condiciones naturales que permitían la extracción de enormes cantidades de salitre en la India, principal fuente de aprovisionamiento de las potencias europeas. Para ello se consultó también con un antiguo oficial de la Compañía de Indias que había estudiado algo de química con Sage.

Respecto a la información recogida sobre los nitratos artificiales desarrollados en el extranjero, en especial la “plantación” de salitre en nichos utilizada en Alemania y Suecia, la opinión de Lavoisier era que “ninguno de nuestros vecinos conoce en detalle la producción de salitre por diferentes medios, pues no han determinado mediante experiencias exactas la naturaleza ni la proporción de las mezclas”. Así, el tema debía ser aún “puesto a la luz de la física y de la experiencia”. Esta preocupación permanente por que los resultados experimentales respondieran a las exigencias de la validación científica se manifiesta incluso en la respuesta remitida a la Academia de Besançon, que había enviado un conjunto de memorias sobre la fabricación de salitre. Lavoisier se lamentaba de que todas ellas tuvieran “más afirmaciones que pruebas, más de teorías y de opiniones que de experimentos”. Sin embargo, elogiaba a un autor “poco versado en química pero que propone métodos prácticos y procederes simples, de éxito probado”⁶.

Además de esta búsqueda de los trabajos científicos disponibles, la *Régie* esperaba obtener información útil de los propios artesanos salitreros, recogiendo y ordenando sistemáticamente conocimientos inconexos. En julio de 1775, menos de dos semanas antes de la puesta en funcionamiento del Arsenal, los regidores enviaron a todos sus departamentos una circular con treinta y tres cuestiones precisas, con el fin de obtener respuestas claras y facilitar las comparaciones. Este tipo

(6) Citado en BRET (1994).

de encuesta administrativa, que sería ampliamente utilizada durante los decenios siguientes, resultaba entonces muy innovadora. Con el conjunto de respuestas así obtenidas, la *Régie* pudo disponer de un conocimiento preciso sobre el estado de la cuestión, lo que permitió una rápida puesta en marcha del nuevo modelo de producción. Los comisarios-empresarios encargados de nutrir a Francia con pólvora habían comprendido que debían emprender nuevas políticas financieras, organizativas y científicas.

Una vez finalizada la encuesta entre los comisarios, la segunda fase del proyecto se puso en marcha en agosto, mediante la convocatoria de un premio por parte de la Academia. Tal concurso tenía como meta promover la investigación sobre el tema, así como asimilar los trabajos de los *savants* ajenos a la pequeña comunidad académica. Con el fin de guiar la investigación y evitar divagaciones, la *Régie* publicó un resumen sobre el estado de la cuestión. Aún así, la concesión del premio, prevista para 1778, tuvo que ser retrasada hasta 1882, siendo agraciado con el primer premio el comisario de pólvoras de Nancy por un trabajo sobre la producción de salitre artificial a partir de sus aguas madres.

Tras la fase de aproximación al problema, Lavoisier inició su investigación sobre la producción de salitre y composición de pólvoras, enmarcándola en el sistema de trabajo de la *Régie*. Aunque algunos historiadores han querido ver en este hecho el primer ejemplo de un “programa de investigación”, la posibilidad de aplicar un concepto del siglo XX al XVIII es más que discutible: las actividades de Lavoisier y Guyton en el Arsenal no corresponden sino a una mera práctica regular, aunque bien organizada de antemano en cuanto al trabajo y experimentos previstos. Se construyó un buen número de camas de cristalización cerca del Arsenal, y con la experiencia que estas proporcionaron la dirección pudo publicar, a finales de 1777, un librito de instrucciones sobre el cultivo de salitre. Además de sus propios experimentos, Lavoisier encargó a la Academia una serie de experiencias sobre la nitrificación, que permitieran verificar las proposiciones de los candidatos al premio. De este modo, el tema del salitre se convirtió en objeto común de la investigación química fundamental y aplicada, representando un papel protagonista en la “revolución química” y asentándose en el corazón de la “revolución de la pólvora”. Por vez primera, la práctica científica pasaba a ser

una empresa industrial pública y la investigación aplicada guiaba la iniciativa de una institución relevante del estado.

Sin entrar en detalle acerca de las investigaciones, diremos que estas constaron de tres series de experiencias sistemáticas. Las primeras, efectuadas a lo largo de 1781, estaban destinadas a calificar los diversos carbones en función de su calidad para la mezcla. La clasificación obtenida mediante estos experimentos sirvió de referencia para la fabricación de pólvora en Francia hasta bien entrado el siglo XIX. Hacia 1785 los experimentos se centraron en la detonación y prueba de diferentes mezclas, incluyendo la pólvora sin azufre. Finalmente, en torno a 1788 los trabajos de Lavoisier trataban sobre nuevas mezclas con muriato oxigenado de potasio (clorato potásico), cuyas posibilidades explosivas habían sido descubiertas recientemente por Berthollet. Por desgracia, el abandono de esta línea de investigación tras un grave accidente en la polvorería de Essonnes, el 27 de octubre de 1788, coartó la capacidad de innovación de la *Régie* en el campo de nuevos componentes explosivos.

Para entonces, Lavoisier ya había encontrado el método mediante el cual se produciría ácido nítrico (y, por lo tanto, nitrato potásico) a escala industrial un siglo más tarde: la oxidación catalítica del amoníaco o sales de amonio. La escasa capacidad tecnológica de finales del XVIII, así como la falta de conocimientos sobre procesos catalíticos impidieron desarrollar este proceso más allá del laboratorio, pero quedó apuntado como línea prometedora entre las posibilidades de producción artificial de nitratos. Mientras tanto, la *Régie* concentró sus esfuerzos en intentar imitar la naturaleza, abandonando la esperanza de obtener nitratos artificiales (sintéticos).

Con el objeto de difundir los procedimientos científicos entre todos sus centros, la oficina central disponía de una correspondencia administrativa. Lavoisier se mostraba especialmente interesado en que esta fuera consultada por los más de 800 obreros de tercera categoría que aprovisionaban las refinerías. Con tal fin implantó la misma práctica didáctica basada en sencillas instrucciones impresas que Turgot había utilizado para intentar detener la reciente epidemia en Aquitania. El objeto de este modelo era transmitir información vital a las capas más modestas de la población, a menudo analfabetas. Con el tiempo,

Lavoisier se convirtió también en un experto en este tipo de difusión, llegando a presentar una memoria titulada “Reflexiones sobre los medios para transmitir instrucciones públicas a los habitantes del campo” (Lavoisier, 1988-1993). A pesar de la finalidad esencialmente práctica de las instrucciones, Lavoisier no descuidaba el carácter científico de la empresa: desde 1775 prepara informes regulares sobre progresos en la investigación química que puedan ser de ayuda para la fabricación de pólvora, y se preocupa de su difusión entre los candidatos al premio de la Academia. La información, bien sea en forma de instrucciones operativas, memorias académicas o informes de investigación, jugaría un papel fundamental en la mejora y normalización de la pólvora francesa. El incontestable éxito de este esfuerzo difusor puede medirse en un aumento del entusiasmo por los nitratos artificiales a finales de la década de 1770. Ricos nobles como La Rochefoucauld d’Enville, hombres de ciencia u oficios como Guyton de Morveau o Champy, e incluso modestos artesanos se unieron a la empresa de producción de nitratos. Alguno de ellos, quizá, por interés científico; todos, sin duda, en busca de beneficios. El grupo en el que más directamente calan los informes de la *Régie* fue, sin embargo, el de los propios salitreros, que a menudo se animaron a experimentar con nuevas prácticas. Podemos encontrar uno de los ejemplos más destacados en el salitrero ordinario Jean-Baptiste Cart, quien remite al ministro de guerra un “Sistema sobre la forma de construir los almacenes y disponer las tierras para hacer nacer el salitre”. Durante los diez años siguientes, Cart aportó también unas “Observaciones sobre el trabajo de las aguas madres del salitre” y “El arte de fabricar potasa”. En definitiva, la mentalidad difusora de Lavoisier animó a los trabajadores a incorporar en su trabajo el producto de los conocimientos científicos, ayudados por los comisarios encargados de las misiones de inspección, que propagaron el uso de la potasa para el tratamiento de tierras salitreras.

Como resultado de estos esfuerzos a corto plazo, en cuatro años se dobló la producción francesa de salitre, y la refinerías centralizadas procesaban una masa diaria diez veces mayor que el viejo conjunto de reales fábricas. La crisis de la pólvora había quedado superada, no gracias a la nueva química, sino a la administración racional y la mejora de prácticas ya existentes, en especial la extracción y el refinado de salitre. La *Régie* publicó instrucciones normativas y sistematizó la producción,

reparto y venta de pólvora, consiguiendo centralizar el control de calidad de la misma, a cargo de trabajadores con la formación adecuada⁷.

A pesar de los éxitos artesanales y administrativos, Lavoisier no descuidaba un desarrollo a largo plazo, basado en la innovación científica, y para ello organizó desde el principio de su mandato un exigente programa de formación de nuevos cargos para la administración central y la investigación.

Conclusión

El balance del trabajo estrictamente científico de Lavoisier al frente de la *Régie* no pudo ser del todo positivo: la investigación fundamental, tanto en química como en física, no permitía comprender aún los fenómenos más interesantes implicados en la producción y detonación de la pólvora. Pese a los innegables avances en el conocimiento de la composición del salitre y la nitrificación, los nitratos artificiales, gran esperanza a finales de la década de 1770, no dieron el resultado esperado. Ya en el siglo XIX, la pólvora de fabricación francesa no logró nunca competir con la importada, y la producción nacional se abandonó definitivamente en 1840. Como compensación, la utilización de potasa permitió mejorar los rendimientos y aumentar la producción total en años de guerra, mientras que la abortada tentativa de pólvora clorada sentó un precedente de la investigación sobre explosivos que se desarrollaría en el siglo XIX. Más que los resultados en sí mismos, es la voluntad de unir aplicación e investigación fundamental lo que merece ser subrayado como innovación histórica.

El balance financiero y administrativo resultó, sin duda, más positivo, pues las prácticas de gestión y administración permitieron obtener beneficios para el maltrecho tesoro real. Prueba de lo acertado de las reformas emprendidas a partir de 1775 es que el servicio de pólvora

(7) Las pruebas que se adoptaron definitivamente (hasta 1820) en el Arsenal para controlar la pureza de la pólvora fueron propuestas por Riffault en 1886, aunque se disponía de otros métodos desde finales de los setenta. Casi todos ellos se basaban en el control del uso de potasa para transformar el nitrato cálcico en potásico. Esta práctica había sido ya racionalizada y extendida como norma por Lavoisier en 1777, aunque aún no se había propuesto ninguna explicación teórica satisfactoria (BRET, 1994).

atravesó la etapa revolucionaria sin sufrir grandes cambios; por el contrario, el modelo de la *Régie* se extendió al conjunto de fabricaciones de guerra a partir de 1794.

En esta puesta en marcha de un organismo público moderno, la acción pedagógica tuvo una importancia vital. Si bien la Escuela de Pólvora no conoció el ulterior desarrollo de las escuelas de ingenieros, sí desempeñó una labor fundamental en la formación de un cuerpo eficaz de profesionales. Los cursos revolucionarios para *contrôleurs* en 1795, así como la integración del curso de pólvora en el sistema *polytechnicien* son herencia directa del modelo de enseñanza instaurado por Lavoisier⁸.

En pocos años, un dispar grupo de responsables locales y poco coordinados se estructuró para dar lugar a un verdadero cuerpo técnico de estado. Entre 1775 y 1788 un sector estratégico aquejado de graves carencias se transformó en una empresa pública que cumplía con sus objetivos de producción y beneficiaba económicamente al estado, convirtiéndose en un ejemplo de organización para los futuros gobiernos revolucionarios, y desarrollando las prácticas que asegurarían el suministro de pólvora a los ejércitos napoleónicos.

Bibliografía

- AMAIBLE, R. (1989), *Lavoisier et la revolution poudriere*, en M. Goupil, *Lavoisier et la revolution chimique*, Acte du Colloque, Paris.
- BRET, P. (1994), *Lavoisier à la Régie des Poudres: Le savant, le financier, l'administrateur et le pedagogue*, La Vie des Sciences, Comptes rendus de l'Academie des sciences, série générale, tome 11, n. 4, pp. 297-317.
- BRET, P., GOUPIL, M., GRISON, E. (eds.) (1994), *A scientific correspondence during the Chemical Revolution: Louis Bernard Guyton de Morveau and Richard Kirwan, 1782-1802*, Office for the History of Science and Technology, University of California, Berkeley.
- BRET, P. (1995), *La enseñanza durante la revolución química en el Arsenal: El curso de Gengembre en la escuela de pólvora*, en Patricia Aceves Pastrana (ed.), *Las ciencias químicas y biológicas en la formación de un nuevo mundo*, Universidad Autónoma Metropolitana de México, Unidad Xochimilco.

(8) Consultar especialmente BRET (1995).

- CROSLAND, M. (1973), *The History of French Science: Recent Publications and Perspectives*, French Historical Studies 8, n.1, pp. 157-171.
- DONOVAN, A. (1988), *Special Issue: The Chemical Revolution: Essays in Reinterpretation*, Osiris, 2nd Series, vol. 4.
- (1993), *Antoine Lavoisier: Science, Administration and Revolution*, Blackwell, NY.
- FERREIRÓS, J. (1995), *De la Naturlehre a la Física: Factores epistemológicos y socioculturales en el nacimiento de una disciplina científica*, Arbor CLI, 596, pp. 9-61.
- FOX, R. (1974), *The Rise and the fall of Laplacian Physics*, HSPS 4, pp. 89-136
- GILLISPIE, C. C. (1980), *Science and Polity at the end of the Old Regime*, Princeton U.P., NJ.
- GOLINSKI, J. (1994), *Precision instruments and the Demonstrative Order of Proof in Lavoisier's Chemistry*, Osiris, 2nd Series, vol. 9, *Instruments*, pp. 30-47.
- (1997), *The nicety of experiment: Precision of measurement and precision of reasoning in late eighteenth century chemistry*, en Wise, N., *The values of Precision*, Princeton U.P., pp. 72-91.
- GRAPÍ, P. (2001), *The Marginalization of Berthollet's Chemical Affinities in the French Textbook Tradition at the Beginning of the Nineteenth Century*, Annals of Science 58, pp. 111-135.
- GUERLAC, H. (1976), *Chemistry as a branch of physics: Laplace's collaboration with Lavoisier*, Historical studies in the physical sciences 7, 193-276.
- HEILBRON, J. L. & Rider, R. E. (eds.) (1990), *The Quantifying Spirit in the Eighteenth Century*, University of California P., Berkeley.
- HOLMES, F. L. (1985), *Lavoisier and the chemistry of life: An exploration of scientific creativity*, University of Wisconsin Press.
- KELLY, J. (2004), *Gunpowder, Alchemy, Bombards and Pyrotechnics*, Basic Books, NY.
- LAVOISIER, Antoine-Laurent (1789), *Elements of Chemistry in a new systematic order, containing all the modern discoveries*. Traducción y edición por Douglas McKie, Dover, NY, 1965.
- LAVOISIER, A. L. (1988-1993), *Oeuvres de Lavoisier*, J. B. Dumas et E. Griamux (eds.) Paris, 6 vol.
- , *Correspondence*, R. Fric et M. Goupil, Pris, Acedemie des Sciences, 1993.

- LEGRAND, H. E. (1975), *The conversion of Berthollet to Lavoisier's chemistry*, *Ambix* 22, pp. 58-70.
- (1976), *Berthollet's essay de Statique Chimique and Acidity*, *Isis* 67, n.2, pp. 229-238.
- MAUSKOPF, S. H. (1988) *Gunpowder and the Chemical Revolution*, *Osiris*, 2nd Series, Vol. 4, *The Chemical Revolution: Essays in Reinterpretation*, pp. 93-118.
- MELHADO, E. M. (1985), *Chemistry, Physics and the Chemical Revolution*, *Isis* 76, n.2, pp. 195-211.
- METZNER, P. (1998), *Crescendo of the Virtuoso: Spectacle skill and selfpromotion in Paris during the age of revolution*, University of California Press, Berkeley.
- MI GYUNG KIM (2003), *Affinity, that elusive dream: A genealogy of the Chemical Revolution*, MIT Press, Cambridge, Mss.
- MORRIS, J. R. (1972), *Lavoisier and the caloric theory*, *British Journal for the History of Science* 6, pp. 1-38.
- MULTHAUF, R. P. (1971), *The french crash program for saltpeter production 1776-1794*, *Technology and Culture* 12, pp. 163-181.
- PARTINGTON, J. R. (1999), *A history of greek fire and gunpowder*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- PERRIN, C. E. (1990), *Chemistry as a Peer of Physics: A response to Donovan and Melhado on Lavoisier*, *Isis* 81, n.2, pp. 259-270.
- SADOUN-GOUPIL, M. (1977), *Le Chimiste Claude-Louis Berthollet 1748-1822: Sa vie, son oeuvre*, Vrin, Paris.
- THACKRAY, A. W. (1966), *The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory: Daltonian Doubts Resolved*, *Isis* 57, n.1, pp. 35-55.
- THACKRAY, A. (1974), *Science and Values: Patterns of Tradition and Change*, Humanities Press, NY.
- URBANSKI, T. (1967), *Chemistry and technology of explosives*, Pergamon P., NY.