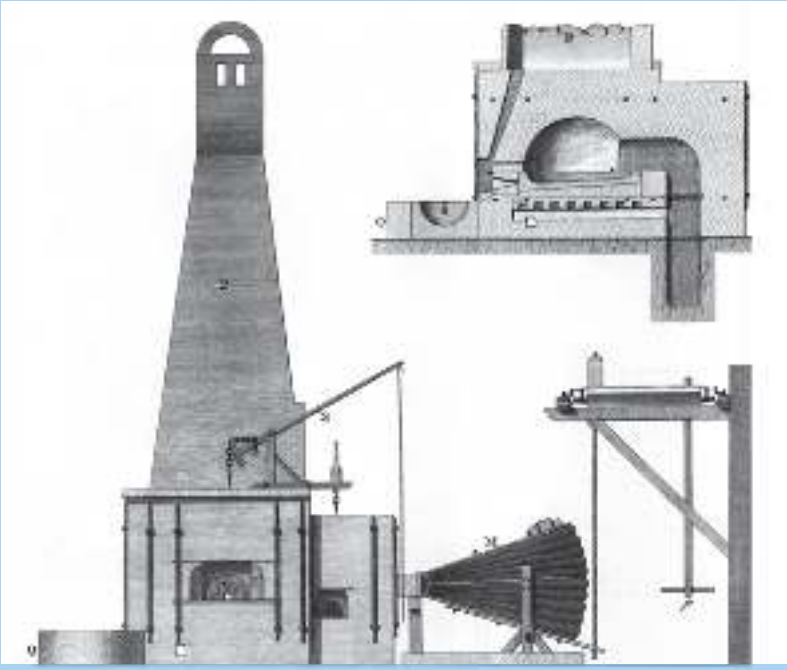
ANTONIO AGUILAR ESCOBAR



LA ENSEÑANZA Y LAS INVESTIGACIONES EN QUÍMICA Y METALURGIA DESARROLLADAS EN EL REAL COLEGIO DE ARTILLERÍA DE SEGOVIA EN EL SIGLO XVIII

SEGOVIA, 2011

Antonio Aguilar Escobar
Doctor en Historia Moderna

La enseñanza y las investigaciones en química y metalurgia desarrolladas en el Real Colegio de Artillería de Segovia en el siglo XVIII

Trabajo correspondiente a la XVI edición de la convocatoria de la beca de investigación histórica de la BCA. Año 2010.

© Antonio Aguilar Escobar

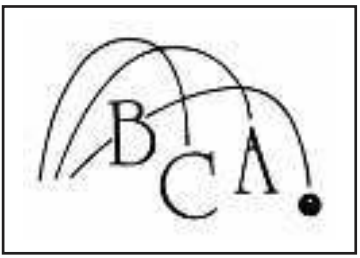
Edita: Asociación Cultural "Biblioteca de Ciencia y Artillería"

Grabado de portada: Lámina 2ª del Artículo II de la obra de Tomás Morla Láminas pertenecientes al Tratado de Artillería que se enseña en el Real Colegio Militar de Segovia. Madrid, 1803.

Depósito Legal: SG. 176/2011

I.S.B.N.: 978-84-935771-6-2

Imprime: Taller Imagen



La BIBLIOTECA DE CIENCIA Y ARTILLERÍA es una Colección que -nacida con el propósito de recuperar y dar a conocer una parte importante de la actividad intelectual en la Segovia del siglo XVIII- cuenta con el patrocinio y colaboración de las siguientes instituciones:

EXCMO. AYUNTAMIENTO DE SEGOVIA
JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE SEGOVIA
ACADEMIA DE ARTILLERÍA
PATRONATO DEL ALCÁZAR
CAJA SEGOVIA
REAL ACADEMIA DE HISTORIA Y ARTE DE SAN QUIRCE

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido posible gracias a la beca otorgada por la Asociación Cultural Biblioteca de Ciencia y Artillería de Segovia a la que agradezco dicha concesión. Asimismo, deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes personas:

Al Excmo. Sr. General Director de la Academia, D. Ricardo Sotomayor Sáez, por su amable acogida en la secular Institución.

Al Ilmo. Sr. Coronel Director de la Biblioteca, D. Adolfo Cristóbal Díaz, por poner a mi disposición los fondos de la Biblioteca y por sus valiosos consejos para la realización de este trabajo.

A los bibliotecarios, Dña. Esperanza González Zúñiga y D. Carlos Merino Arroyo, por su ayuda constante para la consulta de los fondos bibliográficos y documentales, así como para las labores de reproducción de los documentos.

ÍNDICE

Introducción. Objetivos y metodología 11

Capítulo 1º
1. La ciencia en España en el siglo XVIII..... 17
1.1. Las instituciones científicas españolas en el siglo XVIII 17
1.2. El impulso de las ciencias en el contexto de las reformas del Cuerpo de Artillería. 27

Capítulo 2º
2. La enseñanza de las ciencias en el Real Colegio de ..... Artillería de Segovia 37
2.1. La creación del Real Colegio y su funcionamiento 37
2.2. El plan de estudios..... 39
2.3. Las programaciones y los contenidos de las asignaturas 44
2.4. La Biblioteca del Real Colegio 71

Capítulo 3º
3. Las investigaciones en química y metalurgia en el Real Colegio..... 87
3.1. Los principales hitos en el desarrollo de la química en Europa durante el siglo XVIII 87
3.2. La Química en España. El Real Laboratorio de Chimia de Segovia..... 95
3.3. El equipamiento y características del Real Laboratorio..... 97
3.4. El Reglamento para el funcionamiento del Laboratorio 106
3.5. Las enseñanzas de Louis Proust en Segovia..... 108
3.6. Los experimentos e investigaciones de Proust en el Real Colegio..... 114

Capítulo 4º
4. Los yacimientos minerales de la Monarquía en el siglo XVIII 131
4.1. El origen de la materia prima: los enclaves mineros de la Monarquía en las Indias 131
4.2. Los yacimientos peninsulares. Riotinto 137

Capítulo 5º
5. Las Reales Fábricas de Artillería de Sevilla y Barcelona como centros de aplicación de las investigaciones desarrolladas en el Real Colegio de Segovia..... 145
5.1. Características generales de las reales fábricas de fundición de bronce en el siglo XVIII 145
5.2. Las técnicas de purificación del cobre en las fábricas de artillería. La obtención del bronce. 159
5.3. Los debates sobre la proporción de los metales en la aleación y sus consecuencias en la calidad de los cañones fabricados..... 171
5.4. El proceso de fundición. Parámetros físico-químicos de dicho fenómeno: temperatura, duración, oxigenación, etc.... 177

Conclusiones..... 193

Fuentes documentales 203

Bibliografía 205

Apéndices..... 211
Documentos impresos. Selección de textos clásicos de química y metalurgia..... 213
Figuras..... 261

INTRODUCCIÓN. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

La necesidad que tenía el ejército de la Monarquía en el siglo XVIII de disponer de oficiales artilleros cualificados, capaces de ocupar puestos directivos en las fábricas de armas y de aumentar su eficacia en el campo de batalla, hacía necesario disponer de un establecimiento de enseñanza científica de alto nivel para su formación. Esta institución sería el Real Colegio de Artillería de Segovia. Este trabajo de investigacion tiene como objetivo principal destacar la importancia de dicho establecimiento y de su Biblioteca en la historia de la ciencia y de la tecnología española, así como su contribución al surgimiento de nuevos descubrimientos en el campo de la química, la metalurgia y la mineralogía. También queremos dar a conocer y analizar algunos de los tratados clásicos sobre ciencias experimentales que existen en la Biblioteca de la Academia y que constituyen un tesoro bibliográfico de la ciencia española y europea. Por otra parte, en esta investigación se pondrá de manifiesto la importancia decisiva que esos descubrimientos tuvieron en la mejora de la manufactura de la artillería de bronce que se realizaba en las reales fundiciones de Sevilla y Barcelona a lo largo del siglo XVIII. Los cañones que surgieron de esas fábricas fueron decisivos en la defensa de la Monarquía Hispánica y de sus posesiones en Ultramar.

Las investigaciones que habíamos realizado con anterioridad a este trabajo sobre el funcionamiento de las reales fundiciones de artillería de Sevilla y Barcelona, mostraban, en la documentación ana-

lizada, numerosas referencias a la institución segoviana y a su laboratorio de química. A dicho laboratorio se enviaban muestras de minerales procedentes de Indias o, posteriormente, de las minas de Riotinto para su análisis con el objetivo de certificar su bondad en la producción del bronce para la fabricación de cañones. Algunos de los directores de esas fábricas, en las últimas décadas del siglo XVIII, habían realizado sus estudios científicos en la Academia de Segovia y aplicaron sus conocimientos a la manufactura de los cañones. Por otra parte, también teníamos referencias de los trabajos desarrollados por Tomás de Morla, profesor de la Academia y experto artillero conocedor de las técnicas de fundición, que tuvieron una influencia decisiva en los debates científicos y tecnológicos (purificación de minerales, técnicas de fabricación de moldes, fundición y barrenado de cañones, parámetros físico-químicos que operaban en dichos procesos, etc.) que se produjeron en las últimas décadas del Setecientos y que influyeron en las labores de los establecimientos de fundición de la Corona. Parecía pues pertinente una aproximación al conocimiento de los trabajos científicos realizados en la Academia ya que éstos repercutieron en la mejora de la calidad de las piezas de artillería que salieron de las fábricas reales

La investigación que hemos realizado se ha centrado en tres grandes núcleos temáticos. En primer lugar, hemos analizado el estado de las ciencias experimentales en la España de mediados del siglo XVIII y su evolución en la última década del mismo, periodo de tiempo en que las investigaciones realizadas en el Colegio segoviano empiezan a dar frutos. Asimismo, hemos estudiado los programas curriculares impartidos en el Real Colegio en torno a la enseñanza de las ciencias experimentales. La profundización en el análisis de los programas de las asignaturas impartidas y su evaluación, nos permitirán calibrar el grado de desarrollo científico alcanzado en la Institución segoviana. En segundo lugar, se ha investigado la procedencia de los minerales y los enclaves mineros de la Monarquía, así como los principales experimentos y logros en el co-

nocimiento de la naturaleza química de esos minerales que constituían las principales menas de los metales, y de las técnicas de refinamiento y afino de los mismos para su empleo en las aleaciones que permitirían la obtención del bronce para los cañones y otras piezas. En tercer lugar, se han evaluado los logros de las investigaciones llevadas a cabo en la Escuela a partir de la puesta en práctica de esos resultados en la producción de la artillería de bronce. Esta evaluación se ha realizado analizando los procesos de producción de las fábricas de Sevilla y Barcelona y la posible mejora en la calidad de las piezas.

Para la realización de nuestra investigación nos hemos basado principalmente en el estudio y análisis de los fondos manuscritos e impresos existentes en la Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia. Dicha biblioteca contiene una extraordinaria colección de obras científicas de química, mineralogía y metalurgia, de los siglos XVIII y XIX. Podemos afirmar que no hay tratado ni autor relevante en esas disciplinas y de esa época que no esté representado en la biblioteca segoviana. El análisis de los tratados de Fourcroy, Lavoisier, Schluter, Haüy, Delius, Karsten, etc., nos ha permitido calibrar el alto nivel de las enseñanzas impartidas en la Academia, ya que suponemos que esos tratados fueron en buena medida la base de los conocimientos de los profesores que ejercieron en la Institución. Aunque muchas de estas obras son ediciones originales en francés o traducciones a este idioma de los originales alemanes o de otras naciones, encontramos también en los fondos antiguos traducciones al español de los principales tratados, hechos en algunos casos por antiguos alumnos y profesores de la Academia, así como por otros relevantes hombres de ciencia españoles que contribuyeron a la modernización de nuestra nación en el terreno científico. Asimismo, la consulta del *Tratado de Artillería* de Tomás de Morla ha sido fundamental para el objetivo de nuestro trabajo, ya que era el manual obligado para los cadetes en la asignatura de Táctica, que comprendía los conceptos de química y metalurgia que se enseña-

ban en el Colegio en las últimas décadas del Setecientos. Para el análisis de los experimentos e investigaciones en química y metalurgia realizados en el Colegio, nos hemos basado en el estudio detallado de los *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia* de Louis Proust, obra que resume la importante labor del químico francés en Segovia. Se ha completado la consulta de las fuentes impresas en la en la Biblioteca Histórico Militar de Sevilla.

Para el conocimiento del funcionamiento del Colegio hemos analizado las Actas del Colegio, manuscritos que reflejan la actividad del mismo desde 1764 hasta 1785. En estos documentos encontramos la organización docente del Centro, los planes de estudios, las incidencias de la vida escolar a través de los años y los programas de las asignaturas impartidas. Esta última documentación, los programas, nos ha permitido conocer y evaluar el contenido de las enseñanzas impartidas, constatando la semejanza de algunos items del currículo con los temas desarrollados en los tratados mencionados anteriormente. Otros manuscritos relevantes son algunos cuadernos de apuntes y exámenes para los alumnos que muestran que se estaba transmitiendo a los jóvenes cadetes una información acorde con la ciencia moderna que se hacía en Europa.

En el Archivo General de Simancas (AGS), disponemos de una amplia documentación sobre la fundación y características del Real Colegio, así como de todo el proceso de creación del Real Laboratorio de Química de Segovia. Bajo la denominación de *Fechos de Artillería,* en la sección de Guerra Moderna, están los legajos correspondientes. Asimismo, en dicho archivo encontramos la correspondencia de la Secretaría de Guerra con intendentes y comandantes de artillería de las diferentes provincias, entre las que se encuentra la referente a las reales fábricas de cañones de bronce de Sevilla y Barcelona a las que dedicamos el último capítulo de esta obra.

Por último, y también referida a las reales fundiciones, hemos consultado el Archivo de la Fábrica de Artillería de Sevilla (AFAS)

conservado en el Archivo General de Andalucía. Este archivo fue generado por la propia fábrica sevillana y dispone de una abundante documentación sobre todos los aspectos del funcionamiento de la Fundición de Sevilla, así como algunos legajos correspondientes a la Fundición de Barcelona. También se citarán algunos datos extraídos del Archivo General de Indias que completarán algunas cuestiones referidas a las fábricas de armas españolas.

Naturalmente, hemos consultado y utilizado para este trabajo la literatura existente sobre el tema de la que existe una bibliografía considerable. Algunas obras son de carácter general sobre la historia de la ciencia en España y, más concretamente, sobre historia de la química en cuyos contenidos se aportan datos sobre el Real Colegio de Segovia. En otras se aborda específicamente la historia de la Academia y de su Colegio de Artillería. Por último, nos han sido muy útiles las monografías publicadas por la propia Academia de Artillería resultado de los trabajos de investigación becados por la Asociación Cultural Biblioteca de Ciencia y Artillería (BCA), institución que también ha hecho posible la realización de este trabajo que presentamos. Todas estas obras serán citadas en los pasajes correspondientes de esta investigación.

CAPÍTULO 1º

LA CIENCIA EN ESPAÑA EN EL SIGLO XVIII

1.1. LAS INSTITUCIONES CIENTÍFICAS ESPAÑOLAS EN EL SIGLO XVIII

Las instituciones científicas y culturales españolas en siglo XVIII fueron promovidas en los primeros años del reinado de Felipe V. La Real Academia de la Lengua, creada en 1714, y la Real Academia de la Historia, en 1738, fueron las dos instituciones más importantes en el ámbito cultural español de la época. La creación de las Academias culminaba un proceso iniciado a finales del siglo XVII en el que la difusión de la cultura y las novedades científicas y filosóficas, se hacía en las tertulias de intelectuales que proliferaban en los cafés o los salones de los aristócratas y mecenas o en las Sociedades que se fueron creando en Europa. Es decir, se estaba produciendo un fenómeno por el que las nuevas ideas se difundían, sobre todo, al margen de los centros oficiales como las universidades que en España seguían todavía con planes de estudios obsoletos respecto a los nuevos vientos que soplaban en Europa. El movimiento de los novatores, a partir de 1680, integrado por personajes de variada procedencia: historiadores, médicos, filósofos, políticos, etc; tenían en común una afinidad intelectual y la apuesta por la moderna ciencia experimental, así como un espíritu crítico con las instituciones oficiales de la época y

el atraso científico español. Juan de Cabriada fue uno de los personajes más representativos del movimiento; publicó en 1687 su *Carta philosofico-chymica* en la que criticaba las teorías de Galeno, introduciendo los principios de la medicina moderna. Las reuniones de los novatores eran más regulares que las tertulias literarias de principios de siglo y pretendían ser un ejemplo y estímulo para la sociedad; sin embargo, no dejaban de ser grupos minoritarios con un cierto carácter informal que hacía temer por su continuidad. Más adelantada era la situación en Inglaterra y Francia donde ya estaban funcionando la Royal Society (1660) y la Academia de Ciencias de Paris (1666) que pronto contarían con el patrocinio real.[1]

También en España estas tertulias aspiraron a conseguir la protección de la Corona. En Sevilla, la tertulia del médico Juan Muñoz Peralta que se reunía desde 1697 consiguió con la ayuda del cardenal Portocarrero que se trasformara en la Regia Sociedad de Medicina y demás Ciencias de Sevilla en 1700. Posteriormente, se crearía la Academia Médico-Matritense en 1734. La Real Academia de la Lengua empezó como una tertulia que organizaba en su casa el marqués de Villena hacia 1713 y pronto solicitó la protección de Felipe V, obteniéndose el amparo real en octubre de 1714. Parecido origen tuvo la Academia de la Historia a partir de una tertulia literaria promovida por el abogado Julián de Hermosilla en 1735. También al margen del movimiento académico, Felipe V fundó La Real Librería o Biblioteca Pública en 1711 que sería el germen de la futura Biblioteca Nacional. Durante la primera mitad del siglo XVIII no existió en España una actividad científica sistemática ni en los descubrimientos ni en la difusión de la ciencia. Las causas del escaso desarrollo de la ciencia en España a principios de la centuria, se debió a la escasez de institucio-

[1] Velasco Moreno, E. " Nuevas instituciones de sociabilidad: las Academias de finales del siglo XVII y principios del XVIII", *Cuadernos Dieciochescos*, Nº 1, 2000, pp. 39-55.

nes para la difusión de las nuevas ideas, la dispersión de los pocos focos de actividad cultural existentes, así como a la vocación especulativa de los científicos y filosofos españoles. Por otra parte, no existía una demanda social de profesionales de la ciencia y el Estado carecía de medios económicos y financieros para esa labor.[2]

Sin embargo, durante el reinado de Felipe V se dieron pasos importantes para la modernización de la ciencia española. En efecto, la Corona patrocinó expediciones científicas como la participación en la empresa francesa destinada a medir un grado de meridiano en el ecuador, con el envío de dos grandes científicos: Jorge Juan y Antonio de Ulloa durante los años 1734-1744. Pero probablemente, la mayor aportación del reinado de Felipe V al desarrollo científico español fue la creación de Academias y Colegios militares, del Cuerpo de Ingenieros y la reorganización de la Artillería; todo ello en el marco de las reformas del ejército y la marina llevadas a cabo por sus gobiernos desde el final de la guerra de Sucesión y de las que nos ocuparemos después. Así, la Academia de Guardias Marinas en 1717 y la Academia de Matemáticas de Barcelona en 1722 serían centros claves en la formación de oficiales cualificados en las modernas técnicas de fortificación, en astronomía, geometría y, más tarde, en química y metalurgia. Es decir, asisteremos a una progresiva militarización de la ciencia a medida que avanza el Setecientos, ya que las principales instituciones científicas y la mayoría de los divulgadores de la misma procederán del estamento militar. Los programas de renovación del ejército y la marina exigían la formación de técnicos con formación científica. Además, las instituciones militares eran más fáciles de controlar por el Estado y, por tanto, éste podía centralizar las reformas. Sin embargo, el carácter militar de muchos científicos y su actividad itinerante impidió que la mayoría

---

[2] Lafuente, A.; Peset, J.L. " Las actividades e instituciones científicas en la España Ilustrada", *Carlos III y la ciencia de la Ilustración*, Madrid, 1989, pp. 29-81.

de ellos desarrollara una producción teórica importante, aunque sí una considerable labor divulgativa de la ciencia europea moderna[3].

Hacia mediados del siglo XVIII, la ciencia en España recibirá otro fuerte impulso gracias al interés por esos temas del marqués de la Ensenada quien enviará oficiales militares españoles al extranjero en diversas misiones científicas y de espionaje industrial[4]. Por ejemplo, en 1751 Antonio de Ulloa de viaje por diversas capitales europeas informó a Ensenada que había visto en La Haya una máquina de barrenar cañones, fundidos previamente con la nueva técnica "en sólido". Esta técnica que comentaremos después parecía ser más eficaz para la producción de cañones de bronce que la utilizada en las fábricas de artillería españolas. En el marco de las reformas militares, Ensenada prestó especial atención a la formación de los oficiales de la Artillería. Hasta su gobierno se habían creado varias academias militares pero sin muchos recursos y una buena reglamentación. Así, en 1751 se crearon las Escuelas de Matemáticas de Cádiz y de Barcelona con la intención de unificar y centralizar en esas dos ciudades la enseñanza de las materias científicas relacionadas con la Artillería. En estos centros se admitían jóvenes cadetes con una instrucción básica que llegarían a ser oficiales de la Artillería; asimismo era obligada la asistencia a la Escuela para los oficiales veteranos que carecían de una formación teórica en las técnicas artilleras, especialmente en matemáticas, metalurgia y técnicas de fundición de cañones. Estas Escuelas serían las precursoras del Colegio de Artillería de Segovia fundado en 1764.

Las universidades españolas siguieron apartadas de la ciencia moderna durante toda la primera mitad del siglo XVIII, la mayoría de

---

[3] Ibídem.

[4] En *Actas del II centenario de D. Antonio de Ulloa*, Sevilla, 1995; artículos de Helguera Quijada, J. "Antonio de Ulloa en la época del Marqués de la Ensenada", pp. 185-197; Sellés, M. "Antonio de Ulloa y la ciencia de su época", pp. 59-79.

ellas formaban juriconsultos y teólogos con una fuerte carga curricular basada en la escolástica. En sus bibliotecas apenas se encontraban obras de los grandes científicos europeos como Newton o Galileo. En general, la física o las matemáticas estaban fuera de los programas que se impartían en ellas, solo la medicina y cirugía estaban incluidas en los planes de estudio pero en muchas clases se discutían cuestiones fútiles con poco rigor. Ante este panorama, aparte de las importantes reformas militares y de la administración, en el terreno científico Ensenada abogó por una reforma universitaria que incluyese en sus planes de estudios asignaturas "modernas" como física experimental, anatomía y botánica. Lo "moderno" será ahora lo experimental, de modo que las ciencias debían tener una inmediata aplicación, es decir, se tenía un concepto utilitarista de la misma.[5]

El marqués de la Ensenada promovió la contratación de técnicos extranjeros y la concesión de pensiones para que estudiantes españoles completaran su educación en otros países. Fue también Antonio de Ulloa quien convenció al ministro en 1752 de la necesidad de que en España existiese un Gabinete de Historia Natural. Ensenada muy interesado en el tema, entre otras razones por el valor estratégico de los minerales y metales en la producción de armamento, recogió la iniciativa e inició el proceso de creación de dicho Gabinete dando instrucciones para que se enviaran a Madrid desde todos los dominios de la monarquía minerales, metales, productos naturales y curiosidades con las que dar contenido a la nueva institución[6]. Para experimentar con metales se contrató al científico alemán Andrés

---

[5] Aguilar Piñal, F. "La reforma universitaria de Olavide", *Cuadernos dieciochescos*, nº 4, 2003, pp. 31-46.

[6] Puig-Samper, M.A. "Antonio de Ulloa, naturalista", *Actas II centenario de Antonio de Ulloa*, Sevilla, 1995, pp. 97-125; Paredes Salido, F. "La reforma de la metalurgia española en el siglo XVIII tras el viaje de Jorge Juan y Antonio de Ulloa a la América Meridional", *Actas del II Congreso de Historia Militar*, T III, Zaragoza, 1988, pp 71-99.

Keterlin y al químico francés Agustín de la Planche. También experimentó en el Gabinete el químico irlandés William Bowles a quien Ulloa había conocido en París. Guillermo Bowles, que había venido a España para efectuar una revisión de los yacimientos mineros peninsulares, realizó experiencias analizando el platino descubierto por Ulloa en su viaje americano y publicó en 1755 una *Introducción a la historia natural y a la geografía de España*. Desgraciadamente la caída del ministro en 1754 supuso un freno al funcionamiento del Gabinete aunque se pondría en marcha de nuevo en los años setenta durante el reinado de Carlos III. También data de esta época la creación del Observatorio de Marina de Cádiz (1753) y el Colegio de Cirugía de Cádiz (1748), fundado con el objetivo de formar "cirujanos hábiles para la Marina" que tuvo como figura clave a Pedro Virgili, médico militar, que aportó a la medicina española las novedades europeas tras su viaje a París. En este Colegio se realizaron más tarde estudios de química y ciencias naturales. La otra gran institución importante de la época fue el Jardín Botánico de Madrid fundado en 1755 gracias a José Quer y Martínez, también procedente del estamento militar como cirujano en varios regimientos. Después de abandonar la práctica quirúrgica, se consagró a la investigación y estudio de las plantas llegando a ser un gran botánico. Publicó una célebre *Flora de España*. En esta relación de instituciones docentes y científicas no podemos olvidar una institución relacionada con las ciencias naúticas: el Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla fundado en 1681. Durante el Setecientos se realizaron cambios en el plan de estudios creando nuevas cátedras, enseñando cosmografía, artillería, etc.[7]

Como es sabido, durante el reinado de Carlos III se llevarán a la práctica buena parte de los proyectos reformistas que se habían di-

---

[7] Un exhaustivo estudio sobre el Colegio ha sido publicado por García Garralón, M. *Taller de Mareantes: el Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla (1681-1847*), Sevilla, 2007.

señado o iniciado, con más o menos fortuna, en la primera mitad del siglo XVIII, considerándose esta etapa del Setecientos la más representativa de la Ilustración española. En el terreno científico, los mayores logros en el conocimiento y difusión de la química y de la metalurgia ocurrieron a finales de su reinado. En la universidad se aplicaron algunas reformas introduciendo en los planes de estudio las ciencias experimentales, especialmente la química, la botánica, y la física, aunque como asignaturas complementarias del curriculum. Gracias a los planes de Pablo de Olavide se dieron pasos hacia una laicización de las enseñanzas universitarias, aunque éstas seguían dominadas por la escolástica y se mantenía la estructura tradicional de la vieja universidad[8]. Como la enseñanza de las ciencias físico-matemáticas había estado en manos de los jesuitas y de los centros militares, de nuevo será la institución castrense, después de la expulsión de los jesuitas, la que irá a la cabeza de la renovación de la ciencia española a través del Cuerpo de Ingenieros y de las academias militares, especialmente del Colegio de la Academia de Artillería de Segovia en 1764 y el Laboratorio de Química que allí se estableció en la década de los ochenta. Otras instituciones de la época, ya en el ámbito civil, también jugaron un importante papel en la difusión de las nuevas ideas como las Sociedades Económicas de Amigos del País (especialmente la Bascongada), la Cátedra de Química y la de Mineralogía y Ciencias Subterráneas de Vergara (cuya creación fue impulsada por la Sociedad Bascongada y por la Marina) en 1777-79.

Otra institución relevante fue el Colegio de Cirugía de San Carlos para el que fue nombrado profesor de química Pedro Gutiérrez Bueno en 1787. Poco después del inicio de las clases, Gutiérrez

---

[8] Sobre las reformas universitarias ver artículo de Peset, Mariano y José Luis. " La renovación universitaria" en Carlos III y la ciencia de la Ilustración…; también Lafuente, A.; Peset, J.L. " Las actividades e instituciones científicas….", pp 56-57.

Bueno escribió un *Curso de química, teórico y práctica, para la enseñanza del Real Laboratorio de Química de esta Corte.* Asimismo, tradujo al castellano, en 1788, el *Méthode de nomenclature chimique* de Morveau, Lavoisier, Bertholet y Fourcroy que supuso un gran paso en la unificación de nomenclatura de los compuestos y elementos químicos, nombrando los compuestos oxigenados por su grado de oxidación. Este químico y farmacéutico fue uno de los principales escritores de obras de enseñanza de la química durante los años finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX[9]. También se creó la Real Escuela de Mineralogía de Indias en 1789 y otro laboratorio de química en el Jardín Botánico en 1788. Las tertulias y reuniones sociales seguían activas, como la que se mantenía en Sevilla en los salones de Pablo de Olavide. Sin embargo, incluso en algunas de las instituciones civiles como las Sociedades Económicas, la enseñanza de la ciencia estaba a cargo de militares ilustrados formados anteriormente en los colegios militares[10].

Una vez creadas las instituciones adecuadas, la Corona intentó traer a España científicos y personalidades relevantes del extranjero: el químico Louis Proust en la Cátedra de Química del Seminario Patriótico de Vergara (en 1779) y en el Laboratorio de Química del Colegio de Segovia (1792), así como a Chabaneau, fundador de la Real Escuela de Mineralogía. También el naturalista Loefling, discípulo de Linneo, jugaría un importante papel en la renovación de

---

[9] García Belmar, A y Bertomeu Sánchez, J. A.. "Pedro Gutiérrez Bueno (1745-1822), los libros de texto y los nuevos públicos de la química en el último tercio del siglo XVIII", DYNAMIS. *Acta Hisp. Med. Sci. Hist. Illus*. 2001, 21, 351-374.

[10] Balaguer, E. "Los ejércitos y la renovación científica en España", *I Congreso de Historia Militar*, T I, Zaragoza, 1982, pp.599-629. Sobre la Escuela de Minería: Uribe Salas, A. y Cortés Zavala, T. " Andrés del Río, Antonio del Castillo y José J. Aguilera en el desarrollo de la ciencia mexicana en el siglo XIX", *Revista de Indias,* 2006, nº 37, pp. 491-518. Castillo Martos, M. *Creadores de la ciencia moderna en España y América*, Ed. Extremeños, 2005.

la ciencia española con sus investigaciones y enseñanzas. Asimismo, como en la etapa anterior, se enviarían al extranjero a españoles para ampliar estudios y renovar conocimientos. Es el caso de Juan Manuel de Aréjula que había terminado sus estudios de cirugía en el Colegio militar de Cádiz en 1776 y fue pensionado por la Marina para estudiar química en Paris en 1784. A su vuelta a España, se incorpora al Colegio de Cádiz en 1793 enseñando botánica y medicina y, posteriormente, como catedrático de química se convertiría en un excelente divulgador de la nueva nomenclatura y de los trabajos de Lavoisier.

Otro notable científico fue Fausto de Elhuyar quien estudió medicina en París y posteriormente fue también pensionado para viajar por Alemania y Hungría para adquirir conocimientos de mineralogía. Se incorporó a la Cátedra de Vergara en 1779. También estuvo en Francia Agustín de Betancourt que fue director del Real Gabinete de Máquinas fundado hacia 1791, esta institución promovió la tecnología hidráulica y mecánica. Por último, en 1790 se creó el Observatorio Astronómico de Madrid con un telescopio comprado en Londres y en el que se desarrolló una doble labor docente e investigadora[11]. Los ingenieros militares llegaron a tener una amplia formación teórica que superaba lo meramente técnico. Así, Feliz de Azara y Perera, que había estudiado en Barcelona, llegó efectuar importantes observaciones en el campo de la zoología aprovechando sus viajes por América entre 1781 y 1801. También adelantó algunas ideas en el campo de la genética como el concepto de mutación, aunque no desarrolló formalmente el tema, circunstancia comprensible dado el enorme atraso en la época de esa rama de la biología. Las universidades

---

[11] Ibídem. Sobre la Cátedra de Vergara: Gago, R. "Bicentenario de la fundación de la cátedra de química de Vergara. El proceso de constitución", *LLUL*, nº 2, 1978, pp. 5-18.

empezaron a incluir en sus planes de estudio las ciencias experimentales, especialmente la química, la física y la botánica

La tradición en el Setecientos de organizar expediciones científicas contó con ejemplos relevantes durante el reinado de Carlos III: el viaje de Celestino Mutis por el virreinato de Nueva Granada, al que llegó en 1760, con el objetivo de realizar un estudio exhaustivo de la flora indiana con fines terapeúticos, y, posteriormente, la expedición de Malaspina. Mutis había iniciado los estudios de medicina en el Real Colegio de Cádiz continuándolos después en Sevilla y Madrid. Pasó por diferentes instituciones ilustradas como el Gabinete de Historia Natural o el Jardín Botánico adquiriendo amplios conocimientos de botánica, de química y metalurgia, además de la medicina.

Puesto que la mayor parte de la nueva ciencia se había hecho por científicos extranjeros, especialmente franceses, ingleses y alemanes, no podemos terminar este apartado sin mencionar la importante labor en la divulgación de las novedades científicas en España de los traductores de sus obras, en muchos casos por los mismos profesores de las escuelas y colegios mencionados, pero en otros por profesionales de la traducción como Miguel Suárez y Núñez, de la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País y de otras instituciones cívicas, que comienza sus trabajos de traducción en 1771 después de abandonar una incipiente carrera literaria como escritor moralista y de costumbres. Tradujo tratados franceses de química[12]. Asimismo, Juan Manuel Munárriz, discípulo de Proust en Segovia, tradujo las obras de Lavoisier.

¿Qué resultados tuvo esta política científica en España? Podemos afirmar que se consiguió formar a un buen número de personajes en el conocimiento de la ciencia experimental que se practicaba en Europa. Sin embargo, no parece que existiera un cuerpo de científi-

---

[12] Aguilar Piñal,F. "Un traductor de la ciencia ilustrada: Suárez y Núñez", *Cuadernos dieciochistas*, nº 7, 2006,Salamanca, pp87-112

ficos españoles que realizaran como conjunto una aportación propia al acervo de los conocimientos europeos; más bien los ilustrados españoles realizaron una labor de divulgación de la ciencia que rompería el aislamiento y atraso en que se encontraba España en este campo del saber, quedando reducido a círculos minoritarios. Por otra parte, en el campo de las aplicaciones de la química y la metalurgia a las industrias nacionales, solo en el ámbito de las fábricas militares, especialmente las fundiciones de cañones, tuvieron eco las nuevas enseñanzas y, en algunos casos, ciertas innovaciones.

Dado que la mayoría de estas reformas se llevaron a cabo impulsadas por el estamento militar y, en concreto, por oficiales del Cuerpo de Artillería nos parece adecuado hacer una breve reseña de la evolución de este Cuerpo a lo largo del siglo XVIII. Posteriormente, nos centraremos en describir las características del Real Colegio de Artillería de Segovia en cuya actividad científica hemos basado nuestro trabajo.

1.2. LAS REFORMAS DEL CUERPO DE ARTILLERÍA Y LA PROMOCIÓN DE LAS CIENCIAS EN EL MISMO.

En 1700, la artillería carecía de una estructura orgánica al estilo de los otros cuerpos armados, existía lo que se llamaba "gente de artillería" que acompañaban a la infantería o formaban las baterías en costas y plazas. Sin embargo, sí había una cierta independencia de otros cuerpos en los aspectos jurídicos y de abastecimientos de armas, así como en su gestión económica. En efecto, hasta 1713, el Servicio de Artillería establecido desde la época de los Austrias, se administraba con total autonomía del resto de cuerpos del ejército y con independencia del control de la Real Hacienda. Su sistema de Cuenta y Razón funcionaba a través de una Veeduría, una Contaduría y una Pagaduría propias, dependientes del Capitán General de la Artillería de España que tenía el mando supremo de dicho Servicio. Asimismo, tenía un

fuero jurídico propio, como se expresa en la ordenanza de 18 de junio de 1650 en la que se declaraba que "*la jurisdicción de artillería es distinta y separada de las demás jurisdicciones*". [13]

Durante el siglo XVIII se va a configurar un verdadero Cuerpo de Artillería a partir de una serie de reformas que se inician en 1705 y se extienden hasta finales de la centuria. Estas reformas se orientaron en tres aspectos fundamentales: la estructura orgánica, la creación de técnicos a través de las Escuelas y Academias, y el diseño y fabricación de nuevas piezas así como la ordenación de los diferentes tipos de cañones en función de su misión en el combate o la situación geográfica. Por otra parte, la administración de la Artillería irá dependiendo cada vez más de la Secretaría de Guerra, y su control por la Hacienda se incrementará gracias a los llamados ministros políticos de la artillería: Comisarios Ordenadores y de Guerra para los batallones, Contralores y Guardaalmacenes para las fundiciones, fábricas de armas y almacenes y maestranzas; cargos a las órdenes de los Intendentes del Ejercito o de las Provincias. El estudio de la Colección General de Ordenanzas militares, encargada por Fernando VI en 1757 e impresa en 1764, muestra la evolución de dichas reformas.

Entre 1705 y 1709, se emiten reales ordenanzas y reglamentos regulando los sueldos del personal de artillería y estableciendo los efectivos que "*ha de haber en los cuatro ejércitos de tropa de Andalucía, Extremadura, Castilla y Galicia y en las plazas fronterizas de las provincias de España*". Siguen cédulas fijando sueldos y equivalencias de categorías para los mandos. Por ejemplo, los tenientes de artillería se homologan al grado de coronel de infantería, los comisarios ordinarios de artillería a capitán de infantería, etc. En estas disposiciones también se empiezan a regular los cargos administrativos de la artillería,

---

[13] Portugués, José A. *Colección General de Ordenanzas Militares*, Madrid, 1764, Tomo VI, trata sobre artillería e ingenieros.

lo que más adelante se conocerá como ministros políticos del Cuerpo. Asimismo, se establece la unidad táctica de combate al organizar las compañías de artillería, dotándolas de una plana mayor al mando de un capitán con unos efectivos de unos 100 soldados entre artilleros, bombarderos y auxiliares.[14]

La ordenanza de 2 de mayo de 1710 es fundamental en la estructuración del nuevo Cuerpo. En primer lugar, porque se ordena una nueva planta para el Servicio dándole una estructura orgánica: se establece la unidad superior del cuerpo al agrupar la mayoría de las compañías independientes existentes hasta entonces en un regimiento: el regimiento de la Real Artillería de España, integrado por 3 batallones de 12 compañías cada uno con unos 1500 hombres, incluyendo una plana mayor de oficiales para dicho regimiento, todos al mando de un coronel. También se mantienen 5 compañías provinciales y 3 compañías de inválidos. Al frente de los departamentos se sitúa un teniente general con rango de coronel y en las provincias un teniente provincial con idéntico empleo. También existen un número variable de Comisarios Ordenadores o de Guerra Provinciales y Comisarios Ordinarios para las Plazas, con empleos de teniente coronel y capitán respectivamente, éstos últimos con funciones policiales, económicas y fiscalizadoras de efectos y cuentas a través de la Revista.[15]

En segundo lugar, se establecen nuevas normas de Cuenta y Razón para la gestión económica de las tropas y de los almacenes y fábricas de armas, fueros del personal, sueldos, grados, etc. Normas encaminadas a una mejor gestión del Servicio. Así, en el art. 4 se dice

"*y para evitar los desórdenes que ha habido hasta ahora en las distribuciones de municiones, armas, y pertrechos de artillería, en perjuicio de mi*

---

[14] Ibidem, pp 29-58. Ordenanzas y reglamentos de 30 de diciembre de 1705, 1 de enero de 1706, 10 de abril de 1707.

[15] Ibídem, pp 59-77. Ordenanzas de 1710.

real hacienda (…), que dé la orden el comandante de la artillería del ejército o plaza,(…). Los guardalmacenes librarán (las piezas) por orden de éste …y darán cuenta al capitán general".

Respecto a las fábricas de armas y cañones, se aprecia en estas disposiciones la voluntad de un mayor control del Estado en dichos establecimientos a través de una intervención directa de los cargos militares, comandante de la Plaza y Comisarios, así como, de los ministros políticos representados por el contralor y los guardaalmacenes, quienes sin tener empleo militar de ordenanza sí pertenecen al cuerpo de artillería. Así, en el artículo 37 se señala:

"en la provincia donde hubiere fundiciones de artillería de bronce o de de hierro, balería,etc. (….) asistirá a ellas el comandante de artillería de la provincia, para reconocer si lo que se ejecuta está en la proporción que se debe, (….). Probando en su presencia la artillería y morteros que se fundiesen en la forma en que está establecido, y los asentistas de las fundiciones y fábricas le darán parte de todo lo que se executare. Los contralores, así presentes como los que en adelante fuesen de las fundiciones (…) llevarán la razón de los metales y demás género que entraren en ella y del peso que tuviere la artillería y morteros".

Las fundiciones de cañones adquieren especial relevancia para el conocimiento de las técnicas metalúrgicas por los oficiales. Así, la importancia de la Fundición de Sevilla se pone de manifiesto en el artículo 38 de la citada Ordenanza en la que se dice:

"*ordeno, y mando se conserven las dos fundiciones de artillería de bronce que hoy subsisten en Sevilla y Valencia, en la conformidad que corren, para que mediante mis ordenes, expedidas por mi capitán general de la artillería de España se hagan todas las fundiciones que juzgare conveniente y se vayan creando oficiales de esta profesión*"[16] .

Por último, la Ordenanza de 1710 muestra el interés de la Corona por la formación técnica de sus oficiales de modo que, en su

[16] Ibidem

artículo 16, se crean tres escuelas-academias militares en Aragón, Extremadura y Andalucía para enseñar matemáticas y técnicas de fortificación y artillería.

La voluntad de Felipe V de controlar más eficazmente los asuntos de Estado por medio de sus reformas administrativas dotando de mayor poder a las secretarías de despacho, afectaron también a la gestión de la economía y el funcionamiento de las fábricas de armas. En consecuencia, hizo que se sustrajeran las competencias del capitán general de la artillería sobre dichos establecimientos a favor de la secretaría de Guerra y de la intendencia; se trataba, de paso, de eliminar conflictos entre las diversas instancias. En efecto, el primer paso en este sentido se da el 19 de noviembre de 1713 por medio de una Real Orden que decía que *"las dependencias de la artillería que corrían por mano del capitán general, vayan por la vía reservada de guerra"*. Es decir, se terminaba con la autonomía del Servicio de Artillería pasando las competencias del Capitán General a la Secretaría de Guerra. Ese año había quedado vacante la capitanía general de artillería por fallecimiento del marqués de Canales, su último titular y *"se decide no proveer este empleo por ahora"*[17]. El cargo no se cubrirá jamás y será definitivamente suprimido en 1756.

Entre 1720 y 1721, se regulan las inspecciones de la artillería. El 24 de diciembre de 1721, una real orden reorganiza de nuevo la artillería reduciendo el regimiento real a dos batallones con once compañías cada uno más una compañía de bombarderos y otra de minadores y estableciendo un Estado Mayor de Artillería integrado por los jefes y oficiales con funciones logísticas, administrativas y económicas de lo que ya se puede considerar como un nuevo Cuerpo[18]. En la ordenanza de 1728, existe un articulado muy ex-

---

[17] Portugués, José A. *Colección de..,* p 85 . Real Orden 19 de noviembre de 1713.
[18] Portugués, José A. *Colección de.* , pp 92-155. Reales cédulas y ordenanzas de 18 de mayo de 1716, 25 septiembre de 1717, 24 de diciembre de 1721.

tenso en el que se dan instrucciones a los intendentes y oficiales de la artillería que dirigen las fábricas de armas en todo lo relacionado con la fundición de cañones de bronce, mezcla de metales, calibres de las piezas, funciones de los contralores.

Otro paso en la configuración de la artillería como un cuerpo dirigido por militares altamente cualificados en las artes de fundición, metalurgia, diseño, tipología de cañones, etc., será la promulgación de un Real Título, el 13 febrero de 1732, creando el cargo de Inspector General de la Artillería. Para el puesto se nombra al conde de Mariani, con el empleo de coronel de artillería (también será primer teniente general del cuerpo). Algunas de sus atribuciones serán:

> *"una de las principales obligaciones de vuestro cargo será la de revistar, reconocer y examinar, cuando os pareciere conveniente, y pudiereis ejecutarlo, o cuando Yo os lo ordenare, la artillería de las Plazas, castillos, fuertes, fábricas, armas (…) y demás efectos existentes en los almacenes. Tiene jurisdicción sobre todas las fábricas y maestranzas.(…) dando las órdenes que juzgarais convenientes al acierto de mi real servicio, remitiendo firmados los diseños, que Yo hubiere aprobado, los que se habrán de ejecutar y poner en práctica por los asentistas y oficiales. También examinareis los asientos y contratas que se hicieren para construcción de artillería. También que entendáis del gobierno económico, disciplina militar y policía del cuerpo de la artillería (…) y todas las personas que de alguna manera se hallaren empleadas en el servicio de la artillería, obedecerán las órdenes que les diereis, en virtud de las que recibiréis de mi capitán general de la artillería (que está vacante),, o mías por el secretario de guerra. Propone nombramientos, vigilarán las Academias y diseñarán ejercicios de pruebas de cañones y morteros"*[19].

En el último artículo se ordena que todos le obedezcan y ejecuten sus órdenes incluidos los Intendentes**.** Al pie del documento figura la firma de Patiño. El inspector general será la máxima autoridad

---

[19] Portugués, José A.. *Colección de*...., Tomo VI, pp 176-185

del Cuerpo aunque poco tiempo después estará supeditado al secretario de guerra y, por tanto, se refuerza la dependencia de la artillería del sistema administrativo centralizado puesto en marcha por los Borbones. En las sucesivas ordenanzas y reglamentos se irá completando la organización del cuerpo de artillería. En muchas de esas normas se hace referencia, cada vez con más frecuencia, a las fundiciones de cañones.

Durante el gobierno de Ensenada se introdujeron importantes reformas en la organización de la artillería en general y de la administración de las fundiciones en particular. Uno de los aspectos más destacado de su gestión fue reforzar el control de la Hacienda en la gestión económica de los ejércitos, potenciando el papel de los intendentes en el control de los mismos. Durante su mandato se dictaron muchas normas y reglamentos encaminados a reformar y racionalizar la estructura y el funcionamiento del sistema de Cuenta y Razón del ejército y de la artillería. Por ejemplo, todos los cargos se subordinaban al Intendente, quien debía dar cuenta al secretario de Guerra. Los comandantes y generales de artillería solo se encargarían, a partir de ahora, de la inspección de los géneros y de que los materiales fuesen conforme a la ley, es decir, de los aspectos técnicos de la fabricación de piezas. Con estas medidas se pretendía acabar con la duplicidad de funciones, reducir gastos y racionalizar la organización de las fundiciones y maestranzas disminuyendo su burocracia.

La ordenanza de 21 octubre de 1751, regula los programas, plantillas y prácticas de escuelas de matemáticas de Barcelona y Cádiz que tienen el titulo de artillería. Las características externas de los cañones también fueron reguladas en años sucesivos. Así, por ejemplo, el 3 de mayo de 1751, se ordena que en las piezas de artillería solo figure el nombre del fundidor, la fundición y el año, se pretendía eliminar la excesiva ornamentación con que se terminaban los cañones[20]. La

[20] Portugués, José A.. *Colección de...* pp 276-543

pruebas y ejercicios con los cañones fueron minuciosamente diseñadas y publicadas en una extensa ordenanza el 18 de junio de 1752[21]. El 8 agosto de 1756, un Real Título crea el empleo de Director General de la Artillería e Ingenieros unificando ambos cuerpos, al mismo tiempo se suprime el cargo de Capitán General de la Artillería que estaba vacante desde 1713. Para el nuevo empleo se nombra al conde de Aranda, quien hasta entonces había sido teniente general de los ejércitos con grado de coronel de infantería[22]. Aranda, durante su corta estancia en el cargo, impulsará nuevas reformas que se continuaran en los años siguientes. Por ejemplo, modifica la organización territorial de la artillería distribuyendo a todo el personal en cuatro departamentos: Barcelona, Sevilla, Coruña, Zaragoza y presidios de África; y diez provincias de dichos departamentos.

Durante el reinado de Carlos III se configurará definitivamente la estructura y funcionamiento del Real Cuerpo de Artillería, que se denominará así a partir de 1762 con la publicación del "*Reglamento de nuevo pie en que S. M. manda que se establezca el Real Cuerpo de Artillería*"[23]. A partir de ese año, la Artillería adquirirá un diseño que permanecerá con pocas variaciones hasta las Ordenanzas de Godoy en 1802. Es decir, se refuerza el control de los nombramientos de los funcionarios de las fundiciones y fábricas de armas por el Rey y la Hacienda, asimismo, se intenta racionalizar la burocracia en los pagos y libranzas, y en los modelos de elaboración de inventarios rendición de cuentas.

Un personaje clave en el diseño del nuevo Cuerpo de Artillería fue el conde de Gazzola. Nombrado en 1763 Inspector y Director

---

[21] Ibidem, pp 544-716

[22] Ibidem, pp 726-728

[23] Copia facsímil del reglamento en *Revista de Historia Militar*, nº 63, Madrid, 1987

General de la Artillería, Gazzola, que había empezado a trabajar con el Rey en 1761, fue el artífice del reglamento de 1762. En su reforma, se fundían en un solo Cuerpo el antiguo Regimiento Real de Artillería y el Estado Mayor de la misma, desapareciendo las compañías provinciales y creándose una nueva compañía de cadetes, en total unos efectivos de 2860 hombres, de ellos, 255 oficiales. Los oficiales se nombrarían por sus empleos de escalafón homologados a los de la infantería, es decir, coronel, teniente coronel, etc, en vez de las antiguas denominaciones: teniente general de artillería, teniente provincial, etc[24]. Asimismo, este personaje fue clave en la creación del Real Colegio de Segovia como veremos después.

La llegada de Godoy al poder supuso una ampliación del Cuerpo de Artillería. En sus ordenanzas de 1802 se justifican las reformas en aras de un mayor control, orden, etc., y especialmente, por estar "*fundadas en los defectos de ser el pie actual del expresado Real Cuerpo muy diminuto respecto al número de bocas de fuego a cuyo servicio debe atender()*".[25] Los establecimientos que mantenía el personal del arma de artillería eran: las fundiciones de cañones de bronce de Sevilla, las fábricas de municiones de hierro colado de Sargadelos, Trubia y Orbaiceta, las de fusiles de Plasencia y Oviedo, la de hierro colado en Villafranca del Bierzo, las de pólvora de Murcia, Lima y Filipinas y las de armas blancas de Toledo. Su labor se había traducido en una dotación a nuestro ejército de 6.300 cañones, 1.718 morteros, 152 pedreros, 316.026 fusiles, 4.921 carabinas 72.072 mosquetones[26] .

---

[24] Los detalles de la reforma han sido tratados, entre otros autores, por Gil Osorio, F. "La reforma artillera del conde de Gazzola", *Revista de Historia Militar*, nº 31, Madrid, 1971, pp 77-100.

[25] Ordenanzas de Godoy de 1802 recopiladas por AntonioValdecillo, Madrid, 1853, pp 209-242

[26] Martínez Ruiz, A. "El largo ocaso del ejército español en la Ilustración", *Revista de Historia Moderna*, nº 22, Alicante, 2004, pp 7-49, p 17

Durante todo el Setecientos, distintas ordenanzas regularon el calibre y las funciones de las distintas piezas de artillería. Es a partir de 1775, cuando se adoptan las ordenanzas francesas inspiradas por el general Gribauval adaptándolas a las españolas de 1732, en ellas se fijan cinco modelos de calibres para los cañones: de a 24, 16, 12, 8 y 6 libras de peso de la bala, y morteros de a 12 y 8 pulgadas. En 1783, un nueva ordenanza establece la distinción de funciones para los cañones cortos y largos, de modo que, los cañones largos de a 24, 16, 12, 8 y 4 libras se destinarían a la defensa de plazas, sitio y costas, así como los morteros de a 14, 12, y 7 pulgadas. Los cañones cortos de a 12 y 8 libras junto con los obuses de a 7 pulgadas se destinaron al ejército de campaña para las batallas en campo abierto.[27] A partir de ese año se fabricaron en bronce los obuses, armas similares a los cañones cortos pero con un nuevo diseño que permitía un tiro más curvo que los convencionales, los más usados tenían calibres de 9, 7 y 4 pulgadas. Estas nuevas armas también fueron muy usadas en la Real Armada.

[27] De Sotto y Montes, " La organización....",

CAPÍTULO 2º

LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EN EL REAL COLEGIO DE ARTILLERÍA DE SEGOVIA

2.1. LA CREACIÓN DEL REAL COLEGIO Y SU FUNCIONAMIENTO

Por iniciativa del conde de Gazzola, director general de la Artillería, se creó el Real Colegio de Artillería de Segovia con el objetivo de unificar y centralizar las enseñanzas que se impartían en las Escuelas de Matemáticas de Cádiz y Barcelona que venían funcionando desde 1751. El 16 de Mayo de 1764 se inauguraba el primer curso del nuevo Colegio de Segovia. Se organizó siguiendo el ejemplo de las Escuelas citadas: el director, el conde de Gazzola; un subdirector; conde de Tilly; el cuadro de profesores integrado por un primer profesor y jefe de estudios, el padre Antonio Eximeno, jesuita y prestigioso matemático; un segundo profesor, Lorenzo Lasso; un tercer profesor, Jorge Guillelmi; además de un capellán, un cirujano, un maestro de lenguas y un maestro de armas, cocinero y tres criados. A partir de 1767, el padre Eximeno fue sustituido por Lasso de la Vega como primer profesor debido a la expulsión de los jesuitas

decretada por Carlos III; para el puesto de tercer profesor se nombraba interinamente a Manuel Zapatero y Guillelmi pasaba a segundo profesor. [28]

Hasta 1768, la Escuela se rigió por un reglamento provisional; a partir del 23 de agosto de ese año, se implantaría una Ordenanza que se mantendría hasta 1804 año en que se promulgó un nuevo Reglamento. En la de 1768 se establecían nuevas normas sobre el funcionamiento de la institución, fijando las condiciones de admisión de los cadetes, que debían ser de procedencia noble, así como los uniformes que debían vestir, el armamento que portarían, planes de estudio, horarios, etc.

El equipo directivo del Colegio era el Consejo, integrado por el director (generalmente asistía el subdirector, el comandante del Departamento de Artillería José Dattoli a partir de 1767) y los tres profesores de las asignaturas, también asistía el profesor de Táctica Vicente de los Ríos. El Consejo se reunía ordinariamente cada mes y en ocasiones con carácter extraordinario. Sus atribuciones eran, en primer lugar, de tipo académico: aprobación de los programas de estudio, exámenes de los cadetes y calificaciones de los mismos y resolución de promocionar a los alumnos a los cursos superiores[29]. Además, se encargaba de tratar todas las incidencias de la vida diaria del Colegio: las faltas de disciplina de los alumnos y las sanciones correspondientes, las instalaciones del establecimiento y sus posibles mejoras, el examen de los expedientes de nobleza que debían aportar los caballeros cadetes para su admisión, etc. Por último, tenía

---

[28] Pieltan de la Peña, R. "II centenario de la fundación del Colegio de Artillería del Alcázar de Segovia", *Revista de Historia Militar*, nº 16, 1964, pp. 95-133. Tb Gil Osorio, F. " La reforma artillera…".

[29] Herrero de Quesada, M.D. *La enseñanza militar ilustrada en el Real Colegio de Artillería de Segovia*, Segovia, 1990. La autora trata detalladamente las diferentes promociones de alumnos, sus calificaciones y las normas del Colegio a través de las diferentes Ordenanzas.

competencias económicas, aprobando y distribuyendo las partidas de caudales para el funcionamiento de la institución. La actividad del Consejo queda bien reflejada en las Actas del Colegio entre 1764 y 1787, documento manuscrito en el que se refleja el devenir de la Institución en ese periodo[30]. De los años posteriores hasta 1808 y el comienzo del peregrinaje por España del Colegio a causa de la guerra, no tenemos Actas.

2.2. EL PLAN DE ESTUDIOS

El plan de estudios refleja el objetivo principal que debía conseguir la Escuela: formar teórica y prácticamente a los jóvenes cadetes en la ciencia de la artillería. Durante los tres primeros años de vida del Colegio, dicho plan se fue modificando en cuanto a la duración del mismo entre uno y tres años. Sin embargo, a partir de 1768 se iba a fijar en tres años, más un curso inicial preparatorio; es decir, cuatro años. Los alumnos cadetes se distribuían en tres clases, primera, segunda y tercera. En la tercera clase estaban los alumnos de reciente ingreso a los que se impartían conocimientos más elementales, ya que debe tenerse en cuenta que se trataba de cadetes muy jóvenes con edades comprendidas entre 13 y 15 años. En años posteriores (a partir de 1768), en vista que algunos nuevos alumnos apenas tenían conocimientos básicos en matemáticas, se organizó una clase a la que se denominó preparatoria en la que se explicaban rudimentos de aritmética y ortografía.

Los cadetes que superaban este curso pasaban a la tercera clase, siendo la primera clase la más avanzada. Es decir, en teoría los estudios podían completarse en cuatro años. Sin embargo, dada la complejidad de los contenidos impartidos en la primera clase o clase

---

[30] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Actas del Colegio Tomo I y II. 1764-1787.

superior y la incorporación al currículo de la clase de Táctica y Fortificación y, posteriormente, materias como la química, la metalurgia y la mineralogía, fue necesario ampliar un año más la permanencia en el Colegio de los cadetes de la primera clase para dar todas las asignaturas con aprovechamiento, sobre todo para los alumnos menos dotados que debían repetir algunas materias. Por ejemplo, en el Consejo celebrado en julio de 1779 se dispone que los alumnos que hayan terminado la clase primera pasen a la clase de Táctica; sin embargo, dado que esta clase no era diaria, se les recomienda que los días que no tenían la clase asistan de nuevo a la primera clase para " no estar ociosos".[31] Así pues, en la práctica, los estudios podían durar hasta cinco años. Entre 1792 y 1799 se cursarían clases públicas de ampliación de química y metalurgia en el Laboratorio de Química del Colegio a cargo de Louis Proust. A partir de ese año, con la marcha de Proust a Madrid, los nuevos oficiales podían cursar en la capital un año más para ser instruidos en los "estudios sublimes" consistentes en conocimientos más profundos en química, física y metalurgia, aunque la mayoría de ellos eran destinados al servicio activo inmediatamente.

Los exámenes se celebraban dos veces al año, en julio y diciembre "como uno de los medios más eficaces para desterrar la inaplicación"[32], los alumnos que los superaban eran promovidos a la clase inmediatamente superior y los de la primera clase pasaban a la de Táctica y Fortificación, clase a la que también podían asistir oficiales que no habían cursado los estudios en el Colegio. En las Actas del Consejo encontramos constantes deliberaciones sobre los resultados académicos de los cadetes y la preocupación de los profesores por mejorar el nivel de los alumnos más atrasados; a ese respecto, existía cierta flexibilidad en la distribución de los cadetes en las diferentes

---

[31] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Actas del Colegio. Tomo II.
[32] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Actas del Colegio, Tomo I, Consejo de 31 de octubre de 1774

clases, fuera por nivel de conocimiento o por disponibilidad de los profesores, de modo que se pudieran recuperar conocimientos.

"Después de un examen para ver nivel de alumnos de francés, el profesor a resultas de este examen los ha dividido en dos clases, la primera se compone de los más adelantados, y mejor disposición; los restantes forman la segunda. A todos dará en muy pocos días una gran tabla con las terminaciones de los verbos, tres día a la semana se empleará la traducción y los restantes en estudiar las reglas de la pronunciación y ortografía"[33]

Asimismo, en el curso de los años se va constatando la necesidad de contratar más profesores e introducir nuevas asignaturas en el currículo. Así, en una carta de Tomás de Morla y de Joaquín Mendoza al director leídas en el Consejo de 31 de marzo de 1769 se dice:

" *el curso del primer profesor no quedó completo ni leido su autor, reducido a los limites y terminos concisos por conocer que estaba demasiado extenso para ser dictado en una Academia; que por esta razon varios de los caballeros cadetes han dado la Geometria y el Calculo del citado curso, variando u omitiendo lo sublime. Que otros han dado distinta Geometria y Calculo mucho menos extenso; que los tratados de Estatica, Hidraulica, Hidrostatica, Maquinaria, Fortificacion, Ataque y defensa, se han dado al pie de la letra por el curso de Ingenieros; que los ramos que se han dado del tratado de Artilleria, a saber, los Tiros por elevacion, Dimensiones de las piezas, proporción de ellas con sus carruaje, calidad de la polvora, de las fabricas, construccion de almacenes modo de conservarla en ellos, minas, contraminas, fuegos de artificio y construcción de baterías, son sacados de distintos autores y con diverso método, de suerte que en algunos de ellos como el de los tiros por elevación que D. Miguel Rubin sacó de Velidor* (el tratado de) *se establecen los teoremas sobre principios que no saben los caballeros cadetes por no estar comprendidos en los tratados que se les han dado: y ultimamente que los más de los cablleros cadetes ascendidos en las últimas promociones, y los actuales*

---

[33] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Actas del Colegio, Tomo I, informe al Consejo de 4 de junio de 1773

brigadieres de la Compañía (que componen una de las tres clases de la misma) (…) no tienen tratado alguno con que continuar en la Academia, por no hallarse el citado profesor interino (se refiere a Morla*) con disposición ni fuerza para componer de nuevo los que faltan que dar para que el curso sea completo (…) es preciso formar un segundo curso* (quiere decir dividir el grupo*) completo y con el mismo método* (…) *y como esto no lo puede hacer solo el referido D. Tomás de Morla es indispensable un primer profesor que lo trabaje y otros que le ayuden, pues el profesor D. Tomas de Morla tiene actualmente tres clases a su cargo, además de las que tiene el ayudante mayor D. Joaquin Mendoza (…) igualmente se determinó hacer presente al Director que los elementos de las demás facultades conducentes a la más perfecta inteligencia de la Artillería los cuales no estén en el día en esta Academia, y debe componer el primer Profesor de ella según el art 2º Tº 5º de la Ordenanza del Colegio, entiende el Consejo que deben ser la Arquitectura Civil, un Apéndice de Cosmografía, otro de Óptica y Persprctiva Militar y otro de Construcción de puentes y barcas, que son de los más esenciales de los que se acostumbran a dar en las Academias"* [34]

En la transcripción anterior aparecen algunas de las asignaturas de la carrera a las que habría que añadir el dibujo, los idiomas, el francés, y otras complementarias como el baile, la esgrima y otras actividades imprescindibles en la educación de un caballero de la época. Sin embargo, la materia principal del currículo eran las Matemáticas, cuyos contenidos se impartían desde la clase preparatoria a la primera o superior, con una duración de dos horas diarias, de modo que los alumnos las recibían durante toda su estancia en el Colegio. A partir del registro de las materias que figuran en las Actas, de las que se examinaban los cadetes, sabemos que con respecto a las matemáticas, en la clase preparatoria se daba Aritmética elemental; en la tercera clase, ampliación de la aritmética y los elementos de ge-

[34] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Actas del Colegio, Tomo I.

ometría euclidiana; en la segunda, álgebra especulativa y práctica, ecuaciones, etc.; en la primera, cálculo diferencial e integral y trigonometría. Además, se impartían asignaturas cuyos contenidos estaban relacionados con la mecánica, la arquitectura y la fortificación; por último, en la asignatura de Táctica y Artillería se enseñaban teorías y conceptos relacionados con la química, la mineralogía y la metalurgia, especialmente las relativas al hierro, acero, pólvora, etc., con vistas a disponer de buenos técnicos en el arte de la fundición que pudieran dirigir las industrias de armas de la Corona. En el horario lectivo se impartían lecciones magistrales de las distintas materias, pero también se hacían trabajos de grupo y debates a partir de las conferencias de los profesores.

La clase de Táctica era impartida por Vicente de los Ríos, y a partir de 1769 también por Tomás de Morla como profesor ayudante del anterior, a su vez Morla contaba con otro ayudante para sus clases: Joaquín Mendoza. Tomás de Morla había sido alumno de la primera promoción de la Academia y se había graduado como subteniente con un expediente muy brillante. Pronto empezaría la redacción de su Tratado de Artillería, el célebre texto fue de estudio obligado a partir de 1784, año del comienzo de su publicación[35]. Del Tratado nos ocuparemos más adelante ya que la obra es un ejemplo de la contribución de los artilleros de carrera a la renovación científica española del siglo XVIII. Por otra parte, los viajes que realizó por Europa a partir de 1787 junto con Jorge Gillelmi le permitió reunir información de primera mano sobre las fundiciones de cañones extranjeras y las novedades que se llevaban a cabo en las mismas, aplicándolas a las industrias españolas de armamento en años posteriores.

---

[35] Herrero Fernández-Quesada, M.D. *Ciencia y Milicia en el siglo XVIII: Tomás de Morla, artillero ilustrado*, Madrid, 1990; Gil Osorio, F. "Morla de Artillería", *Revista de Historia Milita*r, nº 51, …. Está el indice del Tratado

2.3. LAS PROGRAMACIONES Y CONTENIDOS DE LAS ASIGNATURAS

A partir de 1775, el director del Colegio ordena que los profesores expongan en el Consejo los detalles de sus programaciones, los textos que emplean, y las calificaciones semestrales de los alumnos. Las Actas reflejan esos informes detallados pero solo hasta 1778, pues a partir de ese año, aunque la orden sigue vigente, no consta en las Actas las programaciones aunque éstas seguían entregándose al director. Por estos informes sabemos los principales contenidos de las asignaturas y al menos sobre el papel, el nivel de exposición de las mismas correspondía a los conocimientos más modernos de la época, estando perfectamente actualizados por lo que no es gratuito afirmar que el Colegio de Artillería de Segovia fue un centro de enseñanza científica de primer nivel en España. Para evaluar el nivel científico de los programas, detallaremos a continuación los contenidos de la asignatura de Matemáticas, Mecánica y Táctica de las diferentes clases entre 1775 y 1776[36].

Las Matemáticas

Clase preparatoria o supernumeraria

- Primeros elementos de aritmética.
- Reglas para sumar números enteros, decimales,, y números concretos.
- Las de restar los mismos números con las demostraciones de estas reglas, casos que contienen, y sus exámenes o pruebas.

[36] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Actas del Colegio, Tomo II. Reuniones del Consejo entre marzo de 1775 y diciembre de 1776.

- Multiplicación de números enteros.
- Construcción y uso de la tabla de multiplicar, y Pitagórica.
- La multiplicación de los decimales con la demostración de estas reglas.
- La partición de los números enteros con su demostración .
- División de los números enteros y decimales.
- La idea de las cantidades algebráicas, la simplicidad y universalidad de su cálculo. Signos que las acompañan.
- De los coeficientes determinados e indeterminados.
- Que son cantidades simples, complejas, binomias, etc.
- La suma de las cantidades algebráicas y su reducción.
- La resta de estas cantidades. La multiplicación de las simples con la demostración de la regla de los signos.
- Idea de los exponentes, las potencia y sus grados.
- Reglas para la multiplicación y partición de las potencias de una misma raiz.
- Aplicación de estas ideas a los números.
- La regla para multiplicar cantidades complejas.
- Regla de partir cantidades algebraicas simples con la de los signos y su demostración.
- Su aplicación a la división de los complejos.
- La invención de las divisiones de una cantidad numérica y su aplicación a los casos más fáciles de las algebraicas.
- La invención del mayor común divisor de dos o más cantidades numéricas y su aplicación a las algebraicas.
- Que es potencia de una cantidad. Tabla del binomio a+b. Análisis de una potencia cualquiera.
- División de las potencias en perfectas o imperfectas[37]

---

[37] Transcripción literal de las Actas del Colegio en Biblioteca de la Academia de Artilleria. Tomo II. Reuniones del Consejo entre marzo de 1775 y diciembre de 1786.

- Reglas para multiplicar quebrados decimales; el modo de saber la denominación de cualquier producto de factores decimales antes de empezar la operación
- Una idea de cantidades o números indeterminados
- Qué son cantidades positivas o afirmativas y las negativas o defectivas.
- Qué son coeficientes, cantidades semejantes, y términos de una cantidad.
- Los casos que pueden ocurrir en la adición de estas cantidades; el modo de ordenar los complejos que son muy conocidos.
- El método para restar estas cantidades sean simples o complejas con su demostración.
- La regla para multiplicar cantidades literantes simples y complejas .
- Que es potencia y exponente de una cantidad con una explicación para no confundir el coeficiente con el exponente.

Clase tercera[38].

- Elementos de geometría.
- Superficies y planos.
- Teoria de triángulos y planos.
- La de los rectángulos y cuadrados con los teoremas principales de las potencias de las rectas.
- La de los polígonos y círculos.
- La construcción de las figuras rectilíneas.
- Principios generales de la aritmética.
- Definiciones de números y unidad, el modo de considerar esta, ya sea determinada o indeterminada.

---

[38] Ibídem.

- Lo que es número abstracto, y concreto, homogéneo y heterogéneo
- De la medida de los números y de su mayor medida común.
- Las nociones del número entero y quebrado.
- Las de las cuatro principales operaciones aritméticas.
- Inscripción y circunscripción de las rectilíneas en el círculo, y del círculo en estas figuras.
- Medidas de una superficie rectilínea.
- La idea general de las delineaciones sobre el terreno.
- La geometría de los sólidos.
- Nociones sobre posición de rectas y planos.
- Propiedades de los prismas, cilindros, pirámides, conos y esfera.
- Modo de elevar sobre los planos las rectas perpendicularmente y con cualquier inclinación.
- Modo de situar los planos perpendicularmente, inclinados y paralelos a otros.
- La transformación de los sólidos. La medida de sus superficies y solidez.
- La resolución de las potencias numéricas y algebraicas.
- La aproximación por decimales de las raíces numéricas imperfectas.
- Los 1º fundamentos de la doctrina de la razón y proporción. Nociones generales de las razones aritmética y geométrica.
- Las nociones particulares de la razón geométrica y de la proporción.
- Teoremas principales de la proporción y de la comparación de las razones desiguales.
- División o partición de razones o quebrados.
- El modo de elevar los quebrados a potencias y el de extraer sus raíces.
- La correspondencia o aplicación del cálculo de los decimales y a este de los decimales.
- La multiplicación y partición de los números concretos .

- Las reglas de proporción: regla de tres simple directa e inversa.
- La regla de tres compuesta directa e inversa.
- Las reglas compuesta sin tiempo y con el.
- Las reglas de aligación con ejemplos propios de la artillería.
- Las progresiones aritmética y geométrica.

Clase segunda[39]

- Elementos de álgebra de las cantidades finitas.
- Métodos de resolver ecuaciones de primer grado: exclusión, substitución y otros.
- Aplicación de estos métodos a problemas que tienen más de dos incógnitas.
- La regla para discernir los problemas determinados de los indeterminados, los que tienen condiciones inútiles, los que tienen imposibles.
- La resolución de ecuaciones de segundo grado. Las reglas para discernir las que tienen raíces reales o imaginarias. Cuál de las raíces satisface a la cuestión , y cuál solamente a la ecuación.
- La resolución de las ecuaciones superiores que dependen de la cuadrada.
- La resolución de problemas de progresión aritmética y geométrica y sus fórmulas.
- La resolución de los problemas simples indeterminados.
- Método de transformar una ecuación según una hipótesis cualquiera. Las consecuencias de estas transformaciones y reglas que se deducen.
- El uso de ellas para completar una ecuación, para quitarle un término cualquiera y particularmente el 2º y la resolución de la ecuación cuadrada por este método. Para quitar al 1º término

[39] Ibídem.

de la ecuación un coeficiente, si lo tiene, y para librar una ecuación de fracciones.
- Otros usos de las transformaciones de las ecuaciones siguiendo las materias del mes pasado.
- Métodos para librar de inconmensurables una ecuación.
- Métodos para hallar el máximo común divisor de dos fórmulas.
- Métodos para hallar las raíces racionales de una ecuación.
- Método para hallar los límites de las raíces de una ecuación y los particulares de cada raíz.
- Para resolver las ecuaciones que tienen algunas raíces iguales.
- Para conocer las raíces imaginarias que tiene una ecuación.
- Método para extraer raíces de las cantidades racionales e irracionales.
- Resolución de ecuaciones de tercer grado por el método de Cardano con conocimiento y distinción del caso irreductible.
- Resolución de ecuaciones de cuarto grado aplicando el método de las indeterminadas de Descartes.
- Resolución de ecuaciones de cualquier grado por aproximación.
- Se ha dado principio al tratado de aplicación del álgebra a la geometría elemental y sublime y se ha explicado lo siguiente:
- La construcción de las ecuaciones de 1º y 2º grado determinadas y problemas de geometría elemental y de trigonometría.
- De los lugares geométricos en general.
- De la construcción de los lugares a la línea recta.
- De los lugares a la parábola. Carácter de las ecuaciones que se reducen a esta curva.
- Construcción de estas ecuaciones por reducción a la fórmula más simple y por comparación a la más compuesta.
- Trigonometría rectilínea.
- Primeras nociones o definiciones.
- Las propiedades trigonométricas de los ángulos y arcos y las de los triángulos.

- La construcción de tablas.
- La resolución de los triángulos.
- La aplicación a la práctica de levantar planos.
- Los fundamentos y prácticas de la nivelación; y se concluye la geometría.
- Cálculo de potencias tanto simples como compuestas, se busca una fórmula general que exprese esta y su aplicación a la extracción de raíces.
- De los radicales, o irracionales: cálculo de los radicales simples; la regla de los complejos, el de los radicales de doble signo, y del cálculo de los radicales imaginarios.

Clase Primera[40]

- Cálculo diferencial e integral.
- Las diferenciales logarítmicas que contienen:
- 1º El conocimiento y las propiedades de la curva logarítmica.
- 2º La idea que de ella nace, de los logaritmos hiperbólicos.
- 3º Las fórmulas logarítmicas inferidas del sistema común de los logaritmos.
- 4º El método de diferenciar las expresiones o ecuaciones logarítmicas
- Las diferenciales exponenciales que contienen el método de diferenciar estas cantidades, reduciendo las ecuaciones exponenciales a ecuaciones logarítmicas
- Las diferenciales de los senos que contienen:
- 1º Las fórmulas de los senos, cosenos, tangentes, cotangentes, secantes, etc. inferidas de las propiedades trigonométricas.
- 2º El método de diferenciar las expresiones o ecuaciones que contienen senos, cosenos, tangentes, etc. con las reglas que nacen de ella.

---

[40] Ibídem.

- De cálculo integral
- 1º Las nociones o hipótesis fundamentales de este cálculo.
- 2º La integración de las expresiones diferenciales simples, monómicas y multinómicas con las fórmulas que nacen de estas diferentes operaciones para facilidad y brevedad del cálculo.
- Uso del cáculo integral para hallar la cuadratura de las curvas:
- 1º El modo de hallar el elemento general de cualquier superficie.
- 2º Las reglas generales para aplicar este elemento a la superficie particular de que se trate y hallar su integral.
- 3º El método o regla para completar esta integral, hallando el valor de su correspondiente superficie constante.
- 4º La aplicación de estos principios a la cuadratura o medida de las superficies de diferentes curvas cuadrables exactamente.
- Las cuadraturas por aproximación que contienen:
- 1º Algunas advertencias y operaciones sobre las series que resultan por la partición y por la extracción de raíces.
- 2º Método para resolver cualquier fracción en serie infinita por medio de series recurrentes.
- 3º Modo de hallar el valor de una indeterminada en expresión de otra, por medio del método inverso o de retorno de las series infinitas.
- 4º Aplicación de estos principios a diferentes ejemplos de cuadraturas por aproximación en las superficies de diversas curvas que no son cuadrables exactamente.
- 5º Reglas para la rectificación de curvas.
- 6º Su aplicación a las diferentes curvas.
- 7º Modo de manifestar como la rectificación de algunas curvas depende de la cuadratura de otras.
- 8º Método de reducir con facilidad al cálculo numérico a la integral algebraica que haya resultado de la rectificación de cualquier curva.
- 9º Consideración de un sólido formado por la revolución de una figura plana alrededor de un eje de movimiento.

- 10º Consideración de un sólido completo de infinitos planos o elementos suyos.
- Cónicas
- Métodos de construir los lugares de la parábola, elipse, círculo, hipérbola. Métodos de construir ecuaciones determinadas de grados superiores.
- El de construir las curvas que se definen por ecuaciones indeterminadas de grados Principios de cálculo diferencial.
- Uso del cálculo diferencial para determinar las subtangentes, tangentes, normales, etc., y demás rectas de las curvas.
- Uso del cálculo diferencial para tirar las asíntotas en las curvas.
- Método de determinar las tangentes, normales, etc., con las curvas en que el ángulo de las coordenadas no es recto.
- Ideas generales de máximos y mínimos y principios para resolver estas cuestiones; infiriéndose de aquí la regla para hallar la mayor y la menor ordenada de un curva algebraica.
- Uso del cálculo diferencial para hallar el punto de inflexión contraria y el punto de regreso en las curvas algebraicas diferenciales segundas de las ordenadas de las curvas y sus aplicación.
- Idea general de las diferenciales 2º y 3º y demás órdenes.
- Idea general de las absolventes y absolutas.

El programa de Matemáticas expuesto en las páginas anteriores muestra que los cadetes recibían una enseñanza perfectamente actualizada para la época. Sin embargo, si tenemos en cuenta que muchos cadetes ingresaban con conocimientos muy rudimentarios de matemáticas a una temprana edad, apenas las cuatro reglas, resulta difícil comprender que en solo cuatro años llegaran a dominar el cálculo integral y diferencial. Aunque no vamos a tratar el régimen de clases, horarios, disciplina, etc., que otros autores han estudiado ampliamente, así como los pocos días de vacaciones que disfrutaban, podemos conjeturar que en el periodo que abarcaba la carrera los alumnos más aplicados y con más aptitud, sin duda lo conseguirían.

Las calificaciones que aparecen en las Actas del Colegio muestran que la mayoría de los alumnos de cada curso superaban los exámenes y pasaban a la clase superior; sin embargo, a medida que transcurren los años observamos un aumento del número de cadetes que obtienen la calificación de atrasados y, por tanto, debían repetir el curso.

El texto de referencia para la enseñanza de las Matemáticas en las últimas décadas del siglo XVIII fue el *Curso de Matemáticas para la enseñanza de los caballeros cadetes del Real Colegio Militar de Artillería* de Pedro Giannini, que sucedió a Vimercati como profesor de la asignatura en Segovia a partir de 1776 y ejerció en el Colegio hasta 1796. La obra, publicada a partir de 1782, está dividida en cuatro tomos y uno más de prácticas de geometría y trigonometría. El autor continúa la tradición de otros matemáticos españoles de la época que ya habían publicado tratados como Juan Justo García (1752-1830) o Benito Bails (1730-1797)[41].

La programación antes expuesta se corresponde al contenido de los diferentes tomos de la obra, así en el primer tomo se explican los Elementos de Geometría Plana y Sólida de Euclides, que se impartían en la tercera clase, y en el tercer tomo el Cálculo diferencial e integral de la primera. En el prólogo al tercer tomo vemos como recoge los trabajos de los matemáticos que le preceden y explica algunas aportaciones que hace él mismo a esa ciencia, especialmente en la enseñanza de la misma y su aplicación a la artillería:

> *"En cada Libro he procurado distribuir las referidas teorías con método geométrico y así como lo había executado en las de la Algebra; he buscado las demostraciones mas sencillas de las mismas teorías, y particularmente por lo tocante a las equaciones homogéneas tratadas por el sabio J.. Ber-*

---

[41] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Giannini, P. *Curso Matemático para la enseñanza de los Caballeros Cadetes del Real Colegio Militar de Artillería de Segovia*, Segovia, 1782-1795.

noulli, habiendo hallado un modo breve y fácil para reducir las indeterminadas, que se contienen en las muchas equaciones que se necesitan , á las raices de una sola equacion para cada equacion homogénea; he extendido dicho método á las equaciones del primer grado que no son homogéneas, y he hallado otro para estas equaciones del segundo grado; y finalmente he ilustrado las mismas teorías con bastante exemplos, á fin de que los Jóvenes puedan comprehender mas bien los Cálculos Diferencial é Integral , que son la base fundamental de la Mecánica, ciencia útil á los Oficiales de Artillería, como lo manifiestan las Obras de los Señores, Tempelhof, Robins y su Comentador L. Euler, Papacino d' Antoni y otros. "[42]

Mecánica racional (Física)

Giannini era un buen conocedor de la asignatura de Mecánica Racional, materia que impartiría y para la que se usarían apuntes del propio Giannini, quien pensaba redactar un Tratado tal como lo anuncia en el prólogo del tercer tomo de su *Curso matemático.* Esta asignatura estaba basada en la física de Newton, y se impartía a los alumnos de la primera clase, normalmente después de la introducción al cálculo integral y diferencial, cuyo contenido hemos expuesto anteriormente. En dicho programa se puede apreciar una sólida y moderna, casi actual, base teórica en el conocimiento de la naturaleza de las fuerzas y del movimiento que afectan a los cuerpos: la estática y la cinemática. Conocer, describir y calcular los parámetros esenciales de esa mecánica como la velocidad, aceleración, distancias recorridas, rozamientos, energías cinéticas y potenciales, así como el resultado del choque de los cuerpos y sus deformaciones; sería de gran utilidad a los futuros oficiales de la Artillería para los

[42] Ibídem. Prólogo al Tomo 3º de su Curso matemático.

que el disparo de un cañón había dejado de ser una práctica puramente empírica con resultados deficientes, para adquirir una precisión científica y mayor eficacia en la guerra. Otro texto muy utilizado en el Colegio desde principios del siglo XIX para esta asignatura fue el *Tratado de Mecánica Racional* de Delaunay, cuyo índice de contenidos se ajusta al programa que se explicaba a finales del Setecientos.[43]

Programa de Mecánica Racional para los alumnos de la Clase Primera

- El movimiento en general. Su división en rectilíneo y curvilíneo.
- La idea de la velocidad y el movimiento absoluto y relativo; real y aparente; uniforme y variable; acelerado y retardado.
- La inercia y fuerzas motrices con sus teoremas fundamentales y la idea de cantidad de movimiento.
- El método de representar en fórmulas de igualación la proporción en que entran las fuerzas y velocidades.
- La explicación de lo que se debe entender por fuerzas vivas y fuerzas muertas.
- Los teoremas fundamentales del movimiento equablemente acelerado.
- El modo de expresar e introducir en las fórmulas la fuerza aceleratriz constante y las fórmulas del movimiento equablemente acelerado.

---

[43] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Delaunay, Ch. *Tratado de mécanica Racional*, Madrid, 1866. Traducción del francés de Juan Clemencín. En la Biblioteca existe un cuaderno manuscrito, sin fecha, con apuntes sobre los contenidos que entraban en el examen de Mécanica. Probablemente es de la segunda mitad del siglo XIX por los datos que contiene; por ejemplo, se cita el tratado de Delaunay y los artículos del mismo de los que deberán examinarse los alumnos.

- El modo de expresar este movimiento particular por curvas, aplicando el cálculo
- Correspondencia del movimiento equablemente acelerado con el retardado.
- Idea de la atracción en general y de la gravedad en particular. Diferencia de sus efectos en diversas distancias y teoremas que la contienen.
- El movimiento rectilíneo compuesto.
- 1º Nociones de este movimiento y del equilibrio.
- 2º Modo de expresar con el paralelogramo de fuerzas el movimiento completo con sus espacios, velocidades, fuerzas y cantidad de movimiento.
- 3º Idea de la composición y descomposición de fuerzas.
- 4º Fuerzas paralelas, sus teoremas y modo de componerlas. y de encontrar las resultantes entre ellas.
- 5º Los teoremas fundamentales del movimiento sobre planos inclinados en el descenso por dichos planos
- 6º El modo de conocer y determinar las fuerzas relativas y el equilibrio de los cuerpos que descienden.
- 7º La ley de aceleración uniforme en este tipo de descenso por planos inclinados. y propiedades del movimiento uniformemente acelerado.
- La idea del movimiento de los cuerpos sobre curvas.
- La ley de retardación uniforme de los cuerpos que ascienden por planos inclinados.
- Los teoremas fundamentales del equilibrio y centro de gravedad.
- El método de referir fuerzas a un punto determinado para averiguar sus momentos.
- El método de encontrar los momentos de cualquiera número de fuerzas paralelas o angulares.
- División y definiciones de los cuerpos en duros, blandos y elásticos con las primeras nociones de mecanismos de choques directo y oblicuo, acción y reacción.

- Regla que determina en los cuerpos duros la velocidad común en que se mueven después del choque directo.
- Consecuencia en que se aplica este teorema a los diferentes casos entre dos cuerpos duros que chocan.
- Cálculos de espacios andados por los cuerpos que chocan en tierra.
- Diferencias entre las fuerzas vivas y muertas.
- Aplicación de las doctrinas del choque directo de los cuerpos duros a los elásticos.
- Nociones del choque oblicuo.
- Consecuencias de este principio general y aplicaciones de ellas al cálculo del resultado de ese choque y de las fuerza, dirección y velocidad con que retrocede el chocante.

Táctica

La asignatura de Táctica era en realidad una mezcla de diferentes materias. A diferencia de las matemáticas cuyo "corpus" principal estaba ya muy bien estructurado a finales del siglo XVIII, la nueva asignatura se iría componiendo en las últimas décadas del Setecientos incorporando nuevos contenidos, especialmente en el campo de la química, la mineralogía y la metalurgia. En los primeros años contenía unos pocos conceptos de estas ciencias aplicados a los componentes y a la fabricación de la pólvora, así como al estudio del hierro y el acero. Como podrá verse en el programa expuesto a continuación, se impartía también técnicas de fortificación y arquitectura militar. Todos los contenidos estaban orientados a la eficacia de la práctica artillera. La materia fue impartida inicialmente por Vicente de los Ríos, a la que en 1769 se incorporó como ayudante Tomás de Morla. Posteriormente se encargarían de la asignatura: Juan de Arriada y Jorge Mendoza, entre otros, siendo muchos de ellos antiguos alumnos del Colegio. Los objetivos de la asignatura,

así como el contenido principal de la misma, quedan bien reflejados en el discurso que Vicente de los Ríos pronuncia para la inauguración del curso de la Academia de Artillería en 1773:

"*la base y fundamento de la milicia es la teórica del arte de la guerra, que abraza una multitud de conocimientos, de requisitos, de ciencias sublimes, de doctrinas distantisimas (…) que es forzoso estudiar y aprender metódicamente para gobernarse por ellos en la practica (…) por eso ha querido perpetuarlo el Rey con el establecimientos de escuelas militares"*

" el principal movil de este arte (la artillería) es la pólvora : por consiguiente el conocimiento físico de su naturaleza y de la velocidad y fuerza de su inflamación en diferentes cantidades, debía ser la primer piedra de este vasto edificio (…) el conocimiento de los metales, de su afino y aligación determinará la resistencia de los cañones (…)"[44]

A continuación exponemos el programa de Táctica que se impartió hasta finales del siglo XVIII[45].

- Teórica del azufre y el carbón en la fabricación de la pólvora.
- El conocimiento de las matrices del azufre y cuales son las mejores.
- La extracción de este mineral, en grande y pequeño, según los varios medios y métodos metodos usados por los mejores profesores de Europa.
- La purificacion y rectificacion del azufre bruto.
- La sublimación del azufre purificado por cuyo medio se le da la forma más conveniente para la pólvora.

---

[44] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Vicente de los Ríos. Discurso para la abertura de la Escuela de Táctica de Artillería del Real Colegio Militar de Segovia, Segovia, 1773.

[45] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Acuerdos del Consejo en las Actas del Colegio, Tomo II.

- Medio fácil deducido de la teórica anterior para distinguir el azufre sublimado verdadero del falso, con una noticia muy breve de minas de azufre en los dominios del rey.
- Análisis del carbón relativamente a la inflamación e la pólvora.
- De aquél análisis y de la teórica del fuego se deduce que el mejor carbón para la pólvora es el que contiene menos partículas térreas o de menos densidad.
- Por este principio se prefiere para la pólvora el carbón de madera ligera según el dictamen de Papacino y de D'Arey y de Baumé.
- Métodos para conocer la bondad del carbón ya fabricado.
- De la teórica dada anteriormente acerca de fuerza y efectos de la pólvora, acerca de la naturaleza de sus simples (componentes) y acerca de la mecánica que el fuego obra sobre ellos, y ellos entre sí en el acto de la inflamación, se deduce y demuestra que aunque la calidad de estos simples sea la mejor, no lo será la inflamación y fuerza de la pólvora si si la cantidad de sus sus simples es excedente o diminuta, y por consiguiente que hay una justa y precisa dosis cuya determinación es indispensable para la más ventajosa composición de la pólvora.
- Breve noticia de las variaciones que ha habido en la determinación de estas dosis y de los inconvenientes prácticos que resultan de ellas.
- De esto se deduce que para fijar las dosis constantes de cada simple es preciso valerse de experiencias exactas y repetidas sobre las diferentes combinaciones que puede haber entre los tres simples.; las experiencias se reducen a tres clase. La 1ª variar la dosis de salitre, siendo constantes las de azufre y carbón; la 2ª variar la dosis de carbón quedando constantes las de azufre y salitre; la 3ª variar la dosis de azufre, siendo las mismas las de salitre y carbón.
- De la primera clase de experiencia hecha por Papacino, resulta

que la dosis de salitre debe ser a la del flogístico como 6:2 y por consiguiente a la masa de la pólvora de 6:8.

- De la segunda clase de experiencias hechas por los académicos D'Avey y Baumé resulta que la dosis del carbón debe ser a la de salitre 1:6.
- De la 3ª (...) la dosis del azufre respecto al salitre como de 1:6, y a la masa de la pólvora de 1:8 y y respecto al carbón como 1:1.
- Supuesta la determinación de la dosis más ventajosa, aun no será la fuerza de la pólvora tal como se requiere si no se mezclan sus simples de modo que la distribución numérica de sus partículas sea la misma en cada parte de la pólvora que en el todo de ella. Es necesario un 4º simple que facilite la mezcla de los tres.
- Se demuestra que el agua debe ser el 4º simple.
- Se hace ver que la primera incorporación de los tres simples debe hacerse estando reducido a polvo separadamente y mezclándolos todos tres juntos.
- Métodos de incorporar los tres simples
- 1º La distribución numérica exacta de las partículas de dichos simples en cada pequeña parte y en el todo de la pólvora de modo que amalgamen perfectamente y al mismo tiempo se fabrique prontamente grande cantidad de ella.
- 2º Estos dos objetos no pueden lograrse con una fuerza aplicada horizontalmente, pruébase con experiencis y razones físicas.
- 3º Ambos objetos se consiguen aplicando verticalmente la fuerza (...) la máquina aplicada a la fábrica de pólvora debe ser hidráulica.
- 4º Razones por las que se ha aplicado las máquinas hidráulicas (...) siguiendo las observaciones de Belidor, Eulero, Deparcieux y otros sabios.
- 5º De las dimensiones y proporción de dichas máquinas.
- 6º Como regularmente se usan sus cuatro acciones principales, a saber la del agua sobre la rueda hidráulica, de esta sobre las

linternas, de las linternas sobre los mazos, y de estos sobre los materiales o simples de la pólvora.

- Se explica el artículo 2º del Tratado de artillería.
- Sobre conocimientos de las maderas para el carruaje:
- Se han hecho en la Escuela práctica los reconocimientos y pruebas establecidos para uso y ordenanzas de la pólvora.
- Se han hecho las pruebas y experiencias necesarias para determinar el grado de deterioración de una pólvora gastada y el remedio que necesita para recomponerla.
- Se ha manifestado sobre el terreno el método y precauciones en los moleos de pólvora.
- Se ha medido en el paraje de la dehesa una base proporcionada para las operaciones de tirar una paralela a una cara de un baluarte y medir la distancia a un objeto inaccesible.
- Arquitectura militar
- Se han explicado con presencia del frente de fortificación los elementos de esta y sus máximas o principios generales.
- Se termina de explicar el artículo para el conocimiento de maderas.
- Se ha repetido y verificado la medida de la base con la mayor exactitud. Se termina de explicar el artículo para el conocimiento de maderas.
- Se ha repetido y verificado la medida de la base con la mayor exactitud y se han hecho varias operaciones trigonométricas con ella.
- Explicación de la naturaleza y cualidades del hierro y sus diferentes minas.
- La extración de las minas de roca.
- Igual método y observaciones para extraer este metal de la mina en granos.
- Modo de forjar el hierro.
- Método de dulcificar el hierro colado o fundido y de los simples que deben emplearse en esta operación con sus respectiva docia.

- Sobre el articulo 4º del tratado:
- De la naturaleza del acero y el modo de distinguirlo del hierro tanto por sus propiedades sensibles como por su naturaleza íntima.
- De los modos de fabricar el acero, De las varias especies de hierro forjado, cuales son de ellas las más adecuadas para fabricar acero. la disposición que deben tenerlas barras para esta operación.[46]
- Medios y métodos de reconocer las calidades de los aceros y comparar las diferentes firmeza, dureza y tenacidad[47].
- Reglas para templar el acero y también el hierro.
- Enumeración de todas las propiedades del hierro.
- Modo de mejorar el hierro.
- Uso del hierro aplicado a los herrajes, instrumentos y útiles de la artillería.
- Sobre artículo 5º del Tratado
- Instrumentos de gastadores: hachas, picos, marrazos, etc.. Uso de estos instrumentos,
- Instrumentos compuestos que resultan de la combinación de los simples: picoshachas, zapapicos, etc.
- Sobre el artículo 6º del Tratado: puentes de madera y cobre con sus correspondientes carros.
- Puentes portátiles construidos sobre barcas.
- Barcas.- puentes; de sambuca; de los puentes de lona.
- Paso de la artillería por los ríos con mulas.
- Sobre artículo 7º del Tratado: el cordaje y modo de precaver los fraudes de los fabricantes.
- Noticias del cáñamo, sus propiedades y ventajas; modo de hilarlo:
- Fábrica de las cuerdas; colocación y calidades de las mezclas.

---

[46] Ibídem.
[47] Ibídem.

- Mecánica de las cuerdas.
- Sobre artículo 9º del Tratado: armas de fuego, fusiles, pistolas, etc., y sobre armas blancas.

El programa expuesto se impartió sin apenas cambios hasta 1787 como demuestra el reflejo en las Actas del Consejo de ese año de los contenidos de los que se examinaban los alumnos de Táctica. El temario se iría desarrollando a partir de los apuntes que preparaban De los Ríos y su ayudante Morla[48]. Este último, se convertiría en el profesor titular de Táctica después de la muerte de Vicente de los Ríos en 1779 y redactaría su *Tratado* a partir de esas notas, convirtiéndose en el texto oficial del Colegio para la asignatura a partir de su publicación en 1784, aunque ya se estaban utilizando partes manuscritas del mismo para las clases desde varios años antes[49]. Posteriormente, Morla dejaría el Colegio para iniciar un viaje de estudios y de espionaje industrial por Europa junto con Jorge Guillelmi. En 1789 llega a Londres, recorriendo después varias capitales europeas para regresar a España en 1791 al ser destinado a la Real Fundición de Barcelona de la que hablaremos en un capítulo posterior.

El *Tratado* está dividido en dos partes y tres tomos, además del tomo de láminas de edición posterior. El primer tomo está dividido en seis artículos: de la pólvora; de la fundición de piezas de artillería de bronce; del hierro y de la fundición y fábrica de piezas y municiones, así como de las menas de cobre, estaño e hierro; de la cons-

---

[48] Para una breve biografía de Vicente de los Ríos y de Tomás de Morla puede consultarse el artículo de Gil Ossorio, F. " Morla de Artillería" en *Revista de Historia Militar*, nº 51, 1981, pp. 7-29. También Herrero, M.D. en *Ciencia y Milicia*….

[49] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Morla, Tomás. *Tratado de Artillería para el uso de la Academia de Caballeros Cadetes del Real Cuerpo de Artillería*. Segovia, 1784. En las Actas del Colegio de 28 de septiembre de 1783, se acuerda dar la última parte del curso de Artillería y Minas (en la clase de Táctica) hasta que se halle completo e impreso el Tratado.

trucción de carruajes, útiles y máquinas para el servicio de la Artillería; de los puentes militares; del cordaje. El segundo tomo comprende otros seis artículos: de los reconocimientos e inventarios de artillería; de las armas de fuego; de los fuegos artificiales; de las escuelas prácticas de artillería; de los alcances y cargas de las armas de fuego; de las minas. El tercer tomo contiene otros seis artículos: de los trenes de campaña; del uso de la artillería de campaña; de los trenes de batir; del ataque a las plazas; dotación de plazas; de la defensa de las plazas.

La obra de Morla recoge todos los conocimientos que debía tener un oficial de artillería en tiempos de paz y de guerra; es decir, cuando debía dedicarse a las industrias de armamento para fabricar cañones y balería, o en tiempos de guerra cuando debía actuar en el campo de batalla. Para el propósito de nuestro trabajo, nos interesa especialmente el contenido del tomo primero, ya que en él se recogen los conocimientos de química, mineralogía y metalurgia, aplicados a la obtención de metales a partir de sus menas minerales y a la fundición de los mismos para la fabricación de piezas de artillería de bronce y hierro. La obra no contiene conceptos generales de química teórica, solo algunas referencias a hipótesis relacionadas con la combustión y la oxidación de los metales, aunque centradas en las antiguas ideas sobre el flogisto. Por ejemplo, cuando se refiere al azufre considera que se trata de la *"sustancia del fuego, o por mejor decir del mismo fuego sin inflamarse, que nombraremos para quitar equivocación flogisto (…) el azufre es un mineral compuesto del ácido vitriólico (sulfúrico) y flogisto."*. Sobre la composición del salitre para la pólvora muestra una confusión, superada ya por la nueva nomenclatura química, entre el ácido vitriólico (sulfúrico) y el ácido nítrico al que concibe como el anterior impregnado de azufre. Otras obras posteriores de Morla fueron sus *Memoria acerca del método que conviene establecer en las Reales Fábricas de polvora*, editado en Murcia en 1798 y el *Arte de fabricar pólvora*, editado en Madrid en 1800.

¿Cuales fueron las fuentes de Tomás de Morla para la redacción

de su obra? El artillero no realizó investigaciones propias en la química teórica o aplicada tal como lo haría Proust en el Laboratorio del Colegio unos años más tarde. Más bien fue un técnico que aplicó conocimientos empíricos de metalurgia y rudimentos de química, sobre todo en sus aspectos prácticos para la fabricación de la pólvora o la purificación de las menas minerales del cobre, el estaño o el hierro, así como las técnicas de fundición y toda la maquinaria implicada en el proceso. Debía conocer los principales tratados de esas ciencias que se habían escrito a lo largo del siglo XVIII, ya que algunos de las principales obras estaban en la Biblioteca segoviana, pero sobre todo debió aprender de su maestro Vicente de los Ríos con quien trabajó hasta la muerte de éste. De los Ríos tampoco tenía un buen conocimiento de la química teórica pero sí una gran formación como artillero y humanista, pues, además de haberse formado como militar de artillería en la Escuela de Cádiz, había estudiado derecho en Sevilla con anterioridad e ingresó en la Real Academia de la Historia en 1752. En sus últimos años frecuentó las sesiones académicas y las tertulias madrileñas alternándolas con su labor docente en Segovia. Parece que escribió una Táctica de Artillería que no llegó a publicarse, resultado de sus apuntes para las clases que impartía y que en el aspecto químico trataría de la química y física de la pólvora y del hierro.[50] Así pues, Vicente de los Ríos también se habría formado con el estudio de los clásicos europeos, franceses y alemanes, así como con su relación con otros científicos españoles de la época.

Otra fuente de información para Morla fue su conocimiento y la experiencia de las Reales Fundiciones de Sevilla y Barcelona, que

---

[50] Gil Ossorio, F. " Morla de Artillería"…, pp 30-35. Este artículo oferece una concisa biografía de De los Ríos y discute la posible redacción de su texto, refutando que Morla se hubiese apropiado del mismo para su propia obra según tesis de Vidart. En Vida y escritos de D. Vicente de los Ríos, Madrid, 1888.

más tarde amplió con sus viajes europeos en los que tomó contacto con las fundiciones extranjeras.[51] De las fábricas españolas daremos cuenta en un capítulo posterior. Comentamos anteriormente que los conocimientos teóricos de química de Morla eran limitados. En efecto, debe tenerse en cuenta que la mayoría de las teorías modernas en ese campo se formularon en las tres últimas décadas del Setecientos, cuando el primer tomo de su *Tratado* ya estaba impreso. Así, apreciamos en la obra una serie de conceptos erróneos como, por ejemplo el mantenimiento de la teoría del flogisto para explicar las reacciones químicas y, según propia confesión, el desconocimiento que se tenía de algunas variables fisico-químicas que intervenían en el proceso de fundición de los cañones:

> "*Cuando se quiere hablar de buena fe, es preciso confesar que se ignora una cosa y otra (resistencia y dureza), que no se han hecho experiencias precisas y conducentes para examinar el grado de dureza (…) para un determinado número de tiros, que no se tienen conocimientos competentes para que las fundiciones de las piezas salgan iguales*".[52]
>
> "*El objeto del artículo II será la Fundición de piezas de bronce: asunto de la mayor importancia bajo cualquier punto de vista que se considere y uno de los más atrasados de la Artillería, o sea porque no se tiene ideas claras de los metales, sus ligas, y propiedades; o porque son muy costosas y difíciles las experiencias necesarias para aclararlo. (…) No se espere hallar en esta Obra ideas claras y perfectamente luminosas; ni prácticas justas, cabales y adecuadas sobre todos los puntos de que se trata. La Ciencia de la Artillería está aún muy lejos del estado de perfección que para eso sería necesario, y sus más ilustres Autores se encuentran opuestos sobre sus principales ramos.*" [53]

---

[51] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Morla, T. Manuscrito de los Apuntes autobiográficos.

[52] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Morla, T. *Tratado*..., Tomo I, pp 148-149.

[53] Ibídem, p. XXXVII.

O un cierto desconocimiento teórico de la acción del calor durante el proceso de fundición, aunque sí manifiesta, desde el punto de vista empírico, la importancia de mantener constante la temperatura del horno durante el procedimiento:

> " *La tercera condición (para fabricar un pieza), de que el fuego se sostenga largo tiempo con igualdad, y se pueda gobernar con facilidad, es la más necesaria de todas. La Chimia demuestra, que un cierto y fijo grado de fuego produce un determinado efecto sobre cada cuerpo; y que cuando su acción varía, los resultados son diferentes: de modo, que el producto de estas alternativas de incremento y disminución de fuego, es una mezcla confusa de producciones chímicas"* [54].

Sin embargo, hace muchas observaciones empíricas sobre la aleación y los problemas que presenta, mostrando una gran preocupación por el rigor en los protocolos experimentales: condiciones del horno, el tipo de carbón o leña, el tiempo de aplicación del fuego, la calidad del metal, así como el mantener la temperatura interior de los hornos constante, etc.

---

[54] Ibídem, p. 996.

TRATADO
DE ARTILLERIA
PARA EL USO DE LA ACADEMIA
DE CABALLEROS CADETES
DEL REAL CUERPO DE ARTILLERIA,
DIVIDIDO EN QUATRO TOMOS,
Que tratan de las principales funciones
de los Oficiales de este Cuerpo
en Paz, y en Guerra.
ESCRITO
POR DON TOMAS DE MORLA, *Teniente Coronél de los*
Reales Exércitos, y Capitan del mismo Cuerpo.
TOMO PRIMERO.

CON SUPERIOR PERMISO

EN SEGOVIA, POR DON ANTONIO ESPINOSA.
Año de 1784.

Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Portada del tomo I del *Tratado* de Tomás de Morla.

Con respecto a la naturaleza química de los elementos, Morla sigue utilizando conceptos y nomenclaturas ya superadas en los años ochenta. Así, describe al cobre como " *un metal imperfecto, de un amarillo rojo (…) parece formado de una tierra roja y de mucho flogisto"*. Sin embargo, en la descripción de las diferentes menas minerales del cobre muestra un mejor conocimiento de la mineralogía práctica y de la metalurgia; en el caso de los minerales nos da una descripción de las distintas menas de cobre, hierro y estaño a partir de sus propiedades físicas, así como de su procedencia y contenido en metal.

"*El cobre es el metal en cuyas minas (menas) se encuentra mayor variedad, sea por los colores o por la coordinación de sus partes: algunas veces se halla en venas, otras en lechos, y otras en pedazos sueltos esparcidos por la tierra: las principales de sus minas son: 1º las del cobre nativo: esta es la que contiene el cobre ya formado (metálico), y pegado a piedras de diferentes especies, y con particularidad a las pizarras (…) 2º las del cobre precipitado (sulfato de cobre): este cobre es bastante puro, y ha sido precipitado natural o artificialmente de aguas vitriólicas (sulfurosas ácidas). 3º la de verde de montaña (crisocola o malaquita): esta mina se parece al verde gris, se compone de cobre disuelto en el seno de la tierra, y que al precipitarse se ha unido a diferentes especies de piedras o tierras, lo que es causa que varíe en su consistencia y condición. 4º la de azul de montaña (crisocola): esta mina es de la misma especie que la anterior; pero que por el consumo de algún álcali volátil ha tomado color azul: el lapis lázuli es una mina de esta especie. 5º la mina de cobre azulada (azurita) es de una textura que la hace asemejar al vidrio por sus fractura; verosilmente es una variación de la precedente 6º La mina de cobre vidriosa: su color es muy variado, y se parece al vidrio. 7º la mina de cobre gris (calcosina): es de un gris más o menos oscuro, se distingue con dificultad, a simple golpe de vista, de la mina de hierro. 8º la mina de cobre hepática: es de un rojo oscuro, o de un pardo que amarillea, color que toma de las muchas partes férreas que contiene (cuprita). 9º la mina*

amarilla de cobre, o marquesita de cobre: es la menos abundante; pero la más común, contiene además del cobre, hierro, azufre y arsénico. 10º la mina de cobre blanca: su color es de un gris claro que tira un poco a amarillo: contiene hierro, arsénico y poca plata. 11º La mina de cobre figuradas: se pueden nombrar así las minas en que se nota una figura extraña al reino mineral: estas minas se encuentran siempre en pizarras. 12º Las minas de cobre térrea (calcopirita): tiene distintos colores como gris, amarillo, etc. Se compone de cobre unido con ocre (limonita), u otras tierras: reconoce la existencia del cobre por una especie de barniz o colorido verde gris que se nota[55].

Se observará que en las doce variedades que describe utiliza las propiedades físicas del mineral y no su composición química que es el criterio actual. Este sistema propio de la antigua docimástica se mantendría hasta principios del siglo XIX. Por otra parte, Morla no parece tener claro la idea moderna de especie mineral, pues algunas de las menas que cita puede corresponder a mezclas de varias especies que yacen juntas o asociadas, o a la misma especie con diferentes proporciones de otros elementos: por ejemplo, la mina de cobre verse o azul, puede corresponder a carbonatos de cobre (malaquita o azurita) o a carbonatos asociados con óxidos: malaquita con crisocola, caso frecuente en yacimientos filonianos de sulfuros polimetálicos alterados por meteorización y procesos sedimentarios. Pedro Gutierrez Bueno, contemporáneo de Morla y catedrático de química en Madrid, en su *Curso de Química,* distingue siete menas: cobre nativo, óxido de cobre (cuprita), Muriato (Cloruro) de cobre y arcilla, carbonato de cobre (malaquita) sulfureto de cobre, sulfureto de cobre y hierro (calcopirita), sulfureto de hierro y algo de cobre (pirita cuprífera), Mina de cobre gris (sulfuro de cobre), que con-

[55] Ibídem, pp. 96-97. La denominación entre paréntesis correspondería al nombre actual.

tiene hierro, arsénico y azufre; es decir, por su mayor formación en química hace uso de la nueva nomenclatura.[56]

2.4. LA BIBLIOTECA DEL REAL COLEGIO

Desde los primeros años de su fundación, el Real Colegio de Segovia dispuso de una biblioteca que serviría para la actualización científica de los profesores y de los alumnos. Independientemente de su formación científica, adquirida en su experiencia en otras instituciones o en viajes al extranjero, los profesores de la Academia disponían en la biblioteca de los manuales de los autores europeos más relevantes del siglo XVIII. En los años sesenta, la Biblioteca contenía unas 135 obras con un total de 481 volúmenes procedentes de los fondos de las extintas escuelas de artillería e ingenieros de Cádiz y Barcelona respectivamente[57]. En años sucesivos se irían ampliando estos fondos con sucesivas compras, probablemente en los años ochenta cuando el profesor Giannini se incorporó a la Academia. Pedro Giannini, en su faceta como Primer Profesor y Jefe de Estudios, enriqueció la Biblioteca del Colegio con mejoras de las instalaciones y compras de libros. En el Consejo de 23 de enero de 1777 se decidió la compra de una partida de madera de cedro para fabricar nuevas estanterías, ya que el número de libros no cabían en las existentes; asimismo, en diciembre de 1777 se gastaron 16.323 r. en la adquisición de nuevas obras[58]. En la revisión del catálogo elaborado por el profesor Giannini entre 1796 y 1798 hecha por los ya citados Hourcade y Valles, se contabilizan unas 687 obras en 2594

---

[56] Gutierrez Bueno, P. *Curso de Química para la enseñanza del Real Colegio de San Carlos*, Madrid, 1802, p. 180.
[57] García Hourcade, J. y Valles Garrido, J. M., *Catálogo de la Biblioteca del Real Colegio de Artillería de Segovia. Fondos científicos*, Segovia, 1989, pp. 18-20.
[58] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Actas del Colegio, Tomo II.

volúmenes. Las obras corresponden a 245 autores, un alto número de ellas (casi 200) corresponden a tratados de matemáticas y astronomía, las asignaturas principales de currículo, el resto abarcaba todas las ciencias experimentales puras y aplicadas: metalurgia, mineralogía, docimástica, física, historia natural (botánica, medicina, zoología, etc.), química, táctica, arquitectura, fortificación, etc. La mayoría de ellas en francés, italiano, latín y español. Algunas eran traducciones francesa de originales en alemán, especialmente las de metalurgia, minas y química. La lista de autores nos muestra que estaban representados los científicos europeos de más relevancia en sus respectivas materias. Por tanto, no parece exagerado afirmar que se trataba de una de las mejores bibliotecas científicas españolas, y posiblemente europeas de la época, al menos en el ámbito militar.[59]

Desgraciadamente, el incendio del Alcázar segoviano en 1862 destruyó una gran número de ejemplares de la Biblioteca. Sin embargo, desde entonces y hasta nuestros días se ha hecho una gran labor de reconstrucción de la biblioteca dieciochesca. En la actualidad, reúne cerca de 50.000 volúmenes entre los que hay cerca de 800 correspondiente a los siglos XVI a XVIII. La mayoría de los fondos antiguos corresponden a obras científicas editadas en el siglo XIX, entre las que abundan las traducciones españolas de los grandes clásicos de la ciencia europea del Setecientos y el Ochocientos. Sin duda, la riqueza actual de la Biblioteca de la Academia de Artillería constituye uno de los mayores tesoros bibliográficos de obras científicas en España. Comentaremos a continuación el contenido de algunos títulos más representativos de la ciencia europea, existentes en la Biblioteca, correspondientes al siglo XVIII y principios del XIX.

De las obras que existían en la Biblioteca dieciochesca sobre la explotación de minas y metalurgia, destacaremos algunos tratados

---

[59] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Catálogo de la Biblioteca de Artillería de Segovia de 1790, manuscrito.

que Vicente de los Ríos y, posteriormente, Morla debieron consultar y que nos permitirán aproximarnos a la formación científica de los profesores del Colegio y del nivel de sus enseñanzas. Por ejemplo, el *Tratado de la explotación de las minas* de C.T. Delius (1728-1779) mineralogista alemán que fue inspector de minas de Hungría.[60] En el prólogo se da cuenta de los planes del ministro de minas austríaco para crear una escuela y formar metalúrgicos y mineralogistas; en esa escuela, en la que Delius enseñaba hacia 1773, tenía una estructura y unos planes de estudio similar a la del Real Colegio segoviano. La obra de Delius se divide en tres partes. La primera, trata de la geología de las minas y como efectuar los sondeos ("geografía subterránea"); la segunda, sobre la maquinaria a emplear y los métodos de la extracción de las menas; la tercera, sobre la purificación y afinamiento de los metales, especialmente del cobre. Esta última, probablemente serviría a Morla para desarrollar el capítulo de su *Tratado* sobre esta cuestión.

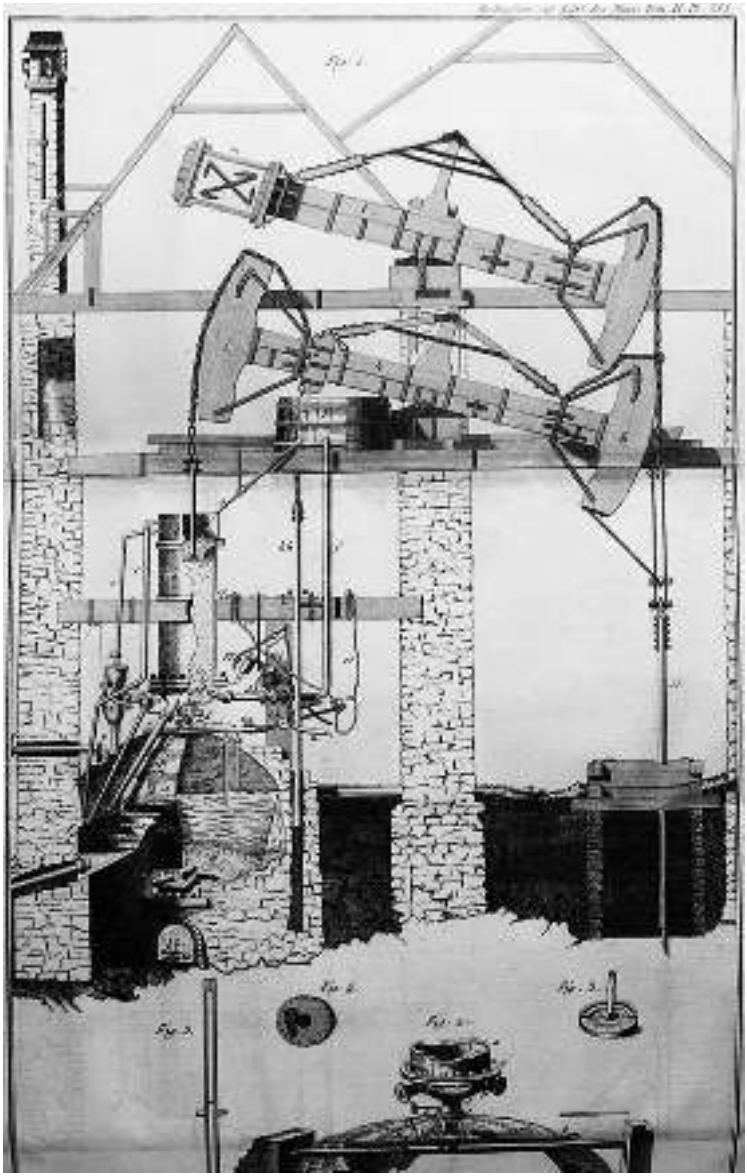
Otro manual clásico de metalurgia existente en la Biblioteca es el del alemán C.A. Schluter, publicado en 1750.[61] La obra dividida en dos tomos es un completo tratado en el que se detallan todos los componentes e instrumental necesario en un laboratorio de mineralogía y metalurgia. Explica los procedimientos para conocer la composición y el porcentaje de metales de las diferentes menas minerales, así como las técnicas para la afinación de los mismos. Enuncia algunos conceptos químicos avanzados para la época como la consideración de las piritas como sulfuros y realiza un estudio monográfico de las propiedades y aplicaciones de los metales conocidos y de sus aleaciones. En el tomo segundo se ocupa de las fábricas de

---

[60] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Delius, C.T. *Traité de l'explotation des Mines*, 1778, Paris. Traducido del alemán al francés por Schreiber, M. 2 tomos.

[61] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Schluter, C.A. *De la fonte des mines et des fonderies*. Paris, 1750. Traducción del alemán por Hellot, M de la Academia de Ciencias de París. La edición fue supervisada por el famoso químico Reaumur.

fundición de artillería: los requisitos para su construcción y emplazamiento más idóneo (cerca de bosques que proporcionen combustible, que estén bien ventiladas y orientada para que el viento se lleve los gases, etc.). Asimismo, realiza un estudio comparado de las características de los hornos de fundición existentes en diversas capitales europeas y de su uso. Algunos de estos métodos y sugerencias serían recogidos por Morla en su *Tratado* años más tarde.



Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Delius, C.T. *Traité…*, Láminas. Máquina de sondeo.

Otras obras sobre mineralogía y metalurgia, ya editadas entre la última década del Setecientos y principios del siglo XIX, existentes en la Biblioteca son:

Manuel de métallurgie du fer, de C. J. Karsten, traducida del alemán por Culmann, F.J. miembro academia royal de Metz 2º edic 1830 (la 1º de 1816) consejero de minas de Prusia. Obra en cuatro volumenes en la que se detallan todas las operaciones relacionadas con la obtención del hierro colado: propiedades fisicas y quimicas del hierro, sus menas minerales, el combustible y las máquinas para insuflar el aire en los hornos, los procesos de fundición en los altos horno, la fabricacion de moldes y la preparacion de hierro dúctil y del acero. También expone conceptos modernos referente a la dinámica de las reacciones químicas del hierro, como la oxidación y la reducción del mismo. Sin embargo, todavía mantiene la teoría del flogisto en algunos procesos. Del mismo autor existe en la biblioteca una traducción castellana de las *Tablas mineralógicas* realizada por Andrés Manuel del Río para uso del Real Seminario de Minería de México.[62]

Otro texto fundamental para la enseñanza de la mineralogía y sus fundamentos químicos en el Real Colegio fue el *Tratado de Mineralogía* de Haüy. Su autor fue conservador de la colección de minerales de la Escuela de Minas de París[63]. La obra en cinco tomos trata todos los aspectos de esta ciencia. En el clásico discurso inicial, habitual en las obras del Setecientos, se comentan los dos criterios de clasificacion mineral vigentes hasta el momento: el primero, según sus propiedades fisicas, siguiendo a los mineralogistas (Linneo, Wallerius, Daubenton, etc.) y segundo, atendiendo a su composición química (Bergman, Born, Kirwan, etc.). Según el autor, la química ha sido la

---

[62] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Karsten, C. J. *Tablas mineralógicas dispuestas según los descubrimientos mas recientes é ilustradas con notas*, México, 1804. Traducción de la tercera edición alemana de 1800.

[63] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Haüy, C. *Traité de Mineralogie*, París, 1801.

guía de los mineralogistas para establecer las especies minerales. Sin el análisis químico, los docimásticos jamás habrían podido situar las especies minerales en sus verdaderas clases. Sin embargo, es en la determinacion de los géneros cuando según un método u otro se empieza a discrepar. Por ejemplo, en la especie calcárea, "*las diversas formas cristalinas (estalactitas, mármoles, etc.) son modificaciones de una misma sustancia que sin duda merecen ser observadas separadamente*". En la definición de mineral: "*cuerpos que situados en la superficie o en el seno del globo terrestre, son desprovistos de organizacion, y no ofrecen mas que uniones de moleculas similares, unidas entre ellas por una fuerza que se llama afinidad*". En este enunciado vemos que se mantiene todavía el concepto vitalista de "afinidad" para explicar la unión de elementos en vez del de valencia más moderno; asimismo, no se considera la estructura cristalina como un elevado grado de organización.

Desde el punto de vista químico, el autor parece tener una cierta confusión en el concepto de mineral, pues según él los minerales tiene dos clase de moleculas: las primeras, serían moléculas elementales como el ácido y los álcalis; las segundas, serían moléculas integrantes que son "*los más pequeños cubos que pueden ser obtenidos separadamente sin que la naturaleza del mineral sea destruida*". Es decir, mezcla la composición química con la estructura cristalina, considerando las celdas elementales de las redes cristalográficas como moléculas. Sin embargo, es notable el énfasis que hará en el proceso de cristalización, considerando el mineral no solo como una sustancia química sino también como una forma cristalina. En definitiva, se acerca al concepto actual de polimorfismo mineral por el cual una misma sustancia química, y por tanto con idénticas moléculas, puede tener diferentes hábitos cristalinos y en consecuencia deben considerarse dos minerales distintos. La necesidad de experimentación y de realizar ensayos con la llama, la acción de los ácidos y las bases sobre los minerales o la determinación de su peso específico, constituirán otro aspecto del estudio riguroso y científico de los minerales que aborda el autor.

En el tomo II de la obra realiza una clasificación y descripción metódica de las especies minerales parecida a la actual, aunque introduce una taxonomía siguiendo el sistema linneano para los seres vivos: clases, órdenes, familias, géneros y especies. Así, distingue cuatro grandes clases en función de criterios heterogéneos basados en su aspecto físico (brillo, textura) o en sus carácter ácido o básico, siguiendo términos antiguos: 1ª clase, sustancias acidíferas; 2ª clase, sustancias terrosas; 3ª clase, sustancias combustibles no metálicas; 4ª clase, sustancias metálicas. Los órdenes se establecen con distinto criterio en cada clase. Por ejemplo, en la clase 1ª se crean dos órdenes correspondientes a dos compuestos químicos genéricos: sales ácidas y sales básicas (1º orden) e hidróxidos como sosa, o potasa (2º orden); dentro de ellos se definen varios géneros que ya corresponden a composición química más específica según el catión que contiene y que ya es equivalente a las especies actuales. Por ejemplo, calcita (carbonato cálcico) o la baritina (sulfato de bario) [64]. En esta clase incluye un orden conteniendo el amoníaco que hoy no consideraríamos un mineral por ser una sustancia de origen orgánico y no cristalina en estado natural. La 2ª clase, sustancias terrosas, comprende los acuales silicatos y cada género corresponde a una especie mineral: cuarzo, topacio, zircón, etc. La 3ª clase es muy heterogénea desde el punto de vista químico, pues el nexo de unión de sus componentes es la combustionalidad, de modo que encontramos 45 especies, tan dispares químicamente como el azufre o el diamante. Por último, en la 4ª clase, sustancias metálicas, encontramos tres órdenes discriminados por sus propiedades químicas respecto a la oxidación. Sus géneros y especies siguen una clasificación más natural (en sentido linneano); en ella están la mayor parte de las actuales clases de óxidos, sulfuros, y minerales nativos con las principales menas de los metales con nombres actuales. Algunos minerales petrogenéticos como los feldespatos o las micas se incluyen como rocas o como mezclas minerales.

---

[64] Ibídem, Tomo II.

Los Tomos III y IV están dedicados a una exhaustiva descripción monográfica de todas las propiedades físicas y químicas de cada especie mineral. La nomenclatura utilizada para las especies sigue la terminología clásica diciochesca. Por ejemplo, en el caso de los minerales metálicos de cobre, utiliza el nombre del metal seguido de un adjetivo: cobre gris, cobre azul de montaña, cobre piritoso, etc. También se incluyen detallados análisis a la llama de cada uno y un buena relación cuantificada de sus componentes químicos. Así, para el cobre gris nos da el siguiente análisis: plomo 34 %; cobre 16%, antimonio 16%; plata 2,25; hierro, 13 %; azufre 10%; silice 2,5%. Además compara la composición del mismo mineral en diferentes yacimientos europeos. En definitiva, se trata de una monumental obra que recoge todos los conocimientos y adelantos de la época en docimástica y mineralogía, y que sin duda sirvió como una de las bases para la enseñanza de estas ciencias en el Real Colegio de Segovia.

Con respecto a los tratados de química, la Biblioteca disponía de una rica colección de obras. Entre ellas, los *Fundamentos de Chimia* de J. Stahl, autor de la teoría del flogisto, en la edición en latín de 1743. Los *Elementa Chemiae* de H. Boerhaave, traducido al francés por Allamand y editado en Amsterdam en 1759. En esta obra, todavía se mantienen las viejas teorías de los cuatro elementos : tierra, aire, agua y fuego. Obras más modernas, punto de partida de la química actual, son el *Tratado* de Lavoisier traducido y actualizado por Munárriz, editado en 1798.[65] Otra obra fundamental, por la influencia que tuvo en Proust y en sus lecciones en el Real Laboratorio de Química de Segovia, fue el *Sistême des connaissances chimiques* de Fourcroy (1755-1809)[66]. Este químico francés se formó inicialmente

---

[65] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Lavoisier, A. *Tratado Elemental de Química*, Madrid, 1798.

[66] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Fourcroy, A. F. *Sistême des connaissances chimiques, et de leurs applications aux phénomènes de la Nature et de l'art*. París, Brumaire, an IX.

como médico pero pronto derivó su interés hacia la química. Siguió con atención los trabajos de Lavoisier durante la década de 1770 aceptando algunas de sus conclusiones pero sin dejar de lado el papel atribuido al flogisto en otros procesos. En la segunda edición de su obra, escrita dos años después, Fourcroy recogió algunas de las nuevas contribuciones de Lavoisier, actualizando su obra y rechazando la teoría del flogisto, así como divulgando la nueva nomenclatura química, más acorde con las nuevas concepciones de la naturaleza de los elementos: sustancias sencillas que no pueden descomponerse, y de sus combinaciones para formar las sustancias compuestas.

> "*Hemos hallado cuatro dificultades grandes en aquella teoría* (el flogisto)*; 1º la imposibilidad de demostrar la presencia de flogisto; 2º el aumento de peso por la combustión, el cual no puede concebirse por la pérdida de un principio; 3º la pérdida de peso del cuerpo por la adición de flogisto, cuando se le hace pasar del estado incombustible al inflamable; y 4º la poca atención que había puesto Sthaal en la necesidad de ayre"*[67]

Las siguientes ediciones de este y otros libros de texto de Fourcroy fueron decisivos para la amplia difusión de las nuevas ideas, quizás todavía más importantes que las propias obras de Lavoisier. Proust, en sus lecciones en la Academia de Artillería de Segovia, utilizó los tratados de Fourcroy recomendando a los alumnos su consulta ante la queja de éstos por la falta de textos para seguir sus clases.[68] Dado que los tratados de este autor debieron ser una de las principales fuentes de conocimientos de química para los científicos españoles de la época, dedicaremos algunos comentarios a estas obras para tener una referencia de las teorías que se enseñaban en España sobre esta materia.

---

[67] BHMS. Fourcroy, A.F. *Elementos de historia natural y de química*, Madrid, 1793, Tomo II, p.2.

[68] Gago, R. *Louis Proust y la cátedra de química de la Academia de Artillería de Segovia*, Segovia, 1992, p 24.

SYSTÈME

DES

CONNAISSANCES CHIMIQUES,

ET DE LEURS APPLICATIONS

AUX PHÉNOMÈNES

DE LA NATURE ET DE L'ART;

PAR A. F. FOURCROY,

De l'Institut national de France; Conseiller d'État; Professeur de chimie au Muséum d'histoire naturelle, à l'École polytechnique et à l'École de médecine; des Sociétés philomathique et philotechnique, d'Agriculture, d'Histoire naturelle; de la Société médicale d'émulation, de celle des Amis des arts, de celle des Pharmaciens de Paris; du Lycée républicain, du Lycée des arts; membre de plusieurs Académies et Sociétés savantes étrangères.

TOME I.

PARIS,

BAUDOUIN, Imprimeur de l'Institut national des Sciences et des Arts, rue de Grenelle-Saint-Germain, n°. 1131.

BRUMAIRE AN IX.

Biblioteca de la Academia de Artilleria. Fourcroy, A. F. *Sistême*…

En el siguiente fragmento transcrito de la traducción al español de su *Sistême* realizada por Pedro María Olive en 1808, podemos apreciar la admiración de Fourcroy por Lavoisier, así como una somera enumeración de sus principales descubrimientos y el rechazo de la teoría del flogisto:

"*y aun podemos añadir que un gran número de esos conocimientos (de la química del siglo XVII y XVIII) contenían grandes errores, y que la mayor parte de esos hechos solo eran unas observaciones inexactas antes que Lavoisier publicase sus preciosos descubrimientos sobre la calcinación de los metales, sobre su disolución en los ácidos, y principalmente sobre la del agua. Todos los esfuerzos de Bergman para determinar la proporción de un principio imaginario (el flogisto) que se había admitido en los metales desde el principio de este siglo, no eran en cierto modo más que la confirmación de un error antiguo (…) cuando Lavoisier, derribando con sus ingeniosos experimentos esta falsa hipótesis, creó e hizo salir del seno de sus nuevos resultados sobre la naturaleza del ayre y del agua y de los ácidos, una doctrina que desvaneció todas las dificultades de que estaba llena la historia metálica, explicó la la causa del frecuente aumento de peso de los metales, la de su reducción y disolución (…) se aclaró del todo lo que era obscuro, y esta preciosa parte de la Quimica, enriquecida con un sinnúmero de hechos nuevos, ha ilustrado a un mismo tiempo los talleres docimásticos y metalúrgicos, como la mineralogía y todas las artes que hacen uso de los metales*."[69]

Las obras de Fourcroy no solo se utilizaron para la enseñanza de la química, también contenían un amplio índice de conceptos relacionados con la fisiología animal y vegetal, siempre desde un punto de vista reduccionista, tratando de explicar los fenómenos vitales en función de las reacciones químicas.

---

[69] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Fourcroy, A. F. *Sistema de los conocimientos químicos y de sus aplicaciones a los fenómenos de la Naturaleza y del Arte*, Madrid, 1808. Sección VI, pp 8-9. Traducción de Pedro María Olive.

"*Es preciso reconocer que se verifican en efecto en el cuerpo de los animales vivos ciertos fenómenos verdaderamente químicos, y ciertos productos y mutaciones debidas á la íntima atracción que rige las diversas moléculas de que se compone el texido orgánico de los animales; que la vida animal no consiste ni en el juego puramente mecánico de los órganos, ni exclusivamente en una fuerza particular, en un principio vital independiente de qualquiera otra fuerza natural, y que parece se había imaginado en una escuela célebre, á imitacion de algunos médicos ilustres del último siglo, solo para hacer ver la incertidumbre y el vacío de la fisiología mecánica de que se había hecho tanto abuso. Es preciso explicar qué géneros de fenómenos químicos admite la vida animal, en qué se diferencian de aquellos que se observan entre los fósiles, ó en medio de las materias animales privadas de vida: quales son sus caracteres propios, y cómo podemos esperar llegar á descubrir este misterioso mecanismo*".

He aquí un enfoque moderno del funcionamiento de la vida por el que la Biología del siglo XX ha seguido caminando con resultados impensables a finales del Setecientos. Al mismo tiempo dejaba atrás los puntos de vista racionalistas y mecanicistas de la escuela cartesiana. Ciertamente, las limitaciones de los conocimientos biológicos en la época, por ejemplo el desconocimiento de la estructura y función celular, así como las propiedades de los diversos niveles de integración de los seres vivos, conducía a errores en el papel otorgado a los componentes anatómicos o estructurales en los que se verificaban dichas reacciones químicas. Así en la explicación de los procesos implicados en la respiración animal encontramos:

"*La respiración , que en los animales en quienes es mas completa, executada por pulmones vesiculares, y compuesta de dos movimientos, á saber, de inspiracion y expiracion, es una de las funciones mas necesarias de la vida, y sin la qual no puede esta verificarse, es tambien una de*

aquellas que han sido mas ilustradas por los conocimientos químicos modernos. Las hipótesis que se habían imaginado para determinar sus usos desde Aristóteles hasta nuestros dias, todas han sido destruidas; las han sucedido aquellas verdades que solo la Química podia descubrir, y esto ha provenido de los conocimientos exactos adquiridos sobre el ayre, y de los medios de analizar este fluido, que solo la doctrina neumática pudo proporcionar.

Las verdades de que vamos hablando se han hallado á fuerza de experiencias sobre la sangre, sobre la respiracion, sobre el ayre antes de entrar en los pulmones y á la salida de esta viscera. Cygna, Priestley, Crawford, Hamilton, y sobre todo Lavoisier y Seguin, se dedicaron sucesivamente á las indagaciones que les han llevado á descubrirlas. La sangre de las venas y arterias expuesta á diferentes gases; los animales encerrados en campanas de ayre en diversas circunstancias; el examen del ayre en diferentes épocas de estas experiencias, y el hombre mismo, sujeto por medio de máquinas ingeniosas á los esfuerzos del ayre, y de diversas mezclas aéreas; tales son los principales medios de que se han valido para resolver el problema de la respiracion; y aunque haya todavía algunas dudas é incertidumbres sobre el resultado de estas experiencias, con todo han esparcido mas luz sobre esta importante función."

"De estos primeros efectos determinados exactamente por la experiencia, han inferido los físicos modernos que el gas oxígeno es el principio del ayre útil para la respiracion; que viene á servir para una combustion; que se quema durante ella el hidrógeno carbonoso separado de la sangre venosa; que se forma tambien gas ácido carbónico y agua , ó mas bien que el oxígeno es absorvido por la sangre, y reemplazado en el ayre pulmonar por el ácido carbónico y el agua; lo que á la verdad hace el problema indeterminado. Pero si se nota que la sangre de las venas, expuesta al gas oxígeno, le convierte en ácido carbónico; que la combustion del hidrógeno carbonoso en el gas oxígeno se verifica en una multitud de materias orgánicas vegetales ó animales, no parecerá dudoso que este compuesto superabundante, por el efecto de la circulacion, se queme verdaderamente en los pulmones, y que el gas oxigeno del ayre se combine en las vesículas

pulmonares con estos dos principios el hidrógeno y el carbono; de modo que formen una proporcion de agua y ácido carbónico, que antes no existían ni en la sangre ni en el ayre".[70]

Véase la importancia otorgada a la experimentación, además del razonamiento lógico. La explicación anterior resume bien el proceso respiratorio como una combustión. Sin embargo, esa combustión se sitúa en la sangre en lugar del citoplasma celular. Pero todavía faltaba más de un siglo para establecer las modernas concepciones del metabolismo celular.

Fourcroy también se ocupa de la mineralogía y la metalurgia. Elaboró tablas donde se encontraban los nombres nuevos y antiguos de los 55 elementos químicos conocidos, así como los de los minerales y sus variedades asignándoles su composición química. En el segundo tomo de sus *Elementos*[71], en referencia al cobre, nos presenta hasta doce menas minerales del metal y algunas variedades dentro de cada una de ellas. Aunque esas menas son parecidas a las doce propuestas por Morla en su *Tratado*, se aprecia en la clasificación del francés una mejor distinción entre especie (por su naturaleza química) y variedad (según color, dureza, cristalización, etc.).

Además de los libros, la Biblioteca disponía de una colección de instrumentos científicos para la enseñanza de los cadetes, especialmente para medidas astronómicas y para geometría. La relación de los mismos que aparece en el Catálogo de 1790 muestra los siguientes instrumentos:

Dos cuadrantes astronómicos, nueve cuadrantes trigonométricos con sus accesorios, dos planchetas de caoba con cuadrantes geométricos y brújulas, un péndulo de latón, grafómetros, diecinueve semicírculos de latón graduados, niveles de aire con sus brújulas y

---

[70] Ibídem. Tomo X, pp 341-348.

[71] Fourcroy. *Elementos de Historia Natural y de Química*, Madrid, 1793, Tomo II.

anteojos, un nivel de agua en caja de latón, un nivel de peso de metal con diferentes arcos de círculos concéntricos, cuenta pasos portátiles, treinta y dos brújulas con sus cajitas, tres teodolitos, un telescopio de dos pies de largo, un microscopio, una máquina neumática con todas sus piezas, una cámara oscura, globos terráqueos y celestes, escuadras, estuches con compases de diferentes medidas, un compás para describrir óvalos, reglas y escuadras, dos pantómetras, octantes con péndulo para medir la incinación de los planos, compases de puntas curvas con tornillos, compases de madera, reglas, barras y cadenas para medir, nueve termómetros, relojes. [72]

[72] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Catálogo de la Biblioteca de 1794.

CAPÍTULO 3º

LAS INVESTIGACIONES EN QUÍMICA Y METALURGIA EN EL REAL COLEGIO

Nos ocuparemos a continuación de un análisis más detallado de las enseñanzas e investigaciones en química, mineralogía y metalurgia desarrolladas en el Real Colegio de Artillería. En primer lugar, expondremos brevemente los avances de estas ciencias en Europa en el siglo XVIII; en segundo lugar, estudiaremos la repercusión en España de esos avances y el papel desempeñado en ellos por dicha institución y su Laboratorio de Química.

3.1. LOS PRINCIPALES HITOS EN EL DESARROLLO DE LA QUÍMICA EN EUROPA DURANTE EL SIGLO XVIII

Las ciencias experimentales surgen como una necesidad del hombre de buscar soluciones a problemas acuciantes relacionados con su supervivencia: la alimentación, la defensa y la salud. Las primeras actividades científicas probablemente estuvieron asociadas al descubrimiento de los metales, a su manipulación y transformaciones para la fabricación de armas y utensilios domésticos. Así, podríamos afirmar que la metalurgia fue una de las primeras manifestaciones del hombre para transformar su entorno en etapas

muy tempranas de su historia (5000 años a.de C.) El conocimiento de las propiedades del cobre y del estaño dará paso a las primeras aleaciones para obtener bronce, metal que reuniría la resistencia y maleabilidad del primero con la dureza del segundo. Posteriormente, la utilización del hierro aleado con carbono (acero), más duro que el bronce, abriría una nueva etapa en la fabricación de armas y de objetos destinados a la protección personal: cascos, armaduras, etc.

Puesto que la mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza asociados a otros elementos formando minerales, fue preciso desarrollar técnicas para extraerlos y purificarlos, construyendo hornos y utensilios primitivos donde llevarlas a cabo. Se experimentan así las primeras reacciones químicas relacionadas con la combustión de materiales, de modo totalmente empírico y muy lejos aún de comprender la base teórica que subyace en esos procesos. La búsqueda de menas metalíferas permitirá el desarrollo de otra rama de la ciencia: la mineralogía. La localización de minas se convertirá en una necesidad para las culturas y civilizaciones emergentes en la antigüedad, y en consecuencia será necesario la catalogación y descripción de los principales minerales de cobre, hierro, plomo, estaño, etc.[73]

Otro campo de experimentación fue la preparación de ungüentos y pócimas destinadas a preservar la salud o a la conservación de alimentos, o de cadáveres en el caso de los rituales de momificación. Estos ensayos, habituales en las culturas egipcias de la antigüedad,

---

[73] Existe una considerable bibliografía sobre la historia de la química. Entre las más antiguas figuran las del propio Fourcroy, ya citado, que comienza sus tratados con dicha historia hasta su época. De las actuales, BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R.Y GARCÍA BELMAR, A. *La Revolución Química: entre la historia y la memoria*, Valencia: PUV, 2006; KRAGH, H. *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Grijalbo, 1987; KUHN, T. S. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago : University Press, 1970; LÓPEZ PIÑERO, J. M.; "Impulso de la actividad científica", *en Carlos III y la Ilustración*, 2 v. Una excelente obra de divulgación es el libro de Asimov, I. *Breve historia de la química*, Madrid, 1980.

hicieron avanzar los conocimientos sobre nuevas sustancias químicas y contribuyeron a la creación de una rica farmacopea que pasaría después a occidente. Sin embargo, será en Grecia, 600 a. d C, donde se iniciaría un intento de dotar de una base teórica a las observaciones y experiencias que habían acumulado las culturas anteriores. Así, los filósofos griegos especularían sobre la naturaleza de la materia y de los elementos y sus transformaciones. La teoría de los cuatro elementos de Aristóteles o los átomos de Demócrito perdurarían muchos siglos en la cultura occidental, manteniéndose algunas de ellas en Europa hasta comienzos del siglo XVIII.

El legado científico griego y egipcio fue conservado por la emergente cultura árabe siglos después, introduciendo en Europa la química que pronto pasaría a llamarse alquimia. Durante la Edad Media no hay ningún avance notable en las ciencias naturales. Salvo algunos trabajos aislados de cierto interés (Alberto Magno o Roger Bacon), los alquimistas solo se interesan por las transformaciones de los elementos con el doble objetivo de conseguir metales preciosos o el famoso "elixir de la vida". La ciencia estaba impregnada de vitalismo y creencias esotéricas que llevarán a la química a un callejón sin salida ya que, si bien es cierto que la moderna química de partículas hace posible la ansiada trasmutación de elementos a través de reacciones atómicas, los antiguos practicantes del "arte sublime" estaban a años luz de esas técnicas y conocimientos. A comienzos del siglo XVI, aparecen en Europa dos obras que suponen un cambio de tendencia en la investigación científica, pues aunque se sitúan en el marco teórico de las antiguas concepciones griegas, estos escritos se orientan a la aplicación de esos descubrimientos y técnicas a la medicina, la farmacia y a la mineralogía. Se trata de las obras de Agrícola y de Paracelso. En la primera, se recogen todos los conocimientos prácticos de metalurgia y de minerales que se habían hecho hasta la fecha; en la segunda, se aplican los conocimientos de alquimia y mineralogía a la preparación de medicamentos, lo que suponía un cambio considerable en el tratamiento de algunas en-

fermedades que hasta entonces solo se combatían con remedios obtenidos de las plantas. Pronto la alquimia entrará en decadencia en los años siguientes para dar paso a la química moderna que comienza en el siglo XVII y se consolidará en la segunda mitad del siglo XVIII.

La química moderna se inicia con un cambio fundamental en la metodología y otro en el tema principal de las investigaciones. Hasta las primeras décadas del Seiscientos, los trabajos de química se basaban en el estudio y tratamiento cualitativo de los materiales y su descripción por medio de razonamientos. Sin embargo, ya en la segunda mitad del siglo XVII Boyle y, posteriormente, Mariotte, enuncian su famosa ley de los gases, relacionando presiones y volúmenes. De este modo se introducen en el estudio de la química métodos cuantitativos, es decir, la medición de pesos, volúmenes, cambios de temperatura, etc., dotando a la investigación mayor rigor y permitiendo comprender mejor la naturaleza de los cambios producidos en las reacciones químicas. Por otra parte, la definición de elementos se haría a partir de estudios empíricos sobre la simpleza o complejidad de los mismos, lo que a medio plazo llevaría a la concepción moderna de átomos y moléculas. Así pues, el análisis del comportamiento de los gases, materiales sobre los que anteriormente apenas se habían hecho investigaciones, sería decisivo para el avance de la química. Hasta entonces, la química se reducía a un conjunto de experimentos, en muchos casos sin conexión entre sí, de los que aún no se habían extraído teorías que sintetizaran los conocimientos obtenidos y establecieran principios sólidos de la nueva ciencia.

El primer cambio considerable en las teorías afectó a la concepción de la naturaleza de la materia. La teoría atomista, que ya Demócrito había enunciado en Grecia dos mil años antes, resurgió ahora con nuevos fundamentos empíricos. En efecto, según los experimentos de Boyle, si los gases se podían comprimir debía ser porque éstos estaban formados por partículas separadas entre sí, que al someterse a presión disminuían el espacio existente entre ellas.

Esta concepción se extendería después a los sólidos y líquidos. Estas ideas se afianzaron entre el mundo científico de la época porque explicaban cada vez mejor numerosos hechos y evidencias en el comportamiento de los elementos y sus transformaciones; sin embargo, hasta la segunda mitad del siglo XVIII, no se pondrían las bases teóricas rigurosas sobre dicha hipótesis. Por otra parte, el concepto mismo de elemento químico sufriría también una cambio ya que la antigua concepción del mismo, como una sustancia simple primaria del universo : aire, fuego, tierra y agua, daría paso a un enfoque experimental del concepto, de modo que el elemento sería la sustancia que no se pudiera descomponer por algún método físico o químico en otra más simple.

Otro foco de interés para los científicos del Seiscientos fue el papel del fuego en la naturaleza y los procesos de combustión. Estos trabajo eran fundamentales en la química aplicada pues para la metalurgia, técnicas de interés estratégico para la fabricación de armas en las fundiciones, resultaba imprescindible comprender bien el proceso. Georg E. Stahl propuso la existencia de un principio o elemento de inflamabilidad en las sustancias combustibles al que llamó flogisto[74]. Durante la combustión se liberaba flogisto que pasaba al aire, quedando la sustancia combustible reducida a cenizas o a otra sustancia que no contenía flogisto y ya no podía arder. Los procesos de calcinación y oxidación de metales se deberían así a la pérdida de flogisto; un metal sería una sustancia que contenía flogisto y al perderse éste durante la combustión se obtendría un calcinado o enmohecido (oxidado, según la concepción actual) pobre en flogisto. El proceso contrario, es decir, la incorporación de flogisto al "calcinado" produciría el metal; por tanto, las menas minerales que se consideraban "calcinados" (en particular los óxidos metálicos) li-

[74] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Staahl, J. *Fundamentos de química*, Nuremberg, 1743 (en latín).

berarían el metal (por ejemplo cobre) al ser calentados con carbón vegetal. La explicación radicaba en la suposición de que el carbón vegetal era una sustancia rica en flogisto, el cual se transfería a la mena mineral. Así la teoría del flogisto fundamentaría los procesos de obtención y purificación de cobre, estaño y hierro a partir de los minerales que los contenían. Asimismo, para Stahl la combustión con llama y el enmohecimiento eran dos variantes del mismo proceso, aunque en el caso de la aparición de llama era debido a que la pérdida del flogisto era tan violenta y en tanta cantidad que calentaba el aire visualizando la llama.

Esta teoría seguiría vigente hasta finales del siglo XVIII, ya que parecía explicar los cambios en el aspecto y algunas propiedades de las sustancias; sin embargo, no explicaba los cambios en los pesos de esas sustancias antes y después de las calcinaciones (las cenizas que quedaban después de quemar madera pesaban menos que ésta, pero en cambio al enmohecerse un metal el conjunto pesaba más que la sustancia original). Sin embargo, estos problemas cuantitativos no preocupaban tanto a los químicos del siglo XVII. Solo a partir de la segunda mitad del Setecientos, después del descubrimiento del oxígeno y de la comprensión de los procesos de oxidación, se vería que los minerales metálicos no perdían flogisto al fundirse, sino que incorporaban oxígeno; es decir, el metal no era el "calcinado" más el flogisto, sino una sustancia contenida en el mineral que se obtenía de una reacción química con intervención del carbono como detallaremos en los siguientes apartados. Asimismo, la medición del peso de los gases desprendidos en las combustiones permitiría desechar completamente la teoría del flogisto.[75]

Durante la primera mitad del siglo XVIII, se ponen las bases para el despegue de la nueva química en Europa que se consolidará a finales de la centuria. El descubrimiento de nuevos elementos químí-

[75] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Lavoisier, A. *Traité*…

cos, el análisis de la naturaleza y propiedades de los minerales por los ensayos con la llama, las técnicas de aislamiento de gases y su investigación sistemática, así como su papel en las reacciones químicas serán los nuevos pilares de estas ciencias. Se generalizarán los métodos cuantitativos en los ensayos, así como un mayor rigor y precisión en los protocolos experimentales, y se establecería una nueva nomenclatura química. En definitiva, la química y la mineralogía incorporarán el método científico moderno, dando como resultado nuevas teorías que constituirán los pilares de la química moderna. A principios del Setecientos, Stephen Hales y Joseph Black aislaron dióxido de carbono procedente de la combustión de la madera y de algunos minerales (carbonato cálcico), haciéndolo burbujear a través del agua y recogiéndolo en un recipiente. Diversos experimentos mostraron que este gas estaba presente en el aire acabando así con la antigua creencia griega del aire como elemento simple y primordial. Posteriormente, Rutherford descubriría el nitrógeno al que llamó "aire flogisticado", pues mostró que el aire encerrado en un recipiente en el que se había hecho arder una vela hasta apagarse (y por tanto sin oxígeno), y después de extraer el CO2, contenía un gas irrespirable que, de acuerdo con la teoría del flogisto, estaba saturado de este principio y en consecuencia no podía admitir más haciendo imposible la continuación de la combustión. En la década de 1770, Joseph Priestley aisló el oxígeno a partir de la descomposición de óxido de mercurio y observó que este gas avivaba la llama de las combustiones; supuso que ese gas era aire que no tenía flogisto y, a diferencia del "aire flogisticado" (nitrógeno), podía aceptar más cantidades del mismo, de modo que lo llamó "aire desflogisticado".[76]

A partir de estos antecedentes, el salto definitivo a lo que sería la química como ciencia actualmente, se produciría con las investigaciones, entre otros, de tres grandes sabios: Lavoisier, Proust y Dalton,

---

[76] Asimov, I. *Breve historia*…, p. 55-65.

quienes enunciaron la ley de los gases y de la conservación de las masas en las reacciones químicas, la ley de las proporciones definidas y la actualización de la teoría atómica de los elementos químicos respectivamente. A. Fourcroy, en su faceta como divulgador e historiador de la química, compilaría las experiencias y ensayos de sus contemporáneos estableciendo las bases generales de la química como ciencia independiente y separada de la física, la metalurgia, la mineralogía y, desde luego, de la vieja alquimia. En el tomo primero de su S*ystême* nos dará una definición de la química como : *"la química es una ciencia para aprender a conocer la acción íntima y recíproca de todos los cuerpos de la naturaleza, los unos sobre los otros."* y más adelante "*la química es una ciencia distinta y separada de todas las otras….*"[77]

También se publicó una nueva nomenclatura para los elementos y compuestos químicos que unificaría la diversidad de apelativos que tenían desde los días de la alquimia. La palabra "elemento" sustituirá a "principio", usado antes de la denominada por Fourcroy "revolución química". Es decir, cuerpos simples e indescomponibles que aparecen en la descomposición de otros. Asimismo, este químico hará una llamada a renunciar a las antiguas teorías de los cuatro elementos de los griegos y a admitir la existencia de numerosos nuevos elementos. También distinguirá entre la "afinidad" o fuerza que mantiene unidos a los elementos (*l'attracction de composition)* en los compuestos, de la fuerza de agregación que formaría las mezclas y aleaciones, enunciando las leyes que regirían dicha afinidad.

De los científicos antes mencionados, Proust realizó gran parte de sus trabajos en el Laboratorio del Colegio de Artillería de Segovia, permitiendo al químico francés desarrollar sus trabajos fuera de su patria y al margen de los turbulentos episodios ocurridos en Francia durante la Revolución, sucesos que en cambio costaron la vida a su compatriota Lavoisier.

---

[77] Fourcroy, A. *Systême*…, T. I, p.4.

3.2. LA QUÍMICA EN ESPAÑA. EL REAL LABORATORIO DE CHIMIA DE SEGOVIA

Hasta casi el final del siglo XVIII los contenidos en las ciencias experimentales que se enseñaban en el Colegio, se limitaron a los conceptos y prácticas que figuraban en la asignatura de Táctica que hemos expuesto anteriormente. Hasta que Louis Proust no inició las clases de Química en el Laboratorio del Real Colegio, no se explicaron las principales leyes y teorías modernas descubiertas por Lavoisier, Priestley o Sheele. Por otra parte, sí hubo una fuerte actividad traductora de los principales Tratados redactados por los químicos más famosos de Europa y de numerosas publicaciones científicas durante el reinado de Carlos III[78]. En 1794 Juan Manuel Munárriz, miembro del Consejo del Real Colegio y discípulo de Proust, tradujo el *Tratado Elemental de Química* de Lavoisier, además de escribir un suplemento a la traducción castellana de los *Elementos de Química* de Chaptal; un año después se haría lo propio con los *Elementos de Historia Natural y de Química* de Fourcroy.[79] En 1788, Pedro Gutiérrez Bueno, tradujo la *Nueva Nomenclatura Química* de Lavoisier, Morveau, Berthollet y Fourcroy, incorporando al español un gran número de términos que hacían posible el estudio de la química moderna en nuestra lengua.

La creciente importancia de la química en las industrias de armamento, especialmente en las Reales Fundiciones de cañones, hacía necesario un mayor conocimiento sobre la naturaleza de la

---

[78] Portela, E.Y Soler, A. "La química española en el siglo XIX", *AYER*, nº 7, 1992. Pp. 85-109. Los autores han establecido un índice de la actividad científica española desde finales del siglo XVIII hasta el comienzo del XX. Destaca la alta proporción de libros en el último cuarto del Setecientos en relación a los publicados en la primera mitad del siglo XIX.

[79] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Fourcroy, A. F. *Elementos*…,

materia, la purificación de metales y las aleaciones de los mismos por los oficiales de artillería destinados a la dirección de esos establecimientos. Hasta el último tercio del Setecientos el conocimiento de las técnicas de fundición estaba en manos de maestros civiles cuya ciencia era puramente empírica y trasmitida en muchos casos de padres a hijos. Estos maestros fundidores eran con frecuencia asentistas de las fábricas de cañones, de modo que la Corona no podía controlar totalmente el proceso de producción. A partir de 1767 el Estado se irá haciendo cargo de toda la gestión administrativa, técnica y económica de la mayoría de esas fábricas, así pues era necesario disponer de oficiales con buenos conocimientos de química. En el Colegio de Segovia existía un llamado Laboratorio de Mixtos desde 1783 en el que se trabajaba en el conocimiento de los minerales, la fabricación de pólvora y otros procesos relacionados con la química de los metales.

Los planes para crear el Laboratorio de Química de Segovia datan de 1785 cuando el conde de Lacy, inspector general de la Artillería, sustituyó al conde de Gazzola en su cargo al morir éste en 1780. El nuevo inspector reformaría los planes de estudios del Colegio introduciendo en ellos y ampliando los contenidos de la química, la mineralogía y la metalurgia, conocimientos que parecían imprescindibles para un oficial de artillería que tuviera que dirigir una industria de armamento[80]. Se hicieron las gestiones para traer de nuevo a Proust a España, donde éste había impartido clases en la Cátedra de Química de Vergara entre 1777 y 1779. El químico llegó a Segovia en 1788 después de un corta estancia en Madrid y otros lugares de España. Proust era por esa época un químico reputado que se había formado en París con algunos de los maestros de la química moderna como H. M. Rouelle o P.J.Macquer en las clases

[80] Silván, L. *El químico Luis Proust 1754-1826*, Donostia, 1992. También Gago, R. *Louis Proust y la cátedra…*

que éstos impartían en el Jardín Botánico de París, y también con el propio Lavoisier. Así, cuando llegó a Vergara ya debía poseer buenos conocimientos de química que luego ampliaría a su vuelta a París en 1780. A su llegada a Segovia debía conocer bien la química de los gases, el peso del aire, distinguía ya el concepto de mezcla del de combinación (aunque imperfectamente), había estudiado los procesos de oxidación en sustitución de la teoría del flogisto, había experimentado con metales y ácidos, etc. Es decir, parecía preparado para divulgar con acierto la nueva química en España, aunque todavía mantenía errores como la consideración del fuego como un elemento simple (el calórico) con volumen y peso propios[81]. Error que, por otra parte, era común entre los químicos de la época, ya que el concepto de energía o de electromagnetismo tardaría aún muchos años en comprenderse. Por ejemplo, Pedro Gutiérrez Bueno, en 1815, todavía consideraba como cuerpos simples: *"la luz, el calórico y el fluído eléctrico, junto con el óxigeno, el azoótico, el hidrógeno, el azufre, el fósforo, el carbón, los dos álkalis, los 17 metales y las cinco tierras "*.[82]

3.3. EL EQUIPAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DEL REAL LABORATORIO

Desde que Proust llegó a Madrid en 1785 hasta 1789 en que se incorpora a la academia segoviana, se realizaron gestiones para la dotación y organización del Laboratorio de química. Puesto que las enseñanzas serían eminentemente prácticas debía equiparse al establecimiento con material moderno que permitiera realizar

---

[81] Silván, L. *Louis Proust*…, pp.176-177, el autor ofrece una biografía del autor y de su formación académica en París.
[82] Gutiérrez Bueno, P. *Prontuario de química, farmacia y materia médica*, Madrid, 1815.

experimentos acordes con la nueva ciencia. Las autoridades españolas, el inspector general de la Artillería, conde de Lacy y el secretario de Hacienda, Pedro de Lerena, atienden las peticiones del químico francés y con la mediación del embajador español en París, conde de Aranda, se empiezan a tramitar sucesivas demandas de material. Así, el 24 de abril de 1786 el conde de Lacy comunica a Lerena que:

"*ha tratado con D. Luis Proust el Profesor de química en Segovia sobre las máquinas, instrumentos, drogas, y substancias que se necesitan para el establecimiento del laboratorio de este arte en aquella Ciudad y ha formado dos relaciones (…) con el fin que se pida a nuestro embajador en la corte de París para que comisione sujeto inteligente que los compre con el conocimiento que se requiere*".[83]

La relación de material que Proust solicita y que se tramita es la siguiente:

1 balanza de ensayo de Mr. Meigné, encerrada en vidrio con sus pies de plata; una balanza de ensayo para pesar quintales de 600 granos con sus divisiones hasta cuartos de grano; el microscopio de Mr. D'ellebara; una lente de 8 pulgadas de diámetro y otra de 4; un higrómetro de Mr. De Sausure; un calentador en plata de Bergman; el pequeño laminador de laboratorio de Mr. Sage; la prensa de Mr. Tillet; la máquina neumática corregida de Mr. Cavallo; una máquina eléctrica con bandeja simple de gran diámetro; un cañón aislado de aire inflamable de Bienvenu; dos botellas de Leyde.; conductores con empuñadura de vidrio; un rodillo de dos libras de hojas de estaño; una campana para pesar aire; una docena de bobinas de cobre para ajustar a los tubos de vidrio y a las vasijas; una docena de tubos de estaño con embocadura de cobre para curvar en diferentes ángulos; 4 vasijas de licor al espíritu del vino de Beaumé; media docena de termómetros de mercurio acondicionados para sumergir

[83] AGS. GM, leg. 5695. 24 de abril de 1786.

en los licores; dos termómetros fijados sobre planchas; un barómetro portátil; dos sopletes de mano, uno grande y otro pequeño; un alambique de cobre con dos baños maría de cobre para contener 6 pintas de licor; cuatro morteros de porcelana; una balanza hidrostática; un electróforo de bolsillo; una resma de gran papel de filtro; un Eudiómetro de Fontana; un Eudiómetro de Volta; cristales de Romé de Lisle.; modelos de hornos metalúrgicos de laboratorio de Mr. Sage; Máquina de Papin; soportes de cobre para sostener los matraces. un soplete esmaltado.[84]

Unos meses más tarde, Proust añadirá una nueva petición de accesorios para la máquina eléctrica y para la neumática. Para la primera, seis botellas de Leÿde más; barras conductoras o una bola de cobre de 12 pulgadas para experimentos con la electricidad. Para la máquina neumática: 1 hemisferio de Maldebourg, transportadores para conservar el vacío en diferentes recipientes, aparato para el chorro de agua en el vacío. También requiere una serie de aparatos y más accesorios para *"los aires inflamables y flogísticos y otras operaciones químicas*"; es decir, para experimentos relacionados con los procesos de combustión, oxidación, análisis a la llama de metales, del aire, etc. Por ejemplo: una lámpara (soplete) para el aire deflogisticado (oxígeno) "*con efecto similar al de Mr. Lavoisier*" para fundir diferentes metales; un recipiente para fundir platino; 4 ajustes diferentes para hacer pasar el aire de una vasija a otra; 4 ajustes para introducir el aire inflamable (hidrógeno); portafósforo para quemar el fósforo en el aire deflogisticado; 6 portabujías para sumergir la luz en un vaso; una botella neumático química de la invención de Mr. Bienvenu; un aparato con aire inflamable para hacer arder el aire, y probar que aquél no puede arder si no es en contacto con el aire de la atmósfera, este aparato ha sido construído por Mr. Bienvenu; Morteros de porcelana de varias capacidades; dos calentadores de hierro fun-

[84] Ibídem.

dido de 1 pie de diámetro; 2 más de 8 pulgadas; 2 de 6 pulgadas; dos docenas de crisoles de molibdeno; 1 onza de carmín[85];

La lista de material solicitada por Proust nos proporciona información sobre el nivel de sus conocimientos de la química de su época, así como de las investigaciones y demostraciones que pensaba realizar en el Laboratorio. En primer lugar, el químico se muestra muy preciso en el material que desea; no solo pide instrumentos muy concretos, sino que muchos de ellos llevan nombres y apellidos de los científicos más relevantes del último tercio del Setecientos (en algunos casos se cita el establecimiento de París donde comprarlos), lo que indica un buen conocimiento de las investigaciones que se hacían en Europa en ese momento. En segundo lugar, podemos deducir que Proust centraría sus enseñanzas sobre tres grandes temas: el estudio de los gases, especialmente del hidrógeno, del oxígeno y de los procesos de combustión. De ahí su insistencia en demandar las máquinas neumáticas y accesorios para su manejo con el fin de efectuar demostraciones públicas de esas experiencias, así como de la física del aire, especialmente el estudio de la presión atmosférica. Otro gran tema sería el ensayo de los metales y minerales, su purificación y aleaciones. Por último, se estudiarían los fenómenos relacionados con la electricidad y el magnetismo.

Llama la atención en la relación de instrumentos, así como en algunas de sus memorias científicas, la utilización, todavía en los años ochenta, de la nomenclatura antigua: aire inflamable por hidrógeno, aire deflogisticado por oxígeno, etc. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la divulgación de la nueva nomenclatura, su aceptación por todos los químicos y el uso generalizado de la misma no se produciría hasta bien entrada la década de los noventa, en esos años Proust ya la utilizará en la redacción de sus *Anales*, especialmente en el tomo segundo. La correspondencia del conde de

---

[85] Ibídem.

Aranda y el conde de Lacy demuestra el interés personal de este último en la realización del proyecto. En efecto, el director de la Artillería tramita los pedidos y realiza un seguimiento de los mismos. Aranda responde, el 22 de mayo de 1786 que *"ya se procede a su apronto"* y "*con que ya se está en las diligencias de proveerlos (los instrumentos), mas vale salir de ellos de una vez*".[86] También recomendaba que algunos de esos instrumentos y reactivos se intentasen conseguir en España para ahorrar costes.

El 21 de agosto de 1788, el conde de Lacy comunica a la Tesorería Mayor, de acuerdo con Lerena, secretario de Hacienda, que se destinen 160.000 r. de los 200.000 que tiene "ahorrados" en la dotación de las Escuelas Prácticas de Artillería y de las Escuelas de Minas (cuya asignación anual era de 150.000 r.) para el Laboratorio y su material[87]. Asimismo, en dicho documento se notifica que el edificio del Laboratorio está a punto de finalizarse y que ya se trajeron de París los efectos solicitados por Proust en la lista que hemos expuesto anteriormente. También comunica que ha mandado fabricar 4000 vasijas de cristal en la fábrica de San Ildefonso, así como un conjunto de nuevos materiales para el Laboratorio que Proust necesita. Del mismo modo se decide recomponer algunos instrumentos venidos de París, fabricar estantes y remodelar alguna dependencia del recinto.

Los envíos siguen llegando a Segovia pero se sigue retrasando la apertura del Laboratorio por las demoras en la llegada de algunos materiales. Es muy conocido el asunto de los frascos de vidrio y sus tapones, cuya fabricación en La Granja resultaba muy costosa y que, a juicio del químico, no se podían fabricar en Madrid, insistiendo en que se trajeran de Francia.[88] Finalmente, se piden a París 1290

---

[86] AGS: GM, leg 5695. Correspondencia del conde de Aranda.
[87] AGS. GM, leg 5695. Correspondencia del conde entre agosto y noviembre de1788.
[88] Gago, R. *Louis Proust*…, pp. 13-14.

frascos de cristal tapados de varias capacidades, la mayoría a 4 onzas, de cuartillo y medio cuartillo. También se encargan: 1 alambique de cobre y estaño cuyo baño maría el mayor sea de la capacidad de 36 alumbres; 1 más de 18 alumbres; 2 más, de 9 alumbres con su refrigerante y tubo agregados; 1 almirez de hierro de 9 a 10 pulgadas de diámetro y su fondo correspondiente; otro de a 6 pulgadas de profundo y su diámetro correspondiente; 1 fuellecito de esmaltador; una resma de papel de colar o filtrar; dos mil tapones de corcho fino de varios diámetros; dos piedras de imán, una mayor que otra; plomo laminado para forrar cubos de madera, media arroba. vasijas de plata fina sin mezcla de liga para el análisis de aguas minerales y extracción de sales, ácidos y demás; peroles de plata con sus espátulas: de 36, 18 a 20, 4 a 6, 2 a 4 arrobas.; dos cucharones de plata de mango largo y curvo; un evaporatorio de plata con su tapa; dos platos de plata para unas balanzas en que deben pesarse los dichos ácidos y sales[89].

A Rouen se encarga algunos reactivos imprescindibles para los ensayos: un millar de hojas de vitriolo; 600 libras de potasa perlada; borax refinado; sublimado corrosivo, arsénico blanco; régulo de arsénico; vitriolo azul; verdet; ácido marino; sal amoniacal; minio; bismuto; zinc; succinato; estaño de Inglaterra; caparrosa blanca; azul de Prusia; crémor de tártaro; resina; cinabrio artificial; precipitado rojo; tornasol; crisoles redondos[90]. Posteriormente, en octubre de 1790, se piden 1600 frascos más de similares características. Proust justifica la petición de los frascos con fines pedagógicos: " *Los productos fluidos que resultan de las operaciones necesarias para la instrucción, exigen un número bastante grande de frascos; por otra parte, las demostraciones multiplican diariamente esos productos, que es necesario conservarlos siempre a la vista de los discípulos*".

El 9 de octubre de 1790, Proust escribe al inspector Campo de Alange solicitando una colección de minerales y diverso material

---

[89] AGS. GM, leg 5695. Correspondencia del conde de Lacy. 18 de octubre de 1788.
[90] Ibídem.

necesario para el Laboratorio. Por otra parte, en la misiva, queda clara su intención de seguir el modelo francés en la instalación del Laboratorio de Segovia:

> *" El establecimiento de química docimástica que existe en París, fundado por M. Sage, de la Academia de las ciencias, es el que, por su perfección, ha servido de modelo a todos los que se han formado después. Siendo la instrucción de la química docimástica (o docemástica, así lo escribe Proust)) la más conveniente al Cuerpo de Artillería, he creído que debo formar la Escuela de Segovia bajo el mismo plan (…). Para conseguirlo necesito una colección de minerales bastante numerosa para que en ellos se comprendan las principales variedades de mineralizaciones que acompañan los metales en el seno de la tierra. Como no se puede de ningún modo enseñar el arte de verificar las cantidades y calidad de un metal, encerrado en un mineral sin hacer la experiencia a la vista de los que han de aprender. Los minerales vienen a ser la base fundamental de la química docemástica*"..[91]

En este escrito, Proust manifiesta su intención de investigar no solo sobre teorías de la química fundamental, sino también dedicar parte de su experimentación a perfeccionar las técnicas de extracción y purificación de metales de los minerales que la Corona española traía de América y Europa, y que tanto interés tenían para la fabricación de cañones. Como veremos en un capítulo posterior, las reales fábricas de fundición de Sevilla y Barcelona enviaron muestras de esos minerales a Segovia para ser analizados por el químico francés. La concepción de la naturaleza de los minerales se averiguará a través de su composición química, y su clasificación se basará en ese criterio y no en sus propiedades físicas. Estamos, por tanto, en los comienzos de la mineralogía moderna y el Laboratorio de Segovia será un centro de referencia europea en esa ciencia.

---

[91] AGS. GM, leg, 5695.

Proust solicitó al secretario de Guerra permiso para traer minerales del Gabinete de Historia Natural de Madrid o encargarlos a Mr. Sage en París. (9 de octubre de 1790). El 9 de julio de 1791, José Clavijo, del Real Gabinete, informa que podrá enviar a Segovia ejemplares de los minerales que están duplicados en dicho Gabinete. Así, el 25 de mayo de 1792 se remite 41 especies minerales y en 75 piezas. La siguiente relación de minerales se enviarían al Laboratorio de Segovia: oro, 3 piezas de Copiapó; Plata, 9; Estaño 3; Arsénico, 2; Cobalto, 2; Bismuto, 2; Plomo,12; Hierro, 8; Antimonio, 7; Cinabrio, 8; Calamina, 3; Micas, 9; Talco, 4; Espato flúor, 6; Blenda cristalizada,1; Molibdena, 4; arcilla, 1; Amianto, 3; Borax, 1; Carbón de piedra, 2 papeles con varios pedazos; Hierro de acarreo o piedras de águila, 2 piezas; cobres, 1 con piritas; pizarras con fósiles de helechos, 3; Piritas de azufre, 1; hierro especular, 4; blenda, 1 cristalizada; molibdeno con plomo, 1 y piritas cobrizas; feldespato,1 con hierro; calcedonia, 1 con ágata; mármol cristalizado, 1; cuarzo,1; turmalina, 1 de Brasil; asbesto,1 verdoso; arcillas, 1 con dendritas arborizadas de hierro; alumbre; esquisto, 1 con alumbre negro; vitriolo,1; espato aguamarina, 1.[92]

Posiblemente a esta modesta colección destinada a la enseñanza de la mineralogía y a efectuar ensayos ante los alumnos, se añadiría a las piezas existentes desde la fundación del Colegio en 1764, aunque no sabemos el número ni las características de las mismas. Tomás de Morla en su *Tratado,* en el que trabajaba cuando daba clases de Táctica en el Colegio en los años setenta, menciona las menas minerales del cobre, estaño y hierro entre otras; por tanto, es seguro que dispondría de ejemplares de esas menas. Sin embargo, sería a partir de 1817, con la compra de la colección que Casimiro Ortega tenía en Madrid, cuando el Colegio aumentaría considerablemente el número de piezas. Se trataba de 1485 minerales y unas 400 rocas,

[92] AGS. GM, leg, 5695. 25 de mayo de 1792.

además de fósiles y otras piezas[93]. Muchas especies minerales estaban repetidas y aparecen catalogadas atendiendo a su composición química de modo similar a la clasificación actual aunque no igual.

Composición de la colección de minerales y rocas

minerales	1892 ejemplares	60%
rocas	727	23%
fósiles	255	8%
otros	296	9%

Procedencia de las piezas

Europa	2207	86%
América	358	14%
Asia	13	1%

Fuente. Diez Herrero, A. "Apuntes históricos sobre la colección de minerales, rocas y fósiles de la Academia de Artillería de Segovia", LLUL, volumen 28, 2005, pp. 383-413.

Por ejemplo, se establece un grupo de monóxidos que contiene los nombres de los minerales que tienen esa composición, por ejemplo cuprita seguida de todas las variedades de la misma: cuprita negra, cuprita con malaquita, etc.; el hematites, otro monóxido, incluiría la hematites roja, parda, hierro oligisto, etc.; la clasificación establece clases, órdenes, familias, etc., de modo similar a la taxonomía de animales y plantas establecida por Linneo en el siglo XVIII.

---

[93] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Catálogo de minerales, rocas y fósiles de la Academia de Artillería. Se relacionan las existencias de 1817, de 1885 y de 1930. También, Diez Herrero, A. " La colección de minerales, rocas y fósiles de la Academia de Artillería de Segovia", *Boletín Geológico y Minero*, Volumen 108, nº 2, 1997, pp. 100-106..

3.4. EL REGLAMENTO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL LABORATORIO

El Reglamento para el Laboratorio[94] aprobado por Carlos IV, muestra claramente los fines del mismo, pero también el objetivo de disponer de un centro de química moderna que iba más allá del ámbito militar pues como muestran los artículos 5º y 6º de dicho reglamento:

> " *art. 5º. Los sujetos que deben asistir a los cursos son todos los oficiales de artillería últimamente promovidos para los cuales se ha erigido principalmente el Laboratorio, y todos aquellos que vayan de orden de SM, de sus ministros o del comandante general de la Artillería.*
>
> *"art. 6º. Siendo la intención de SM en la erección de este Laboratorio proporcionar a sus amados vasallos de cualquiera condición que sea un medio de instruirse en una ciencia tan útil (…) las lecciones del curso de cada año serán públicas, y por lo tanto no solo se permitirá asistir a ellas a todos los oficiales (…) sino también a todas las personas que lo deseen, sea con el fin de ilustrarse o con el de poder ejercitar con mas fondo la Medicina, Cirugí*a,(...)".

Por otra parte, se pretendía que las enseñanzas que se iban a impartir estuvieran a la altura de los conocimientos de química moderna que se tenían en Europa y, probablemente, teniendo en cuenta la categoría del profesor Louis Proust las clases tendrían un alto nivel. Pero también se quería formar buenos químicos prácticos e investigadores, aunque esto último parece, según la mayoría de los autores que se han ocupado del tema, que se consiguió parcialmente, pues salvo el propio Proust, que realizó buena parte de sus

---

[94] AGS, leg. 5696, Reglamento para el Régimen del Laboratorio de Chimia del Real Cuerpo de Artillería establecido en la ciudad de Segovia. 14 de enero de 1792. Reproducido por Pérez Ruiz, P. *Biografía del Colegio-Academia de Artillería de Segovia*, Segovia, 1960.

descubrimientos en el Laboratorio, y su discípulo Munárriz, que continuó su labor divulgadora en Real Colegio, no surgió una escuela importante de investigación original en España.

En el artículo 4º del Reglamento podemos leer los grandes trazos del contenido de las clases que se pretendían impartir:

art. 4º. "En las lecciones se darán doctrinas acompañadas de correspondientes experiencias de los gases, o fluidos aeriformes, que son la base de la nueva chimia de los acidos, alkalis, tierras primitivas y sales neutrales: de las piedras y tierras comunes, metales y demás productos del reino mineral: en fin que se darán subcintas aunque claras ideas de los principales descubrimientos que ha hecho la chimia moderna en los reinos vegetal y animal. El conjunto de estas doctrinas está dispuesto en lecciones que las distingan, combinen y enlacen de modo que se hagan más perceptibles (…) pero teniendo presente que los puntos más importantes son los referentes a la Artillería, como pólvora, hierro, cobre, estaño y la combinación de estos para las piezas."

Sobre la formación de investigadores y la duración de los cursos:

" art. 12º. Siendo imposible que por más talento aptitud y aplicación que se tenga se pueda aprender en estos cursos más que la teoría de la chimia, y de ningún modo su práctica (…) permitirá el profesor que estén presentes, le ayuden y manipulen en los ensayo, análisis (…) todos los que quieran ejecutarlo (…) De modo que para los tales el curso de Chimia durará uno o dos años hasta que estén versados(…) en la teoría y la práctica de la Chimia.

Sin embargo, como veremos después, muchos de los alumnos que pasaron por el Laboratorio estuvieron solamente unos meses, pues al ser oficiales abandonaban las clases pronto para incorporarse a sus destinos. En el Reglamento se establecía el horario de clases y el calendario académico en los artículos 1º, 2º y 3º:

"Los cursos de chimia principiarán todos los años el 1º de febrero y durará hasta fines de abril, o mediados de mayo. (…) Habrá lecciones tres días

a la semana que serán lunes, miércoles y viernes (…) Las lecciones principiarán a las diez de la mañana y durarán de una a dos horas."

Finalmente, se citan una serie de artículos (del 7º al 11º) con normas para el buen desarrollo de las clases, entre las que llama la atención las democráticas condiciones para poder asistir a clase, incluida la asistencia de mujeres:

"Tampoco se negará la entrada a las personas de cualquier condición o sexo (…) Los que asistan a las lecciones ocuparán las sillas conforme lleguen y sin pretender diferencias por su grado, antigüedad, condición, ni clase (…) Para mantener el buen orden, silencio, y atención que corresponde (…) se nombrará cada día de lección un capitán de guardia (…) Terminado el curso examinará el Profesor a los que hayan estado obligados a asistir. (…) No se permitirá a ninguno que durante la lección interrumpa al Profesor con preguntas, que podrán hacer después de haber terminado (…)".

3.5. LAS ENSEÑANZAS DE LOUIS PROUST EN SEGOVIA

Aunque Proust tomó posesión del Laboratorio en 1789 diversos problemas retrasaron la inauguración del mismo hasta 1792 una vez terminadas las instalaciones del mismo en un edificio anejo al Alcázar de Segovia. Proust se hará cargo de su dirección y el uno de febrero de ese año pronuncia el discurso de apertura. El discurso es una declaración de principios de la química moderna, de su utilidad, su esencia y una nueva metodología más rigurosa aplicando el método científico. En el texto se aprecia un lenguaje todavía impregnado de vitalismo y de adjetivos morales aplicados a los compuestos químicos muy propio de la ciencia en el siglo XVIII. Sin embargo, el contenido es ya un anuncio la nueva química. Empieza reconociendo las transformaciones de los cuerpos y sustancias que pueden observarse en la naturaleza y enuncia la finalidad de la química:

"Todos tenemos frecuentes ocasiones de notar la degradacion, o especie de

transformacion, que experimentan con el tiempo los mas de los cuerpos que nos rodean. Vemos, por ejemplo, cada dia destruirse por la herrumbre el hierro y el acero de nuestros arsenales. (…) la química es el arte de apreciar los compuestos por sus elementos y colocarlos en las situaciones mas adecuadas para procurar sus transformaciones. Apreciar las proporciones en que se han reunido para formar el mismo o otros compuestos, estudiar sus propiedades en estado de libertad y, en fin, las aplicaciones útiles que se pueden hacer de estas transformaciones a las artes, a la medicina y a cuanto nos interese. (…) La ley general es que todo pase al nacer del estado de simple al de compuesto, en nuestro Globo, por cualquier parte que se extienda la vista, todo es mezcla y todo renuncia (..) tal es el estado natural de los Seres, y tal el Caos que la química se propone aclarar".[95]

Declara que el objetivo fundamental del Laboratorio sería la investigación y la alta docencia en química y metalurgia, desde un enfoque práctico, para oficiales y civiles cualificados e interesados en esas ciencias. El primer objetivo sería "*poner a la vista estas transformaciones de los cuerpos en su acción (…) se verán a cada instante substancias que combatirán entre sí y acabaran cediendo la una de ella algunos principios a la vencedora*". En el discurso, Proust da a entender que lo que realmente le interesa es el análisis cualitativo y cuantitativo de los compuestos químicos y, por tanto, que su labor será fundamentalmente investigadora utilizando el Laboratorio para ello. En la introducción a los *Anales* ya define la química como una "*una ciencia experimental cuyo objeto no se puede llenar con razonamientos*". Parece así anticiparse a las críticas que se le harían a su deficiente labor docente unos años después.[96] Sigue explicando en el dis-

---

[95] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Proust, L. *Discurso que en la abertura del Laboratorio de Química del Real cuerpo de Artillería*,, Segovia 1792. (ed. Faccimil de 1992).

[96] Silván, L. *El químico*…, pp. 183-199. El autor resume algunas de esas críticas que ya se habían producido en su anterior etapa de profesor en Vergara.

curso las ventajas de la química y sus aplicaciones, atribuyendo a esta ciencia un poder casi divino, pues se pregunta, partiendo del hecho que podrían hacerse muchos compuestos nuevos con los elementos existentes, por qué la Naturaleza no los ha hecho; su respuesta es que la Naturaleza ha dejado al hombre la tarea de acabar su obra.

> *" los Seres elementales sirven de principios a los compuestos, se separan y combinan de nuevo debido a su Inconstancia (…) hallaríamos cuerpos que la naturaleza ha ocultado en el seno de estos Seres y cuya utilidad jamás se hubiera conocido (…) si conocemos las causas de estos cambios podríamos reproducirlas, suspenderlas o prolongarlas con lo que conseguiría aun no menores riquezas (…) ". O, Por ejemplo, con respecto a los minerales " ¿Qué utilidad tendrían si gracias a la química, no pudiéramos extraer metales de ellos".*

También realiza un crítica a las concepción de los griegos sobre los cuatro elementos y, en general, a toda la química anterior a Lavoisier. Descarta la mitología en la ciencia como hacían los antiguos "*porque los archivos de la imaginación exaltada , y de la fábula, no son compatibles con la Verdad*". Asimismo, desecha las ideas peyorativas y prejuicios que se tenían sobre muchos procesos naturales, por ejemplo, considera la herrumbre, que se tenía por una degradación o "desarreglo", como un cambio en el que el metal simplemente ha tomado oxigeno. No olvida las enseñanzas que ya se impartían en el Colegio desde su fundación, y las valora y elogia, reconociendo las limitaciones de la ciencia aplicada a las fundiciones en toda Europa. Como dato anecdótico, no falta en el discurso una frase que muestra el alto concepto de sí mismos que tenían los europeos de la época *"¿Qué fruto sacaría el estúpido peruano del cinabrio, antes que los españoles le enseñasen a valerse de el para extraer el oro y la plata?"* [97]

---

[97] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Proust, L. *Discurso*…, p. 28.

La relación de la química con la artillería y, especialmente, con las fábricas de fundición ocupan buena parte del discurso. Equipara la importancia del conocimientos de las matemáticas y de la geometría, reconocida desde muchos años antes, con el conocimiento de los metales y sus aleaciones para la producción de cañones. Reconoce que se dan problemas en las fundiciones por desconocimiento de la naturaleza de los metales: *"las operaciones de artillería (para fabricar las piezas) no han dado un solo paso en este siglo*", argumentando que los cañones mejoraron su figura, forma y ánimas, es decir, sus propiedades exteriores, pero no una mejor calidad en su estructura ni materiales, de modo que "*hay que Iluminar el caos de las fundiciones con la antorcha de la química*". Termina, recordando que la intención del conde de Lacy es trasladar los logros del Laboratorio a los arsenales y fundiciones de artillería.

Del programa de química impartido por Proust en Segovia no sabemos con exactitud su contenido, pues no tenemos apuntes o textos de esas clases. No obstante, del análisis del *Discurso de Abertura,* que hemos comentado, en el que adelanta algunos contenidos de sus clases y de su metodología, podemos inferir algunos datos. Por otra parte, por analogía con las clases que el químico francés impartió en Madrid hacia 1800, despues de su salida de Segovia, y de las que sí tenemos documentación, sabemos que exponía las teorías y experimentos que habían hecho de esa ciencia una disciplina científica en el sentido moderno del término. Las clases de Proust debieron ser muy completas en las descripciones de los compuestos y en los ensayos que realizaba con los mismos, así como los datos que aportaba a sus alumnos. Al menos, así eran de minuciosas las comunicaciones de sus experimentos reflejados en los *Anales del Real Laboratorio de Química*[98].

---

[98] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Proust, L. *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia, Segovia*, 1791(tomo I) y 1795 (Tomo II).

A partir del trabajo de Leandro Silván que analizó algunos de sus apuntes de clase así como al tratado de Fourcroy en el que Proust se basó, en parte, para las mismas[99], sabemos que comenzaba exponiendo el objetivo de la química y sus conceptos básicos (mezclas, combinaciones, elementos etc); seguía con la metodología e instrumentos del químico y algunas de las nuevas teorías como la ley de conservación de la masa de Lavoisier o su ley de las proporciones definidas. Continuaba con un análisis detallado y cuantitativo de la composición del agua y el aire, los antiguos elementos simples de los griegos, mostrando que efectivamente no eran sustancias simples y exponiendo los porcentajes en volumen de oxígeno y nitrógeno (el azoe) que lo componen. Seguía con la obtención, análisis y propiedades de los elementos y compuestos conocidos, sobre todo, los metales, los metaloides, los sulfuros, los ácidos, las sales derivadas de ellos, así como el carbón y el azufre; estos últimos, fundamentales para los artilleros por ser ingredientes de la pólvora.

Proust clasificaba los compuestos químicos en cinco familias: combustibles (equivalente a los metaloides); ácidos o compuestos oxidados; álcalis; sales; atmósfera y sus gases constituyentes, mas el calórico. Como se verá, se mezclan criterios antiguos (combustibles, calórico) y modernos (ácidos o sales), y es que el tema de la combustión, tan recurrente en la química del Setecientos, y la herencia de la teoría del flogisto todavía planeaban sobre los químicos a finales de la centuria, aunque ya en los *Anales* queda claro su rechazo de esa teoría. En sus clases se trataron una serie de sustancias que se

---

[99] Silván, L. *El químico*…, pp. 199-208. El autor hace referencia a algunos apuntes de las lecciones de Proust en Segovia conservados en el Archivo General de Guipúzcoa. Sin embargo, Gago, R. En *Louis Proust*…, p.27, afirma que esos apuntes corresponden a las clases impartidas en Madrid. Por otra parte, el tomo V de los *Elementos de…,* de Fourcroy, cuyo índice puede verse en los apéndices, parece corresponder con los contenidos de los apuntes citados por Silván.

agrupaban bajo la denominación de "tierras". Este grupo era muy hetereogéneo, pues contenía óxidos (la cal), sales (carbonatos), algunos minerales (mica) y hasta algunas rocas. Todos ellos con el denominador común de su textura o consistencia terrosa o pulverulenta. También aquí observamos la huella de la antigua alquimia.

El estudio moderno de los metales ocupó una considerable extensión en los cursos de Segovia. Era tradicional presentar los metales exponiendo la forma de presentarse éstos en la naturaleza; es decir, los minerales que los contienen según la tradición docimástica, "el arte de ensayar los metales", asimismo estudiaba sus propiedades y aplicaciones, asunto fundamental para los oficiales de la Artillería. Sin embargo, en la clasificación de los metales sigue la nueva nomenclatura introducida por Lavoisier. Proust conocía el descubrimiento de nuevos metales como el manganeso, el wolframio, el titanio, el platino, etc., y realizó numerosos ensayos con ellos, aunque en algunos casos no parecía tener claro la distinción entre el metal como elemento simple y algunas de sus aleaciones. En cualquier caso, tenía un buen conocimiento de los trabajos de sus colegas contemporáneos a los que cita en sus trabajos.

También se ocupó en sus clases de explicar nociones de química orgánica reconociendo algunos elementos y compuestos de los seres vivos, como el carbono, el hierro, el fósforo, la glucosa, almidón, etc. Sobre algunas de estas sustancias haría notables ensayos en el Laboratorio, es el caso de la glucosa. Asimismo, siguiendo también una arraigada tradición en la química dieciochesca, explicó algunos procesos metabólicos como la fermentación, la obtención de alcohol y, en general, elementos de historia natural. Sin embargo, es sabido que a pesar del reconocimiento que tenía como científico por las autoridades de la Artillería, y del propio secretario de Guerra, su labor docente en Segovia no fue bien valorada. Probablemente, dado el carácter público de sus lecciones, muchos de sus alumnos no tenían el nivel básico para seguir los nuevos y complejos conceptos. Asimismo, la falta de textos impresos debía dificultar el se-

guimiento de las clases por los subtenientes, quienes después de pocos meses de asistencia abandonaban las clases para incorporarse a sus destinos.[100].

3.6. LOS EXPERIMENTOS E INVESTIGACIONES DE PROUST EN EL REAL COLEGIO

Las investigaciones de Proust en la Academia de Artillería quedan reflejadas en los dos tomos de los que se publicaron entre 1791 (el primer tomo) y 1795 (segundo tomo). Los ensayos que aparecen en el tomo 1º se llevaron a cabo en el Laboratorio entre 1789 y 1791 antes del comienzo de los cursos públicos. El índice de materias de la obra nos ilustra sobre el tipo de trabajos científicos que realizó el químico francés. Se trata de experimentos de química analítica, aplicada a la metalurgia de las menas minerales de los metales más utilizados en las industria de artillería: cobre, estaño, hierro, plomo, etc., así como a los elementos y sustancias necesarias para su purificación: carbono, oxígeno, álkalis, ácidos y algunas sales necesarias para la reducción o para la disolución de dichas menas. Las materias primas eran minerales de los yacimientos españoles o americanos que se utilizaban en las reales fundiciones de cañones, lo que muestra la intención de Proust de que sus trabajos fueran de utilidad para la mejora de las labores metalúrgicas realizada en las fábricas de la Corona.

Aunque sus investigaciones son de índole práctica, en el detallado relato de los experimentos, aparecen consideraciones teóricas sobre la naturaleza química de los compuestos, sus diferencias con los elementos simples, y, sobre todo, su demostración y verificación de la

---

[100] Gago, R; Silván, L, en las obras citadas, y otros autores han comentado esos problemas.

ley de proporciones definidas en la formación de las combinaciones químicas de dichos elementos. Esta ley sería clave para una clara distinción entre mezclas y aleaciones de las sustancias puras o compuestos químico y, en general, para el desarrollo de la química actual. También certificaba la defunción de la teoría del flogisto, en los términos que la exponía el químico Sthal, tachándola de innecesaria para explicar las reacciones químicas y resaltando el hecho de que nadie la había podido demostrar. En algunos de los ensayos, como los del bronce o los del cobre, Proust admite la existencia de dos tipos de óxidos para los metales y, por tanto, que dos elementos se pueden combinar en proporciones definidas distintas para dar dos compuestos diferentes, anticipando así la futura ley de Dalton de las combinaciones múltiples. En la mayoría de las memorias de los *Anales* aparecen citas de los grandes químicos y docimásticos europeos: Gellert, Schluter, Scheele, Bergman, Lavoisier, Sage, Ruelle, Fourcroy, Berthollet, etc., lo que muestra un gran conocimiento de los trabajos realizados durante el siglo XVIII. Asimismo, tenía contacto con científicos españoles como Pedro Gutiérrez Bueno, Casimiro Ortega, Fausto Elhuyar, etc. , con los que intercambiaba muestras minerales y, probablemente, información.

ANALES
DEL REAL LABORATORIO
DE QUÍMICA
DE SEGOVIA,

Ó COLECCION DE MEMORIAS

SOBRE LAS ARTES, LA ARTILLERIA, LA HISTORIA NATURAL DE ESPAÑA Y AMERICAS, LA DOCIMASTICA DE SUS MINAS, &c.

TOMO II.

POR D. L. PROUST.

SEGOVIA : AÑO DE 1795.

EN LA OFICINA DE DON ANTONIO ESPINOSA.

Con las licencias necesarias.

Biblioteca de la Academia de Artilleria. Proust, L. *Anales..,*

Otros ensayos se dedican a la investigación de elementos relacionados con la práctica artillera como el diseño y la eficacia de mechas para el disparo de los cañones, o balería de hierro. Asimismo, algunas memorias se relacionan con aplicaciones en la industria textil. La metodología utilizada en los ensayos es impecable desde el punto de vista del método científico: uso sistemático de la balanza cuantificando los resultados, repetición del experimento variando algunos parámetros, control de las variables ambientales, etc. En cuanto al lenguaje científico, debe considerarse a Proust como un buen divulgador de la nueva terminología química en nuestro idioma. El químico utiliza la nueva nomenclatura de Lavoisier, especialmente en el segundo tomo de los *Anales;* sin embargo, todavía aparecen términos de la vieja nomenclatura, probablemente debido a la dificultad de expresar en castellano algunas voces, dada la inexistencia hasta entonces de un vocabulario preciso para la química en español.[101]

Veamos ahora con más detalle algunos de sus principales ensayos. El primer lugar, los correspondientes a las minas de plomo azufrada. En 1787, Proust mientras esperaba la conclusión del Laboratorio de Segovia había estado en Linares con el objetivo de reconocer sobre el terreno las minas de plomo y luego las de mercurio de Almadén. El análisis que hizo después de las galenas de Linares refleja muy bien su metodología y su deseo de mejorar las explotaciones de las minas españolas. A partir de la fundición de 100 libras de galena, 25 libras de tachuelas de hierro y 30 libras de potasa (como fundiente) obtiene 83,5 libras de plomo.

Después de repetir el experimento varias veces obtiene similar resultado. Al efectuar el mismo experimento pero partiendo de polvo de cartas comercial obtenido del llamado " alcohol platero"

---

[101] Garriga Escribano, C. *Luis Proust y la consolidación de la terminología química en español,* Tarragona, 1997.

(un tipo de galena poco cristalizada o cristalizada en cubos muy pequeños), obtiene el mismo resultado que a partir de la galena cúbica (que los mineros llaman "alcohol de hoja"). Con esos resultados desmonta una creencia común en Linares sobre la mayor riqueza de plomo de estas últimas, y sobre todo enuncia un principio importante en mineralogía: en un mineral la variedad de cristalización no altera su composición química. [102]

De los análisis anteriores obtiene más plomo por quintal (en torno a 80 libras) que el sacado por los mineros de Linares (en torno a 50 o 60 libras) lo que Proust atribuye a un técnica de fundición deficiente al no controlar variables como la cantidad de fundiente o la proporción de hierro añadido para eliminar el azufre del plomo. Asimismo, analiza las escorias de la fundición y propone la receta para extraer la galena que contiene. Entre otras razones descubre que la mayor cantidad de galena en las escorias, y por tanto no aprovechada, se debe a las impurezas de la potasa utilizada como fundiente. En estos experimentos, aunque no se enuncia explícitamente la ley de proporciones definidas, está clara la concepción del autor sobre las combinaciones químicas de los elementos, pues, por ejemplo, se mencionan las cantidades de hierro que "puede absorber" el azufre para formar pirita (sulfuro de hierro). Además de la galena, también extrae plomo de sus óxidos o "cal" por calcinación. A propósito de la calcinación, Proust hace una reflexión sobre la teoría del flogisto que él no tiene en cuenta, porque : "*yo no lo encuentro necesario para la explicación de algún fenómeno de la Química (…) no es una cosa tan sólidamente demostrada como una proposición de Geometría, como él mismo (Sthal) no lo niega*".[103]

En el ensayo sobre la plata contenida en algunas menas de plomo, podemos ver una relación de yacimientos españoles o productos de

---

[102] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Proust, L. *Anales*, Tomo I, p. 4.
[103] Ibídem, p. 24.

éstos analizados. Por ejemplo, descubre que la galena ferruginosa de los alrrededores de San Sebastián de la Muga (Gerona) cerca de la fábrica de balería, contiene 12 dracmas de plata por 100 libras de plomo. En Puig-Castellá (también cercano a la fábrica), 8 dracmas de plata por 80 libras de plomo, etc. También descubre algo de plata en galenas procedentes de Ibiza, de Extremadura, de Linares, y de Menorca.

El papel del carbono como agente reductor de los óxidos es estudiado con detalle en otra memoria. Se analiza una amplia casuística sobre la obtención del plomo, a partir de sus óxidos, variando la proporción del carbón y constatando sus efectos sobre la dureza, fragilidad o resistencia del metal obtenido, asunto del máximo interés en las fundiciones de cañones de hierro colado en La Cavada. Asimismo, el químico plantea aspectos teóricos sobre la naturaleza del carbón como elemento y su tipo de unión con los metales. Para Proust el carbón sin las tierras y las sales con que está mezclado "*es una sustancia que nos es todavía desconocida, y que por lo mismo estamos precisados a colocarla en la clase de los cuerpos simples o elementales*"[104]. Es decir, rompía con la concepción que Sthal y los químicos anteriores que concebían la naturaleza del carbón como el resultado de la unión del elemento fuego a una tierra "sutilísima" y que obviamente nadie había podido demostrar.

En su objetivo de aportar novedades a las fábricas de fundición, tenemos en los *Anales* otro ensayo sobre las características de las balas de hierro fundidas en la fábrica de San Sebastián de la Muga de Gerona. Citando a los químicos franceses y suecos (Fourcroy, Bergman, etc.) reconoce que el carbón se une " materialmente" al hierro en una mezcla que según la cantidad dará diferentes coloraciones (grises, negras, etc.) y propiedades. En La Muga la fundición se hacía con gran abundancia de carbón lo que producía un hierro

[104] Ibídem, p. 49.

muy oscuro: la llamada " fundición negra" menos fluída y, por tanto, que solidificaba antes. Mientras se cuela el fundido, los vapores desprendidos se condensan en escamas de hierro formando "limaduras" y se queda pegado a las cucharas y utensilios para recoger el metal, quedando el carbón y las escorias recubiertos de hierro. Proust concluye que este método resulta muy costoso, además de producir un metal más poroso y con la aparición de "escarabajos o senos" que disminuyen la eficacia de la bala o provocan su rotura: "*yo he visto en la fundición de La Muga un gran número de piezas rotas; en todas se encuentran cavidades llenas de esta plombagina*" (especie de grafito formado con carbón y algo de hierro adherido). El químico aconseja a los maestros fundidores que aumenten la cantidad de mineral o que disminuyan la de carbón para evitar esos defectos.

En la memoria sobre las minas de mercurio[105], Proust pasa revista los yacimientos de Almadén y a los de América. Con respecto a las fundiciones en el yacimiento castellano, aporta sugerencias para mejorar el diseño de los hornos para fundir el cinabrio y para las cañerías de la salida de gases. Para el análisis del cinabrio, al igual que para otras menas, utiliza vías húmedas; es decir, disolviendo el mineral con ácido nitroso o con ácido sulfúrico (ácido vitriólico en la vieja nomenclatura). Detalla los métodos para eliminar las impurezas que acompañan al metal. Concluye que el contenido de mercurio en esos minerales sería de 86 libras por 100 de cinabrio. Por otra parte, reafirma de modo correcto las reacciones químicas en que el hierro se combina con el azufre del cinabrio (sulfuro de mercurio), dejando libre el mercurio. También comprende la reacción en la que el óxido de hierro libera el mercurio, pero ahora cediendo el oxígeno al azufre. Como veremos en un capítulo posterior, la Corona intentaba descubrir y explotar nuevos yacimientos en las ultimas décadas del siglo XVIII. Antes de iniciar su explotación se

---

[105] Ibídem, p. 61-90.

remitieron diferentes muestras de esos minerales a Proust. Por ejemplo, según los análisis del químico francés, el cinabrio de las nuevas minas indianas estaba mezclado con piritas y tierras (sílice), tenía características semejantes al de Almadén en su forma de yacer aunque con menos porcentaje de mercurio. Así, del Perú analiza muestras de la mina de San Cristobal y de la mina de Tarma; de Chile, la mina de Coquimbo; de Colombia, la mina de Antioquía.

Con respecto a los hornos existentes en las minas de Almadén y de sus conductos para la salida de vapores, Proust reconoce que el sistema es de los mejores de Europa; sin embargo, teoriza sobre el diseño de los hornos y sus salidas de gases. A partir de algunos problemas ocurridos unos años antes en el proceso de fundición y la disminución de la producción debido a un aumento en la carga del horno, propone un nuevo diseño y modificar la situación de las bocas del mismo, así como un aumento en la longitud de las tuberías para la salida de dichos gases. La argumentación para estos cambios se basaba en la introducción de un parámetro nuevo que influía en el proceso: la presión atmosférica. En efecto, según su valor la salida de gases tendría más dificultades o tendería a salir por la boca del horno con lo que la circulación de los vapores mercuriales quedaría afectada y no se produciría una adecuada condensación de los mismos. También cuantificaba la carga del horno de mineral a la que el rendimiento sería óptimo y cómo el exceso en dicha carga no aumentaría el mismo, por el contrario, el rendimiento sería menor. Así pues, vemos como las reflexiones y trabajos de nuestro científico en Segovia se diversifican pero siempre orientados a la aplicación y mejoras de las industrias estratégicas de la Monarquía.

La meticulosidad de Proust le lleva a analizar el ollín acumulado en las tuberías de los hornos con el objetivo de recuperar el mineral residual acumulado en dichos conductos, así como para impedir la obstrucción de los mismos. Por otra parte, pretendía con este análisis cuantitativo conocer mejor la composición de ese mineral. Los resultados le indican que 100 libras de ollín contenían 66 libras de

mercurio crudo, 18 de mercurio muriático (cloruro de mercurio), pequeñas cantidades de selenita (sulfato de calcio hidratado en la nueva nomenclatura), cinabrio, vitriolo amoniacal (sulfato amoniacal) y negro de humo. Concluye que la descomposición del cinabrio es bastante completa (solo 1 libra en el ollín) y, por tanto, muy eficaz la purificación del mercurio sólo con la llama. Asimismo, justifica correctamente el origen de las impurezas.

En el campo de aplicaciones de la química al mejor rendimiento de la práctica artillera, Proust se ocupa en otro ensayo de mejorar las mechas utilizadas en los disparos de los cañones. Las mechas tradicionales se hacían con cuerda de cáñamo, reconociendo la superior calidad de estas mechas sobre las de varitas de madera, el químico propone la utilización de estas últimas por su menor coste y facilidad de transporte y almacenamiento en campañas de larga duración, sobre todo para la artillería naval, así como su menor volumen. Para su buen uso habría que someterlas a un tratamiento químico de la madera que facilite la ignición de las mismas. Basándose en trabajos sobre el tema realizados en Viena, Proust lleva a cabo un detallado análisis de las cualidades combustibles de distintos tipos de madera (tilo, encina, roble, álamo blanco, nogal, etc.), así como de los productos químicos con los que habrían de impregnarse para su mejor funcionamiento: con una solución de nitrato de plomo o con una de nitrato de cobre. Calcula asimismo, el coste de las maderas y de la impregnación, duración de la mecha después de encendida y peso de la solución más adecuada para la mecha. Detalla el procedimiento para preparar los dispositivos y aclara algunas reacciones químicas que se producían durante el proceso.

En el "Ensayo de una mina de plata de la provincia de Caracas en América"[106], Proust define la mineralización como la unión de los metales con oxígeno o azufre y con cuerpos salinos, de forma

[106] Ibídem, p.227.

que estas uniones son más íntimas y difíciles de destruir. Distingue así una combinación química verdadera de un aleación o de una mezcla como la de los metales con agregados de partículas terrosas. Al analizar a la llama diferentes muestras de mineral, aparentemente de plata por su color y brillo, procedente de los yacimientos americanos descubre que algunas de ellas son de óxido de hierro sin contener nada de plata. En cuanto a la que contiene plata se trataba de sulfuro de plata, es decir, de argentita. Tratando el mineral con ácido nítrico, calentando y disolviendo en sal marina (cloruro sódico), obtiene un precipitado de cloruro de plata. En la experiencia deduce que 1 quintal de mineral contiene 11 marcos, 6 onzas y 6 dragmas de plata pura. El análisis posterior del residuo terroso mostró que contenía 7 marcos, 7 onzas y 4 dragmas, lo que sumado a lo anterior producía aproximadamente 20 marcos de plata, cantidad similar a la obtenida por la amalgamación con mercurio (azogue). Asimismo, especula desde el punto de vista teórico con el papel del ácido nítrico y su cesión de óxigeno al azufre o a los metales de los sulfuros y la formación de volátiles que supondrían una pérdida de plata en el resultado final, por lo que aconseja pautas en la duración del proceso y su exposición al fuego. En definitiva, lo que plantea Proust es importancia de las variables físicas que influyen en las reacciones químicas para obtener los resultados deseados.

Con respecto al estaño, el análisis de muestras de ese mineral procedente de México[107], casiterita u óxido de estaño, indica que contiene hierro y arsénico unidos al estaño formando una "combinación o aleación" que el ataque con ácido nítrico no puede separar. Los ensayos con ácido clorhídrico (ácido marino) muestran que la aleación de estaño y ársenico se disuelve en dicho ácido y produce un precipitado negro que podría ser el ársenico o el hierro. Proust emplea también mineral de estaño refinado en la fundición

[107] Ibídem, p. 319.

de Barcelona (dónde seguían el mismo método que en la de Sevilla) y observa que su contenido de ársenico es similar al procedente de México tratado a pie de mina. Así, aconseja no volver a refinar el estaño indiano en las fábricas españolas porque los resultados no mejoran significativamente la pureza del metal y, por tanto, supone un gasto inútil para la Hacienda. Además, siempre intentando aportar alguna mejora es estos asuntos, sugiere remitir el estaño mexicano en torales y no en cintas para ocupar menos espacio en las embarcaciones que lo transporta. En este ensayo, Proust manifiesta su ignorancia de los métodos de purificación del estaño que se sigue en Nueva España, de modo que se muestra incapaz de aconsejar en qué operaciones de afinamiento mejorar para conseguir un estaño más puro. Sin embargo, la mayor parte del estaño consumido en las fundiciones de cañones españolas procedía de Inglaterra, de las minas de Cornualles, ya que la producción del estaño americano era escasa. Proust también realizó análisis del estaño de Inglaterra del que observa que también contiene un "polvo negro" que podría ser arsénico y hierro. La pequeña cantidad de la muestra de este estaño parece que le impidió obtener resultados más exactos.

Proust analiza la metodología que se emplea en las fundiciones de artillería de Sevilla y Barcelona en la memoria "indagaciones para perfeccionar el bronce para la artillería" [108], proponiendo algunas mejoras en el proceso, como el uso del carbón de tierra (piedra) en vez de leña para ahorrar costes. En este ensayo, el químico realiza un comentario que parece indicar su pobre opinión sobre los conocimientos de los jóvenes oficiales de artillería que aprenden los métodos de fundición de cañones. En consecuencia les recomienda que aprendan idiomas para estudiar a los grandes metalúrgicos extranjeros.

Proust parece no tener claro la diferencia entre aleación y verdadera combinación química de elementos, al menos en lo referente

[108] Biblioteca de la Academia de Artilleria. *Anales*…, Tomo I, p. 313.

al estaño y el hierro presentes en estos metales. Así, citando a Cramer, un docimástico de mediados del siglo XVIII, asume que el estaño forma con el hierro "un régulo" (compuesto puro) incapaz de purificación con beneficio, de cualquier modo que se ejecute[109]. A partir de estos supuestos, deduce que el bronce está compuesto por cobre y estaño, acompañado por hierro y arsénico e incluso algo de plata, lo que influiría poderosamente en la variedad y calidad de los mismos para la fabricación de cañones. Sin embargo, confiesa su ignorancia en la influencia de cada metal en el bronce y en las proporciones que debe tener dicho metal para ser perfecto en su uso artillero.

Su concepción del bronce desde el punto de vista químico queda más clara en este ensayo sobre dicho metal. Así, considera que en las aleaciones hay dos clases: la primera sería la que contiene aleaciones cuyos componentes entran en proporciones fijas, es decir, verdaderas combinaciones químicas. En la segunda, los componentes entrarían en proporciones variables, éstas corresponderían a lo que hoy entendemos por aleaciones propiamente dichas. Según Proust, en el bronce de las fundiciones, es decir, el obtenido en las fábricas de artillería, sería una mezcla o aleación de dos sustancias puras: el "bronce puro" y el "metal blanco"[110]. En los dos casos, el cobre y el estaño formarían una combinación química verdadera con proporciones fijas de cada elemento aunque distintas en cada caso. Proust confiesa que desconoce las proporciones fijas en que intervienen dichos elementos pero no duda en afirmar la existencia en la naturaleza de ese "*bronce puro y no en las recetas de Maritz o Barnola (*fundidores de las fábricas de Sevilla y Barcelona*) "independiente de toda receta humana*". El "metal blanco", como el químico denomina a un exudado "que se exprime de los poros de las piezas fun-

[109] Ibídem, pp. 319-326.
[110] Ibídem, p. 335.

didas durante su enfriamiento" sería también una combinación química saturada de estaño y, por tanto, de tono más claro. Ambos tipos de bronce serían consecuencia de las combinaciones al "minimun y al maximun" de los elementos básicos que lo compones, algo similar a los dos tipos de óxidos (cuproso y cúprico) que existen en la naturaleza.

Esta concepción errónea del bronce como una sustancia pura, no le impide a Proust ocuparse de la práctica de la obtención del mismo en las fundiciones españolas, especialmente en la Real Fundición de Barcelona que conocía mejor que la de Sevilla. Si dejamos de lado su teoría sobre la naturaleza del bronce, en el ensayo podemos apreciar un importante aportación a los métodos para alear el cobre y el estaño en diferentes proporciones y las propiedades y calidades del bronce obtenido para la fundición de los cañones. Asimismo, se ocupa de analizar las diferencias entre las piezas obtenidas por el método de fundición en "hueco" o en "solido", teniendo en cuenta variables físicas como las diferentes densidades del bronce, la temperatura de las diferentes partes de la pieza, velocidad del enriamiento y solidificación de la masa fundida, etc.[111]

En su interés por mejorar la calidad de las piezas de artillería, cañones y morteros, para conseguir un óptimo equilibrio en su resistencia y en su dureza, efectúa una serie de consideraciones. Asi, una baja proporción de estaño le da al cañón mucha resistencia pero al mismo tiempo facilita la deformación y el rayado de la misma durante el disparo. Por el contrario, el exceso de estaño proporciona mayor dureza pero más fragilidad a la pieza. Aunque esta casuística ya había sido enunciada años antes por los maestros fundidores y recogida por Morla en su *Tratado*, Proust analizará cómo influyen en esas propiedades las diferentes proporciones de cobre y estaño,

[111] Nos ocuparemos de estos métodos de fundición en la segunda parte de esta obra.

así como la duración del proceso de enfriamiento en los moldes y la masa total de la pieza. Para ello partirá de la observación detallada de la fractura de diferentes partes de una pieza de artillería (el centro, la periferia, los muñones, etc.) para ver la homogeneidad de la muestra en cuanto a la presencia de "metal blanco" en nódulos o vetas, presencia que indicaría la menor o mejor "aligación" del cobre y el estaño. Medirá también el peso específico de esas partes y la densidad de las mismas.

De acuerdo con esas concepciones, en los bronces al 11% de estaño, que era la proporción más corriente de cobre y estaño que se empleaba en la producción de cañones, se obtendría una aleación o emulsión metálica de dos compuestos puros, el bronce puro y el metal blanco a que nos referimos anteriormente en la que sus componentes tienden a separarse uno de otro durante la solidificación. En este fenómeno es muy importante la influencia del molde, pues al estar a menor temperatura hace que el enfriamiento de la parte más externa de la masa fundida que está en contacto con el molde solidifique antes que el centro; por tanto, como el "metal blanco" es más rico en estaño y su punto de fusión es más bajo que el del cobre, mantiene la fluidez más tiempo y tiende a colarse en los huecos que deja la arcilla en el molde. Por este razonamiento se deduce también que la pieza más pequeña, por ejemplo, de a 8 libras de peso de bala será más homogénea que una de a 24 libras de bala, ya que la masa de esta última es muy superior. Así, al comparar la pieza obtenida "en sólido" con la fabricada en "hueco", es decir, con ánima, se observa que el centro de la pieza de aquélla acumulará más nudos y vetas de metal blanco que en la periferia, ya que tarda más en enfriarse y solidificar. Este efecto se acusa más en los morteros de a 12 pulgadas (con mayor masa) que en los cañones de medio calibre por lo que algunos maestros fundidores aconsejaban fundir los morteros "en hueco" en vez de la fundición "sin ánima en una sola pieza, método introducido en España por Jean Maritz y de empleo generalizado en esta época en las fundiciones españolas.

De estas observaciones y análisis cuantitativos, nuestro químico descubre que el mejor bronce de fundición que se aproxima al "bronce puro" y, por tanto, el más perfecto para la fábricación de piezas de artillería es el situado en la periferia de las piezas y no en el centro como creían muchos maestros fundidores, ya que tendría menos proporción de "metal blanco". Sin embargo, Proust no llegó a establecer la proporción perfecta del supuesto "bronce puro" que, naturalmente, no existía. Por otra parte, una práctica común en las fábricas de fundición era la utilización, por razones económicas, de restos de anteriores fundiciones que quedaban en los canales para verter el bronce fundido en los moldes, así como las virutas y restos que salían del acabado y pulimento de las piezas. Generalmente, a esos residuos se añadía algo de estaño para mejorar la dureza del bronce y la fluidez del mismo durante la fundición para evitar los "escarabajos" que se producían en los bronces más blandos que se enfriaban más rápidos. Proust desaconseja esa práctica debido a que según las teorías que hemos expuestos, la adición del estaño restauraría en los bronces viejos el "metal blanco" que habían expulsado ocasionando una peor calidad del mismo. Según la determinación del peso específico del bronce muy rico en estaño (a pesar de la menor densidad del estaño con respecto al cobre), esta propiedad hace que las piezas sean más pesadas que las del bronce viejo. El consejo de nuestro químico fue desechar esa práctica y atender más a la mejora de los hornos para dar más temperatura y conseguir la fluidez adecuada de la mezcla.

En definitiva, en el debate sobre la aleación ideal para el bronce de los cañones, Proust aporta un buen análisis químico y físico de los mismos pero no lo materializa en una receta práctica para aplicar en las fábricas de armas. En ellas se seguiría aplicando el porcentaje canónico del 11 % de estaño basado en el empirismo de los maestros fundidores de las últimas décadas del siglo XVIII. Sin embargo, sugirió una serie de experimentos, que no llevó a cabo,

para obtener su supuesto "bronce puro" que sería más duro y menos pesado que el obtenido en las reales fundiciones.

Sobre el cobre, metal estratégico para la producción de cañones, Proust realiza un análisis químico de distintos óxidos de cobre mineralizados en la naturaleza en su ensayo sobre "*la mina de cobre vidriosa roja*" [112]. El químico averigua la proporción de oxígeno que contienen dichos minerales para poder afirmar si el cobre y el óxigeno podían entrar en proporciones diferentes en los mismos. Por otra parte, obtiene en el laboratorio óxido de cobre disolviendo cobre puro en ácido nítrico y determina las proporciones de los elementos que intervienen. Previamente ha determinado la proporción de óxigeno al "maximun", es decir con el mayor grado de oxidación posible. Al comparar los resultados concluye que las proporciones de los elementos cobre y oxígeno son las mismas en los óxidos de cobre formados naturalmente en los yacimientos que en los obtenidos artificialmente en el laboratorio. Esta experiencia es quizás una de las más contundentes para demostrar la ley de las proporciones definidas: *"la oxidación de los metales en las manos del hombre, es una operación sujeta a las leyes de proporción, determinadas por la misma naturaleza, e inalterables por la voluntad humana"*. Es decir, los compuestos químicos se forman por la combinación de elementos en proporciones definidas, independientemente de su método de obtención. Fue pues en el laboratorio de química del Real Cuerpo de Artillería donde se demostraría de manera irrefutable una ley fundamental para abrir las puertas a la comprensión de la naturaleza de la materia. A partir de los análisis químicos expuestos, Proust obtuvo conclusiones que se aplicarían en las Reales fundiciones de artillería en los métodos de afinamiento del metal.[113]

---

[112] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Proust, L. *Anales*…, Tomo II, p. 6.
[113] La Real Fundición de Sevilla también envió muestras de cobre impuro y afinado a Segovia para su análisis. En el capítulo siguiente sobre los yacimientos minerales de la Monarquía detalles sobre estas aplicaciones de su investigación en Segovia.

Las enseñanzas y las experiencias llevadas a cabo por Proust en Segovia dieron su fruto en el desarrollo de la ciencia española a través de la difusión de la nueva química que él mismo realizó a partir de sus publicaciones, no solo en los *Anales* sino en sus artículos en revistas científicas nacionales y publicaciones de las Reales Sociedades de Amigos del País, así como revistas europeas como *Journal de Physique* o los *Annales de Chimie.* Asimismo, sus discípulos, muchos de los cuales ocuparían cátedras científicas de química, farmacia o mineralogía en la España del siglo XIX, divulgarían las ciencias experimentales en nuestra nación. De entre ellos, destaca Juan Manuel Munárriz, artillero y profesor de Matemáticas en el Real Colegio, quien trabajó estrechamente con Proust en Segovia y, posteriormente, en Madrid, convirtiéndose en el gran divulgador y continuador de su obra. Munárriz traduciría El *Tratado Elemental de Química* de Lavoisier, así como su *Arte de fabricar el salino y la potasa.* Otro artillero ilustres, Tomás de Morla, incluiría en su obra varias memorias de Proust sobre la pólvora[114].

[114] Valles Garrido, J.M. "El árbol frondoso de la ciencia en la Segovia de la Ilustración", *Ciencias y Técnicas en la Historia de Segovia*; Segovia, 2004, pp. 111-130. Según el autor, algunos de estos discípulos fueron: Francisco Carbonell, Andrés Alcón, Gabriel Fernández Taboada, Antonio de la Cruz y José Duro.

CAPÍTULO 4º

LOS YACIMIENTOS MINERALES DE LA MONARQUÍA

4. Las necesidades de bronce y de hierro para la defensa de las posesiones de la Monarquía en la Edad Moderna

4.1. EL ORIGEN DE LA MATERIA PRIMA: LOS ENCLAVES MINEROS DE LA MONARQUÍA EN LAS INDIAS

La Monarquía Hispánica disponía de abundantes recursos mineros en las Indias y en la Península. Los metales preciosos, el oro y la plata, fueron un soporte económico fundamental en el sostenimiento del Imperio, pero también tuvieron un interés estratégico el mercurio, el cobre y el estaño. Estos últimos por su valor como materias primas en la producción del bronce, metal que constituía la base de la construcción de los cañones que artillaron las armadas de los Austrias y los ejércitos de los Borbones durante más de tres siglos. Desde el Quinientos, los recursos mineros de las posesiones americanas de la Monarquía fueron el tesoro más preciado de aquellas tierras. La mayor parte del cobre utilizado en las Reales Fundiciones desde el comienzo de su actividad procedía de Indias, y con esta denominación figuran en la documentación generada en las

propias fundiciones[115]. Sin embargo, muy pocas veces se menciona la localidad concreta de procedencia, aunque a veces se habla de cobre de México o de Perú por referencia a los virreinatos respectivos. Por el contrario, para el estaño las mayores partidas procedían de Inglaterra, siendo suministrado a través de compras a asentistas o mercaderes. En este apartado, pretendemos exponer la información disponible sobre la situación y características de algunas minas, sobre todo de cobre, situadas en América, así como de las existentes en la Península.

Felipe II y sus juristas intentaron poner orden en el confuso marco legislativo que existía hasta entonces en la explotación de los yacimientos americanos. Así pues, en 1584 se promulgó una ordenanza de minas que venía a sustituir otras disposiciones anteriores. Esta ordenanza, que permanecería en vigor más de doscientos años, establecía que los yacimientos eran una regalía de la Corona y, por tanto de propiedad real, con la posibilidad de ceder su explotación a particulares por medio de asientos con el correspondiente porcentaje de beneficios para el rey. En el virreinato del Perú existían explotaciones mineras de plata y cobre en las sierras de Atacama (Chiuchiu) y en el valle del Aconcagua, así como en las zonas colombianas de Popayán y Antioquia; también en Bolivia: Porco y Potosí. En Nueva España, a finales del siglo XVI, se extraía cobre en Las Aguas (Puebla), Jalisco, Chihuahua, Taxco y Real del Monte, así como en las minas de plata de Zacatecas o Guanajato[116]. Sin embargo, hasta el comienzo del siglo XVIII, el cobre extraído de esos establecimientos fue escaso, de modo que la mayor parte del cobre americano utilizado en las fundiciones españolas desde finales del

---

[115] La Real Fundición de Artillería de Sevilla generó una abundante documentación, conservada hoy en el Archivo de la Fábrica de Artillería (AFAS) depositado en el Archivo General de Andalucía (AGA).

[116] Bargalló, M. *La minería y la metalurgia española en la época colonial*, México, 1955. pp 60-63.

siglo XVI y todo el XVII procedía de las minas de Villa del Cobre cerca de Santiago de Cuba, el llamado cobre de La Habana. En efecto, esta explotación minera había comenzado sus labores en 1558 y hacia 1607 se hizo cargo de la misma el capitán Sánchez de Moya al cerrarse la fundición de artillería de bronce existente en La Habana que él dirigía[117]. Este establecimiento minero pasó por serias dificultades durante el siglo XVII: revueltas de esclavos, dificultades técnicas en la extracción del cobre, problemas con los asentistas, etc., pero subsistió hasta finales del siglo, siendo sustituido a principios del siglo XVIII por las minas de México y Perú. En estos yacimientos, la mena de cobre más utilizada fue la calcopirita, sulfuro de cobre y hierro, aunque los yacimientos americanos eran muy ricos en sulfuros polimetálicos, extendiéndose a los largo de toda la cadena andina.[118]

En la segunda mitad del siglo XVIII se inicia una época de esplendor en la minería de Nueva España y de Perú. A partir de los años cincuenta, la Corona manifiesta un gran interés por la cuestión de las ciencias mineras y metalúrgicas; se piden informes sobre los yacimientos americanos y se envían estudiosos del tema a Alemania, Hungría y Francia para espiar o aprender nuevas técnicas. Así, personajes como Ventura de Santelices, Antonio de Ulloa y el propio Ensenada se convierten en grandes promotores de la historia natural y la minería. En este contexto, el Gabinete de Historia Natural resultó un organismo decisivo en el control científico y técnico de la minería americana y peninsular (Riotinto), enviando instrucciones a los virreyes para que elaboraran informes y recolectaran muestras de los distintos minerales

---

[117] AGI. México, 2419. Real Cédula de 20 de septiembre de 1607 ordenando el cierre de la fundición de La Habana. La fecha de la fundación la cita Bargalló, M. en "La minería…"pp 213-214.

[118] Oyarzun, J. "Andean metallogenesis. A sinoptycal review interpretation", *TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA*, P. 725-753 / Río de Janeiro, 2000. Para un detallado análisis geológico de la zona.

con objeto de estudiar su calidad y posible aprovechamiento. La caída de Ensenada en 1754 produjo un frenazo en las actividades del Gabinete, que sólo recuperaría su ritmo de trabajo más tarde[119].

La calidad del cobre indiano fue motivo de debate en España durante toda la Edad Moderna. En efecto, los malos resultados obtenidos en la fundición de algunas piezas de artillería se achacaban a la deficiente calidad de dicho metal, siendo ésta una opinión generalizada durante la primera mitad del siglo XVIII entre los maestros fundidores. Sin embargo, la considerable producción de armas de bronce de las fábricas de Sevilla y Barcelona y su larga duración en las fortificaciones de las plazas americanas, parecían desmentir estas críticas. Esta valoración negativa se empezó poner en cuestión a partir de 1750, la revisión fue consecuencia del descubrimiento de nuevas minas y, por tanto, de la mayor abundancia del cobre de esta procedencia, así como del hecho de que, en definitiva, el cobre americano había sido (y sería durante todo el siglo) la principal fuente de metal junto con el procedente de la refundición de la artillería inútil. El 24 de abril de 1751, en un interesante alegato a favor de los minerales americanos, se reivindica la adecuada utilidad del cobre de Indias para la artillería, al mismo tiempo que nos enteramos del origen de su mala fama:

> "*Las acertadas órdenes dirigidas a los reiterados experimentos que se han hecho en esta Fundición (de Barcelona), y en la de Sevilla, en afinos de cobres impuros de la América, han desvanecido el pavoroso concepto que puso a estos cobres la opinión de Julio Cesar Firrufino, célebre autor de artillería y a quien todos los que escribieron sobre este arte siguieron sin examen, afirmando que los cobres de la América no eran convenientes para fundir artillería, por ser agrios y ferriscos, a causa del vicio natural en la materia mineral, y que esto los hacía indóciles al afino, afirmando*

---

[119] Galaor, I. *Las minas hispanoamericanas a mediados del siglo XVIII,* Madrid, 1998, pp 20 y 39-40.

que el fuego no tenía suficiente actividad para purgar las materias extrañas de que abundaba (…) y que no debía admitirse la menor porción de éstos para mezclarlos con los del Norte, porque les comunicaría a éstos el morbo de los ácidos antimoniales (….) " después de afirmar que esta última opinión ha sido sustentada por Suecia y Hungría e Inglaterra para "hacer oro de su cobre", concluye: "ha llegado el tiempo del más importante desengaño y feliz descubrimiento, en que tiene la mayor parte de gloria el Excm. Marqués de la Ensenada (…). Estos desvelos han conseguido fundirse piezas únicamente de estos cobre y ser de la mayor bondad, no necesitándose los recursos del Norte, teniendo S.M. en su Imperio de occidente cobres abundantes y de la mayor bondad"[120].

El autor reconoce al final del discurso que, a pesar de la bondad del metal, son necesarios dos afinos para su utilización, a diferencia de los del Norte a los que les basta con una sola sesión. Es decir, se achacan los posibles defectos de las piezas a la técnica de afinamiento de los cobres.

En Nueva España, a partir de 1750, se descubren nuevos yacimientos en Guanajato y nuevas vetas de cobre en Jalisco, Durango y Michoacán. También aparece cobre en Rayas y Real del Monte, donde se ensayan mejoras en la administración y más libertad de explotación de las minas. Entre 1771 y 1794, los establecimientos de Sinaloa, Culiacán y los situados en la Sierra Madre de la Baja California fueron importantes productores de plata y oro pero también de cobre[121]. En los documentos de la Fundición de Sevilla, a

---

[120] AGS. GM, leg 733. "Discurso sobre los dos afinos de cobres impuros de la América, ejecutados en la Real Casa de Fundición de esta Plaza (Barcelona) en el actual año de 1751". 24 de abril de 1751. Firma el director de la Fundición de Barcelona.

[121] Arroyo, M. "La descripción de las provincias de Culiacán, Sinaloa y Sonora del ingeniero Francisco de Fersen (1770)", *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*, vol VII, nº 430, Barcelona, 2003.

partir de 1775, se especifica que el cobre indiano procede de México y Perú, siendo las mayores partidas de cobre mexicano. Probablemente, las minas de Nueva España eran más productivas y la obtención del metal resultaba más barata. Esta hipótesis la corrobora Isabel Galaor,[122] quien afirma que las empresas mejicanas eran más grandes (hasta 500 empleados) y más rentables que las de Perú, debido al el entorno natural, el clima y las condiciones para el transporte del mineral. En el virreinato del Perú y de Nueva Granada, los principales yacimientos estaban en Chile y en Bolivia. En Chile se explotaba el cobre en Copiapó, y el estaño en Coquimbo; en Bolivia, se extraía cobre en La Paz y Potosí[123].

Los Reales de Minas indianos fueron los yacimientos minerales que por su valor estratégico fueron pronto objeto preferente de la atención de las autoridades españolas que formarían a su alrededor una completa estructura económica, en la cual se articularían el propio real de minas y algunos centros agrícolas que aseguraban el aprovisionamiento de alimentos, así como ranchos ganaderos dedicados a la cría de ganado vacuno y caballar. Al mismo complejo se vinculaban otras estructuras de carácter productivo que debían ser utilizadas como auxiliares de la actividad minera, como salinas y carboneras mediante la explotación de las cuales se aseguraba la extracción de minerales. Dado que los reales de minas estaban vinculados a la Corona como posesión real, las autoridades españolas ejercían las funciones de gobierno, judiciales, fiscales y militares, además de aplicar las medidas oportunas para incrementar la producción de metales. A ese objeto se habían elaborado unas orde-

---

[122] Galaor, I. "Las minas..", pp 39-43.

[123] Bargalló, M. "La minería…",pp 283 y 295. También Galaor, I en "Las minas.." relaciona las localidades de Indias citadas en el texto. En la documentación de AFAS, las referencias al estaño americano figuran como "estaño de Lima", aunque siempre en cantidades insignificantes comparado con el importado de Inglaterra.

nanzas que los administradores del real de minas debían aplicar con firmeza. Además, con el objetivo de asegurar una explotación eficiente, las autoridades de la colonia debían facilitar la importación de los alimentos necesarios para los peones y los animales de trabajo, así como asegurar el abastecimiento de agua y de los instrumentos y materiales usados para extraer los minerales, fuesen éstos plata u oro.

En 1783 se promulgaron ordenanzas para todas las minas que sustituían a las de Felipe II de 1584, con el objetivo de mejorar las explotaciones y controlar su administración. Así, en el título V de dichas ordenanzas se proclama que

> *"las minas son propias de mi Real Corona, así, por su naturaleza y origen (…). sin separarlas de mi Real Patrimonio, las concedo a mis vasallos en propiedad y posesión, de tal manera que puedan venderlas, arrendarlas, donarlas (…), esta concesión se entiende con dos condiciones: la primera que hayan de contribuir a mi Real Hacienda la parte de metales señalada; y la segunda, que han de labrar y disfrutar las minas cumpliendo con lo previsto en estas ordenanzas*[124]."

4.2. LOS YACIMIENTOS PENINSULARES. RIOTINTO

En la Península, la Corona también tenía posesiones mineras: los principales yacimientos estaban en Andalucía, en la llamada hoy "faja pirítica" que incluye las minas que se extienden en las sierras de Huelva y Sevilla (Riotinto, Nerva, Aracena, Guadalcanal, etc.). Sin embargo, el cobre de esta procedencia apenas se utilizó durante el siglo XVII y primera mitad del siglo XVIII a pesar de su proximidad a Sevilla. En realidad, desde el siglo XVI se habían hecho sondeos y estudios para ver el estado de las minas y la calidad del

[124] Ibídem, pp 310-314.

cobre que se podía extraer[125]. Estuvieron en actividad durante cortos periodos, desde el siglo XVI hasta mediados del siglo XVIII, intercalados con largas etapas de cierre debidos a diversas causas. En 1554 se ofreció una licencia de explotación de las minas de Guadalcanal a Juan Xedler, y en 1556 se envió a a Francisco de Mendoza a explorar las minas de Riotinto. Se iniciaron algunos ensayos de extracción del mineral, pero estos intentos no tuvieron repercusión alguna, debido al alto coste del proceso y las frecuentes inundaciones de las minas, lo que provocaba numerosas interrupciones en los trabajos[126]. Habrá que esperar hasta la segunda mitad del siglo XVIII para que las minas onubenses funcionaran con regularidad y poder encontrar en los almacenes de la Fundición partidas de cobre con esa procedencia.

Con respecto a los yacimientos peninsulares, la novedad más destacable en la segunda mitad del siglo XVIII, fue la utilización del cobre onubense en las fundiciones de Sevilla y Barcelona. En el siglo XVIII, en el marco de las reformas impulsadas por Felipe V, se inicia la rehabilitación de las minas de las sierras de Sevilla y Huelva. En 1725, un súbdito sueco, Lieberto Wolters, obtuvo licencia para explotar las minas de Guadalcanal junto con las de Cazalla, Riotinto, Aracena y Galaroza. Hizo un asiento con la Corona por treinta años, reservándose el Rey un 20% de la producción bruta. Con el informe favorable sobre los criaderos debido al alemán Roberto Shee, se constituyó una Compañía de Minas, que pronto se dividió en dos:

---

[125] AGI. Patronato 251, R. 71. Se trata de un documento de 20 de mayo de 1573, en el que los jueces de la Casa de la Contratación de Sevilla piden informes a Bartolomé Morel, artillero, y a Juan Rodríguez Tapia sobre qué minas de cobre se conocen y se explotan en Aracena, Cazalla, Aroche y otros lugares de Sierra Morena, y sobre si dicho cobre sería útil para fundir artillería y de qué calidades.

[126] Flores Caballero, M. *La rehabilitación borbónica de las minas de Riotinto*, Huelva, 1983, pp 14-16.

una para Guadalcanal y otra para Riotinto. La Compañía de Guadalcanal inició las labores de desagüe y preparación, pero después de numerosos problemas legales y pleitos se extinguió en 1727[127].

Entre 1737 y 1742 la explotación minera de Riotinto funcionó regularmente. Se estableció una fundición en esa localidad y se trajeron técnicos alemanes para beneficiar el mineral y obtener el cobre negro (llamado así porque contenía muchas impurezas de plomo y sulfuros), aunque la producción fue muy escasa y a las fundiciones solo llegaron pequeñas partidas para ser afinadas. En 1749 se solicitaron cédulas de explotaciones mineras por un comerciante asentista, Samuel Jiguez, para beneficiar vetas de cobre en Riotinto y Aracena. Estas cédulas se concedieron en 1751[128]. Después de nuevas interrupciones, por problemas económicos y discusiones entre los accionistas, llegamos a 1750, año a partir del cual los establecimientos mineros de Huelva, especialmente Riotinto, funcionan regularmente con el sistema de asientos hasta 1783, año en que las minas pasan al control de la Real Hacienda. Sin embargo, la gestión siguió en manos de un administrador privado, Melchor Jiménez, hasta finales del siglo XVIII. Durante la segunda mitad del siglo XVIII la producción de cobre de las minas onubenses fue considerable[129]. Entre 1759 y 1777 se produjo una cifra media de 75 toneladas de cobre roseta al año: el 80 % de este cobre se vendía a la Fundición de Sevilla a un precio de 11 reales de vellón el kilo (unos 33 pesos el quintal)[130]. A partir de 1775 encontramos algunas referencias al cobre de estos yacimientos en la documentación de los

---

[127] Ibídem…, pp 22-23.
[128] AGS. GM, leg 731. Copia de Real Cédula de 25 de septiembre de 1751.
[129] Sánchez Suarez, A.; Helguera Quijada, J.: " La industria en vísperas de la industrialización (1750-1813)", *Atlas de la industrialización de España*, Nadal, J.(cood.), Madrid, 2003. pp 11-60 (p 45). Según los autores, la producción de cobre de las minas de Riotinto era de unas 20.000 arrobas hacia 1795.
[130] Flores Caballero,M: La rehabilitación… pp 36-38.

contralores de la fábrica sevillana, pero fue a partir de 1788 cuando se empezaron a consumir significativas partidas de este mineral, siempre en menor cantidad que el procedente de América.

En 1783, se hicieron varios experimentos para probar la calidad de los cobres procedentes de Riotinto en la fundición de cañones de calibre 24, utilizando un 11% de estaño. Los resultados indicaron que "*los cobres de Riotinto de que han sido fundidas son de superior calidad, por su acreditada dureza, nervio y compactación para la fundición de artillería*".[131] Los análisis de los metales onubenses se repitieron en la última década del siglo XVIII. Así, el 12 de mayo de 1796, se remitió de Barcelona a Segovia una muestra de cada clase de metal utilizado en las fundiciones de Barcelona y Sevilla, para su estudio por el químico Luis Proust.

Además de su importante investigación teórica, que hemos comentado en la primera parte de esta obra, Proust trató de aplicar sus conocimientos al servicio de la artillería. Así, en el ensayo sobre el cobre rojo, publicado en el tomo segundo de sus Anales, analiza muestras de mineral de cobre de distinta procedencia: de la real fundición de Barcelona, de las minas de Riotinto, de monedas de vellón, y de algunos yacimientos de la Corona en México y Perú cuyos minerales eran la fuente principal para el bronce de los cañones. En estas experiencias abunda en cuestiones teóricas como el diferente grado de oxidación de los compuestos ("maximun y minimun"); es decir, cúprico y cuproso. Pero, sobre todo, trata de mejorar la purificación y afinamiento del cobre para su empleo en la artillería o en planchas de revestimiento de los buques. Por ejemplo, sobre el cobre de Riotinto afinado en la fundición de Barcelona descubre que su contenido de arsénico es todavía muy alto, y aconseja que habría que afinarlo siete u ocho veces para eliminar todo el arsénico, dado que ese metal produce un cobre más "agrio", es

[131] AFAS. Caja 166. Expediente de pruebas.

decir, más frágil. También experimenta sobre los medios de reconocer el grado de afinación del cobre, proponiendo la aplicación de los métodos analíticos de la química para mejorar la práctica de los maestros fundidores y sus observaciones basadas en la ductilidad del metal o en su color: "*sin las luces que suministra esta ciencia (la química) a todas las artes (…) jamás llegará la Artillería a establecer un método permanente y razonado, que sirva de práctica en sus fundiciones*".[132] Proust está convencido que el deterioro de las planchas de cobre para forrar navíos o la mala calidad de los cañones se debe a las impurezas que acompañan al estaño y al cobre en sus minas y a la insuficiente eliminación de las mismos. Lleva a cabo experimentos por la vía húmeda (disoluciones y precipitaciones con ácido nítrico, o sulfúrico y también con álcalis, entre otros) con diferentes muestras de cobre, eliminando de los mismos impurezas de hierro, cobalto, plomo, etc.

También incide, aun sin conocer con detalle las reacciones químicas que se producen en los hornos, en la duración del proceso de fundición y la ventilación de los mismos. Por ejemplo, era sabido por los maestros fundidores que un metal en fundición durante mucho tiempo se hacía más duro, frágil y menos dúctil. Aplicando sus teorías y conocimientos intuye que en la reducción de los óxidos, como los de hierro, con carbón el exceso de aire insuflado puede revertir el proceso añadiendo metal oxidado al metal puro, haciéndolo más agrio. Proust emplea también mineral de estaño, refinado en la fundición de Barcelona (dónde seguían el mismo método que en la de Sevilla) y observa que su contenido de arsénico es similar al procedente de México tratado a pie de mina. Así, aconseja no volver a refinar el estaño indiano en las fábricas españolas porque los resultados no mejoran significativamente la pureza del metal y, por tanto, supone un gasto inútil para la Hacienda. Además, siempre intentando aportar alguna mejora es estos asuntos, sugiere

---

[132] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Proust, L. *Anales*…, Tomo II, p. 8.

remitir el estaño mexicano en torales y no en cintas para ocupar menos espacio en las embarcaciones que lo transporta.

A partir de 1790, se opta decididamente por el cobre onubense como complemento al cobre indiano, que empezaba a escasear[133]. Desde ese año, las partidas de cobre de Riotinto se incrementan progresivamente hasta el final del siglo, especialmente durante la guerra con Inglaterra en que se hizo más difícil el transporte del cobre desde América. De 8150 quintales, consumidos en la década de los ochenta, se pasó a 17.832 quintales en los noventa[134]. Estas dificultades encarecieron el mineral americano, de modo que las minas onubenses constituyeron un buen recurso en los últimos años del siglo XVIII para abastecer de cobre la Fundición, este hecho se reconocía en un documento al constatar, en 1806, que el cobre indiano resultaba más caro que el de Riotinto[135]. Sin embargo, la mayor parte del cobre utilizado hasta 1808 siguió siendo el cobre indiano procedente de México y Lima, dado que la producción de Riotinto era escasa comparada con la de Indias.

Las minas de Riotinto estuvieron en funcionamiento hasta 1805, año en que cesaron sus actividades. Las causas de dicho cese fueron el excesivo coste de la explotación y a la baja productividad de los últimos cinco años, así como la mala gestión del administrador. Estas causas aparecen esbozadas en un informe del 25 de abril de 1806 de la Junta Económica y Facultativa de la Fundición

---

[133] AFAS. Caja 191. El 27 mayo 1790 el intendente de los ejércitos de Andalucía ordena al pagador, Luis de las Doblas, "que se acepte en los almacenes de la Fundición todo el cobre que se remita de Riotinto y que se pague a los arrieros que lo traen".

[134] Aguilar Escobar, A. *Cañones de bronce para el ejército. Historia de la Real Fundición de Sevilla en el siglo XVIII*, Madrid, 2010.

[135] AFAS. Libro 75. 15 de noviembre de 1806. Disposiciones de la Junta Económica de la Fundición.

al Jefe de estado Mayor[136], en el cual se hace una valoración del estado en que se encuentran los yacimientos onubenses y de los problemas sufridos: "*después de medio siglo de explotación, queda todavía mineral equivalente al quíntuplo de lo explotado, es decir, para dos siglos y medio de labores (…) que se ha explotado mal y que no se han aprovechado bien los filones utilizados hasta ahora.*" En el informe se afirma que el precio del mineral ha subido extraordinariamente, que seguirá haciéndolo y que nunca tendrá el precio de veinte años atrás. Sobre el rendimiento y costos dice "todos los cálculos están fundados sobre esta producción de 25.400 arrobas (o 6350 quintales) anuales, y no sobre el de 10.000 quintales que sería la cantidad anual que se podría extraer si se quisiese". El informe concluye pidiendo la reapertura de las minas. El cierre de las minas supuso un serio problema para la Real Fundición porque "*al cesar últimamente las labores en Riotinto, la fábrica está desabastecida, (…)", pues "la fábrica consume al año unos 4020 quintales de cobre impuro y sustituir con cobre de América es imposible con la guerra*".[137] Como complemento al uso del cobre americano y para enriquecer el metal reciclado o "ligado" procedente de la refundición de piezas inútiles y restos de fundiciones anteriores, se recurrió en ocasiones a la compra del cobre de Hungría o de Suecia.

---

[136] AFAS. Libro 75. Nombramientos de personal y documentos de la Junta.
[137] Ibídem. 15 de noviembre de 1806.

CAPÍTULO 5º

LAS REALES FÁBRICAS DE ARTILLERÍA DE SEVILLA Y BARCELONA COMO CENTROS DE APLICACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES DESARROLLADAS EN EL REAL COLEGIO DE SEGOVIA

5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS REALES FÁBRICAS DE FUNDICIÓN DE BRONCE EN EL SIGLO XVIII

Al comienzo del siglo XVIII, el suministro de cañones a la monarquía se hacía a través de la Real Fábrica de cañones de Sevilla, que proporcionaba piezas de bronce, y los altos hornos de Liérganes y La Cavada que fabricaban cañones de hierro colado. A partir de 1708 entrarían en funcionamiento un establecimiento en Valencia y, en 1717, otro en Barcelona. Estos dos últimos también producían artillería de bronce. En este apartado nos ocuparemos de relatar algunas características de estos establecimientos y, sobre todo, los aspectos técnicos en el afinamiento de metales, su aleación para obtener el bronce y la evolución de estas prácticas a lo largo de la centuria. Asimismo, comentaremos algunas de las aplicaciones de las investigaciones y trabajos desarrollados en el Real Colegio de Artillería de Segovia a dichos métodos.

Durante la primera década del siglo XVIII, la Fundición de Sevilla siguió funcionando en régimen de asiento tal como lo había

hecho en el siglo anterior. Sin embargo, desde 1707 se va a iniciar una progresiva intervención estatal en la gestión del establecimiento sevillano en el contexto de las reformas militares emprendidas por Felipe V, especialmente con la creación del Real Cuerpo de Artillería. En efecto, en este capítulo veremos cómo a medida que la artillería perdía parte de la autonomía económica y administrativa que había tenido desde finales del siglo XVI, con respecto a los demás cuerpos del ejército y de la Hacienda Real, la fábrica sevillana, que dependía orgánicamente del Servicio de Artillería, tuvo una gestión cada vez más controlada por el Estado. Sin embargo, hasta llegar a la gestión directa y total por el mismo en 1767, se recorrería un largo camino en el que durante más de cincuenta años coexistiría la gestión estatal con un funcionamiento privado a través de los asientos con los maestros fundidores que fabricaban los cañones. Esta intervención estatal se formalizará en 1717 con el nombramiento de un coronel como director de la fundición sevillana, aunque desde 1707 ya se había iniciado el proceso con el nombramiento de un contralor para el establecimiento. A partir de 1718, la gestión de la fábrica será mixta: de una parte, intervendrá el Estado representado doblemente por la Secretaría de Guerra, a través de los oficiales de carrera, y por la secretaría de Hacienda, a través del Intendente del ejército o de provincia. De otra parte, existirá una gestión privada de los maestros fundidores que continúan con los asientos en condiciones similares a los suscritos en los últimos años del Seiscientos. Éstos mantendrían sus asientos hasta 1766 ejerciendo labores de dirección técnica con amplias atribuciones y autonomía en las labores de fundición y afinamiento de metales. A partir de 1767, después de terminar el periodo de vigencia del último asiento hecho con el fundidor Juan Solano, se suprimen dichos contratos con los maestros fundidores creándose un cuerpo profesional de los mismos dentro del cuerpo de artillería. La gestión de la fábrica, en todos los aspectos, quedará en manos del Estado a través de los oficiales militares y ministros políticos del Real Cuerpo. Así pues, du-

rante el siglo XVIII, distinguimos en la Fundición de Sevilla un corto periodo de gestión privada, entre 1700 y 1717, seguido de dos grandes etapas: la primera, la hemos llamado la etapa de intervención estatal o de gestión mixta y comprende desde 1717 a 1766; la segunda, sería la de gestión directa del Estado y va desde 1767 a 1800, prolongándose durante todo el siglo XIX.

Las diferencias fundamentales en la dinámica de la Fundición durante estos periodos se deberá, de una parte, al papel jugado por los maestros fundidores en la dirección del establecimiento; por otra parte, las infraestructuras de la fábrica, la producción, el personal empleado y las técnicas desarrolladas también experimentarían cambios importantes en dichas etapas.[138] ¿Por qué se decidió la intervención estatal en la fundición de bronce de Sevilla? Con esta medida se pretendía tener un mayor control de un establecimiento de interés estratégico para la Monarquía, evitando así los posibles fraudes de los asentistas y un ahorro de los costes de producción a través de una rígida fiscalización de las cuentas por los funcionarios reales. Sin embargo, la medida también debemos contemplarla como la consecuencia natural de un conjunto de reformas que afectaron a la estructura y el funcionamiento de los ejércitos y en especial del cuerpo de artillería, arma de la cual dependía la fábrica sevillana.

Durante las dos primeras décadas del siglo XVIII, se crearon otras fundiciones de artillería en España a medida que discurría la contienda sucesoria, principalmente en Valencia y Barcelona. A partir de 1708, después de la victoria de Almansa y la conquista de Valencia por las tropas borbónicas, la ciudad se convierte en un enclave estratégico para Felipe V que decide establecer allí otra fundición. Dis-

---

[138] Aguilar Escobar, A. *Cañones de bronce*…… Del mismo autor. "Apuntes para la historia de la fundición de Barcelona", *Revista de Historia Militar*, nº 108, 2009.

ponemos de poca información sobre dicho establecimiento; sin embargo, tenemos un asiento con el maestro fundidor Matías Solano que arroja alguna luz sobre el tema[139]. En el contrato de Solano se informa que el fundidor abandonó por real orden la fundición de Sevilla en febrero de 1708 donde ejercía como fundidor mayor, para trasladarse a Valencia y fabricar todo tipo de cañones. Las condiciones de trabajo del maestro debían ser muy precarias pues no se le hace ningún contrato hasta 1716, de modo que se le pagaba provisionalmente a razón de 7,5 libras de "moneda valenciana" por quintal de manufactura aunque a fecha del contrato se le debía el importe de muchas piezas. A pesar de las dificultades, en la última fundición de fabricaron 40 medios cañones que superaron todas las pruebas.

Por todo ello, en 1716 se firma el asiento por el que el fundidor se haría cargo del establecimiento valenciano, actuando como representante de Matías Solano su hijo Juan Solano al que años después veremos trabajando como asentista fundidor en Sevilla. Las condiciones del contrato son similares al asiento de Enrique Bernardo Habet en la fundición de Sevilla al que explícitamente se toma como modelo, aunque aquí se establece un pago por la manufactura de 3 reales de plata antigua por libra de metal nuevo (manufacturado) y de 20 reales por quintal de artillería vieja para refundir con un 9% de merma. El establecimiento estaba situado "dentro de la ciudad" pero no disponía de vivienda para el fundidor, por lo que se le cedía una casa desocupada que estaba en las cercanías de la fábrica. En 1717, se pensaban fundir 10 piezas de a 24 lb. (unos 65 quintales cada una) con 1000 quintales de bronce procedente de piezas inútiles que existían en el establecimiento[140].

---

[139] AGS, GM, leg 703. Asiento del Matías Solano para la Fundición de Valencia el 17 de julio de 1716. Para más detalles sobre la gestión, funcionamiento técnico y económico de la fábrica de cañones de Sevilla, consultar Aguilar Escobar, A. *Cañones de bronce*…, obra ya citada.

[140] Ibidem

La caída de Barcelona en 1714 y la ocupación de la ciudad por las tropas felipistas, así como la posterior erección de la Ciudadela y la necesidad de artillarla, despierta un nuevo interés por poner en marcha la antigua Fundición de artillería de bronce de Barcelona que ya había producido algunas piezas en el siglo XVII. Sin embargo, sabemos que en 1715 se firma un asiento con el fundidor Pedro Ribot para dirigirla y producir piezas destinadas al recinto de la Ciudadela[141]. En efecto, el citado fundidor estaba fabricando artillería de bronce de todos los géneros por orden de José Patiño, superintendente general del ejército y del principado de Cataluña desde el 1 de enero de 1715. En el contrato que se firma ese mismo año se establece que correrán por cuenta de Ribot todos las herramientas y maderajes necesarios para la fundición de la artillería que se le encargase, así como de pagar a los oficiales y peones que estuvieren empleados en la fábrica. Se le reconoce una merma del 8% en el bronce de las piezas refundidas, pagándole por quintal (peso de Cataluña) de manufactura nueva cuatro reales de a ocho y medio.

Con respecto a la producción del establecimiento catalán, podemos indicar que el 4 de julio de 1716 se ordena probar las piezas fundidas últimamente, se trataba de 25 cañones de bronce de a 22 libras y de a 2 lb. con un peso total de 1110 quintales, entregándose, por orden de Patiño, 16 de ellas a Próspero Verboom para la defensa de la Ciudadela. La importancia del recinto barcelonés para la Monarquía se manifiesta por el hecho de que al año siguiente Patiño acordaría con Ribot la fundición de 96 piezas en 6 meses para la defensa del recinto. El fundidor trabajaría con los dos hornos disponibles, uno grande y otro pequeño, comprometiéndose a fundir 49 piezas en tres meses, necesitando otros tres para barrenar y pulir los cañones. El 20 de noviembre de 1717 es-

[141] AGS, GM, leg 703. Asiento de Pedro Ribot para la Fundición de Barcelona, firmado el 24 de septiembre de 1715

taban terminadas y entregadas 25 piezas, y se estaban fundiendo 13 más, por lo que el fundidor solicitaba el abono de las mismas. El asiento de Ribot fue revisado el 10 de enero de 1718. Se le rebajó la manufactura a 3 pesos por quintal ya que otro fundidor, José Llopart, que había trabajado el año anterior en la fábrica ofertó realizar las mismas labores por esa cantidad, además se le rebajaba la merma al 7%[142].

Además de los establecimientos citados, parece que también funcionó algunos años una fábrica en Pamplona para la fundición de artillería y balería inútiles. Las fundiciones de Valencia y Pamplona funcionaron pocos años con una producción puntual y escasa, solo la de Barcelona tuvo una producción importante en la segunda mitad del Setecientos y funcionó hasta 1802. La fábrica de Barcelona siguió una trayectoria similar a la de Sevilla en su gestión administrativa, en su instalaciones y en el proceso de producción[143]. Sin embargo, el número de piezas que salieron de la fundición catalana fue menor que el de la fábrica de Sevilla; además, esta última siguió funcionando hasta finales del siglo XX. Así pues, durante el siglo XVIII, las reales fundiciones tuvieron una gestión semipública, ya que aunque la propiedad de los establecimientos era estatal, la gestión de los mismos fue privada a través de contratos con asentistas aunque controlada por el Estado. A partir de 1730 se incrementa el control estatal sobre los asentistas y maestros fundidores de Sevilla y Barcelona. En efecto, el nombramiento del conde de Mariani, el 7 de febrero de 1732, como inspector general de la Artillería, provocará una mayor intervención del Estado en los asuntos de la fábrica. Sus amplias atribuciones se han comentado en un capítulo anterior.

---

[142] Ibidem, Correspondencia del marqués de Araciel, teniente general de la artillería de Cataluña con El Intendente y con Juan Pingarrón, oficial de la artillería de Barcelona y probablemente director de la Fundición. Hay varios documentos del año 1717.

[143] Aguilar Escobar, A. "Apuntes para la historia…" .

El seguimiento de los trabajos de la Fundición será ahora más continuo, como muestra la abundante correspondencia de Mariani con Patiño sobre estos asuntos analizando los trabajos realizados por Solano y del Boy en los afinos de metales y la fundición de piezas. Asimismo, el inspector general dará cuenta de las finanzas de los asentistas poniendo de manifiesto la falta de caudales de los mismos para continuar con las fundiciones y urgiendo al secretario de Guerra a ordenar a la Tesorería General del Ejército la libranza de dichos caudales. El 29 de agosto de 1738 se produce la llegada a la fábrica, procedentes de Barcelona, de los oficiales de artillería Adolfo Bischof, comisario provincial; Manuel Tortosa, teniente provincial, y Juan Pingarrón, con idéntico rango. Todos ellos tenían buenos conocimientos de las técnicas de fundición y de las construcciones militares en la línea de la formación impartida a los ingenieros militares que tanto habían impulsado los gobiernos de Felipe V y sus Academias y Escuelas Prácticas de Artillería. El motivo de su venida era la poca consistencia que se había comprobado en algunos cañones fundidos por Juan Solano y Juan del Boy, debido a la presencia de "escarabajos" y "senos" en esas piezas. La causa del problema no era bien conocida: algunos expertos opinaban que eran debidas a las proporciones empleadas en la aleación para producir el bronce mientras que para otros radicaba en la propia naturaleza de los metales. Los oficiales venían a Sevilla con la misión de efectuar cuantos experimentos fuesen necesarios, así como las obras en hornos o dependencias que considerasen convenientes para la buena marcha de los trabajos[144]. Es decir, se trataba de enmendarles la plana a los asentistas fundidores. Tenemos aquí

[144] AGS. GM, leg 714. Correspondencia del teniente provincial de artillería, Manuel García de Campaña, y el secretario de guerra, duque de Montemar. García de Campaña ejercía también como director de la Fundición desde 1733 (AGS. GM, leg 709)

el primer paso para lo que a finales de siglo será la asunción directa de las labores de fundición por los oficiales de la artillería.

Bischof y sus compañeros se ponen a trabajar inmediatamente tomando las riendas de la Fundición y ejerciendo en la práctica la dirección de la misma. Comienzan a efectuar pruebas sobre la resistencia de algunos cañones que se prolongarán durante todo el año de 1739. Por ejemplo, el 7 de julio, como resultado de las pruebas, se aprueban para el servicio nueve piezas y se rechazan cuatro, todas fundidas por Solano en 1738. Hacia mediados de ese año todavía subsiste el problema de los "senos" que resulta muy difícil de solucionar, aunque los oficiales creen poder resolverlo con un método de "goteo" o relleno de los poros con bronce una vez fabricado el cañón. Hacia el mes de diciembre se informa al secretario de Guerra de que han solucionado el problema, aunque este método para eliminar los "escarabajos" se cuestionó y desautorizó siete años después. En efecto, en enero de 1746, cuando Bischoff propone que se utilicen 15 piezas fundidas entre 1739 y 1741 y reparadas por el citado método del goteo, el teniente provincial de la artillería Manuel García de Campaña opina que sería peligroso por el riesgo de que reventasen, ya que al calentarse el cañón la soldadura del poro saltaría[145].

Además de las citadas reparaciones, Bischof y sus compañeros efectuaron una gran variedad de trabajos. Realizaron experimentos con nuevas proporciones en la aleación de metales para el bronce, después de probar cañones que se habían fabricado con hasta un 17% de estaño y resultar éstos más frágiles; recompusieron hornos de afino; diseñaron una nueva barrena vertical cuyos planos se re-

[145] AGS. GM, 721. 29 de mayo de 1746. Correspondencia del teniente provincial Manuel García de Campaña. Cabría preguntarse hasta qué punto estas apreciaciones de Campaña son justas, ya que éste ejercía un control muy directo sobre la Fundición y fue sustituido por Adolfo Bischoff.

mitieron el 9 de junio de 1741, etc. De la actividad de la fábrica en ese año nos dará una idea una relación de obra del 29 de septiembre en la que se afirma que se está trabajando en 101 piezas a la vez en distintas etapas del proceso de fabricación. A pesar de la diligencia con que los oficiales efectúan sus trabajos, a juzgar por los informes semanales que se envían al secretario de Guerra sobre todo tipo de actividades realizadas en la fábrica, un año después de su llegada todavía no habían cobrado nada y así lo hacen saber en su correspondencia con el duque de Montemar[146]. El 28 de noviembre de 1739, el rey ordena que Pingarrrón y Tortosa vuelvan a la Corte y que se les paguen lo sueldos adeudados. Bischof seguirá en Sevilla con los experimentos, y su autoridad se verá reforzada al ser nombrado director de la Fundición ese mismo mes. Hasta ese momento, el teniente provincial y comisario de Artillería de Sevilla, Manuel García Campaña, ejercía también como director de la fábrica y de la maestranza de la ciudad. Es decir, en 1739 el director de la Fundición se ocupa sólo de la misma y por tanto su intervención en la fábrica será más activa que hasta entonces[147].

La frenética actividad de Bischoff y sus experimentos no fueron bien vistos desde el principio por García de Campaña, quien juzgaba caótica y poco eficiente la labor del director. La rivalidad entre los dos personajes queda patente en la correspondencia del teniente provincial con Campillo y con el inspector general de la Artillería conde de Mariani. A título de ejemplo, el 1 de abril de 1742, en un informe al secretario de guerra sobre el estado de la fábrica, comenta lo siguiente:

"(…) no pude reconocer los cobres afinados que existen por estar revueltos los de un afino con los del cuarto, que afinaron D Juan Solano y D Juan

---

[146] AGS. GM, 715. año 1739. Correspondencia de Bischof, Pingarrón y Tortosa con el duque de Montemar.
[147] Ibídem

del Boy, por lo cual no se puede averiguar la calidad de los unos y los otros, y según mi inteligencia de diez años a esta parte, prefiero por demás bondad los de un afino (Bischoff era partidario de dar varios fuegos) (….) Los demás géneros que existen, no he reconocido ni vuelto a la fundición, porque el comisario provincial (lo era de Barcelona) D. Adolfo Bischoff se excusó a presenciar el primer reconocimiento, o por que parece que tenga la cabeza lastimada y no estar para ello; lo que se infiere en sus acciones, continuando en alabar sus errantes ideas, que tan costosas debe sentir la Real Hacienda, y (provocar) la suspensión de las fábricas de artillería por más de tres años (…) con cuya terquedad, es dable no dejará obrar con libertad al fundidor (…) por lo que sería yo del parecer se le envíase a servir su empleo en la Plaza de Cádiz (…) ". En otro extenso informe técnico del 15 de abril, en que se pormenorizan los defectos de 35 cañones, Campaña afirma: "pues preguntando yo a D. Adolfo Bischoff por el estaño y por la hora y forma en que se había de introducir en el horno para celar sobre su exactitud, se me respondió con notable alteración y términos que omito, el que yo no debía introducirme a querer celar lo que no era de mi obligación".[148]

El 29 de noviembre de 1741, "*el Rey, ante la situación de lo poco que se adelanta por la administración en esa fundición, y de las que se malograron (las piezas); y ante la falta de artillería de servicio, manda se tome por asiento el de Juan Solano*"[149]. En 1742, el fundidor, después de rebajar sus pretensiones económicas, desaprobadas por Mariani, firma el contrato con la Corona el 28 de julio de ese año para gestionar la fábrica sevillana. El asentista se compromete a realizar anualmente, durante los siguientes cinco años, 22 fundiciones de piezas de bronce (3 a 5 piezas en cada una) para tierra o marina, incluyendo 36 morteros y pedreros para la Marina. También fundirá accesorios

[148] AGS. GM, leg 721
[149] Ibídem. Correspondencia del teniente provincial de Artillería

para la marina: argollones, roldanas, etc. El precio se fija en 60 rv. por quintal de manufactura para los cañones, y cantidades variables para los morteros y accesorios, que según su tipología podían superar los 90 rv./quintal, con una merma del 6%. Por afinar los cobres de Indias cobraría 1000 mrv. (casi 30 rv). /quintal y se le abonaría una merma del 16%, manteniendo el proceso de afino con 22 horas de fuego. Dispondría libremente de todas las instalaciones de la Fundición, excepto por la noche. También serían de libre uso todas las herramientas y pertrechos, hornos, barrenas, etc., corriendo a su costa el mantenimiento de los mismos y teniendo la obligación de devolverlo todo en perfecto estado al final del asiento.

Asimismo, correría de su cuenta el transporte de las piezas hasta la barrena. Nombraría y dispondría de 13 operarios fijos: 1 fundidor para sustituirle, 2 capataces para dirigir a los peones eventuales (cuyo número no se especifica), 2 moldistas, 2 abridores, 2 herreros, 2 carpinteros y 2 proveedores de tierras para los moldes. Todos ellos a su costa: "*será de mi obligación proveer cuanto se necesite de materiales y jornales para las fundiciones que se me manden practicar, sin que por vía de buena cuenta se me libre caudal alguno por la Real Hacienda*". La compra del combustible sería por su cuenta, pero estaría exenta de impuestos de aduanas u otros, así como correría de su cuenta el transporte del mismo.[150] Finalmente, se incluyen las cláusulas habituales de concesión del fuero de la Artillería para el maestro y sus operarios. También, el pago de una deuda de 111.039 rv. que el Estado debía a su padre Matías Solano por los años en que trabajó en las fundiciones de Valencia y Pamplona. El asentista anticipará una fianza de 30.000 rv, a cuenta de la deuda a su padre para iniciar los trabajos y ahorrar a la Hacienda la libranza inmediata de los caudales.

---

[150] AGS. GM, leg 721. Nuevo pliego de condiciones de Juan Solano, 12 de junio de 1742. Estas condiciones serían las del asiento definitivo firmado el 28 de julio.

De este modo, Juan Solano pasaba a ser asentista de "la Real Fábrica de artillería para el servicio de Tierra y Mar" estampando su rúbrica por parte del Estado José del Campillo y el tesorero. El asiento se renovaría posteriormente hasta la muerte del fundidor. Su hijo José Solano seguirá gestionando el asiento de su padre hasta 1766, año en que expirará el periodo de vigencia del mismo, terminando así la época de los asientos y comenzando la gestión directa por el Estado el año siguiente. A partir de 1766, se decidió crear un cuerpo profesional de fundidores dentro del Cuerpo de Artillería que recibieran enseñanzas técnicas en escuelas especializadas, ya que por estas fechas estaba funcionando la Escuela de Artillería de Segovia.

El asiento de la fábrica de Sevilla sirvió de modelo para el que se estableció en la Fundición de Barcelona ese mismo año. Al igual que Solano, José Barnola, maestro fundidor del establecimiento catalán, había presentado un pliego de condiciones similares a las de aquél por las mismas fechas. El contrato se cerró después de aplicar los mismos precios y mermas que se habían establecido para Sevilla. Siguiendo la misma política que en la gestión del establecimiento de Sevilla, también esta fábrica, y en general todas las de armas, pasaron a ser gestionadas directamente por el Estado a partir de 1767.

Como en épocas anteriores, los nuevos aires de la Fundición los traerá un personaje extranjero: Jean Maritz. Se trataba de un prestigioso maestro fundidor de origen suizo que dominaba las nuevas técnicas de fundición en sólido y estaba considerado como un gran gestor y organizador de las fábricas de fundición. Había dirigido las fundiciones de Francia implantando en aquel país las nuevas técnicas. Además, era un experto diseñador de edificios industriales y sus novedades arquitectónicas se aplicarían en el establecimiento sevillano. Maritz, que ya había estado en la fundición de Barcelona, vino a Sevilla en 1767. Su llegada fue el comienzo de una serie de cambios radicales que afectaron no solo a las fabricación de las piezas, sino a la organización y gestión de la fábrica, así como a la construcción del nuevo edificio que constituye, hoy, la parte fundamental del estable-

cimiento del barrio de San Bernardo de Sevilla. El 17 febrero de 1768 unas instrucciones del Secretario de Guerra, Juan Gregorio Muniain, al director de la fábrica de Sevilla ordenan que se le trate como Inspector General de Fundiciones y Mariscal de Campo, y se le dé carta blanca para que disponga y ejecute cuanto crea necesario para el funcionamiento de la Fundición: "*Del mismo modo se le suministrarán los operarios que necesite con tal que sean españoles. Que tenga a su disposición y auxilio una brigada de oficiales compuesta por un comandante y ocho oficiales para que los emplee según lo juzgue conveniente*"[151]. Desde su nombramiento honorífico como Inspector General de las Fundiciones de España, Maritz llegó a ejercer de hecho la dirección del establecimiento, con la anuencia del director titular, Lasso de la Vega, y de los demás miembros del cuerpo político de la Artillería.

Con respecto a las instalaciones técnicas de las fundiciones de Sevilla y Barcelona, daremos algunos datos. En la fábrica sevillana, hacia 1736, existieron dos hornos de fundición, uno con una capacidad de unos 800 quintales destinado a la fundición de cañones de a 24 lb. y otro, un horno pequeño, para las piezas de menor calibre de a 8 y a 4 lb. En los años cuarenta seguían existiendo los mismos hornos y la capacidad de producción de la fábrica era de más de 70 cañones anuales; sin embargo, la producción real media de esta época estuvo muy por debajo de esa cifra, debido sobre todo a la falta de metales[152]. Hacia 1777, después de las obras realizadas por Maritz, la Fundición disponía de seis hornos: uno de 600 q.; uno de 500q.; uno de 300q.; uno de 140 q.; uno 120q. y uno de 40 q[153]. A finales del siglo XVIII, después

---

[151] AFAS. Caja 188. Correspondencia.

[152] Aguilar Escobar, A. *Cañones de bronce*…, documentación en AGS. GM, leg 721. Correspondencia del conde de Mariani, inspector general de la Artillería, con Campillo, del 7 de febrero de 1742. También en leg. 711. Informe de 27 de septiembre de 1736.

[123] AFAS. Caja 848. Efectos de guardaalmacenes. Inventario general en diciembre de 1777.

de las obras de ampliación y la construcción de nuevos hornos, entre 1789 y 1793, la fábrica tenía los siguientes hornos: dos de 600 quintales de capacidad; uno de 500; dos de 400; uno de 140; dos de 120 y uno de 20 quintales[154]. A estos nueve hornos había que sumarles tres hornos de reverbero para afinar cobres construidos en 1786 y cinco copelas. Los hornos de 600 y 500 quintales se utilizaban para la fundición de piezas de gran calibre: 24 y 16 libras; también se fundían en ellos piezas menores, de a 8 y 4 libras, pero al necesitar estas piezas menos bronce se podían llenar más moldes en una sola sesión. En los hornos de menor capacidad, de 120 quintales, se fundía bronce para piezas y accesorios de los cañones: ajustes y gualderas para los morteros y otros accesorios. Su capacidad de producción estaba en torno a las 500 piezas anuales. La Fundición de Sevilla llegó a tener a finales del Setecientos unos 400 empleados entre fijos y eventuales que trabajaban diariamente, lo que le otorgaba la categoría de empresa más importante de la ciudad después de la Fábrica de Tabacos, de ahí su importancia para la economía de la ciudad.

En cuanto a la fundición de Barcelona, a finales del siglo XVIII, tenía los siguientes talleres e instalaciones: taller de afino con tres hornos de reverbero para afinar cobres, taller de fundición con cuatro hornos en funcionamiento (uno de más de 500 q. de capacidad), taller de las barrenas con tres máquinas movidas por tracción animal y los correspondientes talleres de herrería, carpintería, y labores de terminación grabado, pulimento, etc.), además de diversos almacenes y cuadra de ganado[155]. Su capacidad de producción, menor que la de Sevilla, superaba las 200 piezas anuales. Con respecto al número

---

[154] AFAS. Caja 4. Informe del director sobre el estado de la fábrica después de la ocupación francesa. En el informe se pasa revista al estado de cada horno. 29 enero 1814.

[155] AFAS. Caja 2167. Relación de efectos de la fábrica después del cierre de la misma el 20 de noviembre de 1803. También en Aguilar Escobar, A. "Apuntes para la fundición..."

de operarios, sabemos que en los años ochenta trabajaban en la fábrica 12 operarios especializados con sueldo mensual: 1 fundidor, 2 afinadores, 4 moldistas, 2 barrenadores, 2 cerrajeros y un peón. Además, desde principios del año se habían empleado: 6 canteros, 17 albañiles, 6 carpinteros, 16 herreros, lo que nos da unos 45 empleados fijos. A ese número habría que sumar un número variable de peones, en torno a 60, en labores auxiliares: mover fuelles, lavar tierras, limpiar restos de fundición, cortar mazarotas, etc[156] .

5.2. LAS TÉCNICAS DE PURIFICACIÓN DEL COBRE EN LAS FÁBRICAS DE ARTILLERÍA. LA OBTENCIÓN DEL BRONCE.

La finalidad de las fábricas era la producción de piezas de artillería de bronce, por tanto, el corazón del establecimiento eran las dependencias de los hornos de fundición, el taller de afinos para los metales y el de moldería. La fabricación de cañones y morteros requería, en primer lugar, el tratamiento de los metales: el cobre y el estaño, para la aleación del bronce. Una vez extraído el mineral de cobre del yacimiento era preciso proceder a una serie de labores destinadas a separar el metal de las impurezas y elementos químicos que lo acompañaban. El objetivo era obtener un cobre de la mejor calidad para su empleo en la aleación que daría como resultado un bronce apto para la fundición de la pieza. Para ello se realizaban procesos de "beneficio" y afino del mineral. En algunas ocasiones, estos trabajos se realizaban en los talleres de fundición existentes en algunas minas que disponían de hornos destinados a tal fin, pero, dada la variada procedencia del metal, la mayoría de estas labores se efectuaban en Sevilla y Barcelona.

---

[156] AFAS. Caja 2162. Cuentas de caudales de 1784.

La operación de beneficio se iniciaba con el caldeo del horno durante algunos días. Paralelamente, se seleccionaba la parte del mineral acopiado que sería beneficiado para reducirlo mediante golpes de martillo al menor tamaño posible. La mena principal que se utilizó en las fundiciones fue la calcopirita, un sulfuro de cobre y hierro; también se importaron malaquita y azurita (carbonatos de cobre), y cuprita (óxido de cobre). Estas menas, sobre todo las americanas, eran pobres en cobre a pie de mina, no superando el 2% de metal; por tanto, la primera operación era la de triturar y concentrar la mena por métodos de flotación efectuando un simple lavado del material y de las tierras que lo contenían. De este modo, se conseguía separar la ganga (silicatos diversos, tierras, etc.) de la mena al flotar aquélla en los recipientes. Esta operación se realizaba a veces en la propia mina de origen por lo que la mayor parte del cobre que llegaba a Sevilla, en fragmentos de peso variable llamados torales o somones, ya venía enriquecido con un promedio de un 35% ó 40% de metal: se trataba del llamado cobre impuro de Indias. A continuación, se iniciaba el proceso de "beneficiado y afino" del mineral con el objetivo de obtener un cobre más puro. Se trataba de eliminar el azufre, el hierro, el plomo, la sílice y otros elementos que forman el mineral. El cobre contenido en los carbonatos y óxidos se puede extraer por reducción química de éstos en presencia de carbón una vez fundido el mineral. Sin embargo, puesto que los minerales más abundantes en las minas eran sulfuros, la primera operación era transformarlos en óxidos. Para conseguirlo, primero se tostaba el mineral al aire durante 24 a 36 horas, repitiéndose el proceso 5 o 6 veces a una temperatura insuficiente para fundirlo completamente pero que bastaba para que se desprendieran gases ricos en azufre produciendo el cambio químico. Posteriormente, este material junto con carbón vegetal y la leña, se cargaba en los hornos de reverbero en los que se iban depositando alternadamente en capas hasta llegar al nivel de la ventana. Para avivar el fuego, se inyectaba aire mediante unos enormes fuelles accionados a mano o

con la fuerza de un canal de agua que se conectaba al horno a través de una manga. La temperatura alcanzada dentro del horno permitía la fusión completa del material, y las reacciones químicas que se desarrollaban originaban la separación de las escorias, la eliminación de más azufre como dióxido de azufre y la obtención del llamado cobre negro.[157]

El proceso químico dentro del horno para separar el hierro y otros elementos del cobre era el siguiente: se convierte el hierro en óxido y, posteriormente, éste reacciona con la sílice del propio mineral, o la arena que se puede añadir al horno, formándose silicatos de hierro que constituyen la escoria que flotará sobre un sustrato de sulfuro de cobre concentrado en un 75%: es la "mata de cobre" o cobre negro. Cuando el metal ya estaba bien líquido, se abría un agujero inferior por donde éste salía al molde o toralera que estaba preparado. Esta operación se mantenía durante dos o tres días hasta que toda la carga de mineral hubiera sido fundida. El proceso descrito hasta aquí era el llamado "beneficio" del cobre.

Después de estas operaciones todavía quedaban en el cobre restos de azufre y plomo, por lo que era preciso eliminar estas impurezas por medio del afinado y transformar todo el sulfuro de cobre en cobre metálico puro. En esta última actuaba de manera parecida a la anterior, fundiendo de nuevo la mata de cobre obtenida anteriormente, insuflando más aire con los fuelles con objeto de que el oxígeno reaccionara con el sulfuro de cobre, transformándose éste en cobre metálico puro, para obtener más escoria y desprender más azufre en forma de gases de dióxido. Los gases (hidrocarburos) que desprende la madera de la leña añadida, al burbujear a través del metal fundido, recuperan el cobre que se había oxidado en exceso debido al aire insuflado. Con esta última operación se conseguía un cobre más puro,

---

[157] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Morla, T. *Tratado de Artillería*…,. También Proust, L. en sus Anales…, explica la base química de algunos de estos procedimientos.

en teoría hasta del 99%, que ya podía utilizarse para fabricar los cañones. Sin embargo, el rendimiento del proceso era mucho menor. En efecto, la merma del cobre fue una constante fuente de problemas par los fundidores y los dueños de la Fundición. Como se verá más adelante, esta pérdida de metal osciló entre un 6%, en los minerales de buena calidad y hasta de 28% en los procedentes de Indias.[158]

Entre 1727 y 1730, Juan Solano realizó numerosos experimentos de afinación con los diversos cobres disponibles. Los procedimientos no estaban optimizados, por lo que la merma era en muchas ocasiones superior al 26 %. En 1728 la producción de piezas fue muy escasa, centrándose la actividad de la fábrica en dichos experimentos; el fundidor, tras comparar las calidades de algunas partidas de cobre de Suecia y de Hamburgo con el de Indias concluyó que el cobre sueco era adecuado para la fabricación de cañones[159] . Estas conclusiones serían cuestionadas años después.

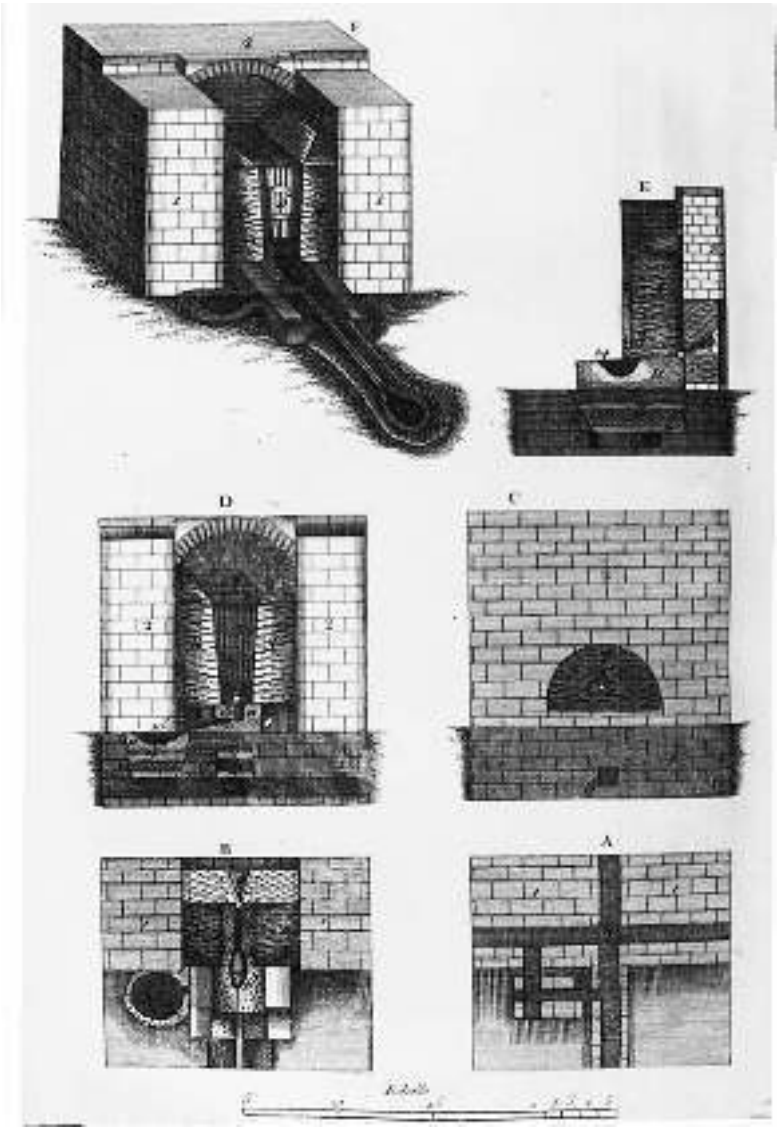
La duración del proceso de afino experimentó variaciones desde principios del siglo XVIII. Por ejemplo, hacia 1738 era habitual efectuar dos o tres afinos de una misma muestra de unas doce horas cada una según las recomendaciones de los expertos de la Artillería como el conde de Mariani, inspector general del Cuerpo. Sin embargo, la deficiente calidad de algunas piezas fundidas en los años treinta, con la aparición en las mismas de numerosos "escarabajos", hizo que se propusiera aumentar a diecinueve el número de horas del proceso y un solo afino con el consiguiente ahorro para la Hacienda[160]. La propuesta se aplicó en los meses siguientes, como aparece en una relación de gastos del afino de varias partidas de cobre de Indias.

---

[158] Hemos encontrado una descripción detallada del proceso de afino como se hacía en 1738, en AGS. GM, leg 714, del año 1738.

[159] AGS. GM, leg 707. Correspondencia del fundidor.

[160] AGS. GM, 714. En un extenso informe, Manuel García de Campaña, teniente provincial de Artillería, expone al duque de Montemar su opinión sobre las causas de los defectos de algunas piezas y la posible solución. 21 de enero de 1738.



Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Schluter, C.A. *De la fonte* …, Lámina 26.
Hornos de afinar cobre. 1752.

En los años siguientes se hicieron más cambios, siempre en función del resultado de la calidad de las piezas obtenidas, ya que hasta finales del siglo XVIII, gracias a las investigaciones realizadas en la Academia de Artillería de Segovia, no se empezaron a comprender las múltiples variables que intervenían en los procesos químicos de fundición ni la naturaleza atómica de los elementos. Así, entre 1738 y 1742, se cambió varias veces el número de horas de fuego que se le daban al cobre para afinarlo y el número de repeticiones del proceso. Estas variables pasaron de 11 a 22 horas de fuego y de 1 a 4 repeticiones del proceso. Naturalmente, cuanto más tiempo se empleara el proceso y cuantas más veces se repitiera se producía mayor merma y coste, además de endurecer el metal excesivamente. Según algunos expertos un solo afino de unas 19 o 22 horas sería suficiente, pues "*los de segundo y tercer afino (…) los han devuelto a la fundición por no poderse con ellos batir ni ligar (…) quedando aprobados los cobres de un afino y de ser superfluo y dañoso, segundo y tercero*"[161]. Por otra parte, un excesivo número de horas de fuego podía dañar los hornos de reverbero, porque la piedra de amolar de la que estaban hechos podía fundirse por la excesiva temperatura alcanzada en el interior. Hacia 1746 se había mejorado el rendimiento del proceso, consiguiéndose bajar la merma del cobre de Indias hasta un 7 %.

En realidad, conseguir una receta perfecta para el afino era prácticamente imposible en esta época, pues dado el desconocimiento de la naturaleza química exacta de los distintos minerales del cobre (sulfuros, óxidos, carbonatos, etc.) no podía saberse con exactitud las impurezas que contenían y, por tanto, el tiempo que se precisaba para eliminarlas. Así se constata en un Discurso sobre los dos afinos de cobres impuros de la América, ejecutados en la Real Casa de Fundición de esta Plaza (Barcelona), de 1751:

---

[161] AGS. GM, leg 721. Informe de Manuel García de Campaña, el 1 de abril de 1742.

"*La diversidad de cobres, no solo de varias minas pero la que experimenta una misma de más o menos viciados estos metales en la matriz, no permite se den reglas fijas de determinadas horas de fuego, ni de mermas, siendo evidente que los más viciados necesitarán más horas de fuego para su perfecta afinación, consumiendo más leña y las mermas serán mayores que en los cobres menos viciados (…) donde todas estas operaciones serán las que hacen al Arte*".[162]

Es decir, puro empirismo y una concepción de la química impregnada de vitalismo, considerándola más como un arte que como ciencia.

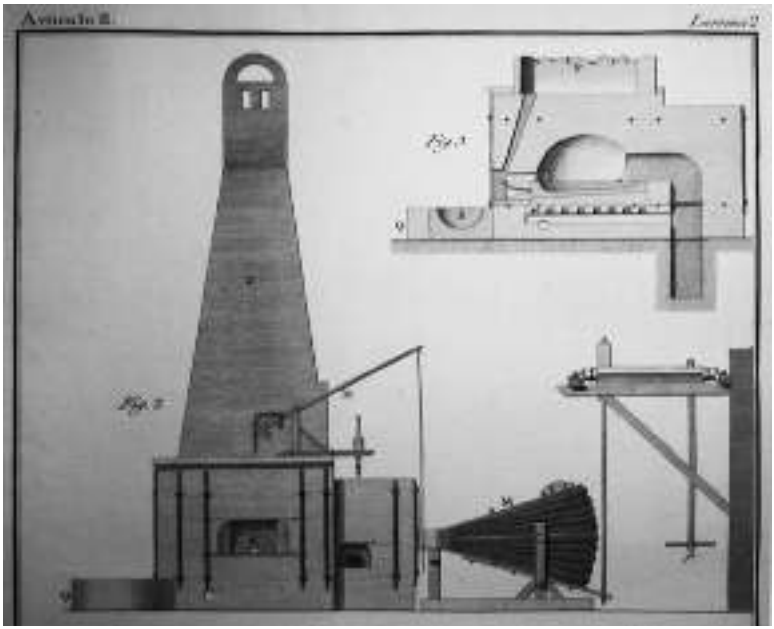
La capacidad limitada de los hornos de reverbero hacía que la operación de afinado se realizara en pequeñas partidas de 20 o 30 quintales, lo que exigía varios meses para disponer de cantidades suficientemente grandes para fabricar el bronce. Así, en un informe del 13 de noviembre de 1790, consta que para afinar 1000 q. de cobre de América se tardaron cinco meses en los hornos de reverbero y fueron necesarias 34 hornadas (de 2 a 3 días cada hornada de 15 a 20 q. En el proceso se consumieron 2000 q. de leña y se emplearon un maestro y seis obreros, así como setenta y cinco peones para pesar y transportar el metal[163].

Para estas operaciones también se usaron hornos de copela, que producían un cobre de mayor pureza pero con más merma. La razón de esta ventaja estribaba, según Morla y otros expertos fundidores, en que en dichos hornos se producía una mejor circulación del aire, un elemento fundamental para favorecer las oxidaciones. Otra ventaja era que, en la copela, la masa de mineral de 20 quintales se separaba en diez o doce pequeñas porciones de 1 o 2 quintales, mientras que en los hornos de reverbero se oxidaba el mineral en

---

[162] AGS. GM. leg 733. En Barcelona a 24 de abril 1751.
[163] AFAS. Caja 196. Correspondencia del contralor.

una sola pieza[164]. De este modo, en las últimas décadas del siglo XVIII, en la Fundición se utilizó con preferencia el horno de copela para afinar el cobre y el estaño.



Biblioteca de la Academia de Artilleria. Tomo de *Láminas del Tratado de Artillería* de Tomás de Morla. Horno de afino

Morla en su Tratado nos da una descripción de dichos hornos:

"*Es como una fragua rectangular de diez pies de frente y 5 de ancho, o fondo. En medio del fondo de la fragua hay una abertura en el muro en forma de cono truncado llamada tobera por la que se introduce el cañón de un doble fuelle: frente va ella hay en el plano de la fragua un hueco llamado copela que es donde se afina el cobre, y en el ángulo izquierdo, mirando a*

[164] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Tomás de Morla. Tratado ..., p 109.

la fragua, se forma otro hueco llamado toralera en donde se echa el cobre después de afinarlo. El plano de la fragua está elevado dos pies sobre el pavimento, sus muros tienen diez pies de alto y el cañón de la chimenea que lo cierra dieciocho pies. En el frente queda formada una puerta a la fragua, del ancho de todo él, y de tres y medio pies de alto por los costados, ésta se cierra por arriba por una compuerta de hierro de dos pies de alto que sirva para resguardar del fuego a los operarios, los bocacopela. Del medio del arco que forma la puerta pende una cadeneta terminada en un gancho donde se apoya el mango de la cuchara con que se pasa el cobre de la copela a la toralera. Tanto la copela como la toralera se renuevan cada dos o tres días, llenándola con una masa hecha de partes iguales de arcilla encarnada, amarilla, arena de mar y polvo de carbón de pino, todo mezclado y triturado con agua y pisones de hierro. con esta pasta bien prensada se abre con un cuchillo curvo un hueco en forma de semiesfera o cono truncado inverso de seis pulgadas de diámetro y cinco de altura, capaz para dos quintales de cobre". Y también del proceso de afinado:

"*Para afinar se pone en el fondo de la copela algunas brasas, encima carbón de pino o brezo y sobre este un toral de cobre negro y agitando el fuego por medio de los fuelles se viene a liquidar el cobre en poco tiempo. El cobre se va al fondo de la copela. luego se separa el carbón encendido hacia la derecha y se separa la escoria con las brasas hacia la izquierda, se espuma el metal. Un experto sabrá por el color del metal si está afinado, en caso contrario se reanuda el fuego con los fuelles. Si no es experto, se sabe introduciendo la barreta de hierro por el espacio de la tobera en el hueco de los fuelles, y se mira como en el caso descrito antes. El cobre roseta se pasa a la toralera y se vuelve a repetir la operación otra vez en la copela, y así todo el día afinando*"[165].

A pesar de las reconocidas ventajas del afino en copela, al carecerse de una base teórica sólida sobre la cuestión se siguieron haciendo ensayos comparativos entre los dos métodos. Así, el 24 de

[165] Ibídem, p 115-116.

agosto de 1792, se dio a conocer el resultado de un experimento llevado a cabo en el taller de afinos de la Fundición de Sevilla. Se trataba de afinar el cobre impuro de América, de México y de Perú, por dos procedimientos distintos: en horno de reverbero y en copela, con el objetivo de averiguar el rendimiento y los costes de los dos métodos. Tenemos el resumen del experimento.

Utilizando hornos de copela, el proceso se desarrolló así:

"En componer 2 copelas pesan 20q. de cobre impuro y afinarlos se emplean 2 días, 4 bocas de copela a 6 rv día; 8 peones, a 5 rv, para mover fuelles (…)128 rv; 93 arrobas carbón de pino y 70,5 marquilla brezo. Conducir tierras, lavar moler escorias, etc., 6 rv". Siguen más gastos por consumo.

Resumen final:

Total cobre impuro de Lima..2000 libras

Producto obtenido….1837 libras (la cantidad real es algo menor pues entra el procedente en tierra y escoria), merma 163 libras.(aproxima un 8%)

Gasto total..897 rv y 32 mrv, el proceso de afinamiento cuesta 48 rv /q.

Total cobre impuro de México..2000 libras

Producto obtenido…..1931 libras, merma 68 libras (3%)

Gasto total..679 rv y 19 mrv, coste a 35 rv el quintal"

Utilizando el horno de reverbero, también se detallan las diferentes operaciones y su costo en la 1ª y 2ª hornada:

"construir la carbonilla, pesar 60 q. cargar horno, asistir horas de fuego, sacar suelo del horno, recoger tierras, etc; se emplearon 4 obreros plaza sentad, con gratificación por noches de vela… 128 rv; El consumo de leña y carbón de leña, 414 rv; etc".

Total cobre impuro de Lima..6000 libras
Producto obtenido..5744 libras, merma 255 lb. (3%)
Coste del proceso..659 rv, 28 mrv. Sale a 11 rv y 16mrv/q.

Total cobre impuro de Mexico..6000 libras
Producto obtenido..5777 libras, merma 233 libras (4%)
Coste del proceso. 642 rv 18 mrv. Sale a 11 rv 4 mrv/q."[166]

Como se puede apreciar, el coste del afinamiento en copela era superior al efectuado en los hornos de reverbero. En cuanto al rendimiento, parece deducirse de la experiencia que el método de copela, al ser más exhaustivo, producía un cobre más puro. Por tanto, si el mineral original tenía muchas impurezas la merma era mayor que si el proceso de afinado se producía en reverbero (caso del cobre de Lima).

En las últimas décadas del Setecientos se multiplican las experiencias sobre la afinación de metales y aleación de los mismos. Estos ensayos se llevaron a cabo en las Reales Fundiciones y en la Academia de Segovia, sobre todo en su Laboratorio de Química. El conde de Lacy, inspector general de la Artillería a partir de 1780, fue el gran impulsor de la formación científica de los responsables de las fundiciones de artillería. Asimismo, el inspector canalizaría los nuevos descubrimientos y mejoras en dichas técnicas, realizados en la Academia segoviana. Por otra parte, algunos directores de esas fábricas eran militares que habían seguido los cursos de la Academia y, por tanto, estaban más capacitados para aplicar a la producción de cañones las sugerencias de sus maestros: Morla, Proust, etc. Este intercambio de información muestra el interés de los técnicos y directivos de las fábricas de cañones por los aspectos científicos de su trabajo y la necesidad de contar con buenos especialistas que tuvie-

[166] AFAS. Caja 192. Correspondencia del director.

ran conocimientos de metalurgia. Esta necesidad se transforma en exigencia a comienzos del siglo XIX, plasmada en las Ordenanzas para la Artillería de 1802 promulgadas por Godoy. En su artículo tres, referido a la composición y requisitos de los componentes de la Junta Económica y Facultativa de las fábricas de fundición se dice:

> " *el coronel de mi real Cuerpo que se destine para dirigir la fundición de artillería de bronce deberá tener los conocimientos necesarios de química y metalurgia para aplicarlos al tratamiento de los cobres (…) estos oficiales además de estar iniciados en los principios químicos y metalúrgicos, deberán ser inteligentes en el dibujo para la formación de planos…*"[167]

Este interés por la fundamentación teórica de los procesos de fundición, se manifiesta en los experimentos realizados con los cobres procedentes de Riotinto aparecen muy claramente estas inquietudes, del mismo modo que afloran problemas de competencias entre los afinadores de las fábricas y los de las minas de Riotinto. En una carta, fechada el 19 de enero de 1788, del administrador de las minas, Melchor Jiménez, al contralor de la fábrica, Francisco Espinosa, se planteó efectuar un ensayo con los cobres negros de Riotinto para evaluar su calidad, para lo cual se envió a Sevilla una partida de 30 quintales. El administrador se quejaba de la falta de conocimientos de los técnicos de la Fundición sobre el tratamiento del cobre:

> "*la diversidad que se advierte en los cobres de estas minas nace de la diversidad de los minerales, y de la mayor o menor perfección de las operaciones que se hacen con ellos y sobre todo de la poca inteligencia que hay en los operarios, los cuales no saben hacer más de lo que hacen ni hay esperanza de que lo puedan hacer. En fin, así vamos pasando y pasaremos hasta que Dios quiera*".

---

[167] Valdecillo, A. (ed.) *Ordenanza dividida en 14 reglamentos que manda observar SM en el Real Cuerpo de Artillería*, Madrid, 1853.

El 27 febrero, Espinosa contestó a Melchor Jiménez diciendo que a los cuatro días de escribirle, el intendente le había comunicado la orden de admitir los 30 q. de cobre negro, con las siguientes instrucciones:

"*se haga la experiencia de refinar y anotar gastos que produzca y la merma (…). Que se están preparando los hornos para la operación, pero por la suma impuridad del cobre negro y por carecer los hornos de toda aquella resistencia que necesitan para sufrir un fuego tan largo y terrible no podrá verificarse a la primera vez ni acaso a la segunda la depuración completa (…) Estoy viendo ya que los productos de este ensayo no serán otros que una confirmación del concepto en que estamos de la inconveniencia de semejante proyecto (…) los afinos quedarán como ahora están por más que se haga ver que la purificación de un quintal de cobre cuesta aquí (en Sevilla) el doble que ahí" (Riotinto). Finalmente, Espinosa argumenta que los operarios de los talleres de afinos de Sevilla, trabajando con los cobres de América, podrían aumentar sus conocimientos (de química) en caso de que tales operarios fuesen capaces de formar estudios de ello, que niego, porque no obran por otros principios que los de una rutina siempre uniforme, ni pueden ser otra cosa pues no son físicos ni químicos como deberían serlo para adelantar en esta clase*"[168].

5.3. LOS DEBATES SOBRE LA PROPORCIÓN DE LOS METALES EN LA ALEACIÓNY SUS CONSECUENCIAS EN LA CALIDAD DE LOS CAÑONES FABRICADOS

La mezcla de metales para la obtención del bronce también experimentó cambios a lo largo del siglo XVIII en función de los resultados obtenidos en la resistencia y perfección de las piezas. En

[168] AFAS. Caja 191. Correspondencia del contralor con el administrador de las minas de Riotinto. Cartas desde enero a marzo de 1788.

las ordenanzas de 1728 aparecen reguladas las proporciones que debían emplearse de los diferentes metales. Se quería poner orden en un proceso que hasta entonces estaba en manos de los criterios y experiencia de los maestros fundidores, que mezclaban los metales con una gran dosis de aleatoriedad siguiendo sus propias recetas. En el artículo quinto de dichas ordenanzas leemos:

> *"Habiéndose experimentado notable perjuicio en la calidad y mezcla de metales, por la obscuridad con que se ha manejado hasta aquí esta materia, dejándola al arbitrio y voluntad de los fundidores, que tratándola misteriosamente la han dirigido a sus propias conveniencias, y de que ha resultado muchas veces hallarse las piezas tan cargadas de estaño, que a poco los pocos tiros se han desfogonado y otras de metales tan agrios que con la misma facilidad se han reventado (….) y no siendo de nuestra aprobación la que siguen los maestros fundidores en España dando para fundir artillería de metales nuevos, a cada cien quintales de cobre en roseta, otros nueve quintales en estaño de Inglaterra, y que para refundir la antigua e inútil no tienen regla general alguna, sino solo la de añadir la cantidad en roseta y en estaño que según su conocimiento juzgan a propósito para reducir los metales a la ley que les parece deben tener, (…) ordenamos que en adelante se observen las reglas, máximas y proporciones que en esta parte observaba y guardaba ordinariamente, en estos últimos tiempos, el famoso maestro fundidor Canthalf, que lo era en nuestra real fundición de Malinas, en nuestros Países Bajos de Flandes; (…) mandamos que todas nuestras fundiciones no se emplee otros metales nuevos que cobre rojo de Hungría en planchas, que es el mejor; cobre de Suecia; cobre de Hungría que llaman de roseta (…) y estaño de los más finos de Inglaterra"*[169].

Este artículo pone de manifiesto el hermetismo con que actuaban los fundidores, deseando conservar en secreto sus conocimien-

[169] AFAS. Copia de las Reales Ordenanzas Militares de 1728. Sobre la mezcla de metales.

tos que transmitían a sus hijos o a muy pocos discípulos. Esta actitud, que procedía de una tradición muy arraigada en los siglos XVI y XVII, garantizaba su contratación por los Estados, siempre necesitados de estos maestros. En contrapartida, los resultados de sus trabajos no siempre eran satisfactorios ya que la falta de transparencia impedía el contraste de las diversas técnicas con el consiguiente perjuicio para el desarrollo de la metalurgia. Además, acentuaba la preocupación de la administración por el posible fraude que los fundidores pudieran cometer. Por otra parte, a pesar de las recomendaciones sobre el uso del cobre de Hungría, este se usó muy poco en el siglo XVIII, debido a la escasez de recursos económicos y la carestía del producto.

En el artículo sexto de las citadas ordenanzas se dice:

"*para fundir artillería en metales nuevos, se dará de mezcla a cada 100 quintales de cobre, 5 a 6 quintales de estaño". Y en el artículo séptimo se regula la mezcla en caso de utilizar metal ligado, es decir, el procedente de la refundición de piezas viejas, ya que este bronce era muy utilizado en la Fundición ante la escasez y carestía del cobre nuevo: "para refundir artillería inútil en metales viejos, se aplicará ordinariamente la tercera parte en cobre nuevo, con advertencia de que en las piezas de batir de los calibres de 24, 18 y 16 convendría aplicar algo más de la tercera parte de cobres nuevos y algo menos en las piezas de menor calibre y en los morteros, y esta diferencia se regulará conforme el fundidor reconociere la bondad del metal viejo, y a cada 100 quintales de metales viejos, se darán de mezcla dos a dos quintales y medio de estaño del más fino, y no a más*"[170].

El porcentaje del 6 o 7 % de estaño en la aleación para el bronce fue cuestionado hacia 1738 por considerarse la causa principal de los "senos" y "escarabajos" aparecidos en algunas piezas fundidas esos años. En efecto, el 21 de enero de ese año el comisario de la

[170] Ibídem.

artillería, Manuel García de Campaña, envió al duque de Montemar un completo informe sobre sus observaciones de las operaciones de fundición y su resultado en los últimos años[171]:

> "*En los primeros meses de mi ingreso, a estas reales casas de fundición gasté el tiempo en observar (….) la variedad de raros accidentes (en las piezas) y sin poderlos penetrar; hasta que sirvió de antorcha la prueba de doce morteros que encontré, fabricados con cobres de Indias de un afino de doce horas de fuego cada uno, ligados del 6 al 7 por ciento, de cuyos doce morteros se perdieron los once por defectos de considerables aberturas, escarabajos y sudaderos (…) por lo que providencié que se aumentara el dosis del 4 por ciento sobre el 6 o 7 con que se fundieron los expresados morteros. Introducido este aumento en el cobre que se añadió para repetir la fundición de los once morteros desgraciados con cuya diligencia se efectuó la mencionada fábrica de ellos, quedando estos once morteros en la prueba intactos de aberturas y escarabajos*".

Es decir, la nueva proporción del 9 al 10% de estaño parece que mejoraba la dureza del bronce utilizado. Estos experimentos fueron contrastados, y discutidos, por los fundidores de Barcelona, quienes pronto propusieron nuevas fórmulas para la obtención de un bronce de mejor calidad que combinara de manera óptima la tenacidad y la dureza. En efecto, a finales de 1739, proseguían los ensayos y experimentos sobre aleaciones del bronce llevados a cabo por los oficiales Bischoff, Pingarrón y Tortosa, comisionados en la Fundición para mejorar la calidad de las piezas. Los ensayos parecían contradecir las conclusiones del comisario García de Campaña al que los técnicos acusaban de no juzgar bien si los cañones resultaban "cobreños" (blandos), o "demasiadamente campaniles" (frágiles). Bischoff recomienda que "*a los cobres de las Américas se les ligue con el 16 % y no con menor cantidad a lo cual debemos expresar a V.E. que en los*

[171] AGS. GM, leg 714. Informe de Manuel García de Campaña.

accidentes sobrevenidos a nuestra artillería en diferentes empresas como las de Gibraltar, defensa de Orán, y última conquista de Italia, se observó torcerse las piezas y imprimirse en sus ánimas la figura de las balas (…) sucesos que solo debemos atribuir a la demasiada flexibilidad del metal por falta de dosis (de estaño)"[172].

Esta situación solo empezaría a superarse en el último tercio del siglo XVIII, gracias a la labor de oficiales como Tomás de Morla o Louis Proust y la labor docente desarrollada por éstos en la Academia de Artillería de Segovia. En efecto, Tomás de Morla afirma en su Tratado de Artillería que

> "*el metal para artillería debe ser tenaz y resistente para que no reviente la pieza. El cobre tiene esta propiedad más que el hierro colado, que es más frágil y tiende a quebrarse, pero el cobre solo es muy suave y tiende a encorvarse, es menos duro que el hierro, la mayor dureza se la da el estaño. Con ello se consigue que no se raye con facilidad para evitar que las bombas lo estropeen y rayen, pero si se pone demasiado estaño se vuelve agrio, es decir, pierde tenacidad y se vuelve tan frágil y quebradizo como el hierro colado, por eso es tan importante la proporción en la aleación". Sin embargo, el propio autor señala, refiriéndose a estas proporciones, que "Cuando se quiere hablar de buena fe, es preciso confesar que se ignora una cosa y otra (resistencia y dureza), que no se han hecho experiencias precisas y conducentes para examinar el grado de dureza (…) para un determinado número de tiros, que no se tienen conocimientos competentes para que las fundiciones de las piezas salgan iguales*"[173].

El texto muestra el gran conocimiento que tenía Morla, como buen artillero, de las propiedades que debía tener el bronce de un buen cañón y, al mismo tiempo, son un magnífico ejemplo del estado

---

[172] AGS. GM, leg 715. Informes de Bischoff, de 19 de mayo y de 3 de noviembre de 1739, al duque de Montemar.
[173] Biblioteca de la Academia de Artilleria. Morla, T. *Tratado*…,pp 148-149.

del conocimiento científico de la química y de la metalurgia en la época. A pesar de esta ignorancia teórica sobre el proceso, Morla continúa haciendo muchas observaciones empíricas sobre la aleación y los problemas que presenta y muestra gran preocupación por el rigor en los protocolos experimentales: condiciones del horno, carbón o leña poco adecuado, tiempos de la fusión, mala calidad del metal, etc. Por ejemplo, recomienda la medición del grado de calor de la pieza después de un cierto número de disparos, así como mantener constante la temperatura interior de los hornos. También enuncia un principio importante que hasta entonces no se consideraba: la dureza y la resistencia del metal varían según la temperatura, por lo que, según el destino de la pieza y la duración pretendida para la misma, debía variarse la proporción de los distintos metales en las aleaciones, aunque reconoce que tanta variedad resultaría muy costosa. Por tanto, aunque las proporciones de cobre y estaño eran determinantes para la calidad de la pieza, en la calidad del bronce resultante existían otros factores determinantes, como las impurezas de los cobres, la temperatura, etc., que el desarrollo de la metalurgia a principios de siglo hacían difíciles de controlar o mantener constantes. Es decir, el excesivo empirismo producía resultados muy variables.

En el ensayo de Proust sobre el bronce utilizado en la fábricas españolas de fundición, que comentamos en la primera parte de esta obra, el químico daba una serie de consejos para mejorar la calidad de ese metal. La aplicación de esas conclusiones ya se llevaron a la producción de cañones hacia el final de la década de los noventa. Por ejemplo, el uso del carbón de piedra o carbón mineral como combustible para los hornos se fue incrementando progresivamente, pasando de 112 quintales en 1794 a 1522 quintales en 1796 en la fábrica de Sevilla.[174] También se aplicó otro de los resultados de sus investigaciones que descartaba la adición de estaño al

[174] Aguilar, Escobar, A. *Cañones de bronce*…, pp. 219-230.

bronce reciclado o metal ligado de uso frecuente en las fábricas. En efecto, esta práctica secular pretendía mejorar la fluidez de la mezcla y aumentar la dureza del bronce obtenido; pero según Proust también aumentaba el peso de las piezas y no solucionaba el problema de los "escarabajos" en los cañones. La documentación de la Fundición de artillería de Sevilla muestra que entre 1794 y 1798 se estaban utilizando unos 5500 quintales anuales de cobre nuevo de Indias y cerca de 10.000 anuales de bronce reciclado. A este bronce "viejo" apenas se le añadió estaño, produciendo un alto número de piezas, mas de 300 anuales, y de muy buena calidad.[175]

Hacia 1777, operaba en la Fundición de Sevilla un técnico que había estado en la fábrica de Barcelona, el maestro afinador Francisco Peringer. Parece que este personaje tenía conocimientos de química y una gran experiencia en la purificación y aleación de metales. Para entonces, se había impuesto como norma la proporción de un 11% de estaño en la aleación, como corroboran las notas de Peringer y los textos de Morla. Y este sería el porcentaje canónico que se mantuvo hasta bien entrado el siglo XIX.

5.4. EL PROCESO DE FUNDICIÓN. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE DICHO FENÓMENO: TEMPERATURA, DURACIÓN, OXIGENACIÓN, ETC.

Desde finales del siglo XVI y hasta mediados del siglo XVIII, el método de fundición en bronce que se practicó en Sevilla fue la llamada "fundición en hueco" con ánima lisa. Para ello era preciso introducir en el molde un alma cilíndrica que al solidificarse el metal dejaba formado el hueco del cañón. Los primeros cañones se fundían con "diestra", es decir, puesto que la fundición era en

[175] Ibídem.

hueco, se introducía un aro de hierro o "diestra" en el molde para sostener la pieza que definía el ánima y centraba el hueco del cañón. El problema era que esta pieza de hierro con frecuencia quedaba soldada al metal del cañón y provocaba fallos durante el disparo del mismo. Posteriormente se desarrolló una variante del método que permitía fundir sin "diestra" con el resultado de conseguir que las piezas fueran más fuertes y duraderas[176].

Una vez que el tubo había sido fundido y retirado del molde se procedía al pulimento del ánima, por lo que era colocado verticalmente, con la boca hacia abajo, en la máquina de barrenar. Este método, que había sido perfeccionado por los hermanos Keller y muy utilizado por los maestros fundidores flamencos y alemanes como Gregorio Loeffler, no resultó enteramente satisfactorio, pues, entre otros inconvenientes, estaba la pérdida de puntería ocasionada porque la superficie externa del cañón no era concéntrica con el ánima del mismo. Por otra parte, como consecuencia del barrenado, el ánima no era lo suficientemente lisa, lo que ocasionaba que las balas golpearan el interior de la pieza y dañaran el cañón, que a corto plazo sufría un gran deterioro. También se producían grietas debido a la diferencia de temperatura, durante la solidificación del metal, entre el interior y el exterior de la pieza. Además, otro problema que presentaban las piezas eran las porosidades internas ("escarabajos" en el argot militar), asunto de más difícil solución pues la naturaleza del mismo tenía que ver con las proporciones de los metales en la aleación del bronce y otras variables relacionadas con los tiempos y las temperaturas de fundición. La falta de maestros fundidores en España a finales del siglo XVI obligó a contratar a técnicos extranjeros. Los maestros más prestigiosos estaban en Alemania y Flandes[177] , de modo que ya desde la segunda mitad del siglo

---

[176] Vigón, J. *Historia de la Artillería Española*, Madrid, 1947.

[177] La fundición de Malinas fue uno de los principales proveedores de cañones para los ejércitos y armadas de Carlos V y Felipe II.

XVI se trajeron a España a algunos de ellos para que enseñaran a los españoles el arte de fundir. En Sevilla, hacia 1570, trabajaron varios maestros de la escuela de Gregorio Loeffler que había fabricado numerosas piezas para Carlos V[178]. Después de la llegada a la fábrica de Sevilla de Juan Morel, se incorporó en 1589 a la misma el maestro fundidor Jean Vautrier (o Juan Bantier). Así, en un informe del Consejo de Guerra al Rey se hace referencia al fundidor alemán en estos términos: "*no habiendo en España persona práctica de fundición, el rey mandó traer de Alemania un maestro fundidor y se trajo a Juan Bantier al que se le señalaron 40 escudos de sueldo al mes, y tomo como ayudante a Hernando Ballesteros*"[179]. Jean Vautrier fue un gran innovador en las técnicas de fundición "sin diestra". La práctica de la importación de especialistas extranjeros fue una constante en la Edad Moderna española y, como veremos, se incrementó considerablemente en el siglo XVIII. En las fundiciones de Ultramar el problema era más agudo, según se desprende de la abundante documentación en la que se alude a la necesidad de encontrar maestros fundidores. En general, se intentaba trasladar a Indias algún fundidor de Sevilla, mientras otras veces se intentaban encontrar en las mismas colonias, casi siempre con poco éxito[180].

En el último tercio del siglo XVI se planteó entre los altos oficiales de la artillería y el gobierno la conveniencia de evitar la con-

---

[178] En el Museo del Ejército de Madrid se conservan varias piezas de calibre de 14 libras fundidas por el maestro Loeffler en Alemania en 1542.

[179] AGMM. Colección Aparici. Tomo XLVI, 1-13-14. Informe de 28 de julio de 1614.

[180] AGI. Filipinas, 36, N 40. Como ejemplo, tenemos un documento del 18 de septiembre de 1608 en el que se discute la conveniencia de instalar una fundición en Filipinas. Se trata de la respuesta del coronel Fernando de los Ríos, procurador de Filipinas, a una petición de la Junta de Guerra. El coronel estaba encargado de buscar un fundidor y dos polvoristas para la fundición de Manila. En su respuesta dice que "sólo se ha encontrado un polvorista, Antonio Pérez, chino y vecino de Manila", y pregunta a la Junta de Guerra si ser chino es un impedimento, puesto que en ese caso buscará otros empleados.

tratación de fundidores extranjeros y potenciar la formación de maestros españoles. La necesidad de disponer de técnicos en artillería, tanto en el aspecto de manejo de las piezas, calibración, pruebas de calidad, etc., como en el conocimiento de los métodos de fundición, llevó a la Corona a crear una Escuela de Artillería. En una Real Cédula de 1576, se autorizó a Andrés de Espinosa, artillero mayor de la "armada que guarda la carrera y costas de las Indias", para que pudiera establecer en Sevilla un campo de pruebas donde practicar y enseñar su oficio a personas del país[181] .

Las técnicas de fundición variaron muy poco hasta la segunda mitad del siglo XVIII. La fundición en hueco se mantuvo con pocos cambios hasta 1767. Sin embargo, hacia 1749 se empezaron a construir cañones "aligerados". En efecto, desde enero de ese año y bajo la dirección del director de la fundición de Sevilla, Miguel Tortosa, se hicieron experimentos consistentes en construir moldes y ánimas con diámetros menores de los convencionales para cada calibre, eliminando cinco o seis líneas durante la fundición. Posteriormente, durante el barrenado se restituía el calibre ordinario, de modo que se conseguía un peso menor en la pieza al tener menos bronce. Para mantener la resistencia de la pieza, también se rebajó el porcentaje de estaño en la aleación del bronce pasando a un 8 % desde valores anteriores que habían llegado hasta el 16%. El bronce así obtenido era menos duro pero más resistente[182]. Se fundieron cuatro cañones según la "nueva idea" y después de barrenarlos se probaron el 26 de noviembre de 1752, superando todas las pruebas ante los seis oficiales que las juzgaron y declarándose aptos para el servicio[183].

A partir de 1757, se ensayará lo que sería el cambio más importante en las técnicas de fundición. Se trataba de la fundición en só-

---

[181] AGI. Indiferente, 1968, L.21, f3. Real Cédula de 20 de febrero de 1576.
[182] AGS. GM, leg. 733. Correspondencia del director de la fundición de Sevilla y el marqués de la Ensenada. 22 de marzo y 12 de agosto de 1749.
[183] Ibídem. 26 de noviembre de 1752.

lido, técnica que se consolidaría con la llegada a la Fundición de Jean Maritz en 1767. El proyecto de traer al fundidor suizo Jean Maritz a las fundiciones de Barcelona y Sevilla se remonta a los intentos realizados por el marqués de la Ensenada entre 1749 y 1752, de acuerdo con su política de importación de especialistas extranjeros para modernizar las tecnologías y las ciencias aplicadas en España. En esos años llegaron a España noticias de los nuevos métodos de la fundición en sólido, técnica en las que Jean Maritz era un experto. El marqués de la Ensenada, a través de Jorge Juan y Antonio de Ulloa, tuvo noticias de las nuevas técnicas y ordenó que se siguiera investigando en ese campo. Así, en 1751, Ulloa informó a Ensenada que había visto en La Haya una máquina de barrenar en sólido igual a la utilizada por Maritz en París[184]. Después de la caída del ministro continuaron las labores de información de los españoles en Europa. Por fin, en 1757, se ensayaron en la fábrica de Sevilla los nuevos métodos gracias a la presencia en la ciudad de un grupo de fundidores emigrados de Francia encabezados por Juan Drouet, aunque al menos tres de los cañones fundidos por los franceses fueron reprobados en las pruebas de fuego, de modo que la nueva técnica no llegó a implantarse por el momento[185]. Con la llegada de Maritz a Sevilla en 1767 el nuevo método se utilizó de nuevo, y su uso se implantó definitivamente en los años siguientes, aunque el debate sobre las dos técnicas de fundición resurgió de forma intermitente hasta finales del siglo XVIII.

Con el nuevo procedimiento el cañón se fundía en una pieza maciza y posteriormente se procedía a perforar el ánima por medio de un barrenado horizontal de los tubos, haciéndolos rotar contra un taladro fijo. La fundición en sólido requería una cantidad de

---

[184] Paredes Salido, F. "La reforma de la metalurgia española en el siglo XVIII tras el viaje de D. Antonio de Ulloa y D. Jorge Juan a la América Meridional", *Temas de Historia Militar*, Madrid (1988), pp 71-83.
[185] AFAS. Caja 165. Expediente de prueba de fuego.

bronce muy superior a la empleada con la técnica en hueco, pero el exceso de metal se recuperaba con el barrenado y se reutilizaba después en las siguientes fundiciones. Esta nueva técnica resolvió algunos de los inconvenientes del anterior método de fundición en hueco, especialmente la dificultad de ese método para conseguir un ánima perfectamente concéntrica y, por tanto, evitar la consiguiente disminución de la precisión del disparo y el aumento del roce de la bala en la superficie interna. Otra ventaja, según algunos teóricos, era la disminución de senos y escarabajos en las piezas, ya que en la fundición en hueco, al ser necesaria la colocación del "alma" para dejar libre el espacio interior del cañón, se desprendían chispas y gotas de bronce fundido que provocaban desconchaduras de fragmentos del "alma" que, mezcladas con el metal que descendía por las toberas a los moldes, se adhería a éstos provocando una distribución del metal desigual en la pieza[186].

Sin embargo, el nuevo método tampoco fue completamente satisfactorio pues las piezas resultaban, en algunos casos, algo más frágiles que las fundidas con las técnicas antiguas, al menos para las exigentes pruebas de fuego a que se sometían los cañones en la fábrica sevillana. Asimismo, en las piezas fundidas en hierro colado en La Cavada se produjeron múltiples fallos al utilizar esta técnica hacia 1777. En 1796, se ordenó al director de la Fundición de Sevilla, Tomás de Reina, que se fundiera de nuevo con la técnica en "hueco", al menos los morteros, pues "Sevilla, es la única fundición de Europa en la que se funden en sólido los morteros". Una vez más, se intentaron aplicar los estudios y análisis realizados en Sego-

[186] AGS. GM, leg 732. Entre 1751 y 1752, aparecen varios " Discursos sobre los modos de fundir y barrenar los cañones de artillería". Son informes de expertos dirigidos al director de la Fundición de Sevilla y del propio director, Juan Manuel de Porres, sobre las ventajas e inconvenientes de los dos métodos. Asimismo, se polemiza sobre los distintos diseños de barrenas y la posición más adecuada de los cañones para su perforación.

via, pues se aducen las razones aportadas por el gran especialista en metalurgia y artillería Tomás de Morla, quien no era excesivamente partidario de la fundición "en solido":

"*la fundición en hueco, incluso los más enemigos de ella, solo le atribuyen dos defectos, uno es el ladeo de las animas y otro los escarabajos, pero los morteros carecen del primer defecto (…) el celebre fundidor Berenguer dice que es imposible fundir morteros de mucha resistencia de otro modo. También se ahorra metal y no se ocupan tanto las barrenas. Basta la mezcla de 8% de estaño, pues a más estaño más duro es el bronce pero menos tenaz y resistente*"[187].

Por otra parte, según el artillero, las piezas fundidas en "sólido" tienen menor dureza en sus ánimas y en consecuencia los proyectiles al ser disparados golpean con más fuerza las paredes de dicha ánima deteriorando el cañón con más rapidez. Esta afirmación la sostiene con argumentos físicos sobre la influencia de los diferentes grados de enfriamiento de la pieza durante la solidificación de la misma en los moldes y sus efectos finales en el proceso. Sin embargo, reconoce que faltan pruebas y experimentos comparativos entre los dos sistemas para una conclusión definitiva sobre la cuestión.[188]

A pesar de estas recomendaciones, los cañones se siguieron fundiendo en sólido, y en cuanto a los morteros, no sabemos con exactitud los que se fundieron en hueco a partir de 1796. La relaciones de piezas fundidas en esta época no especifican el tipo de técnica, aunque suponemos que debieron ser pocos o ninguno. En primer lugar, porque las fundiciones se llevaban varios años trabajando con el nuevo sistema "en sólido" y sus instalaciones estaban adaptadas a

---

[187] AFAS. Caja 188. Documento de 18 de marzo de 1796, en que Tomás de Reina acusa recibo de las órdenes del conde de Colomera expresando la necesidad y las ventajas de la fundición en hueco. En el documento se reproducen los comentarios de Morla como argumentos para mantener la antigua técnica.

[188] Morla, T. Tratado de Artillería…, T I, p. 259-261.

esa técnica. En segundo lugar, porque desde la última década del Setecientos se estaban sustituyendo los morteros por los obuses, que sí se fundían en sólido. En cualquier caso, la fundición en sólido se había generalizado para todos los tipos de piezas a principios del siglo XIX[189]. La relación de Tomás de Morla con la Fundición muestra una vez más la vocación científica de la fábrica sevillana y su interés por la experimentación. En 1785, por mediación del conde de Lacy, se enviaron a Segovia planos de máquinas y cañones para el tratado de artillería que preparaba Morla en el Colegio de dicha ciudad[190]. Dos años después se diseñaron nuevos modelos de morteros: se trataba de morteros aplacados que tenían algunas diferencias con los fundidos hasta entonces para la Marina. El ministro Valdés se mostró muy interesado con las nuevas piezas que se estaban fundiendo en Sevilla y en los experimentos para determinar el alcance de dichos morteros. También comenzó en los años ochenta la fabricación de obuses para la Marina[191].

Las características generales y el funcionamiento de los grandes hornos de fundición construidos por Maritz y utilizados en Sevilla fueron descritos por Tomás de Morla en su *Tratado de Artillería* de 1784[192]. El principio de funcionamiento era el de un horno de reverbero adaptado a las grandes cantidades de metales que se utilizaban y diseñado para conseguir la mayor calidad y homogeneidad en toda la masa de bronce. Morla, muy preocupado por los procesos físico-químicos que se desarrollan en el horno, justifica la disposición y forma de las distintas partes del mismo en función de la circulación del aire y del mantenimiento de una temperatura lo más

---

[189] AFAS. Caja 485. Relación de obra hecha en 1827. En esta relación figuran fundidos en sólido toda clase de piezas, incluidos algunos morteros.
[190] AFAS. Caja 192. Petición del conde de Lacy al director de la Fundición el 25 de enero de 1785.
[191] AFAS. Caja 195. 21 de diciembre de 1787.
[192] Morla, T. *Tratado*… , pp 200-207.

constante posible que afectara por igual a toda la masa de bronce. El laboratorio del horno donde se fundía el bronce era la caldera. Ésta era circular con una bóveda elíptica. La base estaba inclinada en dirección a la tobera para facilitar el deslizamiento del metal fundido hacia la misma; en los costados había dos puertas de hierro para introducir los metales, y a los lados de las puertas había seis respiraderos con planchas de hierro que se podían abrir y cerrar para facilitar la circulación del aire. En lo más bajo de la parte anterior estaba la tobera en forma de cono truncado. La caldera estaba bastante elevada sobre el nivel del suelo para poder colocar debajo y verticalmente los moldes de los cañones en la fosa, de modo que las bocas de sus mazarotas quedaran a la altura de la tobera de la caldera por donde salía el metal fundido. Asimismo, esta elevación permitía evitar que la humedad del terreno afectara a la mezcla.

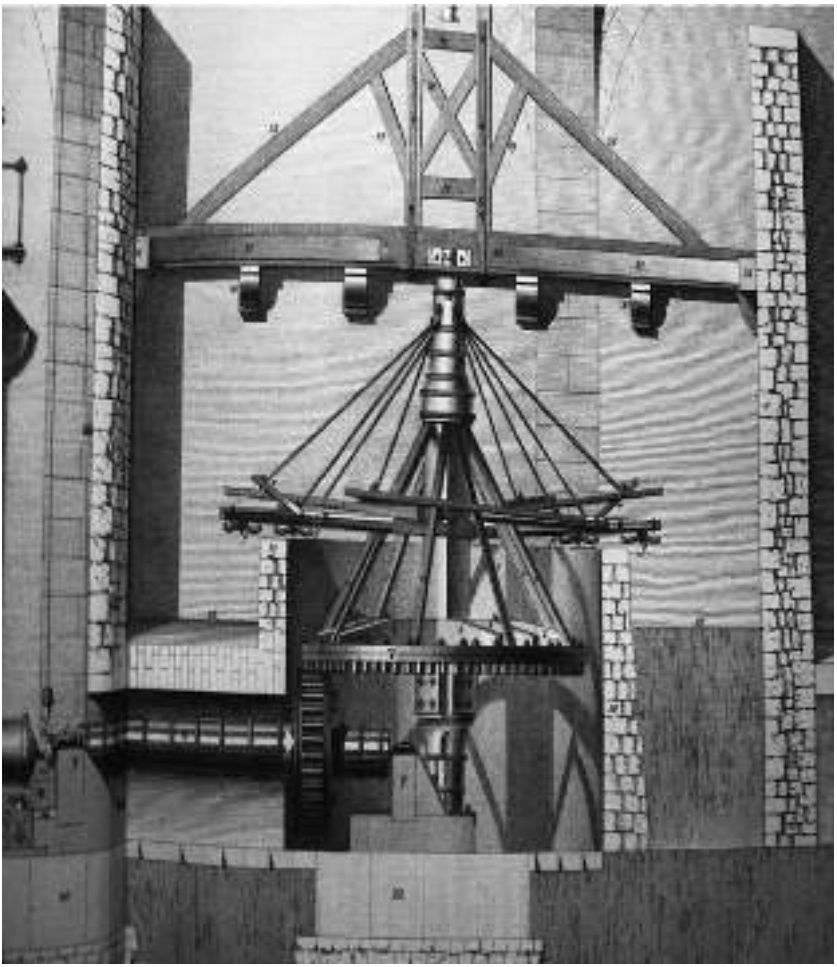
Debajo de la caldera estaba el hogar donde se colocaba el combustible y se producía el fuego; la parte superior de esta parte del horno era el llamado altar o meseta del mismo, disponía de unas ranuras para echar la leña. En la parte inferior había una parrilla, de fuertes barras de hierro donde se colocaban las brasas. La parte más baja del horno era el cenicero, situado bajo el hogar, estaba en la parte opuesta a la tobera y detrás de la caldera, era un hueco cuadrangular con dos ventanas. En el segundo cuerpo del horno, por encima de la caldera, no había nada especial salvo una canal para echar la leña y los respiraderos. Por último, sobre este segundo cuerpo se abría la chimenea. Las dimensiones del horno eran de 7 a 9 metros de altura, sin contar la chimenea, y el horno estaba unos 3 metros elevado sobre el suelo.

El horno se cargaba por las puertas de la caldera con la ayuda de un cabriolé, tras haber cerrado el orificio de la tobera. La carga del horno se hacía con una mezcla de metales nuevos y bronces procedentes de restos de fundiciones anteriores. Según Morla, se utilizaban cuatro clases de bronce en función de su procedencia. El primer tipo estaba constituido por bronces producidos previamente

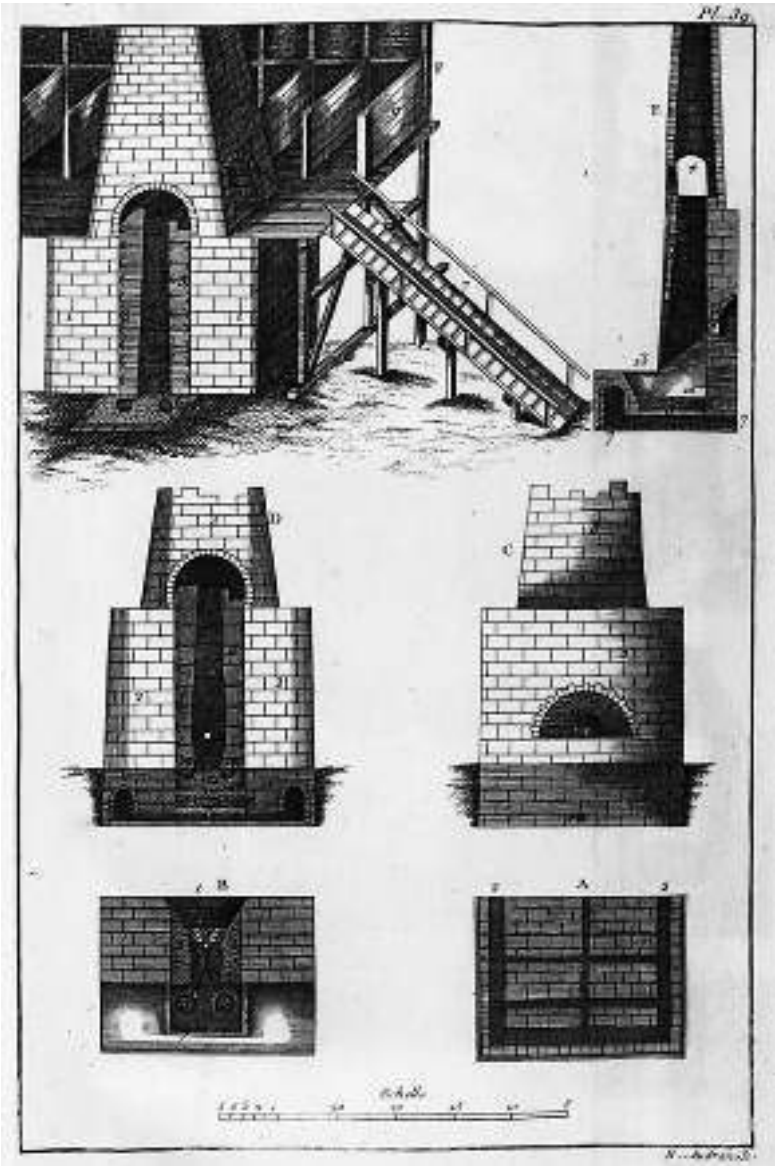
en torales grandes[193] en un horno pequeño de 160 quintales, según las siguientes proporciones: cuatro partes de torales pequeños de bronce, resultado de la afinación y aleación de cobre roseta y estaño al 11%, y tres partes de restos de bronce procedentes de los bebederos, canales y virutas de anteriores fundiciones. Un segundo tipo de bronces eran los procedentes de mazarotas de anteriores piezas. El tercer tipo de bronce se habría obtenido con cobre de México. Y el cuarto, con cobre de Lima, estos dos últimos afinados y ligados en copela. Las proporciones serían las siguientes: para diez partes de bronce del primer tipo, ocho partes del segundo, cinco del tercero y tres del cuarto. Así, para fundir cuatro piezas de calibre de a 24 libras, se necesitarían en total 530 quintales de bronce incluyendo las mermas[194]. Los fragmentos de mazarotas y los torales grandes se colocaban debajo y los pequeños encima, todos a lo largo del espacio entre el altar y la tobera, para que el fuego se repartiera mejor.

---

[193] Fragmentos de metal de peso variable, entre 10 y 20 Kg.
[194] Morla, T. *Tratado*…, pp 210-216.



Fuente: Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Morla, T, *Tratado,* Láminas. Barrena horizontal.



Fuente: Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Schluter. *De la fonte*…Horno de fundición.

La mezcla de metales con que se cargaban los hornos experimentó variaciones a partir de 1786 por decisión del conde de Lacy a propuesta del conde de Lerena. En efecto, dado que el bronce nuevo, obtenido a partir de cobre y estaño utilizado por primera vez, escaseaba, era preciso utilizar bronces viejos procedentes de restos de fundiciones anteriores. Así, se propuso una fórmula consistente en mezclar 17.000 libras de las mazarotas[195] , canales y pedazos; 7000 lb. en cortaduras; 26.000 lb. de bronce nuevo de copela y 2000 lb. en metales procedentes de las escorias, tierras, etc. para un total de 52.000 lb. Esta cantidad de bronce fue utilizada en la fundición de cuatro cañones de a 24 libras. Se trataba de ahorrar bronce nuevo y el resultado parecía similar al conseguido con la fórmula antigua utilizada por Maritz en los años setenta: bronce de mazarotas y de canal, 16.000 lb.; de restos de cortaduras y de canales de bronces nuevos, 20.000 lb.; de bronces nuevos hechos en copelas, 16.000 lb, para un total de 52.000 libras. De este modo, la menor cantidad de metal nuevo empleado quedaba compensada con más cantidad de metal que no se refundía, evitando así un excesivo reciclaje de mismo bronce. Parece que el experimento dio buen resultado, consiguiéndose el ahorro de metal nuevo sin disminuir la calidad de los cañones[196] .

Antes de dar fuego al horno se situaban los moldes en las fosas debajo de la caldera, como se ha explicado anteriormente. Una vez colocados los moldes, se llenaba la fosa con tierra, apisonándola bien, hasta llegar a la boca de los mismos; entonces se le unían las mazarotas trabándolas con alambres y se continuaba llenando la fosa hasta quedar todo dispuesto para formar el canal por el que circularía el bronce fundido que salía de la tobera del horno. El canal discurría

---

[195] La mazarota era la masa de bronce que debía cubrir y sobrepasar la longitud del cañón con objeto de tapar completamente el molde y aislar la pieza del aire consiguiendo un enfriamiento más homogéneo en toda la pieza. La cantidad de bronce que constituía la mazarota era considerable.

[196] AFAS. Caja 195. 14 de agosto de 1786. Correspondencia del Director.

entre los moldes, puesto que normalmente se fundía suficiente bronce para fabricar cuatro o más piezas a la vez. La construcción del canal se hacía con ladrillos. Los moldes se colocaban en la fosa de dos en dos frente a la tobera, de modo que sus recipientes estuviesen distantes el ancho de la canal: ésta se construía con ladrillos revocados con barro común, tenía un ancho 6 o 7 pulgadas y 9 o 10 de alto. El diseño del mismo y las compuertas que regulaban el flujo del bronce se cuidaba mucho para mantener las mismas condiciones de temperatura en todo el recorrido. Una vez cargado el horno y dispuestos los moldes se encendía el horno. Normalmente se utilizaba leña de pino y, a veces, pequeñas cantidades de leña de encina pues, según algunos fundidores, ésta última aceleraba la fusión de la mezcla. La documentación de la época precisa con gran detalle las características de la leña: debía ser poco resinosa, estar bien seca, los fragmentos debían tener unas dimensiones adecuadas, etc.Y así se especificaba en los asientos y condiciones de las subastas para adquirirla. En la última década del siglo, se utilizó también carbón mineral y cok, aunque el uso de estos combustibles no se generalizaría hasta bien entrado el siglo XIX.

La duración del proceso de fusión oscilaba entre 8 y 12 horas seguidas en función de la carga del horno. El número de fundiciones mensuales era variable; lo habitual eran dos o tres sesiones al mes en los años setenta y primeros ochenta, cuando la producción era menor que al final del siglo. Una vez fundido, se abría la tobera y el metal discurría por los canales hasta verterse en los moldes. La cantidad de metal utilizado en cada cañón era superior al peso final del mismo, independientemente de que la fundición fuera en hueco o en sólido, ya que el bronce debía cubrir y sobrepasar la longitud del cañón con objeto de tapar completamente el molde y aislar la pieza del aire, consiguiendo un enfriamiento más homogéneo en toda la pieza. Así pues, después de la fundición, una vez enfriada, la pieza era trasladada a unas dependencias anexas donde la mazarota se cortaba por obreros especializados, con maquinas parecidas a las de ba-

rrenar, pero más pequeñas. Este trabajo requería un gran esfuerzo físico a juzgar por algunos comentarios de los sobrestantes y los encargados de los talleres[197]. El bronce de las mazarotas, así como el que quedaba solidificado en los canales por los que discurría el metal fundido, se aprovechaba en nuevas fundiciones y constituía un porcentaje importante del total de metal utilizado en la fábrica. Del mismo modo, también se aprovechaban las virutas y cortaduras de bronce procedentes del barrenado y pulimento de los cañones y, en menor medida, el metal procedente del lavado de las tierras y barros utilizados en los moldes.

[197] AFAS. Caja 480. Trabajos realizados en la fábrica. 31 de enero de 1799.

CONCLUSIONES

Esta obra se enmarca en el campo de investigación de la historia de la ciencia en el siglo XVIII y, especialmente, de las instituciones militares dedicadas a la enseñanza y a la investigación científica como fue el Real Colegio de Artillería de Segovia. Esta institución fue un centro de difusión de la ciencia experimental en España de primer orden, teniendo en cuenta la pobre oferta científica que ofrecían las universidades españolas a mediados del Setecientos. Las Academias y Escuelas militares se convirtieron en las principales divulgadoras de las nuevas teorías en física, química, botánica, mineralogía y medicina que ya circulaban por Europa. La Academia de Guardias Marinas en Cádiz, la de Matemáticas de Barcelona, las Escuelas de Artillería de Cádiz y Barcelona, el Colegio de Cirugía de Cádiz y el Real Colegio de Artillería de Segovia y, posteriormente, su Laboratorio de Química fueron los principales centros de formación de la oficialidad que necesitaban los monarcas ilustrados para sus planes de reforma, consiguiendo una mayor eficacia del Ejército y de la Marina. La nueva estructura orgánica dada al Cuerpo de Artillería, iniciada por Felipe V y culminada por Carlos III, incluyó la creación del cargo de Inspector General de dicho Cuerpo a comienzos de los años treinta. Para este nuevo empleo se designó al conde de Mariani, un militar con una alta cualificación en técnicas metalúrgicas y buenos conocimientos en la tipología y fabricación de cañones y morteros. Es decir, se iniciaba la evolución a la alta especialización de la Artillería, arma que tendría cada vez

más importancia en las contiendas militares del siglo XVIII. Su sucesor, en los años sesenta, el conde de Gazzola culminaría ese propósito con la fundación del Real Colegio de Segovia en 1764.

La Corona también impulsó la creación de instituciones civiles que jugaron un importante papel en la difusión de la ciencia en España. Son algunos ejemplos de ellas el Gabinete de Historia Natural, el Real Jardín Botánico de Madrid, la Real Escuela de Mineralogía de México, la Cátedra de Química de Vergara y el Colegio de Cirugía de San Carlos de Madrid. Sin embargo, también en estas instituciones profesaron algunos militares ilustrados, de modo que podemos afirmar que la enseñanza y la práctica de la ciencia, sobre todo aplicada, en España durante el siglo XVIII, estuvo estrechamente ligada al estamento militar. En torno a las Sociedades de Amigos del País, especialmente la Bascongada, también se agruparon personajes interesados en la ciencia aplicada y sus miembros promocionaron los debates científicos por toda la nación.

En buena parte, la difusión de las nuevas teorías se debió a la estancia en las instituciones científicas de la Corona de científicos extranjeros que transmitieron a los ilustrados españoles la ciencia europea. Asimismo, las expediciones científicas propiciadas por la monarquía y realizadas por la Marina contribuyeron a aumentar el acervo de la ciencia española, sobre todo en la mineralogía y la botánica. El envío de oficiales españoles al extranjero en misiones de espionaje industrial y científico o de aprendizaje de nuevas técnicas y conocimientos, también logró formar un reducido pero eficaz grupo de personajes que sentaron las bases para el desarrollo de la ciencia en España.

Aunque la historiografía española sobre la ciencia en nuestro país ha generado una abundante bibliografía sobre las instituciones mencionadas, nuestra obra muestra con detalle el contenido de las enseñanzas en química, metalurgia y mineralogía que se llevaron a cabo en la Academia de Artillería a través del análisis de los programas de la asignatura de Táctica, que comprendía conceptos de quí-

mica aplicada y metalurgia entre otros. Asimismo, hemos analizado los experimentos realizados por Louis Proust en el Real Laboratorio de Química, ensayos que tuvieron una aplicación posterior en las Reales Fundiciones de Artillería de bronce mejorando las labores de producción realizadas hasta entonces por los maestros fundidores sin formación teórica.

El Real Colegio de Artillería de Segovia comenzó su actividad en el mes de mayo de 1764 con una organización similar a las Escuelas de Matemáticas de Cádiz y Barcelona que habían funcionado en los años cincuenta. El equipo docente estaba formado inicialmente por tres profesores principales a los que después se añadiría un cuarto titular para la clase de Táctica y algunos ayudantes cuando se desdoblaban ciertas clases. A partir de 1768, los cadetes fueron distribuidos en cuatro niveles que comprendían desde un nivel elemental o clase preparatoria para los alumnos más jóvenes, en torno a trece o catorce años, seguidas de una tercera y segunda clase hasta los cadetes de la clase primera que eran los del último curso y a cuyo término podían graduarse como subtenientes. Por tanto, la estancia en el Colegio duraba un mínimo de cuatro años, aunque con el paso del tiempo y la mayor complejidad de las enseñanzas se podía prolongar hasta cinco años.

El Real Colegio conservaba en su Biblioteca un rico fondo bibliográfico representativo de las ciencias experimentales del siglo XVIII de más de 2500 volúmenes hacia 1794. El análisis de algunos tratados dieciochescos muestra que se trataba de obras fundamentales de los grandes sabios que formularon los principios de la química y la mineralogía modernas. Por la cantidad de ejemplares y por la calidad de los mismos podemos afirmar que se trataba de una de las bibliotecas científicas más importantes de su época en España. Esas obras estuvieron a disposición de los profesores del Colegio y probablemente fueron la principal base de su formación, transmitiéndola después a los futuros oficiales del ejército. Por tanto, en Segovia se enseñaba una ciencia actualizada y acorde con la química

y la metalurgia que se difundía por Europa. Esta hipótesis se confirma al analizar los programas impartidos en las diferentes asignaturas del plan de estudios.

La asignatura más importante eran las matemáticas que se impartían en todos los cursos. Los contenidos curriculares de la asignatura indica que los alumnos recibían una enseñanza teórica rigurosa y actualizada, con el aprendizaje en el último curso del cálculo diferencial e integral y de la topología. Uno de los profesores de matemáticas más prestigiosos del Colegio fue Pedro Giannini quien a partir de 1784 publicó el que sería el texto de referencia para el estudio de la materia: *el Curso de Matemáticas para la enseñanza de los caballeros cadetes del Real Colegio Militar de Artillería*. La obra recogía las aportaciones hechas por los matemáticos y físicos de los siglos XVII y XVIII: Newton, Fermat, Eulero, Belidor, Cramer, etc. de cuyas obras existían ejemplares en la Biblioteca del Colegio. Asimismo, Giannini impartió algunos años la asignatura de Mecánica Racional con la que se proporcionaba a los cadetes los conceptos de física necesarios para la práctica artillera. Conocer, describir y calcular los parámetros esenciales de esa mecánica como la velocidad, aceleración, distancias recorridas, rozamientos, energías cinéticas y potenciales, así como el resultado del choque de los cuerpos y sus deformaciones; sería de gran utilidad a los futuros oficiales de la Artillería para los que el disparo de un cañón había dejado de ser una práctica puramente empírica con resultados deficientes para adquirir una precisión científica y una mayor eficacia en la guerra.

Hacia las últimas décadas del siglo XVIII, la química europea había acumulado una gran cantidad de datos experimentales a los que era necesario reunir en teorías unificadoras de los mismos. Esas hipótesis, fundamentales para la química actual, se empezaron a formular en los años setenta, sobre todo a partir de los trabajos de Lavoisier, Moerveau, y otros. Sin embargo, no se generalizarían ni aceptarían hasta el final de la centuria. La implantación de la química moderna fue más tardía en España que en el resto de Europa. En primer lugar,

porque los grandes descubrimientos y teorías se hicieron en Francia, Inglaterra, Alemania y Suecia. No existió propiamente una química española hasta bien entrado el siglo XIX, aunque desde mediados del Setecientos se habían hecho algunos experimentos aislados o descubrimientos como fue el caso del wolframio por Fausto Elhuyar o el platino por Antonio de Ulloa. Sin embargo, la química posterior a Lavoisier se empezó a divulgar en el último cuarto de la centuria gracias a instituciones como la ya mencionada Cátedra de Vergara, a partir de 1777, o los estudios de química aplicados a la medicina que complementaban los cursos de las escuelas de cirugía, o los desarrollados en los jardines botánicos. Pero sería en el Real Laboratorio de Segovia, a partir de 1792, cuando se incorporaría de modo sistemático la enseñanza de la nueva química en los planes de estudio del Real Colegio, así como la práctica experimental. Químicos franceses como Chabaneau o Proust, naturalistas españoles como Gutiérrez Bueno o Casimiro Ortega, militares como Tomás de Morla o Juan Manuel Munárriz fueron algunos representantes de esa minoría ilustrada que trabajaron en España contribuyendo a su puesta al día en el terreno científico. En segundo lugar, hasta mediados de los años ochenta no comenzaron a traducirse al castellano los originales franceses o alemanes, lo que sin duda dificultó la extensión de los nuevos conocimientos a públicos más amplios. La labor más destacable de los ilustrados españoles en la difusión de la ciencia fue precisamente la traducción que algunos de ellos hicieron de las grandes obras de los químicos y naturalistas europeos, además de la enseñanza de las nuevas ideas en las instituciones antes mencionadas.

La enseñanza de la química en los primeros años de actividad en el Real Colegio se reducía a unos pocos conceptos dentro de la asignatura de Táctica orientados a la eficacia de la práctica artillera. Esta materia, impartida inicialmente por Vicente de los Ríos, comprendía algunos conceptos de química aplicada a la obtención y las propiedades de los componentes de la pólvora, así como a los métodos para mezclarlos para conseguir la máxima eficacia del explosivo. También

contenía conocimientos de metalurgia, especialmente los referentes al hierro y al acero. La asignatura se complementaba con técnicas de fortificación y arquitectura militar. A partir de 1784, con la publicación del primer tomo del *Tratado de Artillería* de Tomás de Morla, que sustituyó a De los Ríos como profesor de la asignatura, se amplió ampliar el contenido de química en la clase de Táctica añadiendo conocimientos sobre yacimientos minerales, métodos metalúrgicos para la purificación del cobre, el estaño y el hierro, así como técnicas de obtención del bronce o métodos de fundición del mismo para fabricar piezas de artillería. El *Tratado* se convirtió en el texto canónico para la enseñanza de los cadetes y futuros oficiales.

En 1792 se iniciaron en la Academia de Artillería de Segovia las clases de química impartidas por Proust en el Real Laboratorio de Chimia creado a tal efecto. Es a partir de esta fecha cuando se puede hablar de la enseñanza de una química fundamentada en teorías modernas en España, pues aunque el químico francés ya había impartido cursos en Vergara en 1777, en esos años todavía no se habían extendido ni aceptado completamente los nuevos paradigmas sobre los elementos químicos y el mecanismo de sus reacciones para formar compuestos. Aunque estos cursos estaban dirigidos a perfeccionar la práctica de los oficiales de artillería que habían completado los estudios reglados de la Academia, las clases de Proust eran abiertas a personajes ilustrados que sentían curiosidad por la nueva ciencia. A partir de ese año podemos hablar de la realización de una importante investigación experimental en España original y propia, ya que ésta se llevó a cabo en el Real Laboratorio de Segovia. En efecto, el químico francés realizó numerosos ensayos en la Academia segoviana empleando protocolos experimentales rigurosos y obteniendo algunos resultados notables, entre ellos la demostración definitiva de la ley de las proporciones definidas de los elementos químicos para formar compuestos.

Aunque el autor de los descubrimientos fuera un químico extranjero, podemos afirmar que los logros obtenidos fueron españo-

les, pues la puesta en marcha del Real Laboratorio se debió a la iniciativa del inspector de la Artillería, conde de Lacy, y a las autoridades españolas del gobierno central. Asimismo, la financiación, construcción, materiales y puesta a punto del establecimiento fue española en todo momento, si bien es verdad que con los retrasos y dificultades habituales en los proyectos gubernamentales. Sin embargo, las investigaciones de Proust no tuvieron continuidad en la creación de una escuela de científicos españoles que efectuaran una aportación original e importante a la química europea. No obstante, algunos de sus discípulos fueron después excelentes divulgadores en España de la química moderna, ejerciendo la docencia en universidades e instituciones científicas. Es el caso de Juan Manuel Munárriz que tradujo el Tratado de Lavoisier y continuó la labor de Proust en una etapa posterior del Colegio. Otros oficiales de artillería, antiguos alumnos de la Academia, como César González o Tomás de Morla, serían destinados a las reales fábricas de fundición de cañones, aplicando en ellas los conocimientos adquiridos y mejorando el proceso de producción de los mismos.

La práctica y enseñanza de la química en España estuvo siempre unida a la mineralogía con el objetivo mejorar la extracción de metales de las menas minerales. Las industrias de armamento de la monarquía fueron las principales interesadas en mejorar los procesos de afinamiento y aleación de los metales para obtener las materias primas con las que fabricar los cañones y morteros que defendieran las posesiones de la Corona. Durante el siglo XVIII existieron en España dos grande fábricas de producción de cañones de bronce: las fundiciones de Sevilla y de Barcelona. La primera, ya funcionaba desde finales del Quinientos y mantuvo su actividad hasta el siglo XX. La segunda, puesta en marcha después de la Guerra de Sucesión cesó su actividad a principios del siglo XIX. En ambos establecimientos, el cobre utilizado procedía fundamentalmente de las Indias, de México y Perú, aunque también se empleó el cobre de Riotinto en las últimas décadas del Setecientos. El estaño se com-

praba a comerciantes que lo traían de Inglaterra, aunque algunas pequeñas partidas se extraían en los yacimientos americanos. En las fundiciones españolas se beneficiaba y afinaba el metal para luego mezclarlo y así obtener el bronce para la fabricación de los cañones.

Los métodos de purificación del cobre experimentaron pocas variaciones durante la primera mitad del siglo XVIII, ya que se basaban en prácticas ancestrales de los maestros fundidores. Sin embargo, hacia el final de la centuria se abrió un intenso debate no tanto en la secuencia de las etapas del proceso, sino en la duración o características de las mismas: horas de fuego, temperatura de los hornos, volumen de aire insuflado en los mismos, tipo de combustible, etc. En estas discusiones, el Laboratorio de Segovia jugó un destacado papel, pues a ese gabinete se enviaron desde las reales fundiciones, y se analizaron en él, muestras de minerales procedentes de Indias y de Riotinto para determinar su calidad, y se cuantificaron los porcentajes de cobre e impurezas que contenían. Es decir, se profundizó en el conocimiento de la naturaleza química de los minerales y, por tanto, se pudo dar un fundamento teórico al proceso de afinamiento del metal y certificar así la bondad de los mismos, asunto que había sido objeto de polémica entre los artesanos, maestros y autoridades que operaban en las fábricas. Asimismo, desde el Laboratorio, se propusieron algunas modificaciones en dicho proceso para mejorar la pureza del metal obtenido y disminuir la merma ocasionada durante la afinación del mismo, con el consiguiente ahorro para la Hacienda. También se experimentó con las proporciones de cobre y estaño que debían utilizarse para producir el bronce. Este tema, objeto de debate durante años, quedó establecido definitivamente en un 11% de estaño para añadir al cobre después de los ensayos llevados a cabo en Segovia. El nuevo porcentaje mejoró la dureza y resistencia de los cañones que salieron de Sevilla y Barcelona a finales del siglo XVIII.

Por otra parte, la Academia de Artillería también contribuyó a la mejora de las labores de producción de las fábricas artilleras, con la

formación en química y metalurgia de algunos afinadores y maestros fundidores de las reales fundiciones que fueron enviados a Segovia para aprender las nuevas teorías. Se trataba de paliar la ignorancia teórica que estos técnicos tenían de las labores que de modo empirista habían realizado durante años. Estos hombres volverían a sus establecimientos más tarde aplicando allí las nuevas teorías.

En cuanto a los métodos de fundición del bronce para verter en los moldes de las piezas, también se hicieron en el Colegio y su Laboratorio ensayos comparativos de la calidad entre piezas fundidas según el viejo método "en hueco", es decir dejando en el molde el espacio del ánima del cañón, con el nuevo procedimiento "en sólido", o fundiendo la pieza sin ánima y abriéndola posteriormente con la barrena. Los resultados parecían sugerir la bondad del nuevo método, y, a pesar de algunas objeciones, el nuevo procedimiento se mantendría durante casi todo el siglo XIX hasta la sustitución del bronce por el acero y de los cañones de avancarga por los de retrocarga. Por otra parte, las variables físico-químicas que operaban en los grandes hornos de fundición, así como el combustible utilizado, carbón vegetal o mineral, fueron objeto de estudio en el establecimiento segoviano. Se constató la bondad del carbón mineral y la mayor economía que acabaría representado.

Finalmente, podemos afirmar que el Real Colegio de Artillería de Segovia fue una de las instituciones científicas españolas más importantes del siglo XVIII. En sus dependencias se formaron varias generaciones de oficiales de artillería que contribuirían al desarrollo y divulgación de la metalurgia, la química y la mineralogía en otras instituciones científicas españolas, bien a través de la enseñanza o por medio de las traducciones al castellano que realizaron de las obras de los principales sabios europeos. Asimismo, la aplicación de esas disciplinas a las labores realizadas en las reales fundiciones españolas de cañones, explosivos y armamento en general, fue posible gracias a la incorporación a las mismas de ilustres artilleros salidos del Real Colegio y que algunos casos las dirigieron. En dichas fábricas, se sus-

tituyeron antiguas técnicas artesanales por prácticas más fundamentadas en las modernas ciencias experimentales, mejorando la calidad de las piezas que servirían para la defensa de la Monarquía a finales del Setecientos. Por otra parte, en el Real Laboratorio de Química de dicho Colegio se realizaron algunos experimentos que fueron claves para el desarrollo de la química actual, gracias a las investigaciones de Louis Proust. La extraordinaria biblioteca científica de la Academia atesoró las obras más importantes de finales del Setecientos y fue una fuente de conocimientos fundamental para la enseñanza de los cadetes y la formación de los profesores. Esta biblioteca, que se ha seguido ampliando desde el siglo XIX hasta nuestros días, es sin duda uno de las más completas España en su especialidad. Por todo ello, la Academia de Artillería de Segovia y su Real Colegio ocupan un lugar destacado en la historia de la ciencia española.

FUENTES DOCUMENTALES Y BIBLIOGRAFÍA

FUENTES DOCUMENTALES

Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia. Fondo antiguo

Manuscritos

Actas del Colegio (1764-1784).

Catálogo de la Biblioteca de Artillería de Segovia de 1790.

Catálogo de minerales, rocas y fósiles de la Academia de Artillería. Se relacionan las existencias de 1817, de 1885 y de 1930.

Fuentes impresas

Delaunay, Ch. *Tratado de mécanica Racional*, Madrid, 1866

Delius, C.T. *Traité de l'explotation des Mines,* 1778, Paris. Traducido del alemán al francés por Schreiber, M. 2 tomos.

Chaptal, J.A. *Chimie appliquée aux arts*. Paris, 1807

Fourcroy, A. F. *Sistême des connaissances chimiques, et de leurs applications aux phénomènes de la Nature et de l'art*. París, Brumaire, an IX.

Fourcroy, A.F. *Elementos de historia natural y de química*, Madrid, 1793, Tomo II, p.2.

Giannini, P. *Curso Matemático para la enseñanza de los Caballeros Cadetes del Real Colegio Militar de Artillería de Segovia*, Segovia, 1782-1795.

Gutierrez Bueno, P. *Curso de Química para la enseñanza del Real Colegio de San Carlos*, Madrid, 1802.

- *Prontuario de química, farmacia y materia médica,* Madrid, 1815.

Haüy, C. *Traité de Mineralogie*, París, 1801.

Karsten, C. J. *Tablas mineralógicas dispuestas según los descubrimientos recientes e ilustradas con notas*, México, 1804

Lavoisier, A. *Tratado Elemental de Química*, Madrid, 1798.

Morla, T. *Tratado de Artillería para el uso de la Academia de Caballeros Cadetes del Real Cuerpo de Artillería*. Segovia, 1784

Proust, L. *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*, Segovia, 1791(tomo I) y 1795 (Tomo II).

Proust, L. *Discurso que en la abertura del Laboratorio de Química del Real cuerpo de Artillería…*, Segovia 1792

Schluter, C.A. *De la fonte des mines et des fonderies*. Paris, 1750.

Staahl, J. *Fundamentos de química*, Nuremberg, 1743 (en latín).

Vicente de los Ríos. *Discurso para la abertura de la Escuela de Táctica de Artillería del Real Colegio Militar de Segovia*, Segovia, 1773.

Archivo de la Fábrica de artillería de Sevilla (AFAS)

Legajos del siglo XVIII. Correspondencia de los directores de la fábrica con la Intendencia y la Secretaría de Guerra.

Archivo general de Simancas (AGS)

Fechos de Artillería

Legajos de la fábrica de artillería de Sevilla y Barcelona siglo XVIII

Legajos del Real Colegio de Artillería de Segovia siglo XVIII

Archivo General Militar de Madrid (AGMM)

Colección Aparici. Legajos sobre la fábrica de artillería de Sevilla (siglo XVI-XVII).

Archivo general de Indias (AGI)

Legajos del siglo XVII. Correspondencia de la Casa de la Contratación con virreyes de Indias y con maestros fundidores de la fábrica de artillería de Sevilla.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Escobar, A. "Apuntes para la historia de la fundición de Barcelona (1775-1802)", *Revista de Historia Militar*, nº 108, 2009, pp. 11-39.

- *Cañones de bronce para el ejército. Historia de la real Fundición de Sevilla en el siglo XVIII*, Madrid, 2010.

Aguilar Piñal, F. "La reforma universitaria de Olavide", Cuadernos dieciochescos, nº 4, 2003, pp. 31-46.

-"Un traductor de la ciencia ilustrada: Suárez y Núñez", Cuadernos dieciochistas, nº 7, 2006,Salamanca, pp87-112.

Alonso, M. "La formación científica de los militares españoles del siglo XVIII". *La Casa de la Química,* Segovia, 1992.

Arroyo, M. "La descripción de las provincias de Culiacán, Sinaloa y Sonora del ingeniero Francisco de Fersen (1770)", *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales,* vol VII, nº 430, Barcelona, 2003.

Asimov, I. *Breve historia de la química*, Madrid, 1980.

Balaguer, E. "Los ejércitos y la renovación científica en España", I Congreso de Historia Militar, T I, Zaragoza, 1982, pp.599-629.

Bargalló, M. *La minería y la metalurgia española en la época colonial, México*, 1955. pp 60-63.

Bertomeu Sánchez, J. R. y García Belmar, A. *La Revolución Química: entre la historia y la memoria,* Valencia: PUV, 2006;

Capel, H.; Sánchez, J.E; Moncada, O. *De Palas a Minerva. La formación científica de los ingenieros militares en el siglo XVIII,* Barcelona, 1988.

Castillo Martos, M. *Minería y metalurgia: intercambio tecnológico y cultural entre América y Europa durante el periodo colonial,* Sevilla, 1994.

-*Creadores de la ciencia moderna en España y América*, Brenes, Ed. Extremeños, 2005.

-*Grandes figuras de la metalurgia y la minería virreinal,*Cádiz, 2006.

Diez Herrero, A. " La colección de minerales, rocas y fósiles de la Academia de Artillería de Segovia", *Boletín Geológico y Minero*,Volumen 108, nº 2, 1997, pp. 100-106.

Flores Caballero, M: *La rehabilitación borbónica de las minas de Riotinto*, Huelva, 1983.

Franco, G. "Militares ilustrados y prácticas de sociabilidad", *Revista de Historia Moderna* Anales de la Universidad de Alicante no 22 – 2004.

Gago, R. "Bicentenario de la fundación de la cátedra de química de Vergara. El proceso de constitución", *LLUL*, nº 2, 1978, pp. 5-18.

- *Louis Proust y la cátedra de química de la Academia de Artillería de Segovia*, Segovia, 1992, p 24.

Galaor, I. *Las minas hispanoamericanas a mediados del siglo XVIII*, Madrid, 1998, pp 20 y 39-40.

García Belmar, A y Bertomeu Sánchez, J. A.. "Pedro Gutiérrez Bueno (1745-1822), los libros de texto y los nuevos públicos de la química en el último tercio del siglo XVIII", *DYNAMIS. Acta Hisp. Med. Sci. Hist. Illus*. 2001, 21, 351-374.

García Garralón, M. Taller de Mareantes: *El Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla (1681-1847)*, Sevilla, 2007.

García Hourcade, J. y Valles Garrido, J. M., *Catálogo de la Biblioteca del Real Colegio de Artillería de Segovia. Fondos científicos*, Segovia, 1989, pp. 18-20.

Garriga Escribano, C. *Luis Proust y la consolidación de la terminología química en español,* Tarragona,

Gil Ossorio, F. " Morla de Artillería" en *Revista de Historia Militar*, nº 51, 1981, pp. 7-29.

- "La reforma artillera del conde de Gazzola", *Revista de Historia Militar*, nº 31, Madrid, 1971, pp 77-100.

Helguera Quijada, J. " Las industrias artilleras en la época de Proust", *La Casa de la Química,* Segovia, 1992.

-"Antonio de Ulloa en la época del Marqués de la Ensenada", *Actas del II centenario de D. Antonio de Ulloa,* Sevilla, 1995; artículos de pp. 185-197.

Herrero de Quesada, M.D. *La enseñanza militar ilustrada en el Real Colegio de Artillería de Segovia*, Segovia, 1990.

-*Ciencia y Milicia en el siglo XVIII: Tomás de Morla, artillero ilustrado*, Madrid, 1990;

Hidalgo, E. "La química teórica y sus aplicaciones" en Peset, J. L (ed.). *Historia de la ciencia y de la tácnica en la Corona de Castilla. Siglo XVIII,* Salamanca, 2002.

Kragh, H. *Introducción a la historia de la ciencia.* Barcelona: Grijalbo, 1987;

Kuhn, T. S. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago : University Press, 1970.

Lafuente, A.; Peset, J.L. " Las actividades e instituciones científicas en la España Ilustrada*", Carlos III y la ciencia de la Ilustración*, Madrid, 1989, pp. 29-81.

López Piñero, J. M.; "Impulso de la actividad científica", *Carlos III y la ciencia de la Ilustración*, Madrid, 1989.

Martínez Ruiz, A. "El largo ocaso del ejército español en la Ilustración", *Revista de Historia Moderna*, nº 22, Alicante, 2004, pp 7-49.

Oyarzun, J. "Andean metallogenesis. A sinoptycal review interpretation", *TECTONIC EVOLUTION OF SOUTH AMERICA*, P. 725-753 / Río de Janeiro, 2000

Paredes Salido, F. "La reforma de la metalurgia española en el siglo XVIII tras el viaje de Jorge Juan y Antonio de Ulloa a la América Meridional", *Actas del II Congreso de Historia Militar;* T III, Zaragoza, 1988, pp 71-99.

Pérez Ruiz, P. *Biografía del Colegio-Academia de Artillería de Segovia*, Segovia, 1960.

Peset, M. y J. L. " La renovación universitaria*" en Carlos III y la ciencia de la Ilustración,* Madrid, 1989.

Peset, J. L (ed.). *Historia de la ciencia y de la tácnica en la Corona de Castilla. Siglo XVIII,* Salamanca, 2002.

Pieltan de la Peña, R. "II centenario de la fundación del Colegio de Artillería del Alcázar de Segovia", *Revista de Historia Militar*, nº 16, 1964, pp. 95-133.

Portela, E. Y Soler, A. "La química española en el siglo XIX", *AYER,* nº 7, 1992. Pp. 85-109.

Portugués, José A. *Colección General de Ordenanzas Militares*, Madrid, 1764, Tomo VI.

Puerto, F.J. *La ilusión quebrada. Botánica, sanidad y política científicaen la España ilustrada,* Madrid, 1988.

Puig-Samper, M. A. "Antonio de Ulloa, naturalista", *Actas II centenario de Antonio de Ulloa*, Sevilla, 1995, pp. 97-125.

Sánchez Suarez, A.; Helguera Quijada, J.: " La industria en vísperas de la industrialización (1750-1813)", *Atlas de la industrialización de España*, Nadal, J.(cood.), Madrid, 2003.

Sellés, M; Hidalgo, E. "La formación científica militar en el siglo XVIII", *La Casa de la Química,* Segovia, 1992.

Sellés, M. "Antonio de Ulloa y la ciencia de su época*", Actas del II centenario de D. Antonio de Ulloa,* Sevilla, 1995; artículos de pp. 59-79.

-"Ciencia y enseñanza en la España de mil setecientos", *ÉNDOXA: Series Filosóficas,* n." 14. 2001, pp. 83-110. UNED, Madrid.

Sánchez Suarez, A.; Helguera Quijada, J.: " La industria en vísperas de la industrialización (1750-1813)", *Atlas de la industrialización de España*, Nadal, J.(cood.), Madrid, 2003.

Silván, L. *El químico Luis Proust 1754-1826*, Donostia, 1992.

Uribe Salas, A. y Cortés Zavala, T. " Andrés del Río, Antonio del

Castillo y José J. Aguilera en el desarrollo de la ciencia mexicana en el siglo XIX", *Revista de Indias*, 2006, nº 37, pp. 491-518.

Valdecillo, A. (ed.) *Ordenanza dividida en 14 reglamentos que manda observar SM en el Real Cuerpo de Artillería,* Madrid, 1853.

Valles Garrido, J.M. "El árbol frondoso de la ciencia en la Segovia de la Ilustración", *Ciencias y Técnicas en la Historia de Segovia*; Segovia, 2004, pp. 111-130.

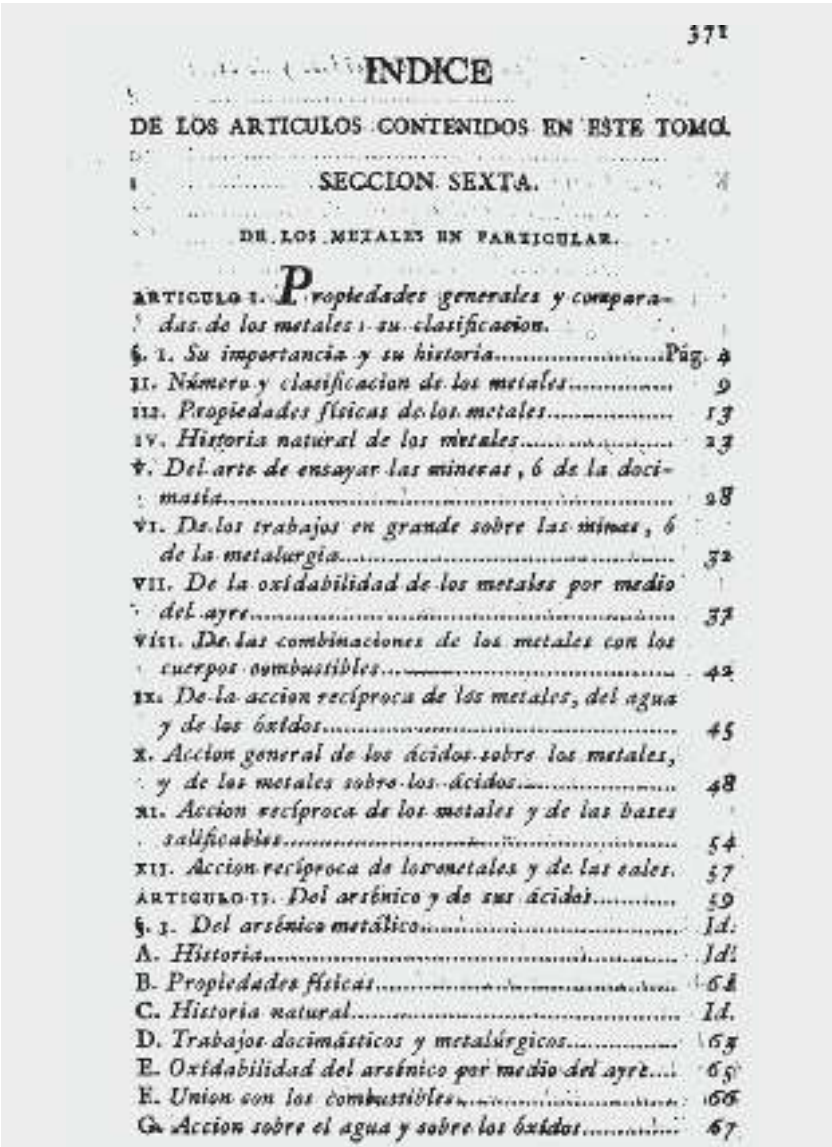
Velasco Moreno, E. " Nuevas instituciones de sociabilidad: las Academias de finales del siglo XVII y principios del XVIII", *Cuadernos Dieciochescos*, Nº 1, 2000, pp. 39-55.

Vigón, J. *Historia de la Artillería Española*, Madrid, 1947.

APÉNDICES

DOCUMENTOS IMPRESOS

Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Fourcroy, A. F. *Sistema de los conocimientos químicos*.
Índice del tomo V. Sobre metales.



371

INDICE

DE LOS ARTICULOS CONTENIDOS EN ESTE TOMO.

SECCION SEXTA.

DE LOS METALES EN PARTICULAR.

ARTICULO I. *Propiedades generales y comparadas de los metales: su clasificacion.*
§. I. *Su importancia y su historia*.....Pág. 4
II. *Número y clasificacion de los metales*..... 9
III. *Propiedades físicas de los metales*..... 13
IV. *Historia natural de los metales*..... 23
V. *Del arte de ensayar las mineras, ó de la docimasia*..... 28
VI. *De los trabajos en grande sobre las minas, ó de la metalurgia*..... 32
VII. *De la oxidabilidad de los metales por medio del ayre*..... 37
VIII. *De las combinaciones de los metales con los cuerpos combustibles*..... 42
IX. *De la accion recíproca de los metales, del agua y de los óxidos*..... 45
X. *Accion general de los ácidos sobre los metales, y de los metales sobre los ácidos*..... 48
XI. *Accion recíproca de los metales y de las bases salificables*..... 54
XII. *Accion recíproca de los metales y de las sales*. 57
ARTICULO II. *Del arsénico y de sus ácidos*..... 59
§. I. *Del arsénico metálico*..... Id.
A. *Historia*..... Id.
B. *Propiedades físicas*..... 61
C. *Historia natural*..... Id.
D. *Trabajos docimásticos y metalúrgicos*..... 63
E. *Oxidabilidad del arsénico por medio del ayre*.... 65
F. *Union con los combustibles*..... 66
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos*..... 67

H. *Accion del arsénico sobre los ácidos, y de estos sobre el arsénico* 68
I. *Accion de las bases y de las sales sobre el arsénico* 70
K. *Usos del arsénico* 71
§. II. *De los ácidos arsenioso y arsénico* 72
ESPECIE I. *Acido arsenioso* ..... Id.
II. *Acido arsénico* 76
ARTICULO III. *Del tungsteno y de su ácido* 82
§. I. *Del tungsteno metal* ..... Id.
A. *Historia* ..... Id.
B. *Propiedades físicas* 83
C. *Historia natural* ..... Id.
D. *Ensaye y metalurgia de los minerales del tungsteno* ..... Id.
E. *Oxidabilidad por medio del ayre* 84
F. *Union con los cuerpos combustibles* ..... Id.
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos* 85
H. *Accion sobre los ácidos* ..... Id.
I. *Accion sobre las bases y sobre las sales* 86
K. *Usos* ..... Id.
§. II. *Del ácido túngstico* 87
ARTICULO IV. *Del molibdeno y de su ácido* 91
§. I. *Del molibdeno metal* ..... Id.
A. *Historia* ..... Id.
B. *Propiedades físicas* 92
C. *Historia natural* ..... Id.
D. *Ensayes y metalurgia* 94
E. *Oxidabilidad por medio del ayre* ..... Id.
F. *Union con los cuerpos combustibles* ..... Id.
G. *Accion del agua y de los óxidos* 95
H. *Accion de los ácidos* ..... Id.
I. *Accion sobre las bases salificables y sobre las sales* ..... Id.
K. *Usos* 96
§. II. *Del ácido molíbdico* ..... Id.
ARTICULO V. *Del cromo y de su ácido* 102
§. I. *Del cromo metal* ..... Id.

A. *Historia*..... *Id.*
B. *Propiedades físicas*..... *103*
C. *Historia natural*..... *Id.*
D. *Docimasia y metalurgia*..... *104*
E. *Oxidabilidad por medio del ayre*..... *Id.*
F. *Union con los combustibles*..... *Id.*
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos*..... *Id.*
H. *Accion sobre los ácidos*..... *Id.*
I. *Accion sobre las bases y sobre las sales*..... *105*
K. *Usos*..... *Id.*
§. II. *Del ácido crómico*..... *Id.*
ARTICULO VI. *Del titano*..... *108*
A. *Historia*..... *Id.*
B. *Propiedades físicas*..... *109*
C. *Historia natural*..... *Id.*
D. *Ensaye y metalurgia*..... *110*
E. *Tratamiento por medio del fuego y del ayre*..... *111*
F. *Tratamiento por medio de los cuerpos combustibles.* *112*
G. *Tratamiento por medio del agua y de los óxidos.* *113*
H. *Tratamiento por medio de los ácidos*..... *114*
I. *Tratamiento por medio de las bases alcalinas y por las sales*..... *118*
K. *Usos*..... *119*
ARTICULO VII. *Del urano*..... *120*
A. *Historia*..... *Id.*
B. *Propiedades físicas*..... *122*
C. *Historia natural*..... *123*
D. *Ensayes y metalurgia*..... *124*
E. *Oxidabilidad por medio del ayre*..... *125*
F. *Tratamiento por medio de los combustibles*..... *Id.*
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos*..... *126*
H. *Tratamiento por medio de los ácidos*..... *Id.*
I. *Tratamiento por medio de las bases y de las sales* *127*
ARTICULO VIII. *Del cobalto*..... *128*
A. *Historia*..... *Id.*
B. *Propiedades físicas*..... *Id.*
C. *Historia natural*..... *130*
ESPECIE I. *Cobalto arsenicado*..... *131*

II. *Cobalto gris* ..... Id.
III. *Oxido de cobalto negro* 133
IV. *Arseniato de cobalto* ..... Id.
D. *Ensayes y metalurgia* 134
E. *Oxidabilidad por medio del ayre* 136
F. *Union con los combustibles* 137
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos* 138
H. *Accion sobre los ácidos* ..... Id.
I. *Accion sobre las bases y sobre las sales* 141
K. *Usos* 142
ARTICULO IX. *Del nikelo* 144
A. *Historia* ..... Id.
B. *Propiedades físicas* 145
C. *Historia natural* 146
ESPECIE I. *Sulfureto de nikelo* ..... Id.
II. *Nikelo férreo* ..... Id.
III. *Oxido de nikelo* ..... Id.
D. *Ensayes y metalurgia* 147
E. *Oxidabilidad por medio del ayre* 155
F. *Union con los cuerpos combustibles* 156
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos* ..... Id.
H. *Accion sobre los ácidos* 157
I. *Accion sobre las bases y sobre las sales* 158
K. *Usos* 159
ARTICULO X. *Del manganeso* 160
A. *Historia* ..... Id.
B. *Propiedades físicas* 162
C. *Historia natural* 163
B. *El roxo* 164
C. *El negro y el pardo* ..... Id.
D. *Ensayes y metalurgia* 166
E. *Tratamiento por medio del fuego y del ayre* 167
F. *Tratamiento por medio de los combustibles* 171
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos* 172
H. *Tratamiento por medio de los ácidos* 173
I. *Tratamiento por medio de las bases salificables, y por las sales* 180
K. *Usos* 184

ARTICULO XI. *Bismuto* 185
A. *Historia* ..... *Id.*
B. *Propiedades físicas* 186
C. *Historia natural* 187
D. *Ensayo y metalurgia* 189
E. *Oxidabilidad por medio del ayre* 190
F. *Union con los cuerpos combustibles* 192
G. *Accion del agua y de los óxidos* 193
H. *Accion de los ácidos* 194
I. *Accion sobre las bases y sobre las sales* 198
K. *Usos* 200
ARTICULO XII. *Del antimonio* 201
A. *Historia* ..... *Id.*
B. *Propiedades físicas* 203
C. *Historia natural* 205
D. *Ensayes y metalurgia* 207
E. *Oxidabilidad por medio del ayre* 210
F. *Union con los combustibles* 214
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos* 218
H. *Accion de los ácidos* 220
I. *Accion de las bases salificables y de las sales.* 227
K. *Usos* 245
ARTICULO XIII. *Del teluro* 246
A. *Historia* ..... *Id.*
B. *Propiedades físicas* 247
C. *Historia natural* 248
D. *Docimasia* 249
E. *Oxidabilidad por medio del ayre* 251
F. *Union con los combustibles* 251
G. *Accion sobre el agua y los óxidos* ..... *Id.*
H. *Accion sobre los ácidos* 252
I. *Accion sobre las bases y sobre las sales* 254
K. *Usos* ..... *Id.*
ARTICULO XIV. *Del mercurio* 255
A. *Historia* ..... *Id.*
B. *Propiedades físicas* 259
C. *Historia natural* 268
D. *Docimasia y metalurgia* ..... *Id.*

E. *Oxidabilidad por medio del ayre* 277
F. *Union con los cuerpos combustibles* 282
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos* 293
H. *Accion sobre los ácidos* 294
I. *Sobre las bases alcalinas y sobre las sales* 336
K. *Usos* 338
ARTICULO XV. *Del zinc* 341
A. *Historia literaria* ..... *Id.*
B. *Propiedades físicas* 342
C. *Historia natural* 345
D. *Ensaye y metalurgia* 348
E. *Oxidabilidad por medio del ayre* 352
F. *Union con los combustibles* 354
G. *Accion sobre el agua y sobre los óxidos* 356
H. *Sobre los ácidos* 357
I. *Sobre las bases y sobre las sales* 366
K. *Usos* 368

Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Fourcroy, A. F. *Système des connaissances chimiques*.
Sobre la afinidad entre los elementos.

ARTICLE VIII.

De l'attraction de composition.

1. Les chimistes ne pourraient faire aucune synthèse, ni même aucune analyse, s'ils n'étudiaient pas avec soin les phénomènes qui sont dûs à l'attraction de composition. C'est cette force qui produit et qui doit diriger toutes les opérations des laboratoires; c'est elle qui sert à faire connaître l'action intime et réciproque de tous les corps de la nature les uns sur les autres, et qui éclaire conséquemment sur leurs propriétés chimiques. C'est même l'ensemble de tous les phénomènes qu'elle fait naître qui constitue la science, puisqu'elle consiste uniquement dans la disposition et la liaison systématique de tous ces phénomènes.

2. L'attraction de composition qu'on appelait autrefois *affinité chimique*, parce qu'on en expliquait la cause par un rapport de nature entre les substances qui en jouissaient, diffère de l'attraction d'agrégation en ce que celle-ci n'a jamais lieu qu'entre des molécules similaires, et ne donne naissance qu'à des masses cohérentes plus volumineuses ou plus denses, mais de la même nature que celles qu'elle réunit ou rapproche, tandis que l'attraction de composition n'existe qu'entre des molécules dissimilaires dont l'union ou le rapprochement forme des composés chimiques; telle est la source de sa dénomination.

3. La nature créatrice a placé dans tous les corps qui composent notre globe, et probablement aussi dans ceux qui appartiennent aux autres masses de tout l'univers, une force

intime qui pénètre, agite leurs molécules, et qui les invite en quelque sorte à s'unir les unes avec les autres, ou au moins à se rapprocher d'assez près, et à adhérer assez fortement ensemble pour former des substances différentes de ce qu'était chacune d'elles avant de s'unir ainsi. D'où il suit que le chimiste, en faisant agir l'attraction de composition entre les différens corps de la nature, n'en est que le ministre ou le directeur, et ne fait qu'observer les effets qui en résultent. C'est encore en raison de cette *tendance à l'union*, expression qu'on emploie quelquefois pour désigner l'attraction de composition, que les premiers chimistes, qui ont voulu l'expliquer, ont supposé entre les molécules des corps une sorte d'amitié ou d'affection d'où est tiré le mot affinité qu'ils ont si long-temps employé pour exprimer ce phénomène naturel.

4. En considérant l'ensemble de tous les phénomènes dus à l'attraction chimique, à l'attraction de composition, on reconnaît que ceux qui sont propres à la caractériser, et à jeter conséquemment un très-grand jour sur la base des théories de la science, sont en même-temps d'une constance telle que, d'après la proposition que j'en ai faite le premier, il y a dix-huit ans, en 1781, la plupart des chimistes les désignent avec moi sous le nom de *lois*.

5. On peut reconnaître aujourd'hui dix lois générales de l'attraction de composition, dont l'étude suffit pour bien concevoir la grande influence que cette force a dans tous les phénomènes de la nature et de l'art, et par conséquent sur tous les résultats des opérations de la chimie. Comme chacune d'elles forme un véritable axiome chimique propre à expliquer toutes les théories de la science, on ne se contentera pas de les exposer ici de suite et sans quelques développemens; mais, en les énonçant les unes après les autres, on fera pressentir de combien d'applications importantes chacune d'elles est susceptible, et quels rapports elle a avec l'ensemble de la doctrine de la science.

6. La première loi de l'attraction de composition, c'est qu'elle n'a lieu qu'entre des corps de nature différente, ou entre les molécules dissimilaires. La clarté et la généralité de celle-ci se présentent dans le seul énoncé qu'on en offre ; car il est évident qu'une attraction qui aurait lieu entre des corps semblables, ne pourrait être que celle d'agrégation, et ne pourrait jamais former des composés. Quoique les chimistes aient presque tous conçu ce qu'ils nommaient des *affinités* entre les corps, comme les effets d'un rapport, d'une similitude intime qui existaient entre eux, les phénomènes chimiques prouvent cependant que l'attraction de composition est d'autant plus forte que la nature des corps entre lesquels elle exerce semble être plus différente, plus éloignée, autant cependant qu'on peut saisir ou apprécier cette différence.

7. Seconde Loi. *L'attraction de composition n'a lieu qu'entre les dernières molécules des corps.* C'est dire dans une nouvelle forme ce qui a déja été exposé plus haut, qu'il faut que les corps soient dans un grand état de division, qu'ils aient passé de l'état de sujets physiques à celui de sujets chimiques, qu'ils aient perdu leur consistance solide, leur état d'agrégation, pour qu'ils puissent s'unir de manière à former un composé : puisque c'est entre les molécules constituantes des corps que s'exerce l'attraction de composition, il est évident que le mouvement par lequel elles se portent les unes vers les autres, elles s'approchent d'assez près pour se combiner, l'acte même de cette combinaison, doit échapper à nos yeux. Ainsi, tout en montrant qu'elle ne réside que dans les dernières molécules, qu'elle est, d'après cela, entièrement opposée à l'attraction d'agrégation qui n'a lieu qu'entre des particules plus grossières qu'on nomme, à cause de cela, molécules intégrantes, l'énoncé de cette loi prononce en même-temps que le mode dont elle s'opère, le mouvement qui l'accompagne, les élémens de forme, de distance, de pesanteur qui la dirigent, sont cachés pour nous sous un voile impénétrable, et que l'homme ne peut

Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Lavoisier, *Tratado*..., Portada e índice.

TRATADO ELEMENTAL

DE QUÍMICA,

PRESENTADO BAXO NUEVO ÓRDEN

Y CONFORME A LOS DESCUBRIMIENTOS MODERNOS;

CON LÁMINAS:

Por Mr. Lavoisier, de la Academia de las Ciencias y de las Sociedades de Medicina y Agricultura de Paris, de las de Orleans y de Londres, del Instituto de Bolonia, de las Sociedades Helvética de Basilea, Filadelfia, Harlem, Manchester, Padua, &c.

TRADUCIDO AL CASTELLANO

Por D. Juan Manuel Munarriz, Capitan del Real Cuerpo de Artilleria, y Profesor de Matemáticas en su Academia, Vice-Secretario, y Bibliotecario de la Real Sociedad económica de los Amigos del Pais de Segovia y su Provincia.

TOMO I.

CON SUPERIOR PERMISO.

MADRID EN LA IMPRENTA REAL.

POR D. PEDRO JULIAN PEREYRA, INPRESOR DE CÁMARA DE S. M.

AÑO DE 1798.

Vendese en la Librería de Gomez calle de las Carretas.

INDICE

DEL TOMO PRIMERO.

Discurso preliminar, Pág. 1

PARTE PRIMERA.

De la formacion de los fluidos aeriformes, y de su descomposicion: de la combustion de los cuerpos simples, y de la formacion de los ácidos, ibid.

CAP. I. *De las combinaciones del calórico, y de la formacion de los fluidos elásticos aeriformes,* ibid.

CAP. II. *Ideas generales sobre la formacion y constitucion de la atmósfera,* 19

CAP. III. *Analisis de la atmósfera: su resolucion en dos fluidos elásticos, el uno respirable, y el otro no respirable,* 25

CAP. IV. *Nomenclatura de las diferentes partes constitutivas del ayre de la atmósfera,* 35

CAP. V. *De la descomposicion del gas oxígeno por el azufre, fósforo y carbon; y de la formacion de los ácidos en general,* 40

CAP. VI. *De la nomenclatura de los ácidos en general, y en particular de los que se extraen del salitre y de la sal marina,* 49

CAP. VII. *De la descomposicion del gas oxígeno por los metales, y de la formacion de los óxidos metálicos,* 57

CAP. VIII. *Del principio radical del agua, y de su descomposicion por el carbon y por el hierro,* 60

CAP. IX. *De la cantidad de calórico que se desprende de las varias especies de combustion,* 72

De la combustion del fósforo, 75
De la combustion del carbon, 76
De la combustion del gas hidrógeno, ibid.
De la formacion del ácido nítrico, 77
De la combustion de la cera, 79
De la combustion del aceyte de olivas, 80
CAP. X. *De la combinacion de las sustancias combustibles unas con otras,* 82
CAP. XI. *Reflexiones sobre los óxidos y ácidos de muchas bases, y sobre la composicion de las sustancias vegetales y animales,* 86
CAP. XII. *De la descomposicion de las sustancias vegetales y animales por la accion del fuego,* 92
CAP. XIII. *De la descomposicion de los óxidos vegetales por la fermentacion vinosa,* 97
CAP. XIV. *De la fermentacion pútrida,* 107
CAP. XV. *De la fermentacion acetosa,* 111
CAP. XVI. *De la formacion de las bases neutras, y de las diferentes sales que entran en su composicion,* 113
De la potasa, 115
De la sosa, 118
Del álkali amoniacal, 119
De la cal, de la magnesia, de la bárita y de la alúmina, 120
De las sustancias metálicas, 121
CAP. XVII. *Continuacion de las reflexiones acerca de las bases salificables, y formacion de las sales neutras,* 122

PARTE SEGUNDA.

De la combinacion de los ácidos con las bases salificables, y de la formacion de las sales neutras, 133
Advertencia, ibid.
Estado de las sustancias simples, 135
Observaciones, 136
Estado de los radicales ó bases oxídables y acidificables compuestos que entran en las combinaciones al modo de las sustancias simples, 138
Observaciones, 139
Observaciones acerca de la luz y del calórico con las diferentes sustancias, 140
Estado de las combinaciones binarias con las sustancias metálicas y no metálicas, oxídables y acidificables, 142
Observaciones, ibid.
Estado de las combinaciones del oxígeno con los radicales compuestos, 147
Observaciones, 148
Estado de las combinaciones binarias del azoe con las sustancias simples, 151
Observaciones, 152
Estado de las combinaciones binarias del hidrógeno con las sustancias simples, 155
Observaciones, 156
Estado de las combinaciones binarias del azufre no oxígenado con las sustancias simples, 159
Observaciones, 160
Estado de las combinaciones del fósforo no oxígenado con las sustancias simples, 161
Observaciones, 162
Estado de las combinaciones binarias del carbon

no oxígenado con las sustancias simples, 164
Observaciones, 165
Observaciones sobre los radicales muriatico, fluórico y borácico y sui combinaciones, 166
Observaciones sobre la combinacion de los metales unos con otros, 167
Estado de las combinaciones del azoe ó radical nítrico, llevado al estado de ácido nitroso por la combinacion de la cantidad suficiente de oxígeno con las bases salificables en el órden de sus afinidades con este ácido, 168
Estado de las combinaciones del azoe completamente saturado de oxígeno, y llevado al estado de ácido nítrico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 169
Observaciones, 170
Estado de las combinaciones del ácido sulfúrico ó azufre oxígenado con las sales salificables en el órden de su afinidad con este ácido por la via húmeda, 174
Observaciones, 176
Estado de las combinaciones del ácido sulfuroso con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 179
Observaciones, 180
Estado de las combinaciones del fósforo que ha recibido un primer grado de oxígenacion, y sido llevado al estado de ácido fosforoso con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 182
Estado de las combinaciones del fósforo saturado de oxígeno ó ácido fosfórico con las sustancias salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 183
Observaciones, 184

no oxígenado con las sustancias simples, 164
Observaciones, 165
Observaciones sobre los radicales muriático, fluórico y borácico y sus combinaciones, 166
Observaciones sobre la combinacion de los metales unos con otros, 167
Estado de las combinaciones del azoe ó radical nítrico, llevado al estado de ácido nitroso por la combinacion de la cantidad suficiente de oxígeno con las bases salificables en el órden de sus afinidades con este ácido, 168
Estado de las combinaciones del azoe completamente saturado de oxígeno, y llevado al estado de ácido nítrico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 169
Observaciones, 170
Estado de las combinaciones del ácido sulfúrico ó azufre oxígenado con las sales salificables en el órden de su afinidad con este ácido por la via húmeda, 174
Observaciones, 176
Estado de las combinaciones del ácido sulfuroso con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 179
Observaciones, 180
Estado de las combinaciones del fósforo que ha recibido un primer grado de oxígenacion, y sido llevado al estado de ácido fosforoso con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 182
Estado de las combinaciones del fósforo saturado de oxígeno ó ácido fosfórico con las sustancias salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 183
Observaciones, 184

Estado de las combinaciones del radical carbónico oxígenado ú ácido carbónico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 186
Observaciones, 187
Estado de las combinaciones del radical muriático oxígenado ó ácido muriático con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 189
Estado de las combinaciones del ácido muriático oxígenado con las diferentes bases salificables, con las quales es susceptible de unirse, 190
Observaciones, 191
Estado de las combinaciones del ácido nitro-muriático con las bases salificables colocadas por órden alfabético, en atencion á que no son conocidas todavia bastante las afinidades de este ácido, 194
Observaciones, 195
Estado de las combinaciones del radical fluórico oxígenado ó ácido fluórico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 197
Observaciones, 198
Estado de las combinaciones del radical borácico oxígenado con las diferentes bases salificables con que es susceptible de unirse en el órden de su afinidad con este ácido, 200
Observaciones, 201
Estado de las combinaciones del arsénico oxígenado ó ácido arsénico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 204
Observaciones, 205
Estado de las combinaciones del molibdeno oxígenado ó del ácido molibdico con las bases sali-

ficables por órden alfabético 207
Observaciones, 208
Estado de las combinaciones del tunsteno oxígenado ó ácido túnstico con las bases salificables, 209
Observaciones, 210
Estado de las combinaciones del radical tartaroso oxígenado ó ácido tartaroso con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 212
Observaciones, 213
Estado de las combinaciones del radical málico oxígenado ó del ácido málico con las bases salificables por órden alfabético, 216
Observaciones, 217
Estado de las combinaciones del radical cítrico oxígenado ó ácido cítrico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 219
Observaciones, 220
Estado de las combinaciones del radical pirolignoso con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 221
Observaciones, 222
Estado de las combinaciones del radical pirotartaroso oxígenado ó ácido piro-tartaroso con las bases salificables segun el órden de su afinidad con este ácido, 223
Observaciones, 224
Estado de las combinaciones del radical piromucoso oxígenado ó ácido piro-mucoso con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 225
Observaciones, 226
Estado de las combinaciones del radical oxálico oxígenado ó ácido oxálico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 227

Observaciones, 228
Estado de las combinaciones del radical acetoso oxígenado con las bases salificables segun su afinidad con este ácido, 230
Observaciones, 230
Estado de las combinaciones del radical acetoso oxígenado por un segundo grado de oxígenacion ó ácido acético con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 233
Observaciones, 234
Estado de las combinaciones del radical succínico oxígenado ó ácido succínico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 235
Observaciones, 236
Estado de las combinaciones del radical benzóico oxígenado ó ácido benzóico con las diferentes bases salificables colocadas por órden alfabético, 237
Observaciones, 238
Estado de las combinaciones del radical canfórico oxígenado ó ácido canfórico con las bases salificables por órden alfabético, 239
Observaciones, 240
Estado de las combinaciones del radical gálico ó ácido gálico con las bases salificables por órden alfabético, 241
Observaciones, 242
Estado de las combinaciones del radical láctico oxígenado ó ácido láctico con las bases salificables por órden alfabético, 243
Observaciones, 244
Estado de las combinaciones del radical sacoláctico oxígenado ó ácido sacoláctico con las bases salificables en el órden de su afinidad con

este ácido, 245
Observaciones, 246
Estado de las combinaciones del radical fórmico oxîgenado ó ácido fórmico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 247
Observaciones, 248
Estado de las combinaciones del radical bómbico ó ácido bómbico con las sustancias salificables por órden alfabético, 249
Observaciones, 250
Estado de las combinaciones del radical sebácico oxîgenado ó ácido sebácico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 251
Observaciones, 252
Estado de las combinaciones del radical lítico oxîgenado ó ácido lítico con las bases salificables por órden alfabético, 253
Observaciones, 254
Estado de las combinaciones del radical prúsico oxîgenado ó ácido prúsico con las bases salificables en el órden de su afinidad con este ácido, 255
Observaciones, 256

Biblioteca de la Universidad de Sevilla.
***Elementos de Química* de J. A: Chaptal.**
Traducción de Higinio Lorente, 1802.

PROLOGO
DEL TRADUCTOR,
Y PLAN DE LA OBRA.

Cada dia se hace mas general el estudio de la Química, y sus progresos son tan rápidos como maravillosos. Todas las Ciencias que participan de su resorte se adelantan, y perfeccionan con una velocidad asombrosa, señaladamente desde que un Sabio bien conocido por sus talentos puso en sus experiencias la mas escrupulosa atencion, y dirigió con nuevo espíritu filosófico sus numerosas, y exâctas observaciones hasta formar una nueva teoría, en la que no admite mas que hechos, y verdades innegables. Prontamente la han adoptado la mayor parte de los Sabios de Europa, porque una doctrina que explica los hechos químicos sin ninguna suposicion, que sigue el camino de la naturaleza, y cuyos resultados siempre están de acuerdo con el cálculo mas rigoroso, debe preferirse á qualquiera, que no explica las experiencias del mismo género sino con suposiciones, y contradicciones manifiestas.

Desde esta época feliz ha mudado de aspecto el estudio de la naturaleza: con el descubrimiento de los gases, la teoría del calórico, la descomposicion del agua, la analisis, ó separacion de los dos principios constituyentes del ayre atmosférico, y conocimiento de sus propiedades han adelantado los Físicos, y Químicos del dia, en catorce años, lo que

no se habia conseguido en muchos siglos. El estudi de las afinidades químicas, y sus leyes proporciona cada dia nuevos descubrimientos, y la Ciencia de la naturaleza se halla con una fermentacion universal. Tantos monumentos erigidos para utilidad de las Ciencias; museos para juntar toda suerte de cosas raras que pueden ayudar al conocimiento de la naturaleza, y del Arte; gabinetes para colocar máquinas hechas con la mas exâcta delicadeza, y con el mayor esmero; jardines costosamente cultivados para mirar en una sola ojeada quantas plantas estrañas contiene el globo terraqueo; escuelas, y laboratorios para observar las leyes de la naturaleza; todo nos hace concebir la esperanza lisongera de que esta es la época en que la naturaleza nos vá á manifestar sus mas ocultos secretos, y hasta su mismo lenguage. Para conseguirlo no tenemos otro medio que el estudio de la Química; los Sabios que hoy la profesan con tanto esmero han conocido bien esta verdad.

Entiendo es escusado detenerme en probar que las Artes prácticas se perfeccionan cada dia mas, al paso que la Química hace mas adelantamientos, y en todos los Reynos la perfeccion de las Artes se halla en paralelo con los conocimientos químicos.

La Medicina toma otro brillo, se ilustra considerablemente su teórica, y práctica; y si fueramos tan felices, que un hombre de talento, y dotado de los conocimientos fisiológicos, químicos, y clínicos compusiera un nuevo cuerpo de doctrina, llegaria á su perfeccion. El célebre Haller *dió nuevo ser á la*

fisiologia, y desde que él floreció, dejó de ser una Ciencia caprichosa: pero los nuevos descubrimientos sobre la respiracion, la teoría del calórico, lo que sabemos de la animalizacion, &c. hacen mirar á esta Ciencia como enteramente nueva. David Gaubio *perfeccionó mucho la patologia, pero hoy debe tomar mas alto rumbo. La práctica de la Medicina ya ha comenzado á ilustrarse, y cada dia adelantará mas por la aplicacion de los principios químicos: por sus luces ha desterrado de la práctica las piedras preciosas, arcillas, y tierras insípidas, bezoares, sustancias huesosas, y tanta multitud de absorventes como hay en las Boticas, pues en realidad no debe usarse mas que uno: y en una palabra sin los conocimientos químicos no puede un Médico entender sino químicamente los diversos, y varios fenómenos que le presenta la economía animal, tanto en estado de salud, como en el de enfermedad. Todo esto me ha movido á presentar la traduccion de esta obra, en donde se hallan establecidos los nuevos principios químicos con la exâctitud, claridad, y método que es notorio á toda la Europa. La Física, y la Historia natural se hallan hermanadas con la Química; y* Chaptal *presenta en esta obra, no solamente un compendio de nuestros conocimientos, sino observaciones interesantes, y pensamientos ingeniosos que le son propios. El aplauso con que explica sus lecciones, los descubrimientos, y numerosos establecimientos con que ha enriquecido su Provincia, son fiadores de esta verdad.*

Esta obra, además de ser un cuerpo de doctrina química, que expone los hechos, y principios con claridad, precision, y método, es la única que se halla en nuestro idioma despues de los nuevos descubrimientos, y los dedicados á esta Ciencia no pueden instruirse, ni adquirir conocimientos, pues aunque concurran á las lecciones de los Reales Laboratorios como con dificultad se retiene lo que solamente se oye una vez, adelantan poco. Don Francisco Chavaneau, *Catedrático de Química, y Mineralogia en esta Corte, cuyas lecciones oye con gusto el Público, sigue en parte á* Chaptal, *y freqüentemente se vale de sus ideas, y pensamientos: circunstancias que hacen mas apreciable esta obra. Podemos prometernos mayores adelantamientos, si el estudio de la Química se hace familiar entre nosotros. Entonces se perfeccionarán nuestras Artes, se multiplicarán los establecimientos, y Fábricas, para no necesitar nada del estrangero; porque nuestra Nacion es abundantemente rica en productos naturales, y no necesita nuestro suelo sino los pasos de un químico, y mineralogista para franquear generosamente las muchas, é inmensas riquezas que atesora en su seno.*

Chaptal *ha abrazado la nueva nomenclatura, porque está convencido de que es imposible separarla de la Ciencia, ni esta de la nomenclatura, y que no perfeccionando ésta, no puede perfeccionarse la Ciencia: ha creído hacer algunas modificaciones, y variar alguna palabra, señaladamen-*

te la de gas azote, *ó* mofeta atmosférica, *sobstituyendo la de* gas nitrógeno. *Si se pesan las razones que expuso* Morveau *en su memoria á la Academia, y las que alega* Chaptal *en su discurso preeliminar, concluirémos, que debe llamarse gas* azote: *en la traduccion se nombrará gas* azoe *por ser de una pronunciacion mas suave, conservar la misma significacion, y no confundirle con ninguna palabra de nuestro castellano. Lo mismo se hace con otras palabras que parecen disonantes al oído de un buen Español.*

Antes que se publicase la nueva nomenclatura, los Físicos que deseaban presentar sus ideas de un modo claro, y exâcto distinguían la sensacion calor *con epitectos: pero con facilidad se conocerá que son superfluos, admitiendo la nueva nomenclatura.*

Para distinguir la causa del efecto, se llama calor *la sensacion que ha producido sobre nuestros orgános el principio, ó causa* calórico: *este principio se llama así quando le consideramos como causa, y sin ninguna relacion con nosotros.* Chaptal *usa en ambos casos de la palabra* calor; *pero se sobstituye la de* calórico, *quando habla del principio, ó causa del calor: Quando dice* calor latente, *sinónimo de* calor insensible, *se traduce* calórico latente, ó insensible, *porque la palabra* calor, *como se ha dicho, expresa la sensacion causada por el calórico, y sensacion insensible, ó latente es contradiccion manifiesta.*

Habiendo de presentar un plan de esta obra,

Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Karsten, C.J: *Manuel de Métallurgie du fer*.
Traducida al francés por Culmann, miembro academia royal de Metz 2º edic . Índice de materias.

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRES DE PARAGRAPHES.

INTRODUCTION.

Définition et objet de la *minéralurgie*, §. §. 1 et 2
De la docimasie, 3
Division de la *minéralurgie*, 4 à 7
Idée plus précise du but de la minéralurgie, 8, 9, 10
Moyens de parvenir à ce but, 11 à 21
Limites de la minéralurgie considérée comme art scientifique, 22, 23
De la sidérurgie, 24
De l'étendue de la sidérurgie, 25 à 31
Raisons qui se sont opposées au perfectionnement de cette partie de la minéralurgie, 32
Histoire du fer, 33 à 38
État littéraire et scientifique de la sidérurgie, 39
De l'importance de cette branche d'industrie. — Moyens de la favoriser, 40
Dans quel état se trouve l'art des forges dans les différens pays, 41, 42

PREMIÈRE SECTION.

PROPRIÉTÉS DU FER.

DE LA COULEUR DU FER.

Couleur du fer pur, de l'acier, de la fonte blanche et de la fonte grise, 43 à 49
Moyens de faire ressortir la couleur et l'éclat du fer, 50

DE LA TEXTURE DU FER.

Texture et densité du fer pur, 51 à 54
Note du Traducteur sur le changement de la texture du fer.
Texture de l'acier, 55
Texture du fer cru, 56 à 58
Densité de l'acier et du fer cru, 59

DE LA PESANTEUR SPÉCIFIQUE DU FER.

Pesanteur spécifique des métaux, 60
Pesanteur spécifique du fer dans ses trois états différens, 61 à 63

DE L'ADHÉSION.

De l'adhérion du fer, 64

DE LA DURETÉ DU FER.

Du fer fort et dur, du fer fort et mou, 65
Dureté de l'acier, 66
Dureté du fer cru, 67

De *l'aigreur* et de la dureté du fer à la température ordinaire et dans les température élevées, 68, 69

DE LA TÉNACITÉ DU FER.

Généralités sur la ténacité du fer, 70, 71
Extension que le fer est susceptible de prendre d'après Trédgold, Duleau, Telfort et Séguin, 72,

DÉTERMINATION DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DU FER DUCTILE.

Détermination de la ténacité absolue du fer, d'après les expériences de Muschenbroch, Soufflot, Telfort, Brown, Séguin et Brunel, 73
Conclusion, 74, 75

DÉTERMINATION DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DE L'ACIER.

Expériences de Muschenbrock et de Rennie, 76.

DÉTERMINATION DE LA TÉNACITÉ ABSOLUE DE LA FONTE.

Généralités sur la ténacité absolue de la fonte, 77
Données de Tredgold, Brown, Regnier, etc., 78
Conclusion, 79.

DE LA TÉNACITÉ RELATIVE DU FER.

Généralités sur la ténacité relative du fer et de la fonte, 80
Expériences de Rondelet sur le fer ductile, 81
Id. de Rennie, de Karsten, sur la fonte, 82
Ténacité relative de l'acier, 83.

DE LA TÉNACITÉ RESPECTIVE DU FER.

Généralités sur la ténacité respective du fer, 84
Données de M. Duleau, 85
Id de M. Texier de Norbeck, 86
Calculs et expériences de MM. Tredgold et Gazeran sur la ténacité respective de la fonte, 87, 88

Voyez les notes du Trad^r sur ces calculs, 84, 86 et 88
Conclusion, 89
Résistance de la force de torsion, 90
Comparaison entre la ténacité du fer et celle des autres métaux, 91
Influence de l'aigreur et de la flexibilité sur la ténacité du fer, 92, 93
De la ductilité, 94
De la malléabilité, 95

DU MAGNÉTISME DU FER.

Du magnétisme en général, 96
De la magnétisation du fer, expériences de MM. Oersted, Arago et Seebeck, 97 à 99
Différence entre les propriétés magnétiques du fer, celles de l'acier et celles de la fonte, 100 à 102
Comment la vertu magnétique du fer se trouve détruite, 103

DES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU FER.

Propriétés électriques, 104

DES PROPRIÉTÉS DU FER DANS LES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

De la capacité du fer pour le calorique, et de la conductricité, 105 à 107
Influence du calorique sur la résistance du fer éprouvé au choc, 108

Effets du calorique sur le fer, jusqu'à l'ébullition de l'eau.

De la *dilatation* du fer jusqu'à la température de l'ébullition de l'eau, 109, 110
Comparaison de la dilatation du fer avec celle de plusieurs autres corps, 111

Effets du calorique sur les trois espèces de fer, jusqu'à la chaleur rouge.

De la dilatation du fer depuis 0° jusqu'à la chaleur rouge, 112
Des changemens de couleur du fer chauffé au-dessous de la chaleur lumineuse (couleur du recuit), 113 à 116
Propriétés du fer, de la fonte et de l'acier, à la température des couleurs du recuit, 117
Influence de la chaleur rouge sur le fer, 118

Effets du calorique sur les trois espèces de fer, jusqu'à la température de la fusion.

Généralités sur le fer, l'acier et la fonte considérés à la chaleur blanche, 119 à 121
De la dilatation du fer, de l'acier et de la fonte, à la chaleur blanche, 122
Des propriétés du fer, de l'acier et de la fonte, à la température de la fusion, 123

Des propriétés du fer ductile dans les températures élevées.

De la soudabilité, fer rouverin et fer cassant à froid, 124
Influences de l'air atmosphérique sur le fer pendant les chaudes. — Moyens d'éviter le contact de l'air, 125 à 127
Des chaudes données au fer sans le contact de l'air, et des chaudes sèches, 128
Des chaudes au milieu de menus charbons. — Chaudes suantes. — Le fer peut reprendre sa crudité, 129 à 133
De la liquéfaction du fer ductile hors du contact de l'air, 134

Des propriétés de l'acier dans les températures élevées.

Des chaudes données à l'acier, avec ou sans le contact de l'air, 135 à 138
De la liquéfaction de l'acier. — Acier fondu, 139

Des propriétés de la fonte dans les températures élevées.

Des propriétés générales du fer cru dans les températures élevées, avec ou sans le contact de l'air, 140 à 143
De la fonte grise. Refroidissement subit de cette espèce de fer cru, 144, 145
De la fonte blanche, 146 à 148
Comparaison entre les propriétés des deux espèces de fonte, chauffées à l'état solide ou mises en fusion, 149, 150
Comparaison entre l'acier trempé et la fonte blanche, ainsi qu'entre l'acier non trempé et la fonte grise, 151
Des règles qu'il faut observer pour refondre le fer cru, 152
Des moyens d'adoucir la fonte, 153, 154

DE L'ACTION DE L'OXIGÈNE SUR LE FER.

Effet produit par l'air sur le fer rouge de feu, 155
Des *paillettes* ou battitures de fer, 156
Du protoxide de fer, 157
Composition des battitures, 158
Différence entre les battitures et les scories de forge, 159
Du peroxide, 160
Des différens degrés d'oxidation de fer, 161, 162
Du magnétisme des oxides, 163

DE L'ACTION DE L'EAU SUR LE FER.

De la température à laquelle l'eau agit sur le fer, 164, 165
De l'hydrate de fer, 166, 167

DE L'INFLUENCE DE L'AIR HUMIDE SUR LE FER.

De la rouille, 168
Des changemens qu'éprouvent le fer, la fonte et l'acier exposés à l'air humide. — Des procédés employés pour les empêcher de se rouiller, 169
Vernis, couleurs du recuit et bronzage, 170

DE L'ACTION DU CHARBON SUR LE FER.

Généralités sur la combinaison du fer avec le carbone, 171, 172
Du graphite, 173
Du carbone combiné avec le fer, la fonte et l'acier, 174
De la présence de l'oxigène dans le fer cru, 175
De la quantité de carbone contenue dans la fonte blanche, dans l'acier et dans le fer ductile, 176 à 178
De la quantité de graphite contenue dans la fonte grise, 179
Comparaison entre les propriétés du fer, de l'acier et de la fonte sous le rapport de la combinaison du métal avec le carbone, 180 à 182

DE L'ACTION DU SOUFRE SUR LE FER.

Affinité du soufre pour le fer, 183
Des degrés de sulfuration du fer, 184 à 189
De la préparation du soufre au moyen des pyrites, 190
De la combinaison du fer avec le soufre par la voie humide, 191
De l'influence du soufre sur les propriétés du fer. — Fer rouverin, 192, 193

DE L'ACTION DU PHOSPHORE SUR LE FER.

De la combinaison du fer avec le phosphore, 194, 195
De l'influence du phosphore sur les propriétés du fer. — *Sidérite.* — Fer cassant à froid, 196 à 198

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE SOUFRE.

De la combinaison du carbone avec le soufre, et de la combinaison de leur produit avec le fer, 199 à 201
Influence du soufre sur le fer qui est carburé, 202 à 203

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LE CHARBON ET LE PHOSPHORE.

De la combinaison de ces trois corps, et de l'influence du phosphore sur le fer qui est carburé, 204 à 206

Des conditions d'où dépend la dissolution des métaux dans les acides, 207
De l'influence des corps combinés avec le fer, lorsqu'on le dissout dans les acides, 208
Des gaz qui se développent pendant la dissolution, 209
De la quantité de gaz obtenu avec le fer, l'acier ou la fonte, 210
Causes de la différence entre ces quantités de gaz, 211, 212
Le carbone, le phosphore et le soufre influent sur le temps qui est nécessaire pour dissoudre le fer, 213
Comment on reconnaît l'acier au moyen des acides, 214
Des phénomènes que présentent le fer, l'acier et la fonte par leur dissolution dans les acides, et conclusions qu'on peut en tirer sur la combinaison du carbone avec le métal, 215 à 220
Des propriétés des différens acides par rapport au fer; leur classement selon l'action qu'ils exercent sur ce métal, 221
De combien de manières le fer se combine avec les acides, 222
Du classement des métaux et de leurs oxides selon leur degré d'affinité pour les acides, 223
Pour doser le fer contenu dans une dissolution, il faut l'oxider au maximum, 224
Du fer mis en contact avec l'acide carbonique, 225
Idem avec l'acide sulfurique, 226
Propriétés des sulfates de fer, 227, 228
Du fer mis en contact avec l'acide sulfureux, 229
Idem avec l'acide nitrique, 230
Idem avec l'acide hydrochlorique. — Chlorure de fer, 231
Idem avec l'eau régale (acide hydronitrochlorique), 232
Idem avec l'acide arsénique, 233
Idem avec l'acide phosphorique. — Bleu de Prusse naturel, 234
Idem avec l'acide boracique, 235
Idem avec l'acide acétique, 236

Du fer mis en contact avec les acides citrique, oxalique, tartarique, sébacique, benzoique et succinique, 237
Idem avec l'iode et l'acide hydriodique, 238
Idem avec l'hydrogène sulfuré et avec les hydrosulfures, 239
Idem avec le cyanogène. — Bleu de Prusse, 240 à 242
Idem avec l'acide gallique. — Tanin, 243
Des moyens de graver ou de damasser l'acier à l'aide des acides, 244
Du Décapage, 245

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES ALKALIS.

Influence des alkalis sur la nature et les propriétés du fer, 246, 247

DU FER MIS EN CONTACT AVEC LES BASES TERREUSES.

Combinaison du fer avec les métaux terreux, 248
Idem le silicium, 249 à 251
Idem l'aluminium, 252
Idem le calcium, 253
Idem le magnésium et le barium, 254

DE LA COMBINAISON DU FER AVEC LES AUTRES MÉTAUX.

Généralités sur les alliages des métaux, 255
Combinaison du fer avec l'or.—De la dorure sur fer, 256, 257
Idem avec l'argent. —Influence de ce dernier sur les propriétés de l'autre, 258, 259
De l'argenture sur fer, 260
Idem avec le mercure, 261
Idem avec le platine, 262
Idem avec le cuivre, 263 à 265
Ce que c'est que braser le fer, 266
Idem avec le plomb, 267, 268

Combinaison du fer avec l'étain, 269
Etamage, 270
Idem avec le zinc, 271 à 274
Etamage avec le zinc, 275
Idem avec le bismuth, 276
Idem avec l'antimoine, 277
Idem avec l'arsenic, 278, 279
Idem avec le nikel, 280, 281
Idem avec le cobalt, 282
Idem avec l'urane, le tellure, le tantale, le cérium, le molybdène, etc., 283
Idem avec le titane et le tungstène, 284 à 286
Idem avec le chrome, 287
Idem avec le palladium, le rhodium, l'osmium et l'iridium, 288
Idem avec le manganèse.—Influence du manganèse sur la nature du fer et de l'acier, 289 à 292

DE L'ACTION DU FER SUR LES OXIDES MÉTALLIQUES.

Le fer réduit les oxides métalliques, 295

LE L'ACTION DU FER SUR LES SELS.

Généralités sur la manière dont le fer se comporte à l'égard des sels, 294, 295
Action du fer sur les carbonates, 296, 297
Idem les sulfates, 298
Idem les nitrates, 299
Idem les hydrochlorates, 300, 301
Idem les acides végétaux, 302
Idem les phosphates et les arseniates, 303, 304

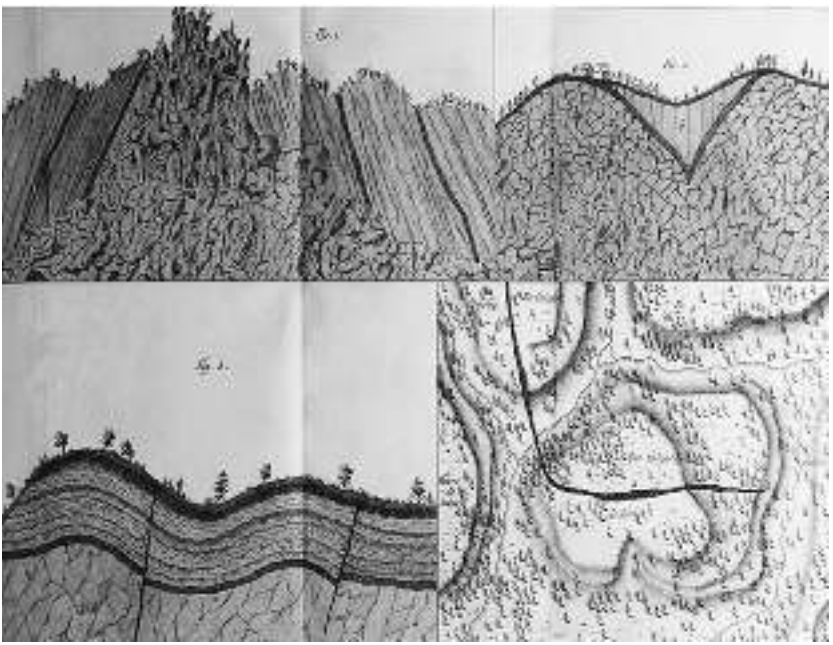
DU FER OXIDÉ EN CONTACT AVEC D'AUTRES SUBSTANCES.

De l'oxide de fer en contact avec le charbon, 305, 306
Idem avec le soufre, 307
Idem avec le phosphore, 308

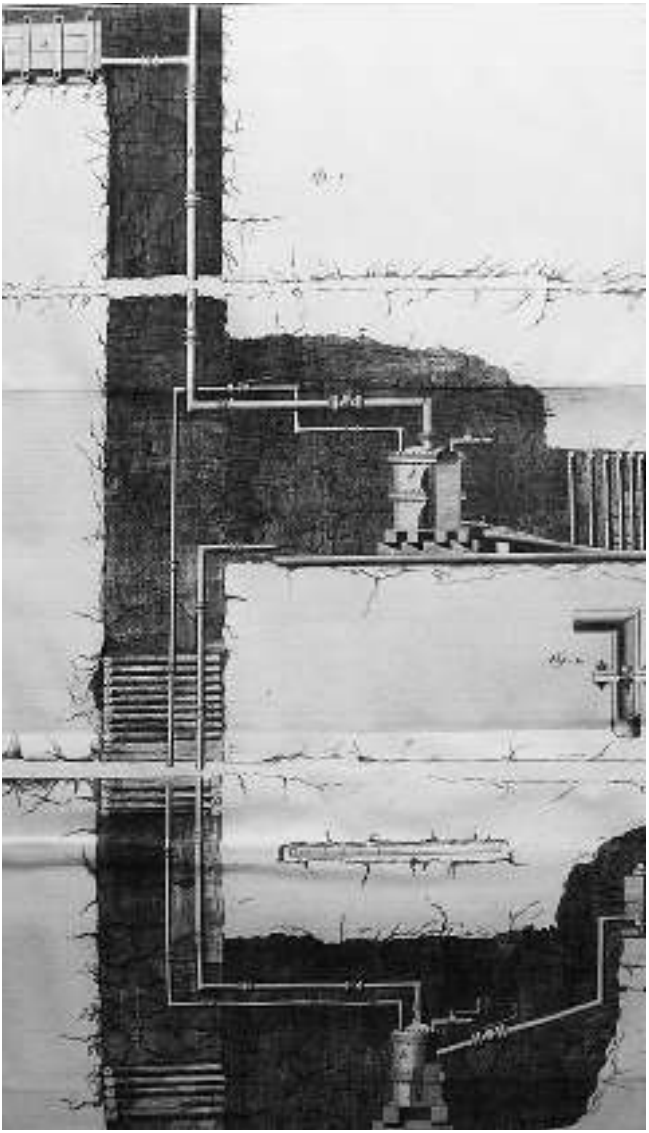
Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Karsten, C.J: *Manuel de Métallurgie du fer*.
Sobre la influencia de la química en la metalurgia.
Da por superada la teoría del flogisto.

La révolution de la chimie, qui anéantit le système du phlogistique, jeta en France les premiers rayons de lumière sur les modifications du fer, dans ses trois états différens. Schéele avait déjà reconnu la plombagine comme une matière charbonneuse, en 1779; mais c'est aux chimistes français, Vandermonde, Berthollet et Monge, qu'on doit des analyses positives, qui ont répandu un grand jour sur la nature de cette substance énigmatique et sur les modifications qu'elle fait éprouver aux propriétes du fer. Depuis cette époque, la fonte et l'acier furent considérés par-tout comme des composés de fer et de charbon, ou de graphite dans des proportions très-variables; et l'on reconnut en même temps, que l'un devait en contenir une plus forte dose que l'autre, puisque l'acier se rapprochait de la nature du fer cru, en se chargeant d'une plus grande quantité de charbon.

Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Delius, *Tratado de la explotación de minas*, 1778.
Perfil geológico



Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Delius. *Tratado de la explotación de minas*.
Sistemas de ventilación de minas.



Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Delaunay. C. E. Índice del *Tratado de Mecánica Racional*.

ÍNDICE.

Págs.

Introduccion. 5

LIBRO PRIMERO.—CINEMÁTICA.

CAPITULO I.°—*Movimiento de un punto.* 7
Trayectoria. 7
Ecuacion del movimiento sobre la trayectoria. 7
Representacion gráfica de la ley del movimiento. 8
Movimiento uniforme, velocidad. 9
Movimiento variado, velocidad. 11
Determinacion analítica de la velocidad. 12
Determinacion geométrica de la velocidad. 13
Movimiento uniformemente variado. 15
Proyeccion del movimiento sobre un plano. 16
Proyeccion del movimiento sobre una recta fija. 17

CAPITULO II.—*Movimiento de un sólido ó sistema invariable.* . . 19
Movimiento de traslacion. 20
Movimiento de rotacion, velocidad angular. 21
Movimiento elemental de una figura plana en su plano. 25
Movimiento elemental de un sólido en que todos sus puntos se mueven paralelamente á un plano. 30
Movimiento de una figura esférica sobre su esfera. 31
Movimiento elemental de un sólido de quien un punto permanece inmóvil. 31
Movimiento elemental de un sólido que varía de lugar de una manera cualquiera en el espacio. 32
Movimiento continuo de una figura plana en su plano. 36
Movimiento continuo de un sólido de quien un punto permanece inmóvil. 37
Movimiento de un sólido que varía de lugar en el espacio de una manera cualquiera. 38

CAPITULO III.—*Movimientos compuestos.* 39
Definicion del movimiento relativo. 39
De lo que se entiende por movimientos simultáneos de un sólido. . 39
Composicion de velocidades. 43
Movimiento de un punto referido á un sistema de coordenadas rectilíneas. 47
Movimiento de un punto referido á un sistema de coordenadas polares 51
Método de Roberval para el trazado de las tangentes á las curvas. . 53
Movimientos simultáneos de un sólido. 55
Composicion de los movimientos elementales simultáneos de un sólido.—Composicion de traslaciones. 56
Composicion de una traslacion y de una rotacion. 57
Composicion de rotaciones alrededor de ejes paralelos. 59
Composicion de rotaciones alrededor de ejes concurrentes. . . . 63
Composicion de dos rotaciones alrededor de ejes no situados en un mismo plano. 66
Composicion de movimientos cualesquiera. 67
Descomposicion de un movimiento elemental cualquiera de un sólido, en tres traslaciones paralelas á tres ejes rectangulares y en tres rotaciones alrededor de estos ejes. 68
Teoría de los movimientos relativos.—Movimiento relativo de un punto, con relacion á un sistema de ejes animado de un movimiento de traslacion en el espacio. 68
Movimiento relativo de un punto, con referencia á un sistema de ejes animado de un movimiento de rotacion. 72
Movimiento relativo de un punto, con referencia á un sistema de ejes que cambian de posicion en el espacio de una manera cualquiera. 73
Movimiento relativo de dos sólidos que cambian de lugar cada uno de ellos de una manera cualquiera en el espacio. 74
Teoría de los movimientos de rodar, y de resbalar unos sólidos sobre otros. 75
Aplicacion á los engranajes. 79
Engranajes cilíndricos. 79
Engranajes cónicos. 85

CAPITULO IV.—*Aceleracion en el movimiento de un punto.* . . 87
Aceleracion en el movimiento rectilíneo uniformemente variado. . 87
Aceleracion en el movimiento rectilíneo variado en general. . . 88
Aceleracion en el movimiento curvilíneo. 91
Aceleracion tangencial, aceleracion centrípeta. 92
Aceleracion en el movimiento proyectado sobre un plano fijo. . . 95
Aceleracion en el movimiento proyectado sobre una recta fija. . . 96

LIBRO SEGUNDO.—DINÁMICA. PRIMERA PARTE.

DEL EQUILIBRIO Y MOVIMIENTO DE UN PUNTO MATERIAL.

CAPITULO I.°—*Modo de obrar, y composicion de las fuerzas aplicadas á un punto material.* 111
Definicion del punto material. 111
Primer principio.—Inercia de la materia. 112
Fuerzas. 113
Peso de los cuerpos. 114
Evaluacion de las fuerzas en números. 115
Direccion y sentido de una fuerza. 116
Segundo principio.—Igualdad de la accion y de la reaccion. . . 116
Tercer principio.—Independencia del efecto de una fuerza y del movimiento anteriormente adquirido por el punto material sobre que ella obra. 117
Movimiento de un punto material sometido á la accion de una fuerza de direccion y magnitud constantes. 118
Cuarto principio.—Independencia de los efectos de las fuerzas que obran simultáneamente sobre un mismo punto material. . . . 124
Proporcionalidades de las fuerzas á los efectos que producen. . . 124
Definicion de la masa de un punto material. 127
Proporcionalidad de las fuerzas á las masas de los puntos materiales á quienes impriman igual aceleracion. 128
Relacion entre una fuerza, la masa del punto material sobre que obra y la aceleracion que le comunica. 129
Composicion de las fuerzas aplicadas á un mismo punto material. . 131
Proyeccion de las fuerzas sobre un plano fijo ó sobre una recta fija. 133
Teoría de momentos en el caso de fuerzas aplicadas á un mismo punto material. 134

CAPITULO II.—*Equilibrio y movimiento de un punto material libre* 139
Equilibrio de un punto material. 139
Movimiento rectilíneo de un punto material. 141
Ejemplos de movimientos rectilíneos. 146
Movimiento curvilíneo de un punto material. 152
Fuerza tangencial, fuerza centrípeta. 153

Proyeccion del movimiento sobre un plano fijo. 154
Proyeccion del movimiento sobre una recta fija. 155
Teoremas relativos á las cantidades de movimiento. 155
Teorema de áreas. 160
Teorema de fuerzas vivas. 161
Trabajo de las fuerzas. 165
Caso particular del teorema de fuerzas vivas. 167
Ecuaciones diferenciales al movimiento de un punto material. . . 170
Ejemplos de movimientos curvilíneos.—Movimiento parabólico de los cuerpos pesados. 172
Movimiento de un punto material atraido hácia un centro fijo, proporcionalmente á su distancia á dicho centro. 175
Movimiento de un punto material, bajo la accion de una fuerza dirigida hácia un centro fijo, y que varía en razon inversa de la distancia del punto á este centro. 177

CAPITULO III.—*Equilibrio y movimiento de un punto material, que no está libre.* 184
Definicion del punto material que no está libre. 184
Equilibrio de un punto material sujeto á permanecer sobre una curva fija. 186
Movimiento de un punto material sujeto á permanecer sobre una curva fija. 188
Ejemplos del movimiento de un punto material sujeto á permanecer sobre una curva fija.—Caso de un punto material sometido solo á la accion de la pesantez. 193
Movimiento de un punto material pesado sobre una recta fija. . . 195
Péndulo circular. 197
Péndulo cicloidal. 201
Equilibrio y movimiento de un punto material sujeto á permanecer sobre una superficie fija. 204
Ejemplo del movimiento de un punto material sujeto á permanecer sobre una superficie fija.—Péndulo cónico. 207
Fuerza de inercia. 215

CAPITULO IV.—*Equilibrio y movimiento relativos de un punto material.* 218
Fuerzas aparentes en el movimiento relativo. 218
Equilibrio relativo de un punto material. 221
Movimiento relativo de un punto material. 222
Movimiento relativo de dos puntos materiales que no están sometidos más que á sus acciones mútuas. 225

LIBRO TERCERO.—DINAMICA. SEGUNDA PARTE.

DEL EQUILIBRIO DE LOS SISTEMAS MATERIALES.

CAPITULO I.°—*Composicion de las fuerzas aplicadas á un sólido invariable.* 255
Constitucion molecular de los cuerpos. 255
Fuerzas interiores, fuerzas esteriores. 256
Lo que se entiende por sólido invariable. 257
Una fuerza puede ser aplicada en un punto cualquiera de su direccion sin que su efecto cambie. 258
Composicion de fuerzas concurrentes. 259
Composicion de fuerzas paralelas. 260
Teoría de los momentos de un sistema de fuerzas paralelas, con respecto á un plano. 265
Reduccion de un sistema de fuerzas cualesquiera á dos fuerzas. . . 268
Teoría de los momentos, para un sistema cualesquiera de fuerzas aplicadas á un sólido invariable. 270

CAPITULO II.—*Centros de gravedad.* 275
Centro de fuerzas paralelas. 275
Centro de gravedad de un sólido invariable. 276
Determinacion del centro de gravedad de un sólido invariable. . . 277
Centro de gravedad de una superficie. 282
Centro de gravedad de una línea. 285
Ejemplos diferentes de centros de gravedad.—Línea recta. . . . 286
Línea poligonal. 287
Contorno de un triángulo. 287
Arco de círculo. 288
Paralelógramo. 288
Triángulo. 289
Polígono. 290
Trapecio. 290
Cuadrilátero. 292
Sector y segmento de círculo. 292
Zona esférica. 294
Paralelipípedo. 294
Prisma. 294

Pirámide. 295
Cilindro. 298
Cono. 298
Sector y segmento esféricos. 298
Teorema de Guldin. 299
Aplicacion de la nocion del centro de gravedad al caso de un sistema material cualquiera. 301
Trabajo de la pesantez en el movimiento de un sistema material cualquiera. 302

CAPITULO III.—*Equilibrio de un sólido invariable.* 304
Condicion de equilibrio de un sólido invariable. 304
Lema relativo á los trabajos de dos fuerzas iguales, de la misma direccion y sentidos contrarios, que obran sobre dos puntos diferentes. 305
Teorema del trabajo virtual en el caso de un sólido invariable. . 307
Ecuaciones que espresan el equilibrio de un sólido invariable. . . 310
Equivalencia de dos sistemas de fuerzas. 317
Teoría de pares. 319
Uso de la teoría de pares para la composicion de fuerzas aplicadas á un sólido invariable. 322
Aplicacion de las teorías precedentes al equilibrio de un sistema material cualquiera. 325

CAPITULO IV.—*Equilibrio de un sistema material cualquiera.* . 325
Teorema del trabajo virtual, para un sistema material cualquiera 325
Teorema del trabajo virtual, para un sistema material en el cual se imaginan ligazones. 328
Equilibrio relativo de un sistema material. 335
Equilibrio de los sistemas pesados en los cuales existen ligazones. 336
Equilibrio del polígono funicular. 345
Equilibrio de un hilo homogéneo pesado. 349

CAPITULO V.—*Equilibrio de sólidos naturales.* 355
Resistencia de un sólido prismático á la estension ó á la compresion. 354
Equilibrio de un sólido sometido á la accion de fuerzas que tienden á doblarlo trasversalmente. 355
Acciones mútuas de dos sólidos que están en contacto. 371
Equilibrio de dos sólidos que se tocan. 377
Equilibrio de un sólido pesado que apoya sobre un plano. 380

CAPITULO VI.—*Equilibrio de los fluidos.* 389

Pags.
Trasmision de presiones en los fluidos. 390
Igualdad de presiones en todos sentidos, alrededor de un punto cualquiera, en un fluido en equilibrio. 393
Equilibrio de un fluido pesado. 398
Equilibrio de un fluido sometido á fuerzas cualesquiera. 402
Ejemplos de equilibrio de fluidos.—Líquido que gira alrededor de un eje vertical. 408
Atmósfera terrestre; nivelacion barométrica. 409
Presiones de un líquido pesado sobre las paredes del vaso que lo contiene. 415
Presiones sufridas por un cuerpo sólido sumergido en un líquido pesado en equilibrio. 417
Equilibrio de un cuerpo sólido sumergido en un líquido pesado ó flotando en su superficie. 419

LIBRO CUARTO.—DINÁMICA. TERCERA PARTE.

DEL MOVIMIENTO DE LOS SISTEMAS MATERIALES.

CAPITULO I.°—*Movimiento de un sistema material cualquiera.* . . 421
Teorema de d'Alembert. 421
Primer teorema general, ó teorema del movimiento del centro de gravedad. 425
Segundo teorema general, ó teorema de las cantidades de movimiento proyectadas sobre un eje. 427
Tercer teorema general, ó teorema de los momentos de las cantidades de movimiento con respecto á un eje. 429
Teorema de áreas. 431
Cuarto teorema general, ó teorema de las fuerzas vivas. 440
Observaciones sobre los teoremas generales que anteceden. . . . 445
Aplicacion de los teoremas generales sobre el movimiento de los sistemas materiales al caso de movimientos relativos. 446
Movimiento de un sistema material con respecto á ejes de direccion constante que pasen por su centro de gravedad. 447
Aplicacion de los teoremas generales al caso de sistemas materiales en los cuales se imaginan ligazones. 454

CAPITULO II.—*Movimiento de un sólido invariable.* 458
Teoría de los momentos de inercia. 458
Movimiento de un sólido invariable enteramente libre. 466
Movimiento de un sólido invariable sujeto á girar alrededor de un punto fijo. 482

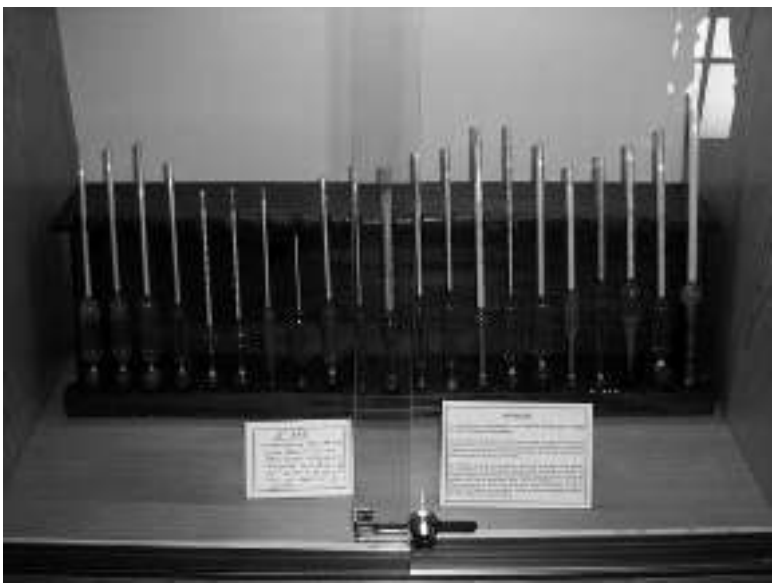
Movimiento de un sólido invariable sujeto á girar alrededor de un eje fijo. 484
Péndulo compuesto. 490
Centro de percusion. 493

CAPITULO III.—*Movimiento de sólidos naturales.* 497
Choque de dos sólidos esféricos. 499
Pérdida de fuerza viva en el choque de los sólidos naturales. . . . 503
Resbalamiento de dos sólidos naturales uno sobre otro. 506
Movimiento de rodar un sólido natural sobre otro. 510
Ejemplos del movimiento de sólidos naturales.—Resbalamiento de un cuerpo pesado sobre un plano inclinado. 514
Movimiento de una bola de billar. 517

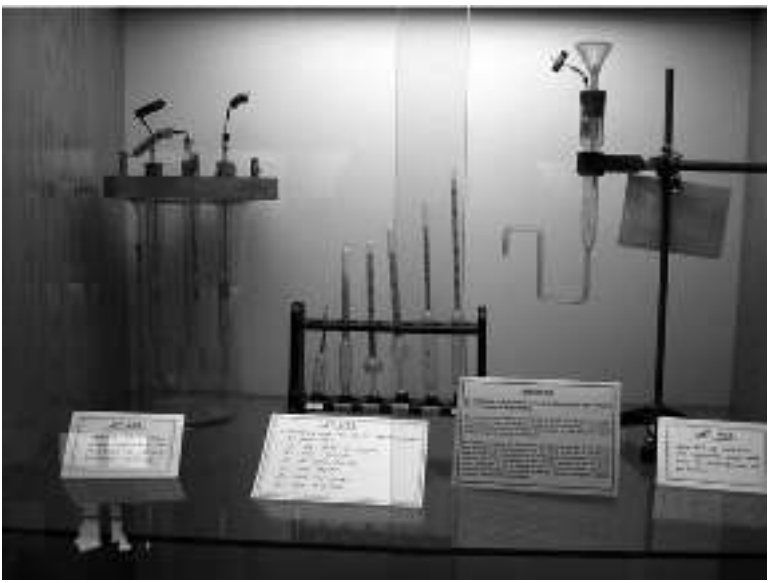
CAPITULO IV.—*Movimiento de fluidos.* 524
Ecuaciones diferenciales del movimiento de los fluidos. 524
Movimiento permanente de un fluido. 529
Salida permanente de un líquido por un orificio. 530
Salida permanente de un gas por un orificio. 534
Movimiento permanente de un líquido pesado en un tubo. . . . 540
Movimiento permanente de un gas en un tubo. 544
Presion ejercida por una vena líquida sobre una superficie plana. . 545

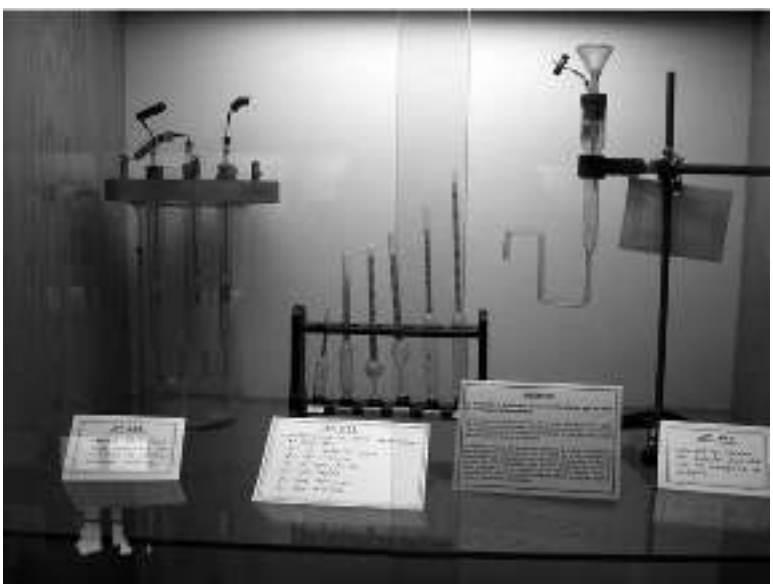
CAPITULO V.—*Teoría del movimiento de las máquinas.* 548
Nociones generales sobre las máquinas. 548
Transmision del trabajo en las máquinas. 549
Máquinas motoras, máquinas operadoras. 557
Medios de regularizar el movimiento de una máquina. 559

INSTRUMENTOS, MATERIAL DE VIDRIO Y METAL DEL LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA ACADEMIA DE ARTILLERÍA DE SEGOVIA

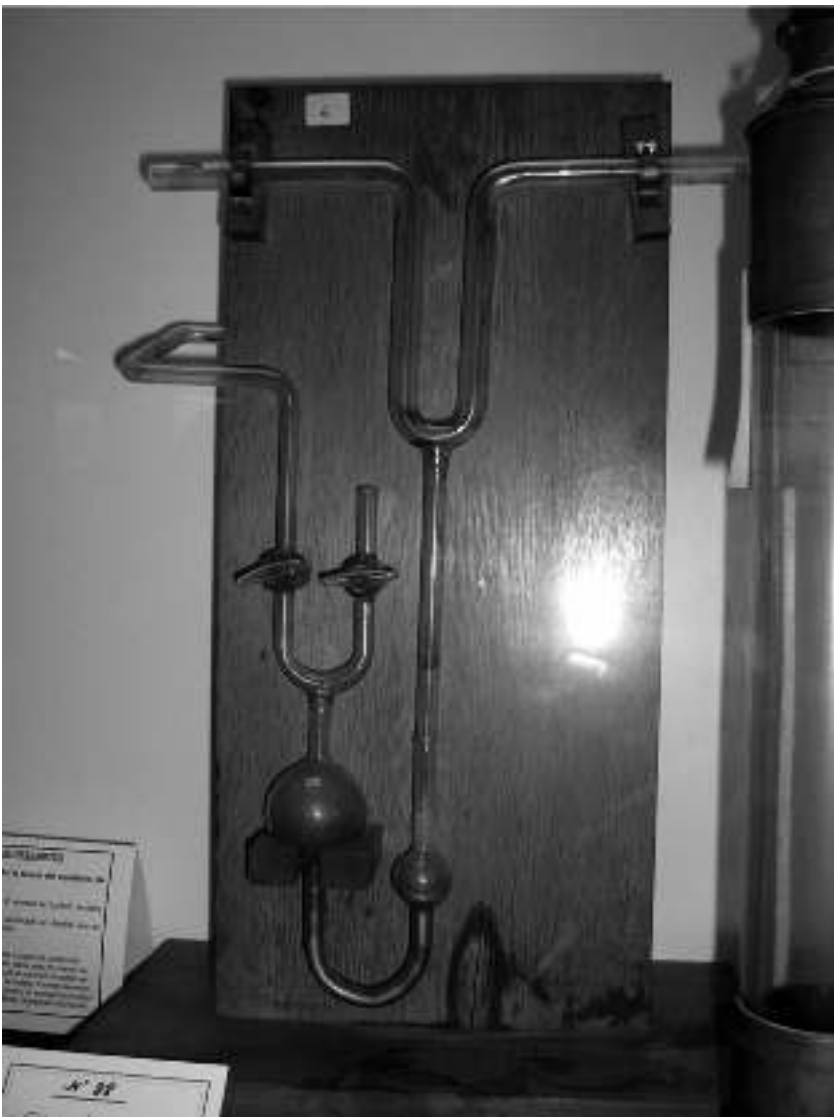


Museo de la Academia de Artillería de Segovia. Material de vidrio.





Museo de la Academia de Artillería de Segovia. Material de vidrio.



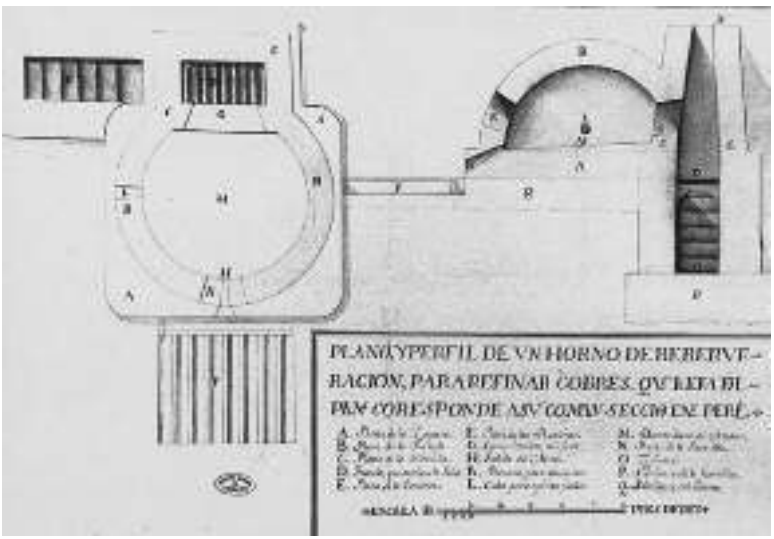
Museo de la Academia de Artillería de Segovia. Material de vidrio.

Laboratorio de Chimia.Alcázar de Segovia.
Recipientes metálicos para ensayos de Proust

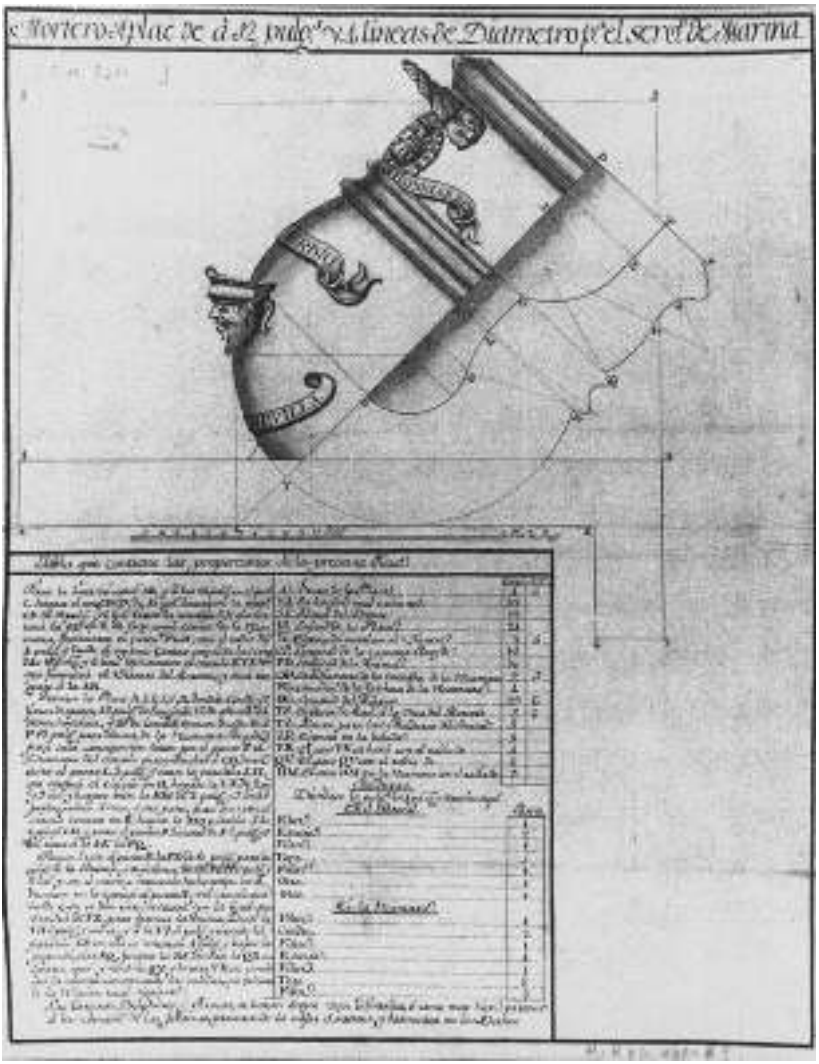
Museo de la Academia de Artillería de Segovia.
Recipientes metálicos para ensayos de Proust

Museo de la Academia de Artillería de Segovia.
Recipientes metálicos para ensayos de Proust

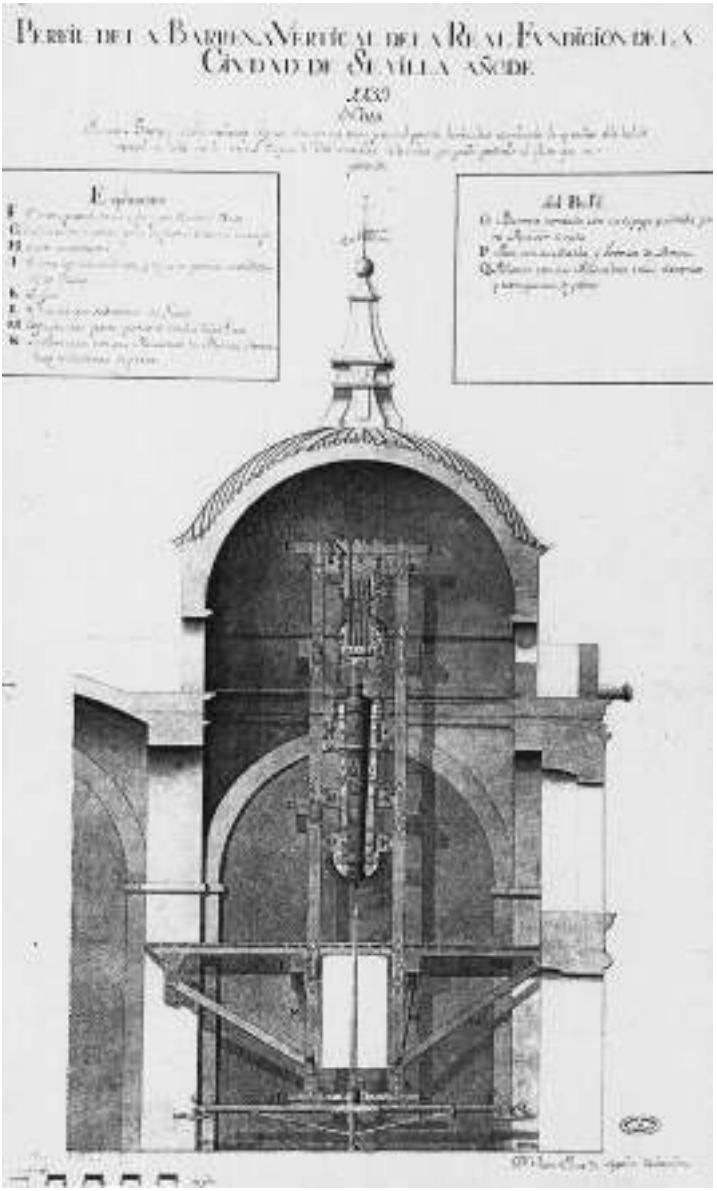
Museo de la Academia de Artillería de Segovia.
Colección de minerales.



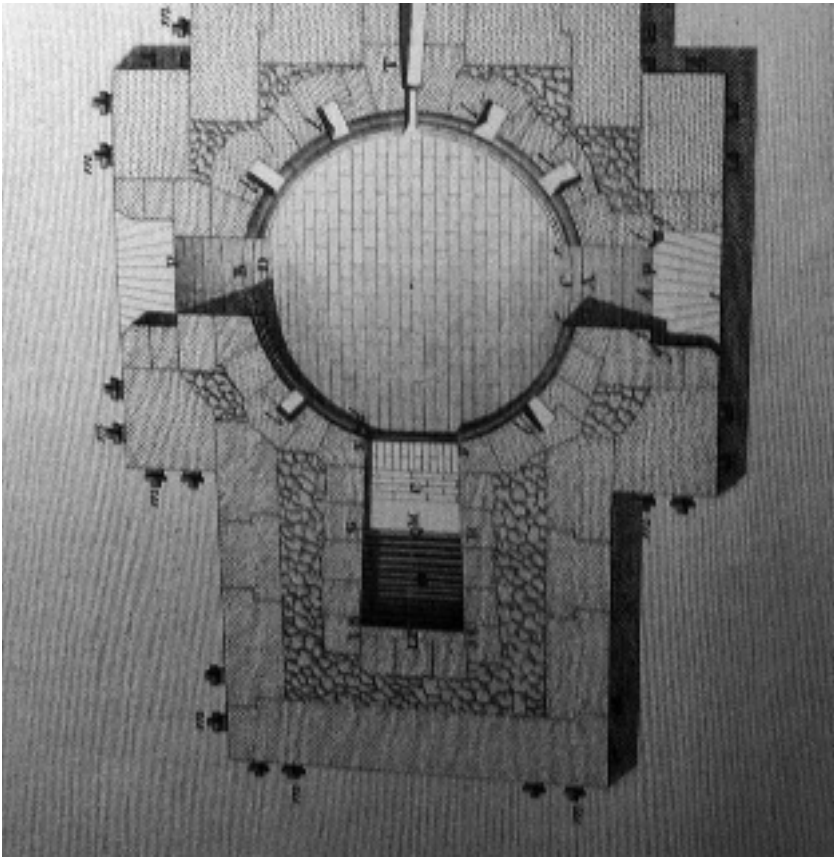
AGS. Mapas y planos.



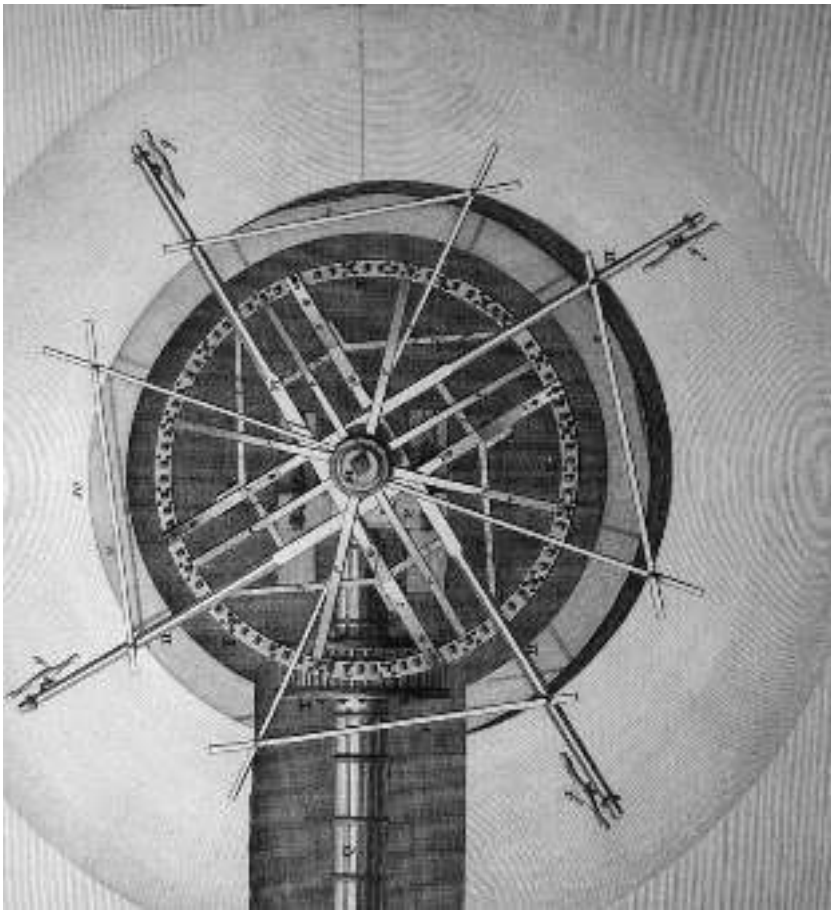
AGS. Mapas y planos. Diseño de un mortero siglo XVIII.



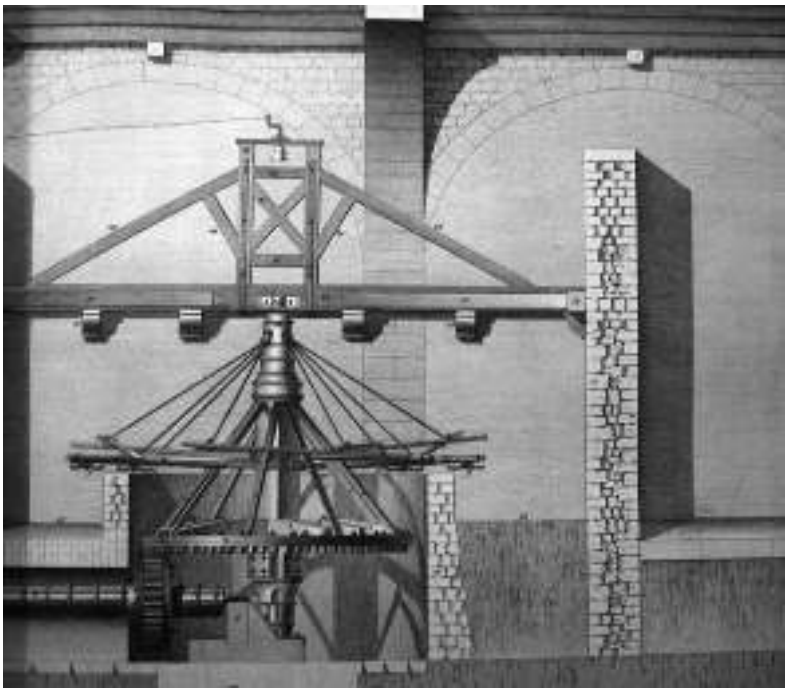
AGS. Mapas y Planos. Vista de la barrena horizontal.



Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Del tomo de láminas del Tratado de Morla.
Vista superior de horno de fundición.



Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Del tomo de láminas del Tratado de Morla.
Vista superior de la barrena horizontal.



Biblioteca de la Academia de Artilleria.
Del tomo de láminas del Tratado de Morla.
Alzado de la barrena horizontal.

OTRAS PUBLICACIONES DE LA BIBLIOTECA DE CIENCIA Y ARTILLERÍA

- Catálogo de la biblioteca dieciochesca del Real Colegio de Artillería de Segovia: T.I. Fondos científicos.
- La enseñanza militar ilustrada el Real Colegio de Artillería de Segovia.
- Discurso físico-anatómico sobre las plantas.
- Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia.
- Catálogo de la biblioteca dieciochesca del Real Colegio de Artillería de Segovia: T.II. Libros de Artillería y Fortificación.
- Sobre la economía política y los impuestos: Segovia, 1781-1788.
- Real Cédula de S.M. y Señores del Consejo, por la cual se aprueban los Estatutos de la Real Sociedad Económica de la Ciudad de Segovia.
- El legado artístico del exconvento de San Francisco.
- Catálogo de los fondos históricos de los siglos XVI al XIX en la Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia.
- Catálogo de los fondos geográficos y afines de los siglos XVI al XIX en la Biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia.
- La meteorología en la España ilustrada y la obra de Vicente Alcalá Galiano.
- La labor editora de la Academia de Artillería y su incidencia en Segovia (1764-1900).
- Las ciencias naturales (química y mineralogía) y el Colegio-Academia de Artillería de Segovia: 1839-1928.
- Los usos de la historia. Autores y obras históricas del XIX español en la Biblioteca de la Academia de Artillería.
- Ciclo de conferencias: Conmemoración bicentenario "2 de mayo"/ varios autores.
- El Alcázar de Segovia en la época de los Colegios (1764-1862). Distribución, usos, nomenclatura y obras.

La BIBLIOTECA DE CIENCIA Y ARTILLERÍA es una colección impulsada por diversas instituciones segovianas con el fin de recuperar y dar a conocer una parte importante de la actividad intelectual en la Segovia del siglo XVIII.

El Real Colegio de Artillería de Segovia, fundado en1764, fue un centro de primer orden en la difusión de la ciencia experimental en España, teniendo en cuenta la pobre oferta científica que ofrecían las universidades españolas a mediados del Setecientos. Las Academias y Escuelas militares se convirtieron en las principales divulgadoras de las nuevas teorías en física, química, botánica, mineralogía y medicina que ya circulaban por Europa.

En esta obra se muestra con detalle el contenido de las enseñanzas en química, metalurgia y mineralogía que se llevaron a cabo en el Real Colegio a través del análisis de los contenidos de las asignatura que se impartían. Asimismo, se exponen los principales experimentos en dichas especialidades realizados en su Real Laboratorio de Química, ensayos que tuvieron una aplicación posterior en las Reales Fundiciones de Artillería españolas mejorando las labores de producción realizadas hasta entonces por los maestros fundidores sin formación teórica. Por otra parte, se comentan algunos de los tratados científicos dieciochescos que atesora la extraordinaria biblioteca de la Academia, y la influencia que tuvieron en la formación de los oficiales de la Artillería, así como en la divulgación de la ciencia en la España del siglo XVIII.

BIBLIOTECA DE CIENCIA Y ARTILLERÍA.
SEGOVIA